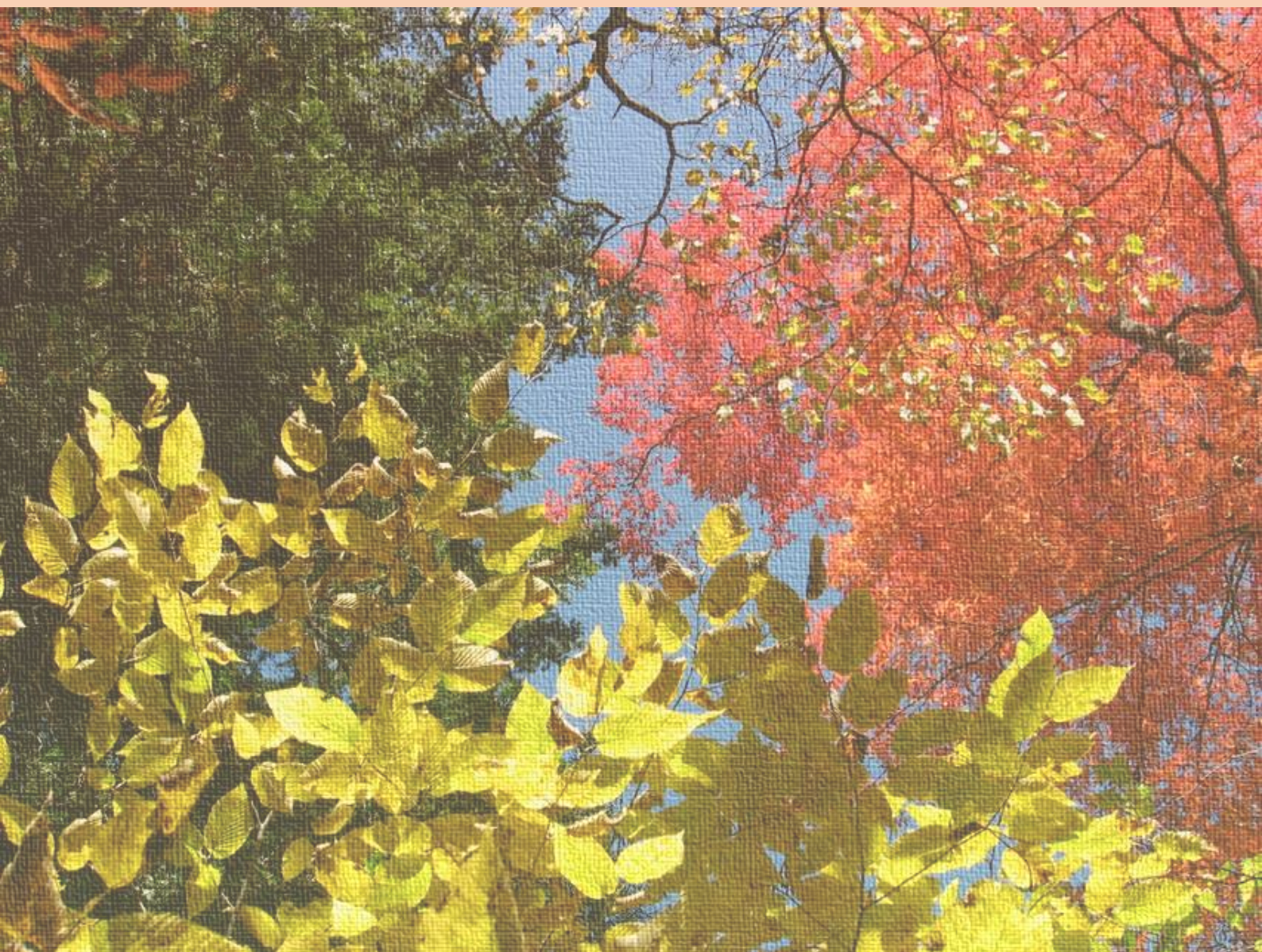


МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: ПРИЗЕМНЫЙ КЛИМАТ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИЕ И КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ВЕЩЕСТВА



УДК 551.50+005.584.1

ББК 26.23

М77

М77 Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества. Материалы III всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 15-17 ноября 2023 г. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2023. 493 с.

Целью проведения Третьей всероссийской научной конференции «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: приземный климат, загрязняющие и климатически активные вещества» является обсуждение вопросов мониторинга загрязняющих и климатически активных веществ, приземного климата, а также повышения эффективности осуществления данных видов мониторинга окружающей среды, в том числе с использованием данных дистанционного зондирования.

Технические редакторы: *Липка О.Н., Крыленко С.В., Брускина И.М., Андреева А.П., Богданович А.Ю.*

Фото: *Коротков В.Н., Бакурова Э.Ю., Крыленко С.В., Потютко О.М., Лукиных А.И.*

Дизайн: *Богданович А.Ю.*

ISBN 978-5-6046393-0-6



© Коллектив авторов, 2023

© ФГБУ «ИГКЭ»



**Мониторинг состояния и
загрязнения окружающей среды:
приземный климат, загрязняющие и
климатически активные вещества**

**Третья всероссийская научная конференция с
международным участием**

15-17 ноября 2023 г.

Москва – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ	11
<i>Антонович В.В., Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Дудорова Н.В., Зенкова П.Н., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Панченко М.В., Пестунов Д.А., Пташник И.В., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Складнева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В., Чернов Д.Г., Шмаргунов В.П.</i>	
СТАЦИОНАРНЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОА СО РАН ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТАВА АТМОСФЕРЫ	12
<i>Безденежных В.А.</i>	
ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ МОНИТОРИНГА ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РФ	17
<i>Буйволово Ю.А., Фомин Б.Н., Аблеева В.А., Быкова Е.П., Горбачева А.Ю.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОЙ ОЦЕНКИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТОЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАГРУЗКИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА ЭКОСИСТЕМЫ	22
<i>Вавилин В.А., Локшина Л.Я.</i>	
ИЗОТОПНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПОЗВОЛЯЮТ ОЦЕНИТЬ ДИНАМИКУ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ГАЗОВОГО СОСТАВА	27
<i>Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.</i>	
МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ВОДООБМЕНА НА РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СЛОЖНОДОЛИННОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ	32
<i>Лавров А.С., Стерин А.М.</i>	
ДЕТАЛИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ И КЛАСТЕРИЗАЦИИ	37
<i>Липка О.Н., Андреева А.П., Богданович А.Ю., Крыленко С.В.</i>	
ПАРАМЕТРЫ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ СУШИ, МОНИТОРИНГ КОТОРЫХ ВАЖЕН ДЛЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА	42
<i>Лобанов В.А., Дроздов В.В., Окуличева А.А., Буренкова А.А.</i>	
ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В САНКТ-ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ	47
<i>Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В., Шамрин А.М.</i>	
БАЙКАЛ – УНИКАЛЬНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ПОЛИГОН: РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ГАЗООБМЕНА CO₂ И CH₄ В СИСТЕМЕ «ВОДА-АТМОСФЕРА»	52

<i>Черногаева Г.М., Журавлева Л.Р., Малеванов Ю.А.</i> СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО ДАННЫМ МОНИТОРИНГА РОСГИДРОМЕТА	57
СЕКЦИЯ «АТМОСФЕРА»	59
<i>Алдухов О.А., Черных И.В.</i> ВНУТРИГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ ТРЕНДОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СЛОЕ АТМОСФЕРЫ 0-30 КМ НАД СЕВЕРНЫМ И ЮЖНЫМ ПОЛУШАРИЯМИ НА ФОНЕ ИХ ИЗМЕНЕНИЙ НАД ЗЕМНЫМ ШАРОМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЗОНДОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ	60
<i>Александрова М.С., Конькова А.С., Позднякова Е.А.</i> РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВАКУУМНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ ПРОБ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ МАЛОГО ОБЪЕМА	65
<i>Богачева Е.Г., Полянская О.Н., Зубачева А.А., Каткова М.Н.</i> ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ¹³⁷CS И ⁹⁰SR В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ НА ТЕРРИТОРИИ РФ	69
<i>Бурцева Л.В., Кручина Е.Б., Александрова М.С., Пастухов Б.В.</i> ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»	71
<i>Вертянкина В. Ю.</i> ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕКТОРЕ ЖИВОТНОВОДСТВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	77
<i>Виноградова А.А., Губанова Д.П., Иорданский М.А.</i> СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В КРУПНОМ ГОРОДЕ	82
<i>Виткина Т.И., Веремчук Л.В.</i> ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ г. ВЛАДИВОСТОКА	87
<i>Галушин Д.А.</i> ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ СУЛЬФАТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ НА ТЕРРИТОРИИ г. ЧИТА ПО ДАННЫМ 2003-2020 гг.	92
<i>Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Талпа Б.В., Ковалев А.Е., Андреев Ю.А., Тамбиева Н.С., Михайленко О.А.</i> ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЭМИССИИ CH₄ И CO₂ ИЗ ДЕГАЗИРУЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ, РАЗГРУЖАЮЩИХСЯ В БАЛКАХ ПРИТОКОВ И В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАСКУНЧАК	97
<i>Грабар В.А., Лытов В.М.</i> АТМОСФЕРНЫЕ ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА В РОССИИ ЗА 2010-2021 гг.	102

<i>Губанова Д.П., Виноградова А.А., Лезина Е.А., Иорданский М.А.</i> СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЧИСТОТЫ ВОЗДУХА МЕГАПОЛИСА	106
<i>Зеленова М.С., Лытов В.М., Гинзбург В.А., Зайнулин С.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПРИОРИТЕТНЫХ ВИДОВ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАЦИОНАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ВЫБРОСОВ CO₂	112
<i>Иванов В.А., Парамонов С.Г., Позднякова Е.А.</i> ТРЕНДЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ФОНОВЫХ РАЙОНОВ	117
<i>Конькова Е.С., Кручина Е.Б.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОНИТОРИНГУ СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ	122
<i>Коротков В.Н., Трунов А.А., Полумиева П.Д., Сорокина Д.Д., Вертянкина В.Ю., Исаева А.В.</i> БАЛАНС ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ЭКОСИСТЕМАХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО КАДАСТРА В СЕКТОРЕ «ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ, ИЗМЕНЕНИЯ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ И ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО»	127
<i>Корунов А.О., Запевалов М.А.</i> ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ МЕДНОГОРСК, НОВОКУЗНЕЦК, ОМСК, ЧЕРЕПОВЕЦ, БРАТСК, ЛИПЕЦК ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ	131
<i>Козлова Е.Н., Позднякова Е.А., Конькова А.С.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ НАВОЗА	136
<i>Кудрявцева Л.В., Попов Н.В., Гинзбург В.А.</i> ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ	141
<i>Лавров А.С.</i> МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВОБОДНОЙ АТМОСФЕРЕ. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И ВЕТРОВОЙ РЕЖИМЫ	146
<i>Луцкин Е.С., Хуриганова О.И.</i> РТУТЬ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ГОРОДОВ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ	151
<i>Лытов В.М., Трофименко Ю.В., Зеленова М.С., Гинзбург В.А., Зайнулин С.М.</i> ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ	156
<i>Моложжникова Е.В., Шиховцев М.Ю., Нецветаева О.Г., Оболкин В.А., Хотжер Т.В.</i> МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЙ - ПОБЕРЕЖЬЕ ЮЖНОГО БАЙКАЛА	161

<i>Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М., Зинченко А.В.</i>	
ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ И ПРОБЛЕМА СОПОСТАВИМОСТИ ДАННЫХ	165
<i>Полянская О.Н., Каткова М.Н.</i>	
РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ¹³¹I В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ г. ОБНИНСКА	170
<i>Редникин А.Р., Рахматуллина С.Н., Воробьев Д.С., Франк Ю.А.</i>	
ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА МИКРОЧАСТИЦАМИ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	173
<i>Рябов А.В., Безденежных В.А.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НА СТАНЦИИ ЕМЕП ДАНКИ	178
<i>Савеленко В.Д., Старостин А.А., Ершов М.А.</i>	
ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВА В РФ: КОМПОНЕНТНЫЙ ПУЛ ПО МЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТРАСЛИ И УЖЕСТОЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ	183
<i>Фомин Б.А., Балугин Н.В., Гинзбург В.А., Зеленова М.С., Кострыкин С.В., Кухта Б.А., Ревокатова А.Р., Юшков В.А.</i>	
МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ В АЭРОЗОЛЬНОМ СОСТАВЕ ТРОПОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ БАЛОННОГО ЗОНДА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ	188
<i>Шиховцев М.Ю., Моложникова Е.В.</i>	
ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НЕДОРОГИХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ ЮЖНОГО БАЙКАЛА	191
СЕКЦИЯ «ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ»	195
<i>Азарян Н.Г., Авалян Р.Э., Атоянц А.Л., Агаджанян Э.А.</i>	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ МОДЕЛЬНЫХ ТЕСТ СИСТЕМ ПРИ ГЕНЕТИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРЭСНОВОДНОЙ ГИДРОЭКОСИСТЕМЫ	196
<i>Александрова А.Г., Чекменева Н.А., Александрова Д.В., Долгова А.О.</i>	
ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ В ПРЕДЕЛАХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАСЕЙНОВ НА КОЛЬСКОМ ШЕЛЬФЕ (КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)	200
<i>Алехина М.А.</i>	
СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА, КАДМИЯ И МЕДИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ БИОСФЕРНЫХ ЗАПОВЕДНИКОВ В БАСЕЙНАХ РЕК ВОЛГА И ДОН	205
<i>Бакаева Е.Н., Аль-Гиззи М.А.Б.</i>	
ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОЛОГИИ АЛЬГОИНДИКАЦИИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ	209
<i>Болгов М.В.</i>	
О ПРОБЛЕМАХ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИИ	213

<i>Гречушникова М.Г., Казанцев В.С.</i> ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА И ОЦЕНКИ ЭМИССИИ МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ	217
<i>Домышева В.М., Сакирко М.В.</i> ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	222
<i>Епифанов А.О., Артемьев Г.Б., Каткова М.Н., Уваров А.Д., Карцева А.И., Тарасенко А.О., Реклайдис В.А, Цветкова В.С., Соломатов А.С., Ершова А.С.</i> МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСГИДРОМЕТА В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ В РАЙОНАХ ШТАТНОГО И АВАРИЙНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ	226
<i>Ефимова М.А.</i> ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА	231
<i>Жигачева Е.С., Громов С.А.</i> ОЦЕНКА РЕЧНОГО СТОКА ОСНОВНЫХ ИОНОВ С ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК В РАЙОНАХ МОНИТОРИНГА ЕАНЕТ В РОССИИ	235
<i>Князева Т.В., Котова В.Е., Тамбиева Н.С.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ В р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ В РАЙОНЕ Г. КАМЕНСК-ШАХТИНСКИЙ	240
<i>Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С.</i> ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД И СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БАССЕЙНЕ р. ОБЬ	244
<i>Котова В.Е., Андреев Ю.А., Рязанцева И.А., Дергачев К.Ю.</i> ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДЫ р. ДОН	249
<i>Коронкевич Н.И., Черногаева Г.М., Барабанова Е.А., Зайцева И.С.</i> О НЕКОТОРЫХ НЕСБЫВШИХСЯ ПРОГНОЗАХ, ПЛАНАХ И ПРОЕКТАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ	254
<i>Куликова М.А., Соромотин А.В.</i> ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ОЗЕРА В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ В АРКТИКЕ	259
<i>Курашева О.А.</i> СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛЕДНИКАХ И РЕЧНЫХ ВОДАХ БАССЕЙНА РЕКИ ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ РЕСПУБЛИКА)	262
<i>Манзон Д.А., Беспалов М.С.</i> ДИНАМИКА ВЫПАДЕНИЙ СЕРЫ И АЗОТА НА ТЕРРИТОРИИ РФ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА	265

<i>Пестунов Д.А., Шамрин А.М., Шмаргунов В.П., Панченко М.В., Домышева В.М., Сакирко М.В.</i>	
АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БАЙКАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗООБМЕНА CO₂ И CH₄ В СИСТЕМЕ «ВОДА-АТМОСФЕРА»	270
<i>Потютко О.М.</i>	
ЛЕД И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАУНЫ ДОННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ	275
<i>Разумовский Л.В.</i>	
ПРОБЛЕМАТИКА И ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИЙ В ПОЗДНЕМ ГОЛОЦЕНЕ ПО ДИАТОМОВЫМ КОМПЛЕКСАМ	280
<i>Ракчеева Е.А., Землянов И.В., Горелиц О.В.</i>	
ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ РЕК СЕВЕРА ЕТР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА	284
<i>Рахматуллина С.Н., Тропин Н. Ю., Воробьев Д.С., Франк Ю.А.</i>	
КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ МИКРОПЛАСТИКА В ЖКТ КАРПОВЫХ РЫБ В ВОДОЕМАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ	289
<i>Решетняк О.С., Косменко Л.С.</i>	
ИОННЫЙ СОСТАВ РЕЧНЫХ ВОД АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ И ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТИ	294
<i>Сакирко М.В., Домышева В.М.</i>	
МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛАГИАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ	299
<i>Словягина А.Н., Фацевская Т.Б., Полянин В.О.</i>	
ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р.ЛИХОБОРКИ	304
<i>Соловьева С.С., Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И.</i>	
МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД БАСЕЙНА ГОРОДСКОЙ РЕКИ СЕТУНЬ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА 2019-2022 ГГ.)	309
<i>Фацевская Т.Б., Алгушаева А.В., Вишневская И.А., Елизарьев А.Н.</i>	
НЕФТЕПРОДУКТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН	314
<i>Хорошевская В.О., Голубкина М.А.</i>	
СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН	319
<i>Чамкина А.В., Хазанова К.П.</i>	
МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД Р. МОСКВЫ В РАЙОНЕ КУРЬЯНОВСКИХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ТАКСОЦЕНАМ БЕНТОСНЫХ И ПЛАНКТОННЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ	324

СЕКЦИЯ «НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ»	327
<i>Андреева А.П., Петрушина М.Н.</i> МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»	328
<i>Башкин В.Н., Галиулина Р.А.</i> ОЦЕНКА ИСТОЧНИКА И ВРЕМЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ ЧЕЛОВЕКА ПЕСТИЦИДОМ ДДТ И ЕГО МЕТАБОЛИТАМИ	333
<i>Болондинский В.К., Белашев Б.З.</i> ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАРЕЛИИ	338
<i>Борзенкова И.И., Ершова А.А., Жильцова Е.Л.</i> РЕАКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА НА СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И ПЕРИОДЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ В ПРОШЛОМ: УРОКИ ПРОШЛОГО ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В БУДУЩЕМ	343
<i>Быхалова О.Н., Телегин В.А., Легкий Н.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ И ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ АКВАТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»	348
<i>Вакуловский С.М., Яхрюшин В.Н.</i> БАЗА ДАННЫХ «ЧЕРНОБЫЛЬ» СОЗДАНИЕ, РАЗВИТИЕ, АНАЛИЗ	353
<i>Запезалов М.А., Самсонов Д.П., Левшин Д.Г., Лукьянова Н.Н., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 2021-2022 ГОДАХ	358
<i>Зинченко А.В., Ивахов В.И., Парамонова Н.Н., Привалов В.И.</i> УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛАНДШАФТА БОЛОТ ПРИ РАСЧЕТНОМ МОНИТОРИНГЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ	364
<i>Иванова Ю.Д., Суховольский В.Г.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА ДЛЯ РАСЧЕТА ГРАНИЦ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ПОЛЛЮТАНТОВ	369
<i>Калугина О.В., Афанасьева Л.В.</i> РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ	374
<i>Крыленко М.В., Крыленко В.В.</i> МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ЭОЛОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА АНАПСКОЙ ПЕРЕСЫПИ	380
<i>Кушинов И.Д., Темботов Р.Х., Низамутдинов Т.И., Абакумов Е.В.</i> КРИОКОНИТЫ КАК ИСТОЧНИК СОЕДИНЕНИЙ ЛАБИЛЬНОГО УГЛЕРОДА И ЭКОТОКСИКАНТОВ ДЛЯ ПОЧВ ВЫСОКОГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРИЭЛЬБРУСЬЯ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ	385

<i>Левшин Д.Г., Запезалов М.А., Бурков А.И.</i>	
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В СИСТЕМЕ АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ – ПОЧВА НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ	391
<i>Мурзакматов Р.Т., Шишикин А.С.</i>	
МОНИТОРИНГ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ	396
<i>Никитина И.А., Гусакова И.Е.</i>	
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ХАРАКТЕР ПОЖАРООПАСНЫХ СЕЗОНОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «АНЮЙСКИЙ» (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)	399
<i>Полумиева П.Д., Трунов А.А.</i>	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА ДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЗАГОТОВЛЕННЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛАХ	404
<i>Санин А.Ю.</i>	
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРИМОРСКИЙ ТУРИЗМ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ	408
<i>Саратовцева Е.Е., Жигачева Е.С.</i>	
ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИОКСКО-ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА	413
<i>Сатосина Е.М., Тарасова М.А., Гуцина Д.Ю., Железнова И.В., Емельянова Е.Р., Гибадуллин Р.Р., Осипов А.М., Ольчев А.В.</i>	
ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УМЕРЕННЫХ И ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ	416
<i>Суховольский В.Г., Ковалев А.В.</i>	
ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УРБОЭКОСИСТЕМЕ	421
<i>Чебыкина Е.Ю.</i>	
ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ	426
<i>Шишикин А.С., Мурзакматов Р.Т.</i>	
МОНИТОРИНГ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ	431
<i>Шишикин А.С., Пономарева Т.В., Люто А.А.</i>	
ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО МЕТОДА	434
<i>Шишикин А.С., Рассолов А.Г.</i>	
ЗАПОВЕДНИКИ – ОСНОВА ПРИРОДНО-ЗОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА?	439
СЕКЦИЯ «ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ»	442
<i>Алейников А.А.</i>	
КАРТОГРАФИРОВАНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАСПИЯ ПО ОБЩЕДОСТУПНЫМ КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ. ДИНАМИКА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ	443

<i>Ковалев А.В., Суховольский В.Г.</i>	
ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ: МОДЕЛЬ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА	447
СЕКЦИЯ «ПРИЗЕМНЫЙ КЛИМАТ»	452
<i>Антипина У.И., Самохина О.Ф., Ранькова Э.Я.</i>	
СЕЗОННЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА	453
<i>Аржанова Н.М.</i>	
МОНИТОРИНГ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ: МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ	458
<i>Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.</i>	
ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. НАЛЬЧИКЕ	462
<i>Богданович А.Ю.</i>	
ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ КАК КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННАЯ ПРИЧИНА ТРАНСФОРМАЦИИ АРЕАЛОВ ВИДОВ	467
<i>Воробьев В.А., Андреев Ф.А., Коршунова Н.Н.</i>	
МОНИТОРИНГ ВЛАГОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	471
<i>Вязилова Н.А.</i>	
О ЕЖЕМЕСЯЧНОМ МОНИТОРИНГЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	475
<i>Демежко Д.Ю., Горностаева А.А., Хацкевич Б.Д., Вдовин А.Г., Факаева Н.Р.</i>	
О ПРИРОДЕ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА ЕКАТЕРИНБУРГА	480
<i>Коршунова Н.Н., Дементьева Т.В.</i>	
ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ	485
<i>Платонов В.С., Козлов Ф.А., Бойко А.П.</i>	
ОЦЕНКА ТРЕНДОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛЬНОГО АРХИВА COSMO-CLM RUSSIAN ARCTIC HINDCAST ЗА ПЕРИОД 1980-2016	489

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ



**СТАЦИОНАРНЫЕ И МОБИЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ ИОА СО РАН ДЛЯ
МОНИТОРИНГА СОСТАВА АТМОСФЕРЫ**
**STATIONARY AND MOBILE COMPLEXES OF IOA SB RAS FOR MONITORING THE
COMPOSITION OF THE ATMOSPHERE**

*Антонович В.В., Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Белан Б.Д.,
Белан С.Б., Давыдов Д.К., Дудорова Н.В., Зенкова П.Н., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Панченко
М.В., Пестунов Д.А., Пташник И.В., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В.,
Скляднева Т.К., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В., Чернов Д.Г., Шмаргунов В.П.*
*Antonovich V.V., Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Arshinova V.G., Arshinov M.Yu., Belan B.D.,
Belan S.B., Davydov D.K., Dudorova N.V., Zenkova P.N., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Panchenko M.V.,
Pestunov D.A., Ptashnik I.V., Narrator T.M., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Sklyadneva T.K.,
Tolmachev G.N., Fofonov A.V., Chernov D.G., Shmargunov V.P.*

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
Россия, 634055, Томск, пл. Академика Зуева, д. 1

Аннотация. Наблюдающее глобальное потепление климата, согласно заключению МГЭИК, обусловлено изменением состава воздуха, в первую очередь роста концентрации парниковых газов за счет антропогенных выбросов. Это требует постоянного контроля их содержания в атмосфере. В данном сообщении дается описание измерительных комплексов парниковых газов и метеовеличин, созданных в ИОА СО РАН.

Ключевые слова: атмосфера, аэрозоль, воздух, парниковые газы, состав.

Abstract. The observed global warming of the climate, according to the conclusion of the IPCC, is due to a change in the composition of the air, primarily the increase in the concentration of greenhouse gases due to anthropogenic emissions. This requires constant monitoring of their content in the atmosphere. This report describes the measuring complexes of greenhouse gases and meteorological quantities created in the IOA SB RAS.

Keywords: atmosphere, aerosol, air, greenhouse gases, composition.

Причиной продолжающегося потепления глобального климата международным сообществом признается изменение состава воздуха за счет антропогенных выбросов. Для контроля за составом атмосферы в мире были созданы сотни станций для мониторинга концентрации газов и аэрозоля в самых разных регионах планеты. При отсутствии централизованного финансирования ряд организаций РФ начал создавать подобные пункты мониторинга в инициативном порядке. Одной из таких организаций является Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, создавший несколько стационарных и передвижных пунктов. В настоящем докладе дается их описание и приводятся основные результаты мониторинга за предыдущие десятилетия.

Исторически первой (в декабре 1992 г.) была создана TOR-станция в рамках международного проекта по исследованию тропосферного озона TOR (Tropospheric Ozone Research) европейской программы EUROTRAC. Она работает и в настоящее время. Находится на северо-восточной окраине Томского Академгородка. Полное описание дано в (Давыдов и др., 2018).

Затем в строй была введена обсерватория «Фоновая». Расположена на восточном берегу реки Оби, в 60 км к западу от Томска. Имеет координаты 56°25'07" с.ш., 84°04'27" в.д. Высота над уровнем моря 80 м. Территория окружена смешанным лесом (березы, осины и сосны обыкновенные). Большая площадь между станцией и городом Томском покрыта хвойными деревьями. Крупных промышленных объектов вблизи обсерватории не имеется. Оснащена мачтой 44 метра, на которой установлены метеорологические датчики и заборники воздуха. Для более точного определения стратификации атмосферы метеорологические датчики установлены на четырех уровнях. Это позволяет определять не только концентрации газов, но и выявлять вертикальные градиенты концентраций, отражающие влияние отдаленных и локальных источников. Полное описание станции дано в (Antonovich et al., 2018).

Для контроля концентрации парниковых газов в пригородном районе была запущена обсерватория «Базовый экспериментальный комплекс» в 3 км к востоку от TOR-станции. Имеет координаты 56°28'49" с.ш., 85°06'08" в.д. Высота над уровнем моря 120 м. Также оснащена мачтой. Технические характеристики в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики обсерватории БЭК

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность	Начало ряда
Метеоблок	Vaisala HMP45D	t, °C U, %	-40...+60 0...100	±0,2 °C ±2%	2018
	Young Model 05103	dd, град V, м/с	0...360 0...60	±3° ±0,3 м/с	2018
Блок газоанализа	LI-COR LI-820	CO ₂ , млн ⁻¹	0...1000	< 0,2* млн ⁻¹	2009-2016 2021
	ОПТЭК 3.02-П	O ₃ , мкг/м ³	0...500	± 20%	2009-2016
	ОПТЭК К-100	CO, мкг/м ³	0...50	± 20%	2009-2016
	Teledyne API 200E	NO/NO ₂ , млн ⁻¹	0...20	±0,5%	2009-2016
	ME 9850B	SO ₂ , млн ⁻¹	0...20	±1%	2009-2016
	HCNM 2000G	CH ₄ и ΣCH, млн ⁻¹	0...10	0,1	2009-2014
Радиационный блок	Kipp&Zonen CM3	λ, мкм Q, Вт/м ²	0,305...2,8 0...2000	< ± 2%	2019
	Kipp&Zonen PQS1	λ, мкм ФАР, мкмоль м ⁻² с ⁻¹	0,4...0,7	< ± 2%	2019

* при калибровке поверочными газовыми смесями (ПГС)

С целью расширения контролируемой территории в начале 2000 гг. была создана сеть JR-STATION (Japan-Russia Siberian Tall Tower Inland Observation Network). Она охватывает почти все территорию Западной Сибири. Была создана в рамках международного российско-японского сотрудничества между Институтом оптики атмосферы им. В.Е. Зуева (ИАО СО РАН) и Национальным институтом исследований окружающей среды (NIES, г. Цукуба, Япония). Все посты оснащены однотипным оборудованием. Координаты и технические характеристики его показаны в табл. 2 и 3.

Таблица 2. Координаты постов Российско-японской сети JR-STATION

Пункт	Широта, с.ш.	Долгота, в.д.	Высота, м н.у.м.	Высота уровней отбора проб, м	Начало ряда
Березоречка, Томская обл.	56°08'48"	84°19'50"	150	5, 20, 40, 80	2002
Карасевое, Томская обл.	58°14'47"	82°25'16"	50	35, 67	2004
Игрим, ХМАО	63°11'30"	64°24'48"	25	24, 47	2004-2013
Демьянское, Тюменская обл.	59°47'31"	70°52'15"	75	45, 63	2006
Ноябрьск, ЯНАО	63°26'28"	75°46'22"	100	21, 43	2006
Саввушка, Алтайский край	51°19'49"	82°07'67"	400	27, 52	2006-2014
Азово, Омская обл.	54°42'19"	73°01'45"	100	29, 50	2007
Ваганово, Челябинская обл.	54°29'50"	62°19'29"	200	42, 85	2008

Таблица 3. Технические характеристики станций сети JR-STATION

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность
Метеоблок	Vaisala HMP45D	t, °C U, %	-40...+60 0...100	±0,2 °C ±2%
	Young Model 05103	dd, град V, м/с	0...360 0...60	±3° ±0,3 м/с
	Young Model 52202	Интенсивность и количество осадков	0...50 мм/ч	±2% (<25 мм/ч), ±3% (>25 мм/ч)
	Omega PX2760	P, гПа	800...1100	±0.25%
Блок газоанализа	LI-COR LI-820	CO ₂ , млн ⁻¹	0...1000	< 0,2* млн ⁻¹
	Модифицированный датчик Figaro TGS-2611	CH ₄ , млн ⁻¹	1...10	< 0,007* млн ⁻¹
	Picarro G2301**	CO ₂ , млн ⁻¹ CH ₄ , млн ⁻¹ H ₂ O, млн ⁻¹	0...1000 0...20 0...70000	< 0,07 млн ⁻¹ <0,0005 млн ⁻¹ < 80 млн ⁻¹
	Picarro G2401***	CO ₂ , млн ⁻¹ CH ₄ , млн ⁻¹ CO, млн ⁻¹ H ₂ O, млн ⁻¹	0...1000 0...20 0...1 0...70000	< 0,05 млн ⁻¹ <0,001 млн ⁻¹ <0,015 млн ⁻¹ < 30 млн ⁻¹
Радиационный блок	Kipp&Zonen CM3	λ, мкм Q, Вт/м ²	0,305...2,8 0...2000	< ± 2%
	Kipp&Zonen PQS1	λ, мкм ФАР, мкмоль м ⁻² с ⁻¹	0,4...0,7	< ± 2%

* при калибровке поверочными газовыми смесями (ПГС)

** на станциях Демьянское и Ноябрьск (с 2016 г.)

*** на станции Карасевое (с 2015 г.)

Помимо высотных мачт в состав сеть JR-STATION входит комплекс для исследования потоков парниковых газов на границе почва-атмосфера. Две измерительные площадки расположены на Иксинском болоте, представляющем собой северо-восточный отрог Большого Васюганского болота. Примерно в 16 км от с. Плотниково Бакчарского района Томской области, на стационаре Института почвоведения и агрохимии СО РАН (56°51'29" N, 82°50'91" E). Площадка 1 в грядово-мочажинном комплексе нетронутого болота. Площадка 2 находится на краю нарушенного (мелиорированного в советское время) болота. На обеих площадках были установлены одинаковые измерительные комплексы. В 2009 г. комплекс на площадке 2 был уничтожен и восстановлен в 2019 г. Измерительный комплекс состоит из 12

автоматических камер, установленных на различных растительных сообществах болотной экосистемы. Его технические характеристики приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические характеристики комплексов оборудования для измерения потоков CH_4 и CO_2 , установленного на двух площадках Иксинского болота

Блок	Прибор/датчик	Измеряемый параметр	Диапазон	Погрешность
Метеоблок	Vaisala HMP45A	t, °C U, %	-40...+60 0...100	±0,2 °C ±2%
	Young Model 05103	dd, град V, м/с	0...360 0...60	±3° ±0,3 м/с
	Young Model 52202	Интенсивность и количество осадков	0...50 мм/ч	±2% (<25 мм/ч), ±3% (>25 мм/ч)
	Omega PX2760	P, гПа	800...1100	±0,25%
	HOBO U20-001-04 (10 шт.)	Уровень воды, м	0...4	±0,03
	Dallas DS1921L-F50	t почвы, °C	-40...+85	±1,0 °C
Блок газоанализа	LI-COR LI-820	CO_2 , млн ⁻¹	0...1000	< 0,2* млн ⁻¹
	Модифицированный датчик Figaro TGS-2611	CH_4 , млн ⁻¹	1...10	< 0,007* млн ⁻¹
Радиационный блок	Kipp&Zonen CMP-21	λ , мкм Q, Вт/м ²	0,285...2,8 0...4000	< ± 2%
	Kipp&Zonen PQS1	λ , мкм ФАР, мкмоль м ⁻² с ⁻¹	0,4...0,7	< ± 2%
	Eppley Lab. PIR	λ , мкм IR, Вт/м ²	3,5...50 0...700	< ± 3%

* при калибровке поверочными газовыми смесями (ПГС)

С целью изучения потоков парниковых газов на границе пресноводных озер создана и эксплуатируется совместно с Лимнологическим институтом СО РАН «Байкальская атмосферно-лимнологическая обсерватория» (БАЛО). Расположена на берегу оз. Байкал, в п. Большие Коты, Иркутской области. Имеет координаты – 51°53'57" с.ш. и 105°03'50" в.д.

Мобильные средства представлены автомобильным комплексом для измерений концентрации CH_4 и CO_2 . Его описание имеется в (Аршинов и др., 2020). Самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик» позволяет проводить крупномасштабные исследования. Последняя версия оснащения дана в (Belan et al., 2022). Для проведения измерений по обмену парниковыми газами на границе с водной поверхностью создан корабельный комплекс. Адаптирован для применения на всех судах флота ЛИИ СО РАН, а также может быть использован и на маломерных судах. Предназначен для одновременного высокоточного измерения фоновых концентраций углекислого газа (точность регистрации не хуже 0,3 ppm), метана (точность регистрации не хуже 3 ppb), парциального давления газа в поверхностной воде и атмосфере непрерывно по ходу судна. К настоящему времени проведено 11 рейсов по акватории Байкала.

Проведенный мониторинг показывает, что на всей территории Западной Сибири наблюдается устойчивый рост концентрации CO_2 и CH_4 и он значительно выше над южными районами. В зависимости от района увеличение концентрации углекислого газа в приземном

слое воздуха составляет 2,17-2,44 млн⁻¹ в год, метана – 6-11 млрд⁻¹ в год. Продолжается среднегодовой рост концентрации парниковых газов и в свободной атмосфере на всех высотах. Для CO₂ он в среднем составляет 2,14 млн⁻¹/год и изменяется по высоте от 2,12 до 2,17, для CH₄ – 7,9 млрд⁻¹/год и находится в диапазоне 7,2-8,4 млрд⁻¹/год. Наименьшая изменчивость характерна для N₂O. В среднем рост концентрации происходит со скоростью 0,80 млрд⁻¹/год, а изменение по высоте в пределах 0,78-0,81 млрд⁻¹/год. Летом в пограничном слое атмосферы увеличение содержания CO₂ в период с 1997 по 2004 гг. происходило медленно (0,32 млн⁻¹/год), а начиная с 2005 г., рост резко увеличился и к 2020 г. составил 2,52 млн⁻¹/год. На высоте же 7,0 км концентрация углекислого газа над юго-западной частью Западной Сибири росла практически линейно с темпом 2,13 млн⁻¹/год.

Список литературы

Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Козлов А.В., Фофонов А.В., Аршинова В.Г. (2020) Исследование пространственного распределения CO₂ и CH₄ в приземном слое атмосферы Западной Сибири с использованием мобильной платформы, *Оптика атмосферы и океана*, т. 33, № 07, с. 544-552.

Давыдов Д.К., Белан Б.Д., Антохин П.Н., Антохина О.Ю., Антонович В.В., Аршинова В.Г., Аршинов М.Ю., Ахлестин А.Ю., Белан С.Б., Дудорова Н.В., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Рассказчикова Т.М., Савкин Д.Е., Симоненков Д.В., Складнева Т.К., Толмачев Г.Н., Фазлиев А.З., Фофонов А.В. (2018) Мониторинг атмосферных параметров: 25 лет TOR-станции ИОА СО РАН, *Оптика атмосферы и океана*, т. 31, № 10, с. 845-853.

Antonovich V.V., Antokhin P.N., Arshinov M.Yu., Belan B.D., Balin Yu.S., Davydov D.K., Ivlev G.A., Kozlov A.V., Kozlov V.S., Kokhanenko G.P., Novoselov M.M., Panchenko M.V., Penner I.E., Pestunov D.A., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Tolmachev G.N., Fofonov A.V., Chernov D.G., Smargunov V.P., Yausheva E.P., Paris J.-D., Ancellet G., Law K.S., Pelon J., Machida T., Sasakawa M. (2018) For the comprehensive monitoring of the atmosphere at Fonovaya Observatory, West Siberia: current status and future needs, *Proceedings of SPIE*, vol. 10833.

Belan B.D., Ancellet G., Andreeva I.S., Antokhin P.N., Arshinova V.G., Arshinov M.Y., Balin Y.S., Barsuk V.E., Belan S.B., Chernov D.G., Davydov D.K., Fofonov A.V., Ivlev G.A., Kotel'nikov S.N., Kozlov A.S., Kozlov A.V., Law K., Mikhal'chishin A.V., Moseikin I.A., Nasonov S.V., Nédélec P., Okhlopko O.V., Ol'kin S.E., Panchenko M.V., Paris J.-D., Penner I.E., Ptashnik I.V., Rasskazchikova T.M., Reznikova I.K., Romanovskii O.A., Safatov A.S., Savkin D.E., Simonenkov D.V., Sklyadneva T.K., Tolmachev G.N., Yakovlev S.V., Zenkova P.N. 2022. Integrated airborne investigation of the air composition over the Russian sector of the Arctic, *Atmos. Meas. Tech.*, vol. 15, no. 13, pp. 3941-3967.

**ПРОГРЕСС И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТИ МОНИТОРИНГА ЧЕРНОГО
УГЛЕРОДА НА ТЕРРИТОРИИ РФ**
**PROGRESS AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF THE BLACK CARBON
MONITORING NETWORK IN THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION**

Безденежных В.А.

Bezdenezhnykh V.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. В России в настоящее время ведется работа по созданию сети мониторинга выбросов черного углерода, которая позволит не только получить информацию о количестве углеродсодержащих аэрозолей в атмосферном воздухе, атмосферных осадках, а также в снежном покрове, и их влиянии на климат, но и в дальнейшем разработать стратегию по снижению выбросов углеродсодержащих аэрозолей. В работе изложены результаты первого этапа развития сети, а также представлены ожидаемые к 20230 году результаты работ по созданию сети мониторинга черного углерода.

Ключевые слова: черный углерод, Арктика, экологический мониторинг, аэрозоли.

Abstract. In Russia, work is currently underway to create a network for monitoring black carbon emissions, which will not only provide information on the amount of carbon-containing aerosols in the atmospheric air, precipitation, as well as in snow cover, and their impact on the climate, but also further develop a strategy to reduce carbon-containing aerosol emissions. The paper presents the results of the first stage of the network development, as well as the expected results of the work on the creation of a black carbon monitoring network by 2030.

Keywords: black carbon, Arctic, aerosols, environmental monitoring.

Выбросы углеродсодержащих аэрозолей, в частности черного углерода, в атмосферу являются серьезной общемировой проблемой, так как оказывают значительное влияние на увеличение среднегодовой температуры (Кручина, Безденежных, 2022). Черный углерод представляет собой твердые частицы, размером 2,5 мкм и менее, состоящие преимущественно из чистого углерода, образующиеся в результате неполного сгорания ископаемого топлива, биотоплива и биомассы и характеризующиеся воздействием на климатическую систему за счет высокого коэффициента поглощения солнечной радиации как в атмосфере, так и за счет изменения альбедо снега и льда. В силу своих оптических свойств углеродсодержащие аэрозоли способны поглощать солнечную радиацию во всех длинах волн, что в свою очередь приводит к прогреву атмосферы за счет потепления тропосферного столба, а также ускорению таяния снежного покрова.

На основании Директивы Европейского союза о качестве воздуха государства-члены ЕС должны регулировать процедуры отбора и анализа проб мелких твердых частиц (PM_{2.5}). Для станций в сельской местности необходимо также сообщать, какое количество частиц черного углерода содержится в проанализированных пробах, поскольку измерения содержания черного углерода в воздухе включены в качестве обязательных в программу наблюдений ЕМЕП (Status of black carbon..., 2013). Отметим, что, в целом, в общеевропейских базах данных информация об измерениях черного углерода отсутствует. В общем доступе

представлены данные измерений для станций, расположенных в Финляндии (две), Германии (восемь), Ирландии (две) и по одной на Мальте, в Нидерландах и Польше. С 2012 г. в Великобритании действует сеть мониторинга черного углерода, охватывающая не только сельские, но также городские территории и территории вблизи автомагистралей (Fuller et al., 2019).

В России в настоящее время ведется работа по созданию сети мониторинга выбросов черного углерода, которая позволит не только получить информацию о количестве углеродсодержащих аэрозолей в атмосферном воздухе, атмосферных осадках, а также в снежном покрове, и их влиянии на климат, но и в дальнейшем разработать стратегию по снижению выбросов углеродсодержащих аэрозолей. Отметим также необходимость в разработке руководящих документов, на основании которых будет проводиться отбор и последующий анализ проб атмосферного воздуха, атмосферных осадков и снежного покрова для определения массовой концентрации черного углерода. В этой связи, важным блоком работ по созданию сети мониторинга черного углерода является разработка, апробация и внедрение руководящих документов по отбору и анализу проб.

Программа мониторинга содержания черного углерода в атмосферном воздухе, осадках и снежном покрове должна обеспечить:

1. Достаточный постоянный мониторинг концентраций черного углерода в атмосферном воздухе, снежном покрове и осадках.
2. Широкий пространственный охват.

Предполагается разделить станции мониторинга на 2 уровня: базовый и научный. Основной целью мониторинга на станциях базового уровня является обеспечение долгосрочных базовых химико-физических измерений, охватывающих параметры, требуемые для описания уровней концентраций черного углерода, а также временных тенденций их изменения. Существующие в отношении станций уровня базового уровня требования также предусматривают измерение метеорологических параметров. Деятельность станций базового уровня должна носить наиболее приоритетный характер при расширении сети и охватывать различные климатические зоны. Периодичность измерений базовой программы мониторинга должна быть достаточной для поддержки анализа химических и физических характеристик переноса синоптического масштаба. Время отбора проб можно увеличивать в случае, если уровни концентрации настолько низки настолько, что уровни обнаружения представляют проблему.

Станции научного уровня позволяют получать дополнительную информацию о физических/химических свойствах черного углерода, которая является необходимой для оценки загрязнения воздуха, атмосферных осадков, осадения в снежном покрове, а также его

влияния на климат, и, таким образом, будут существенным образом дополнять деятельность станций базового уровня.

Измерения на станциях научного уровня охватывают все параметры, которые требуется определять на станциях базового уровня, а также ряд дополнительных параметров, включая альbedo снега и аэрологические измерения в тропосферном столбе.

В настоящее время, на сети насчитывается три станции мониторинга черного углерода: с 2022 года наблюдения проводятся на станциях Данки (Центрального УГМС), Пинега (Северное УГМС). С 2023 г. также ведутся наблюдения на станции Зареченск (Мурманское УГМС), в 2024 году начнет работу станции Большое Голоустное (Иркутское УГМС) и Нарьян-Мар (Северное УГМС). Наблюдения ведутся по согласованной типовой программе наблюдений, представленной в табл. 5.

Таблица 5. Типовая программа наблюдений для станций мониторинга черного углерода

№ п/п	Наименование работ и наблюдений	Частота отбора проб и наблюдений	Кол-во проб в год	Место отбора проб, наблюдений	Место анализа проб
1	2	3	4	5	6
1	Отбор проб атмосферных осадков (дождь, снег) для определения сажи	Ежедневно, 1 проба за сутки	365/не менее 200	Площадка метеостанции	Лаборатория ИГКЭ
2	Определение pH атмосферных осадков	Ежедневно (в дни выпадения осадков)	не менее 200	Площадка метеостанции	(Лаборатория) станции
3.	Определение количества атмосферных осадков (предпочтительно весовым методом)	Ежедневно (в дни выпадения осадков)	не менее 200	Площадка метеостанции	(Лаборатория) станции
4.	Отбор проб снежного покрова	1 проба во время максимального снегозапаса	не менее 1	Маршрут	Лаборатория ИГКЭ
5.	Определение метеорологических параметров	Ежедневно, расчет по измерениям за каждые сутки	365	Площадка метеостанции	Площадка метеостанции
6	Отбор проб воздуха для определения сажи (кварцевые)	1 проба через сутки	120	Площадка станции	Лаборатория ИГКЭ

Для станции Нарьян-Мар предполагается также проведение аэрологических измерений. Также в 2024 г. планируется обследование станций на территории Среднесибирского УГМС с дальнейшим открытием станции в 2025 г. и определение территорий для обследования в 2025 г. и последующие годы (рис. 1).

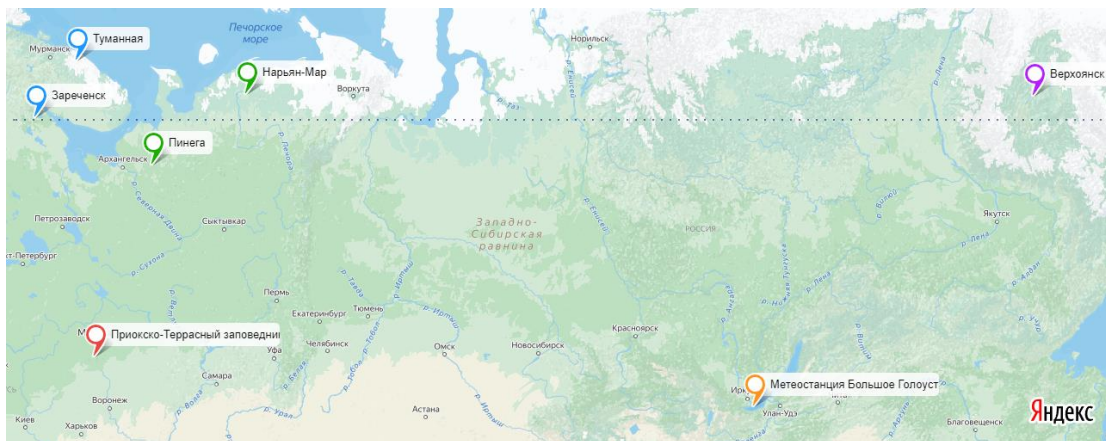


Рисунок 1. Предполагаемый географический охват сети мониторинга черного углерода до 2025 г.

Кроме того, в рамках научных исследований и апробации методик отбора, станциях ЕАНЕТ Монды и Листвянка и стационаре ЛИН СО РАН Большие Коты проводится отбор проб атмосферного воздуха для определения содержания массовой концентрации углеродсодержащего аэрозоля.

Разделение на научный и базовый уровень должно распространяться также и на аналитические лаборатории. Лаборатории научного уровня должны выполнять не только измерения массовой концентрации черного углерода в пробах атмосферного воздуха, атмосферных осадков и снежного покрова, но проводить исследования с целью определения преобладающего источника черного углерода в каждом месте отбора проб. Также в аналитической лаборатории научного уровня должны проводиться разработка и апробация методик по анализу и отбору проб.

На первом этапе функционирования сети анализ проб атмосферного воздуха, атмосферных осадков и снежного покрова для определения концентраций черного углерода проводится, в аналитической лаборатории ФГБУ «ИГКЭ». В дальнейшем, необходимо открытие региональных лабораторий базового уровня и дооснащение аналитической лаборатории ФГБУ «ИГКЭ» до научного уровня. В 2024 г. запланировано открытие региональной лаборатории на базе Иркутского УГМС, в которой будет проводиться анализ проб, поступающих со станций, расположенных в азиатской части России.

К 2029 г. планируется:

1. Открыть не менее 10 станций на территории России в различных климатических зонах, из которых не менее трех будут станции научного уровня.
2. Открыть не менее двух лабораторий, одна из которых будет являться лабораторией научного уровня.
3. Выпуск руководящих документов, регламентирующих организацию и проведение наблюдений за содержанием черного углерода, включая правила отбора, транспортировки, хранения, анализа проб.

Работа выполняется в рамках оперативно-производственных работ Росгидромета.

Тема 8.23 «Обеспечение российского участия в деятельности группы Арктического совета по черному углероду (саже) и метану».

Список литературы

Кручина Е.Б., Безденежных В.А. (2022) Унификация термина «Черный углерод», *Экология и природопользование: прикладные аспекты*, с. 137-142.

Fuller G., Green D., Font A. (2019) *Annual report for the UK black carbon network*, Imperial College London, p. 78.

Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe (2013) European Environment Agency, p. 48.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОЙ ОЦЕНКИ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ
РАЗЛОЖЕНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА ПОЧВЕННОЙ МИКРОБИОТОЙ ДЛЯ
ОЦЕНКИ НАГРУЗКИ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА НА ЭКОСИСТЕМЫ
FIELD DATA VALIDATION OF A METHOD FOR MEASURING PLANT LITTER
DECOMPOSITION RATE IN SOIL ENVIRONMENT TO ASSESS THE LOAD OF
NITROGEN COMPOUNDS ON ECOSYSTEMS**

*Буйволов Ю.А.¹⁾, Фомин Б.Н.²⁾, Аблеева В.А.³⁾, Быкова Е.П.⁴⁾, Горбачева А.Ю.⁴⁾
Buyvolov Yu.A.¹⁾, Fomin B.N.²⁾, Ableeva V.A.³⁾, Bykova E.P.⁴⁾, Gorbachova A.Yu.⁴⁾*

¹⁾ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. акад. Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБУН «Институт географии Российской академии наук»
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

³⁾ФГБУ «Приокско-Тerrasный государственный природный биосферный заповедник имени М.А. Заблoцкого»
Россия, 142200, Московская обл., г. о. Серпухов, м. Данки

⁴⁾Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

Аннотация. В 2013-2020 гг. проводились сравнительные эксперименты по измерению разложения растительного опада почвенной микробиотой в Приокско-Тerrasном биосферном заповеднике и в природно-историческом парке «Кузьминки-Люблино» г. Москвы. Выявлено, что интенсивность разложения соснового опада выше при нагрузке соединений азота на экосистемы на уровне критических значений. Также показана зависимость параметра от локальных почвенных условий, уровня загрязнения тяжелыми металлами и особенностей года. Предложено широкое внедрение метода на российских особо охраняемых природных территориях в программе комплексного фонового мониторинга.

Ключевые слова: микробиологическая активность почв, критическая нагрузка, разложение опада, комплексный фоновый мониторинг.

Abstract. Comparative analyses were conducted to measure the rate of plant litter decomposition by soil microbiota in the Prioksko-Terrasny Biosphere Reserve and in the Kuzminki-Lublino Park in Moscow in 2013-2020. It was revealed that the rate of the plant litter decomposition is higher where the nitrogen compounds load on ecosystems is at the level of critical values. The dependence of the studied parameter on soil conditions, level of pollution by heavy metals and weather conditions of the year is also shown. A wide implementation of the method in the framework of the program of integrated background monitoring in protected areas of Russia is suggested.

Keywords: microbiological soil activity of soils, critical load, decomposition of litter, integrated background monitoring.

Основная цель полевых экспериментов заключалась в верификации методики измерения скорости разложения растительного опада почвенной микрофлорой в условиях естественной среды для фонового мониторинга загрязнения биосферы азотными соединениями. Поступающий из атмосферы избыток азота воздействует на биологическую продуктивность биоценозов, при этом увеличение биологической продуктивности природных биоценозов в фоновых районах может служить показателем глобального загрязнения и/или климатических изменений. Поскольку биологическая продуктивность биоценоза складывается из отдельных биопродукционных процессов, то биологическое разложение растительного опада почвенной микрофлорой можно считать частью общего процесса, которую можно выделить и измерить внутри биоценоза, оценить биологическую активность почвенной микрофлоры в зависимости от внешних факторов, в том числе загрязнения азотом. Судя по экспериментам, проведенных

в полностью контролируемых условиях (Ларионова и др., 2017) триггерный эффект от внесения экзогенного азота в лабораторных условиях может увеличивать скорость микробиологического разложения фракций растительного опада с низким содержанием эндогенного азота (на примере хвои сосны) в 2-10 раз.

Объекты и методы. Нами выбраны фоновый и импактный полигоны, отстоящие друг от друга на расстоянии 90 км. Фоновым полигоном стал Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник (ПТБЗ), расположенный на юге Московской области. В качестве импактного полигона со схожими по климатическими и физико-географическими характеристиками, а также с природоохранными ограничениями выбран природно-исторический парк «Кузьминки-Люблино» (ПИП Кузьминки) в г. Москве. Оба полигона расположены на надпойменных террасах крупных рек Волжского бассейна (рек Оки и Москвы соответственно). На обеих территориях формируются слабо дифференцированные дерново-подзолистые почвы ржавоземы (Brunic Arenosols) на флювиогляциальных песках под преобладающими здесь растительными сообществами сосновых и березовых лесов.

Ежегодные полевые эксперименты осуществлялись на постоянных пробных площадках, заложенных в березовых и сосновых лесах, в течение 7 лет с 2013 по 2020 гг. Оценка показателя сапротрофной активности почвенной микрофлоры на пробных площадках проводилась по методу подпрограммы «Microbial decomposition» Международной совместной программы комплексного мониторинга (далее – МСП КМ) (Manual..., 1998), выполняемой в рамках Конвенции о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния. Согласно методу, потеря биомассы опада сосновой хвои (*Pinus sylvestris* L.) и хлопчатобумажной ткани, упакованных в сетчатые конверты из инертного материала при их экспозиции в естественной среде измерялась гравиметрическим методом. Пробы закладывались сериями по 5-10 конвертов на каждой пробной площадке обоих полигонов в верхние 5 см почвы и экспонировались в течении одного или двух полных лет.

Текущий уровень антропогенного загрязнения природных сред определяется содержанием загрязняющих веществ в приземном слое атмосферы и их выпадением из атмосферы на подстилающую поверхность с мокрыми и сухими осадками. Для расчета потоков использованы данные о содержании загрязняющих веществ в приземном воздухе из официальных источников (Доклад..., 2015; Обзор..., 2015). Из основных контролируемых загрязнителей наиболее близка к значению ПДК концентрация двуокиси азота в воздухе г. Москвы. Опираясь на имеющиеся данные по концентрации соединений азота и серы в городском воздухе и закономерности формирования осадков в городе (Трифорова-Яковлева и др., 2014), можно утверждать, что суммарные выпадения азота и серы в границах МКАД

г. Москвы составляют более 1 г/м^2 в год, преимущественно за счет вклада сухих осадений. Для оценки воздействия загрязняющих веществ на природные экосистемы используется методология определения критических нагрузок (Припутина, 2015). Сравнительные оценки атмосферного осадения и критических нагрузок соединений азота и серы, поступающих на подстилающую поверхность в Москве и ПТБЗ представлены в табл. 6.

Таблица 6. Суммарные атмосферные выпадения диоксида серы и соединений азота в Москве и Приокско-Террасном биосферном заповеднике (ПТБЗ) в 2013-14 гг., г/м^2 в год

Ингредиент	Москва	ПТЗ	Критическая нагрузка
Диоксид серы	> 1	0,21	1,6-2,4
Соединения азота	> 1	0,36	0,56-0,98

В Москве величина атмосферного осадения азотных соединений превышает уровень критической нагрузки, а в ПТБЗ нагрузка в 2-3 раза ниже этого уровня. По большинству других ингредиентов уровни загрязнения природных сред сравниваемых полигонов хотя и различаются, но не выходят за пределы санитарных норм, что позволяет считать эти различия не существенными. Исключение составляет почвенный покров на пробной площадке в березняке ПИП Кузьминки. Здесь отмечено превышение гигиенических нормативов ОДК для нейтральных суглинистых почв по валовому содержанию свинца (160 мг/кг при ОДК 130) и кадмия (4 мг/кг при ОДК 2 мг/кг). Высокие концентрации тяжелых металлов в почве связаны с размещением здесь в 1950-х годах полигона захоронения отходов.

Полученные исходные данные разложения хвои и целлюлозы, а также результаты их статистического анализа опубликованы в депозитории <https://zenodo.org> (Buyvolov et al., 2022). При верификации выявлено, что экспозиция иголок сроком более 1 года, как рекомендовано в методике МСП КМ, избыточна для ведения фоновый мониторинга и рационально вести наблюдения только при стандарте экспозиции хвойного опада в 1 год. Это связано с тем, что разложения целлюлозы растительного опада в значительной степени контролируется азотом только на ранних стадиях (Talbot et al., 2012; Berg, McClaugherty, 2020). Такая модификация метода позволит существенно сократить трудозатраты при получении сравнимых по годам и участкам результатов.

Обобщенные данные для верификации возможности использования полевой методики оценки показателя сапротрофной активности почвенной микрофлоры для долговременных стационарных наблюдений по программе комплексного фоновый мониторинга представлены в табл. 7.

Таблица 7. Матрица попарных сравнений уровней сапротрофной активности почвенной микрофлоры пробных площадок в сосняках и березняках ПИП Кузьминки и ПТБЗ; в левом треугольнике разность многолетних средних значений (%), в правом – коэффициенты линейной корреляции годовых колебаний за период с 2014 по 2020 г.

Полигон	Площадка	ПИП Кузьминки		ПТБЗ	
		сосняк	березняк	сосняк	березняк
ПИП Кузьминки	сосняк	—	0,92	0,77	0,81
	березняк	5,90	—	0,96	0,92
ПТБЗ	сосняк	5,95	0,05	—	0,96
	березняк	-3,85	-9,75	-9,80	—

Высокие коэффициенты линейной корреляции, представленные в верхнем треугольнике матрицы попарных сравнений, показывают, что многолетние колебания скорости разложения опада сосновой хвои в сетчатых конвертах на пробных площадках обоих полигонов происходят синхронно. Установленная синхронность обусловлена, вероятно, погодными особенностями каждого года, которые сходны для обоих полигонов.

Выявленное статистически достоверное при $p \leq 0,01$ ускорение разложения опада сосновой хвои в почве сосняка ПИП Кузьминки, по сравнению с сосняком ПТБЗ на 5,95% (нижний треугольник матрицы попарных сравнений), вероятнее всего, обусловлена повышенным выпадением азота, что позволяет оценивать загрязненность атмосферы азотными соединениями по измеряемым показателям сапротрофной активности почвенной микрофлоры. Но сравнение разностей показателей скорости разложения опада сосновой хвои между березняком и сосняком в разных полигонах выявляет неоднозначную картину. При сравнении березняков на разных полигонах выявлено замедление разложения на почти 10% при $p \leq 0,01$. Наиболее вероятной причиной этого является возможное угнетение сапротрофной активности почвенной микрофлоры содержащимися в почвах березняка ПИП Кузьминки высокими концентрациями кадмия и свинца. Но, также возможно, что в почве березняков за счет более высокой насыщенности азотфиксирующими бактериями базовый уровень концентрации минерального азота выше, чем в почве сосняков, что показывает более высокая скорость разложения хвойного опада в березняках ПТБЗ (+5,90%).

Заключение. Сравнение параметров скорости разложения опада в семилетнем ряду стационарных наблюдений позволило достоверно установить увеличение скорости разложения соснового опада при нагрузке по азоту на уровне критических значений.

Стационарные наблюдения за скоростью потери биомассы опада в подстилке являются эффективным методом мониторинга изменения состояния почвенного покрова и экосистем в целом под воздействием внешних факторов, таких как климатические изменения и антропогенное загрязнение. Полученные результаты и мировая практика использования

измерения скорости микробиологического разложения для оценки воздействия загрязнения на экосистемы дают основание предложить этот метод для широкого применения на особо охраняемых природных территориях в программе комплексного фоновый мониторинга для выявления воздействия загрязнения на экосистемы и биоклиматических изменений.

Исследование выполнено в рамках программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и темы государственного задания 121040800147-0 Института географии РАН.

Список литературы

Доклад «О состоянии окружающей среды в городе Москве в 2014 году» (2015) М., ДПиООС, НИА-Природа, 384 с. URL: <https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/63285220/>.

Ларионова А.А., Квиткина А.К., Быховец С.С., Лопес-де-Гереню В.О., Колягин Ю.Г., Каганов В.В. (2017) Влияние азота на минерализацию и гумификацию лесных опадов в модельном эксперименте, *Лесоведение*, № 2, с. 128-139.

Обзор фонового состояния окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2013-2014 гг. (2015) Под ред. Г.М. Черногаева, М., ИГКЭ, 138 с., URL http://downloads.igce.ru/publications/obz_fon_2/of_2015.pdf.

Припутина И.В. 2015. Методология критических нагрузок и ее развитие в связи с конвенцией о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 26, № 2, с. 80-96.

Трифорова-Яковлева А.М., Громов С.А., Еремина И.Д. (2014) Исследование изменений химического состава атмосферных осадков в условиях городского загрязнения воздушной среды, «Современные достижения и проблемы в области изучения окружающей среды», *Материалы Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием*, Барнаул, 01-08 августа 2014 г., Барнаул, Алтайский государственный университет, с. 93-96.

Berg B., McClaugherty C. (2020) *Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration*, 4th edition, Berlin, Springer, URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-59631-6>.

Buyvolov Yu.A., Gorbacheva A.Yu., Bykova E.P., Ableeva V.A., Fomin B.N. (2022) *Data of microbiological decomposition monitoring of pine coniferous litter in the soils at the Moscow region by the ICP IM method (1.0)* [Data set], URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.6457860>.

Manual for Integrated Monitoring, August (1998) ICP IM Programme Centre Finnish Environment Institute, Helsinki, Finland, URL: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/242414>.

Talbot J.M., Yelle D.J., Nowick J., Treseder K.K. (2012) Litter decay rates are determined by lignin chemistry, *Biogeochemistry*, vol. 108, no. 1-3, pp. 279-295, URL: <https://doi.org/10.1007/s10533-011-9599-6>.

**ИЗОТОПНЫЕ УРАВНЕНИЯ ПОЗВОЛЯЮТ ОЦЕНИТЬ ДИНАМИКУ
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДЕ И ИЗМЕНЕНИЕ ГАЗОВОГО
СОСТАВА**

**ISOTOPE EQUATIONS ALLOW EVALUATION OF DYNAMICS OF
MICROBIOLOGICAL PROCESSES IN WATER AND CHANGES IN GAS
COMPOSITION**

Вавилин В.А., Локшина Л.Я.

Vavilin V.A., Lokshina L.Y.

Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Аннотация. В докладе анализируется, почему в микробиологических процессах кривые изменений концентраций веществ, содержащих легкие и тяжелые стабильные изотопы одного и того же химического элемента, отличаются. Приводятся примеры процессов, для анализа которых в модель в качестве переменных включаются как концентрации веществ, содержащих более легкие изотопы, так и имеющие гораздо меньшие значения концентрации веществ, содержащих более тяжелые изотопы. Делается вывод о том, что динамика стабильных изотопов важна для описания происходящих процессов.

Ключевые слова: динамика экологических процессов, анаэробное разложение, кинетический изотопный эффект, динамическое изотопное уравнение.

Abstract. The paper analyzes why the curves of changes in concentrations of substances containing light and heavy stable isotopes of the same chemical element differ in microbiological processes. Examples are given of processes for the analysis of which both concentrations of substances containing lighter isotopes and heavier isotopes are included in the model as variables, although concentrations of substances containing heavier isotopes are much lower than concentrations of substances containing lighter isotopes. It is concluded that the dynamics of stable isotopes is important for describing the ongoing processes.

Keywords: dynamics of ecological processes, anaerobic degradation, kinetic isotope effect, dynamic isotope equation.

Реконструкции концентраций CO₂ в атмосфере по кернам антарктического льда выявили существенные изменения в эпоху голоцена. Анализ многолетних изменений изотопов углерода привел к пониманию, почему содержание CO₂ в земной атмосфере тесно связано с циклами оледенения Земли (Schmitt et al., 2012). При этом было обнаружено, что кривые изменений CO₂ и их изотопов ¹³CO₂ не совпадают.

Анаэробное разложение органических веществ является последовательным процессом, в котором принимают участие ряд ключевых групп микроорганизмов. При моделировании этого процесса традиционно рассматриваются такие стадии как деполимеризация полимеров и гидролиз мономеров органических веществ, кислотогенез, ацетогенез и метаногенез (Batstone et al., 2002). Сравнительно недавно в математических моделях стали использовать переменные, включающие стабильные изотопы (Вавилин, Локшина, 2022).

Целлюлоза и гемицеллюлоза являются основными биоразлагаемыми компонентами в естественных экосистемах. В результате образуется метан и углекислый газ. Поскольку в качестве переменных общей системы фигурируют как растворенные, так и газовые

составляющие, в модели необходимо рассматривать переход растворенных компонентов в газовую фазу и наоборот. В общем случае микробное разложение органического вещества, происходящее в воде, идет через последовательные и параллельные реакции. Существует два основных пути образования метана - ацетокластический (из ацетата) и водородотрофный (из водорода и углекислого газа). Водородотрофный метаногенез, в отличие от ацетокластического, является быстрым процессом.

Уравнение Релея, изначально предложенное для описания диффузии газов, обычно применяется и для вычисления фактора фракционирования (разделения) стабильных изотопов:

$$R_t / R_0 = (S_t / S_0)^{(1/\alpha - 1)}$$

где R_0 и R_t – отношение тяжелого и легкого стабильных изотопов в субстрате в момент времени 0 и t , соответственно; S_0 и S_t – начальная и текущая концентрации субстрата; α – фактор фракционирования стабильных изотопов между субстратом и продуктом в закрытой и полностью перемешиваемой системе. В природе соотношение содержания в веществе стабильных изотопов углерода $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ мало и составляет по порядку величины 0,01. Традиционно, это соотношение называется изотопной сигнатурой δ и рассчитывается в промиллях (тысячных долях) относительно стандартного образца Pee Dee Belemnite (PDB) по следующей формуле (Craig, 1957):

$$\delta^{13}\text{C}(\text{‰}) = \left[\frac{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обп}}}{(^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{PDB}}} - 1 \right] \times 1000$$

Изотопная сигнатура δ применяется для описания кинетического изотопного эффекта. При моделировании динамики изотопов, вместо использования величин δ , нами (Vavilin, Rytov, 2017; Вавилин, Локшина, 2022) впервые стали использоваться абсолютные величины концентраций более тяжелых составляющих субстрата (S), продукта (P) и биомассы микроорганизмов (B), несмотря на их малые значения:

$$\frac{d^h S}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{^h S}{S} \frac{dS}{dt} \quad \frac{d^h P}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{^h S}{S} \frac{dP}{dt} \quad \frac{d^h B}{dt} = \frac{1}{\alpha} \frac{^h S}{S} \frac{dB}{dt}$$

где $^h S$, $^h P$, $^h B$ – концентрации субстрата, продукта и биомассы с более тяжелым изотопом ^{13}C . Используя динамические изотопные уравнения, можно описать весь метаболический путь для участвующих субстратов, продуктов и соответствующей биомассы. Для них необходимо определить соответствующие стехиометрические уравнения. Концентрация веществ, содержащих изотоп ^{13}C ($^h S$, $^h B$ и $^h P$), оказывается много меньше концентрации веществ его не

содержащих (S , B и P). Сомножителем в изотопных уравнениях для более тяжелых компонентов биомассы и продукта, наряду с производной для общих переменных S , B и P , является относительное содержание изотопа ^{13}C в суммарном субстрате $^hS/S$, объединяющем как более тяжелый ^{13}C , так и легкий ^{12}C изотопы. Таким образом, тип динамической кривой для компонентов, содержащих ^{13}C , может не совпадать с динамикой общих переменных S , B и P .

На рис. 2, в качестве примера, приведены экспериментальные данные и модельные расчеты для процесса накопления метана и углекислого газа в образцах из тундрового болота. В модели деполимеризация полимеров целлюлозы (медленный процесс) и кислотогенез (быстрый процесс) были рассмотрены совместно. По кинетике 1-го порядка (рис. 2а), взвешенный полимер целлюлозы переходит непосредственно в растворенные ацетат, водород и CO_2 (рис. 2а, b, d). Из динамики изотопов ^{13}C (изотопных сигнатур) в метане и углекислом газе (рис. 2f) можно заключить, что резкое падение концентрации растворенного водорода (рис. 2b) приводит в момент времени t_{cr} к резкому замедлению роста водородотрофных метаногенов и замене типа метаногенеза с водородотрофного на ацетокластический (рис. 2е). Фактор фракционирования стабильных изотопов углерода α при водородотрофном метаногенезе гораздо больше, чем при ацетокластическом метаногенезе.

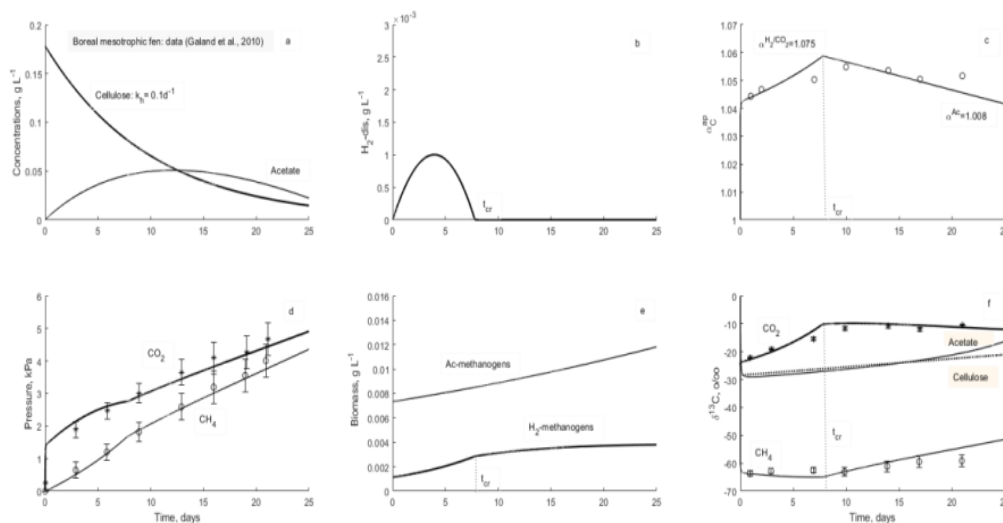


Рисунок 2. Зависимость основных и изотопных переменных от времени при моделировании экспериментов по метанизации торфа в образцах из тундрового болота

Эксперимент: Galand et al. (2010), динамическая модель: Vavilin et al. (2018). α_C^{ap} – кажущийся фактор фракционирования изотопа ^{13}C между CO_2 и CH_4 (Whiticar et al., 1986) (рис. c), $\delta^{13}\text{C}$ – изотопные сигнатуры углерода в диоксиде углерода, метане, целлюлозе и ацетате, которые в модели вычисляются, зная соответствующие значения величин ^{13}C (рис. f)

На рис. 3 представлены результаты включения аэрации на свалке бытового мусора. В модели процессы деполимеризации полимера целлюлозы и кислотогенеза ее мономера рассматриваются отдельно (рис. 3а).

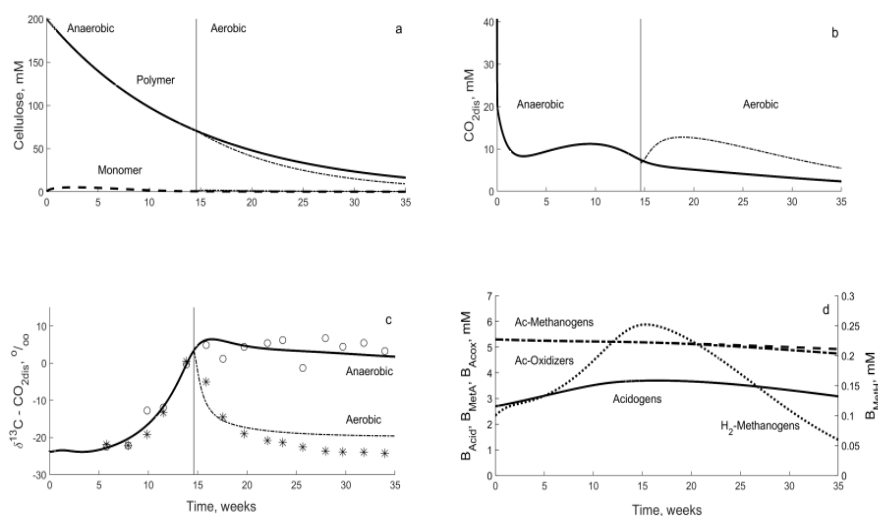


Рисунок 3. Зависимость основных и изотопных переменных от времени при моделировании экспериментов с образцами, полученными из свалки бытового мусора

Эксперимент: Wimmer et al. (2013); динамическая модель: Vavilin, Lokshina (2023)

При аэрации образование метана прекращается, а целлюлозные отходы и ацетат превращаются исключительно в двуокись углерода, увеличивая ее концентрацию (рис. 3b):



При этом концентрация биомассы водородотрофных метаногенов падает (рис. 3d) и содержание ^{13}C в растворенном углекислом газе уменьшается (рис. 3c).

В статье (Вавилин, Локшина, 2022) приведена сводка для 11 моделируемых микробиологических процессов с указанием максимальных удельных скоростей роста биомассы и факторов фракционирования изотопов α .

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

Вавилин В.А., Локшина Л.Я. (2022) Применение базовых изотопных уравнений для описания динамики микробиологических процессов: перераспределение дейтерия, *Биофизика*, т. 67, № 6, с. 1143-1157, URL: <https://doi.org/10.31857/S0006302922060114>.

Schmitt J., Schneider R., Elsig J., Leuenberger D., Lourdantou A., Chappellaz J., Kohler P., Joos F., Stocker T.F., Leuenberger M., Fischer H. (2012) Carbon isotope constraints on the glacial CO₂ rise from ice cores, *Science*, 336(6082), pp. 711-714 URL: <https://doi.org/10.1126/science.1217161>.

Batstone D.J., Keller J., Angelidaki I., Kalyuznyi S.V., Pavlostathis S.J., Rozzi A., Sanders W.T.M., Siegrist H., Vavilin V.A. (2002) The IWA Anaerobic Digestion Model No. 1 (ADM1), *Water Sci. Technol.*, vol. 45 (10), pp. 65-73, URL: <https://doi.org/10.2166/wst.2002.0292>.

Craig H. (1957) Isotopic standards for carbon and oxygen and correction factors for mass-spectrometric analysis of carbon dioxide, *Geochim. Cosmochim. Acta*, vol. 12, pp. 133-149, URL: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(57\)90024-8](https://doi.org/10.1016/0016-7037(57)90024-8).

Galand P., Yrjälä K., Conrad R. (2010) Stable carbon isotope fractionation during methanogenesis in three boreal peatland ecosystems, *Biogeosciences*, vol. 7, pp. 3893-3900, URL: <https://doi.org/10.5194/bg-7-3893-2010>.

Vavilin V.A., Rytov S.V. (2017) Dynamic changes of carbon isotope apparent fractionation factor to describe transition to syntrophic acetate oxidation during cellulose and acetate methanization, *Isotopes in Env. Health Studies (IEHS)*, vol. 53, pp. 134-156, URL: <http://dx.doi.org/10.1080/10256016.2016.1194836>.

Vavilin V.A., Rytov S.V., Lokshina L.Y. (2018) Modelling the specific pathway of CH₄ and CO₂ formation using carbon isotope fractionation: an example for a boreal mesotrophic fen, *Isotopes in Env. Health Studies (IEHS)*, vol. 54, pp. 475-493, URL: <https://doi.org/10.1080/10256016.2018.1478820>.

Whiticar M.J., Faber E., Schoell M. (1986) Biogenic methane formation in marine and fresh water environments: CO₂ reduction vs. acetate fermentation – isotope evidence, *Geochim. Cosmochim. Acta*, 12, 50, pp. 693-709, URL: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(86\)90346-7](https://doi.org/10.1016/0016-7037(86)90346-7).

Wimmer, B., Hrad, M., Huber-Humer, M., Watzinger, A., Wyhlidal, S., Reivhenauer, T.G., (2013) Stable isotope signatures for characterising the biological stability of landfilled municipal solid waste, *Waste Manag.*, vol. 33, pp. 2083-2090, URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2013.02.017>.

Vavilin V.A., Lokshina L.Y. (2023) Carbon and hydrogen dynamic isotope equations are used to describe the dominant processes of waste biodegradation: Effect of aeration in methanogenic phase of the landfill, *Waste Manag.*, vol. 166, pp. 280-293, URL: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.04.027>.

**МОДЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНУТРЕННЕГО ВОДООБМЕНА НА
РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЙ В СЛОЖНОДОЛИННОМ
ВОДОХРАНИЛИЩЕ**

**MODEL ASSESSMENT OF THE INFLUENCE THE INTERNAL WATER EXCHANGE
ON THE SPREAD OF POLLUTION IN A COMPLEX-VALLEY RESERVOIR**

Даценко Ю.С., Пуклаков В.В.

Datsenko Yu.S., Puklakov V.V.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д.1

Аннотация. В работе анализируется влияние процессов внутреннего водообмена на распространение загрязняющих веществ в многолопастном водохранилище. Расчеты времени добегания загрязнений от створа поступления до водозаборного створа проведены по гидрологической модели на примере Вазузского водохранилища. Установлены зависимости времени добегания загрязняющих веществ до водозаборного створа от гидрологического режима притоков водохранилища и расходов воды на перекачку. Расчеты проведены для различных условий перекачки воды из Вазузского водохранилища в 1984 и 2002 гг.

Ключевые слова: Вазузское водохранилище, загрязняющие вещества, внутренний водообмен.

Abstract. The study analyzes the influence of internal water exchange processes on the spread of pollutants in a multipath reservoir. Calculations the time of pollution distribution from the intake target to the pumping gate were carried out according to the hydrological model on the example of the Vazuz reservoir. The dependences of the time of pollutants reaching the pumping station from the hydrological regime of the tributaries and the water consumption for pumping are established. Calculations were carried out for various conditions of pumping water from the Vazuz reservoir in 1984 and 2002.

Keywords: Vazuz reservoir, pollutants, internal water exchange.

Адекватное воспроизведение процессов тепло-массообмена в водохранилищах предоставляет возможность моделировать процессы распространения загрязняющих веществ (ЗВ) при их поступлении в водохранилище в результате залповых сбросов. В общем случае скорость распространения ЗВ в водохранилище определяется сложным комплексом процессов внутреннего водообмена. Особенности этих процессов в любом водохранилище зависят от режима работы гидроузла, морфологических особенностей ложа водохранилища, гидрометеорологических условий, определяющих внутриводоемный перенос водных масс.

При возникновении залповых точечных загрязнений время добегания ЗВ до намеченных створов и степень разбавления ЗВ, т.е. уменьшения их концентраций под влиянием смешения с водами водохранилища при различных условиях сброса ЗВ и в различные фазы гидрологического режима, можно определить численными экспериментами по гидрологической модели, используя различные сценарии режима поступления ЗВ и различных фаз гидрологического режима. Особенно актуальны такие расчеты для сложнодолинных водохранилищ, в которых водозаборы расположены в центральных частях водохранилища. Примером такого водохранилища может служить Вазузское водохранилище в системе водоснабжения г. Москвы, из которого периодически осуществляется перекачка вод р. Вазузы

на москворецкий склон (Немальцев, Эдельштейн, 1989). На этом водохранилище имеются потенциальные источники залповых загрязнений в виде сбросов сточных вод городов, расположенных на его берегах. Места расположения этих источников и створ перекачки воды водохранилища показаны на рис. 4.

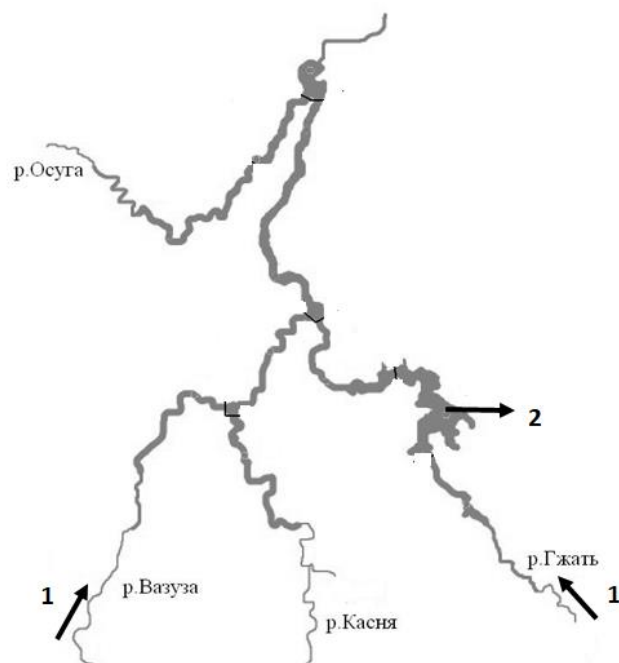


Рисунок 4. Схема Вазузского водохранилища
1 – створы поступления ЗВ в водохранилище, 2 – створ водозабора воды в канал

Для численных сценарных расчетов использовалась квазидвухмерная продольно-вертикальная боксовая модель ГМВ-МГУ, расчетные алгоритмы которой и результаты верификации детально представлены в работе (Гидроэкологический режим водохранилища..., 2015). Процессы внутреннего водообмена и перенос пассивных загрязнений в отдельных плесах сложнодолинного водохранилища моделируются на основе расчетов внутренних потоков воды и массы ЗВ с суточным шагом в отдельных боксах, концентрации ЗВ в которых считаются однородными. В численных экспериментах под ЗВ понималось некоторое условное консервативное вещество, растворенное в воде, концентрация которого изменяется только в результате процессов внутреннего водообмена.

Расчеты проводились с целью выявить зависимости времени добегания ЗВ от места залпового сброса до створа забора воды на перекачку в москворецкий источник водоснабжения г. Москвы от гидрологических условий и режима работы гидроузлов.

Концентрация условного (модельного) ЗВ принималась величиной постоянной, длительность поступления ЗВ в водохранилище не изменялась, расход сточных вод изменялся

от 0,03 до 0,3 м³/с. Сценарные расчеты по модели ГМВ осуществлялись по данным за многоводный 1984 г. и маловодный 2002 г. Условия экспериментов отличались друг от друга по водности и по режиму работы гидротехнических сооружений на Вазузском водохранилище. Время добегания определялось, как разница между датой поступления ЗВ в водохранилище и датой их обнаружения в расчетном створе.

Наибольшее значение для изменения внутреннего водообмена в течение года, а, следовательно, и переноса ЗВ, имеют водность сезона, режим работы Зубцовского гидроузла, перекачка воды в Яузское водохранилище и расходы сбросов загрязненных вод. Степень воздействия работы гидротехнических сооружений на распространение ЗВ неодинакова в течение года и зависит от объемов водозабора и сброса воды. Влияние расходов сбросов загрязненных вод на время добегания неоднозначно и зависит от фазы гидрологического режима. Расчетами показано, что в периоды половодья существенно сокращается время добегания ЗВ от места их поступления до водозаборов, однако концентрации загрязнений резко снижаются в результате разбавления водами притоков в эту многоводную фазу режима. Как показали расчеты, при работе насосной станции перекачки воды в Яузское водохранилище возможно поступление ЗВ в водозаборный плес в результате возникновения компенсационных и плотностных течений, распространяющимися вверх по водохранилищу.

В условиях 1984 г. ЗВ, поступающие в водохранилище в период зимней межени (январь) и весеннего половодья (апрель) из пункта на р. Вазуза, во время работы насосной станции водозабора (31 марта – 1 июня) достигают водозаборного плеса Гжатской лопасти через 145 и 34 дня соответственно. В условиях 2002 г. сроки перекачки приходятся на осенний период, поэтому района расположения водозабора в Яузское водохранилище достигают только ЗВ, поступившие в Вазузу в летний и осенний сезон. Время добегания ЗВ, поступающих в водоем 15 июня и 20 сентября, составляет соответственно 127 и 67 суток.

В периоды работы насосной станции в водоеме возникают противотечения, направленные к водозаборному плесу Гжатской лопасти, в результате становится возможным поступление ЗВ в водозаборный плес. Модельными расчетами установлены зависимости времени добегания ЗВ, поступивших в притоки водохранилища р. Вазузу и р. Гжать от величин расходов воды на перекачку (рис. 5), которые показывают уменьшение времени добегания при увеличении расходов перекачки. Увеличение расходов перекачки воды в 7 раз снижает время добегания ЗВ, поступающих в Вазузу и Гжать в 2 и 2,5 раза соответственно. Следовательно, управляя работой насосной станции можно увеличить или наоборот сократить время добегания ЗВ до водозаборного плеса.

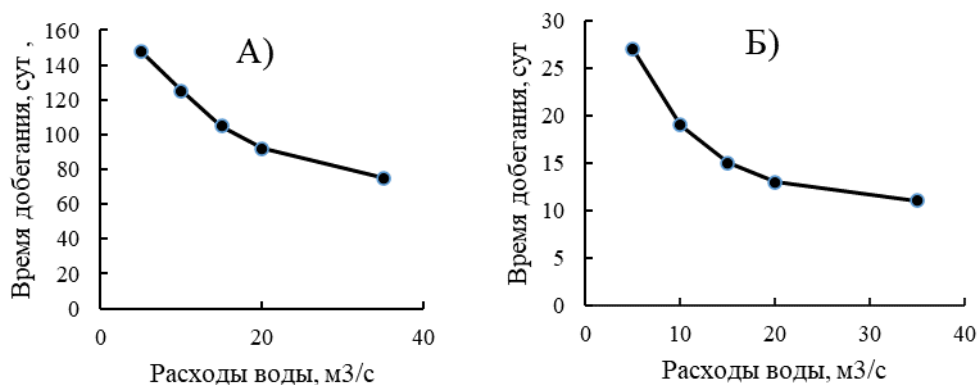


Рисунок 5. Зависимость времени добегания ЗВ, поступающих из р.Вазузы (А) и р.Гжати (Б) до водозаборного плеса от расходов воды на перекачку

На величину времени добегания существенное влияние оказывают также расходы притоков водохранилища, в которые поступают загрязнения. Для установления связи времени добегания ЗВ с водностью сезона по ряду среднесуточных расходов воды для р. Осуги, р. Гжать и р. Вазузы за 1984 и 2002 гг. были вычислены средние расходы за зимний, летний, осенний сезон и период половодья. Сопоставив эти величины со значениями среднего времени добегания, получили экспоненциальные зависимости этого времени от расходов притоков.

Установленные расчетами различия в характере распространения загрязнений в рассматриваемые годы объясняются недостаточно сильным влиянием перекачки из Вазузского водохранилища. В условиях 1984 г. малые объемы водозабора воды и значительные сбросы воды через Зубцовский гидроузел препятствовали возникновению компенсационного течения, поэтому основное перемещение ЗВ происходило в сторону плотины. В условиях 2002 г., когда длительность перекачки составила почти 4 месяца, а ежедневные объемы переброски в Яузское водохранилище увеличились почти в 2 раза, более интенсивное продвижение ЗВ происходило вверх по течению. К тому же поверхностные сбросы в нижний бьеф Зубцовского гидроузла в осенний период 2002 г. не осуществлялись, что заметно увеличило время добегания ЗВ до расчетного створа.

Один из расчетных сценариев предусматривал возможность поступления ЗВ в водозаборный плес в случае сброса загрязнений в верховьях наиболее близко расположенного к плотине Осугского плеса водохранилища. Расчетами было показано, что при гидрометеорологических условиях рассматриваемых лет и при заданных режимах поступления сбросов ЗВ не достигают водозаборного плеса. Их основное накопление происходит у плотины, где влияние перекачки уже отсутствует и велика роль поверхностных сбросов Зубцовского гидроузла. В периоды повышенной водности они препятствуют продвижению ЗВ вверх по водохранилищу.

Таким образом, модельными расчетами удалось проследить динамику продвижения ЗВ к месту водозабора воды, выявить причины, оказывающие влияние на скорость переноса ЗВ и определить характер их изменения. Наибольшее значение среди природных факторов, определяющих величину времени добегания ЗВ до водозаборов, имеет водность сезона, а из водохозяйственных факторов – сбросы через Зубцовский гидроузел, перекачка насосной станцией воды в Яузское водохранилище и расходы сбросов загрязненных вод. При этом степень воздействия водохозяйственных факторов неодинакова, она определяется объемами водозаборов воды и неоднозначна в разные сезоны года. Сравнительный анализ показал, что характер распространения ЗВ в 2002 г. и в 1984 г. существенно различался в результате изменения гидрологических условий, режима работы Зубцовского гидроузла и насосной станции, перекачивающей воду в Яузское водохранилище.

Список литературы

Гидроэкологический режим водохранилища Подмосковья (2015) М., Перо, 284 с.

Немальцев А.С., Эдельштейн К.К. (1989) Основные сведения о водохранилищах Москворецко-Вазузской водной системы, *Оценка ресурсов и качества поверхностных вод*, М., Изд-во МГУ, с. 104-108.

**ДЕТАЛИЗАЦИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТРЕНДОВ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ НА
ТЕРРИТОРИИ РФ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КВАНТИЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ И
КЛАСТЕРИЗАЦИИ**

**DETAILING OF CLIMATIC TRENDS OF TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN
THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION USING QUANTILE REGRESSION
AND CLUSTERING**

Лавров А.С., Стерин А.М.

Lavrov A.S., Sterin A.M.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой
центр данных»
249035 Калужская область г. Обнинск, ул. Королева, 6

Аннотация. С использованием метода квантильной регрессии, дающего детальную картину климатических трендов для любого из квантилей в интервале от 0 до 1, выполнены расчеты климатических трендов максимальной суточной температуры и суточных сумм осадков для территории РФ. Для расчетов используются данные наблюдений по более чем 1400 метеорологических станций за период с 1987 по 2021 годы включительно.

Проведена кластеризация рассчитанных климатических трендов и проанализированы пространственные особенности полученных кластеров метеорологических станций и их соответствие квазиоднородным климатическим регионам, используемым для оценок в ежегодных «Обзорах Росгидромета об особенностях климата на территории РФ».

Ключевые слова: температура, сумма осадков, климатический тренд, квантиль, квантильная регрессия, кластер.

Abstract. Using the method of quantile regression, which gives a detailed picture of climate trends for any of the quantiles in the range from 0 to 1, calculations of climate trends of maximum daily temperature and daily precipitation for the territory of the Russian Federation were made. For calculations, observational data from more than 1400 meteorological stations for the period from 1987 to 2021 inclusive are used.

The clustering of the calculated climate trends was carried out and the spatial features of the obtained clusters of meteorological stations and their correspondence to the quasi-homogeneous climatic regions used for assessments in the annual “Roshydromet’s Surveys on the Peculiarities of the Climate on the Territory of the Russian Federation” were analyzed.

Keywords: temperature, total precipitation, climate trend, quantile, quantile regression, cluster.

Традиционно применяемые в климатологии оценки климатических трендов, основанные на методе наименьших квадратов, позволяют оценивать долгопериодные тенденции изменения матожидания предиктанта. Метод квантильной регрессии (Koenker, Bassett, 1978) позволяет оценивать параметры регрессии для каждого квантиля предиктанта от нуля до единицы, давая более детальное, по сравнению с методом наименьших квадратов, представление об изменении метеорологических характеристик с течением времени. В частности, он дает оценки трендов значений метеовеличин, близких к экстремальным (для значений квантилей, близких к нулю и близких к единице).

В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» с помощью метода квантильной регрессии проводится исследование детальной структуры климатических трендов как для температуры в свободной атмосфере (Стерин, Лавров, 2021) по радиозондовым данным, так и для приземной температуры (Стерин, Лавров, 2022а, б).

В работе (Стерин, Лавров, 2022а) исследование климатических трендов приземной температуры проводится на данных более чем 1400 станций на территории России. Для пространственного обобщения полученных квантильных оценок трендов была выполнена

кластеризация в многомерном пространстве, учитывающем сезонные характеристики процесс-диаграмм трендов аномалий минимальной, максимальной и средней суточной температур. В результате кластеризации было показано, что, несмотря на отсутствие среди переменных многомерного пространства характеристик географического положения станций наблюдений, полученные кластеры не только располагаются географически компактно, но и хорошо соответствуют известному разделению территории России на квази-однородные климатические регионы.

В качестве следующего шага анализа климатических трендов методом квантильной регрессии представляется целесообразным вычисление трендов по характеристикам как температуры, так и осадков, и кластеризация станций по характеристикам трендов обеих этих метеовеличин. Отметим, что квантильная регрессия использовалась для совместного анализа детальной структуры трендов температуры и осадков, например, в работе (Onderka, Pecho, 2023), правда, для конкретной локальной территории.

В данной работе климатические тренды приземной температуры исследуются совместно с данными об осадках на территории всей РФ.

Как следует из результатов нашей предыдущей работы (Стерин, Лавров, 2022а), различия в результатах использования квантильной регрессии для анализа трендов трех суточных характеристик температуры: максимальной суточной, средней суточной и минимальной суточной температур, имеют место, но незначительны. Поэтому в данной работе используются расчеты температурных трендов на основе квантильной регрессии только для максимальной суточной температуры. Данные по средней суточной и минимальной суточной температуре в настоящих расчетах не использовались.

Для расчета климатических трендов использованы данные по примерно 1400 метеорологическим станциям РФ за период 1987-2021 гг. Совместно исследовались данные о максимальной суточной температуре и суточным суммам осадков. Оценки аномалий суточных значений максимальной температуры и сумм осадков вычислялись по отношению к соответствующим суточным нормам за период 1987-2016 гг.

Для построения процесс-диаграмм и последующего обобщения расчеты МКР трендов аномалий максимальной суточной приземной температуры T и сумм осадков R для каждой станции наблюдения и для каждого из четырех сезонов года осуществлялись для различных значений квантилей τ . По результатам этих расчетов, для аномалий максимальной суточной температуры для каждого из четырех сезонов, сформированы переменные:

- разности между коэффициентами тренда β для разных значений квантилей: $T_{.25}-T_{.5}$ между квантилями $\tau = 0.25$ и 0.05 (характеристика «левого хвоста распределения»)
- $T_{.75}-T_{.25}$ – разности между квантилями $\tau = 0.75$ и 0.25 (характеристика «срединной части распределения»);
- $T_{.95}-T_{.75}$ – разности между квантилями $\tau = 0.95$ и 0.75 (характеристика «правого хвоста распределения»);
- среднее значение тренда по всем рассчитанным квантилям для аномалий максимальной суточной температуры каждого из четырех сезонов.

Всего, таким образом, на основе расчетов трендов аномалий максимальной суточной температуры были сформированы 16 переменных.

На основании расчетов квантильных трендов для аномалий суточных сумм осадков R были сформированы для каждого из четырех сезонов переменные $R_{.65}$, $R_{.75}$, $R_{.85}$ и $R_{.95}$ – значения квантильных трендов для квантилей τ , равных 0.65, 0.75, 0.85 и 0.95 соответственно. Для меньших значений τ квантильные тренды не рассчитывались из-за малых значений соответствующих сумм осадков и их аномалий. Рассчитывались также средние суммарные за сезон осадки.

Общее число переменных по результатам расчетов квантильных трендов составило 36. Каждая из 36 выбранных переменных перед использованием для кластеризации проходила процедуру стандартизации.

В пространстве сформированных 36 стандартизованных переменных методом k – средних (k -MEANS) была проведена кластеризация метеорологических станций, участвующих в расчетах. Процедура кластеризации для данной серии расчетов не имела принципиальных отличий от той, которая использовалась в аналогичных ранее проведенных расчетах для температуры без привлечения расчетов по суммам осадков, и более подробно описана в (Стерин, Лавров, 2022а). В результате кластеризации были выделены 15 групп станций, причем в каждую группу включены станции, наиболее схожие по проявлению квантильных трендов максимальной суточной температуры и суточных сумм осадков.

На рис. 6 представлены результаты кластеризации методом k -средних – 15 кластеров метеорологических станций территории России.

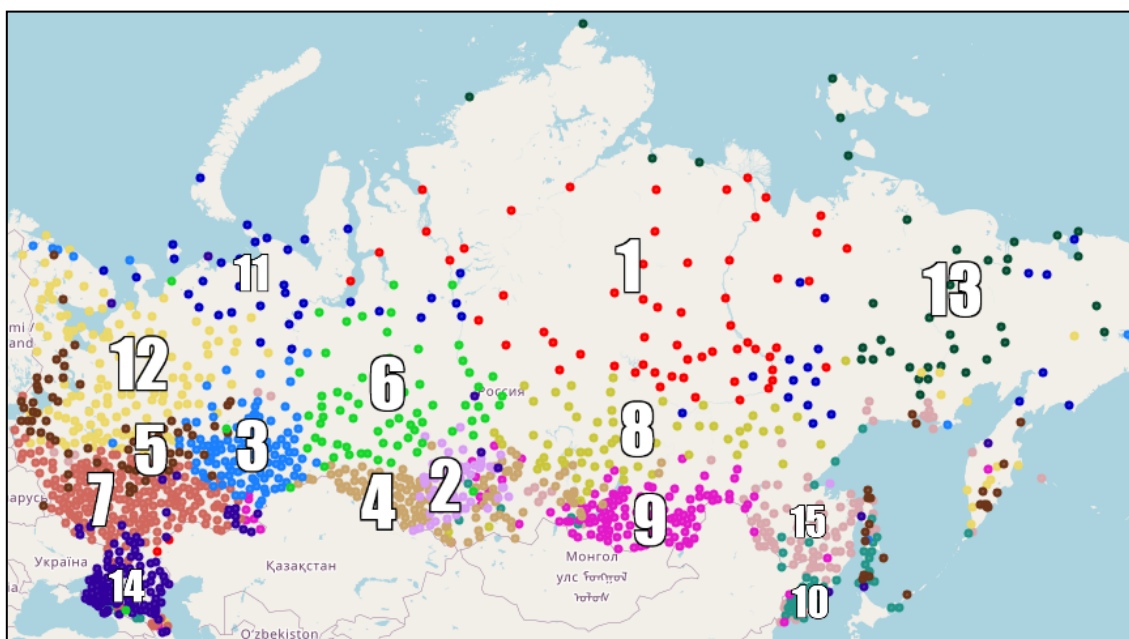


Рисунок 6. Пятнадцать кластеров метеорологических станций территории РФ, объединенных сходством проявления квантильных трендов максимальной суточной температуры и суммы осадков
Станции, вошедшие в каждый из кластеров, отображены определенным цветом

Следует отметить, что, несмотря на отсутствие среди рассматриваемых 36 переменных характеристик географического положения станций наблюдений, в пределах каждого кластера станции располагаются географически достаточно компактно. Отметим также, что нумерация кластеров на рис. 6 носит чисто условный характер и какой-либо содержательной характеристикой кластера не является.

Таблица 8. Статистики и межцентроидные расстояния для пятнадцати выделенных кластеров

Клас-тер	N	STD	Ω	Расстояние до центроидов других кластеров														
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	61	0.82	8.86	.	7.62	6.46	6.08	7.74	7.11	6.03	4.78	6.35	9.33	4.83	6.06	5.30	6.58	6.88
2	65	0.69	7.41	7.62	.	5.75	3.31	6.72	4.59	6.64	4.91	5.25	6.19	6.27	6.10	7.80	7.43	5.30
3	123	0.67	8.34	6.46	5.75	.	4.91	5.29	4.17	4.08	4.44	4.97	5.44	5.04	4.51	6.26	5.58	3.92
4	123	0.62	5.56	6.08	3.31	4.91	.	6.66	4.54	6.04	3.39	4.05	6.28	5.60	5.64	6.58	6.66	4.12
5	91	0.81	12.79	7.74	6.72	5.29	6.66	.	5.85	4.95	5.92	6.89	6.02	6.29	3.78	7.11	7.92	5.15
6	71	0.73	10.28	7.11	4.59	4.17	4.54	5.85	.	6.41	4.75	6.66	5.21	5.00	5.49	6.81	7.58	4.52
7	211	0.68	7.66	6.03	6.64	4.08	6.04	4.95	6.41	.	5.20	4.90	6.48	5.91	5.12	6.45	4.30	5.21
8	66	0.68	5.92	4.78	4.91	4.44	3.39	5.92	4.75	5.20	.	3.93	6.70	5.16	4.89	6.29	6.51	4.39
9	128	0.69	14.00	6.35	5.25	4.97	4.05	6.89	6.66	4.90	3.93	.	7.26	6.47	5.60	6.99	5.61	4.94
10	63	0.96	13.93	9.33	6.19	5.44	6.28	6.02	5.21	6.48	6.70	7.26	.	7.76	6.76	9.34	7.91	3.81
11	55	0.85	8.01	4.83	6.27	5.04	5.60	6.29	5.00	5.91	5.16	6.47	7.76	.	4.14	4.62	6.45	5.60
12	144	0.66	6.61	6.06	6.10	4.51	5.64	3.78	5.49	5.12	4.89	5.60	6.76	4.14	.	5.43	6.69	4.46
13	41	0.97	11.34	5.30	7.80	6.26	6.58	7.11	6.81	6.45	6.29	6.99	9.34	4.62	5.43	.	7.09	6.89
14	134	1.08	20.96	6.58	7.43	5.58	6.66	7.92	7.58	4.30	6.51	5.61	7.91	6.45	6.69	7.09	.	6.44
15	101	0.74	7.20	6.88	5.30	3.92	4.12	5.15	4.52	5.21	4.39	4.94	3.81	5.60	4.46	6.89	6.44	.

N – число станций в кластере, **STD** – внутрикластерная стандартная ошибка расстояний до центроида кластера, **Ω** - радиус кластера

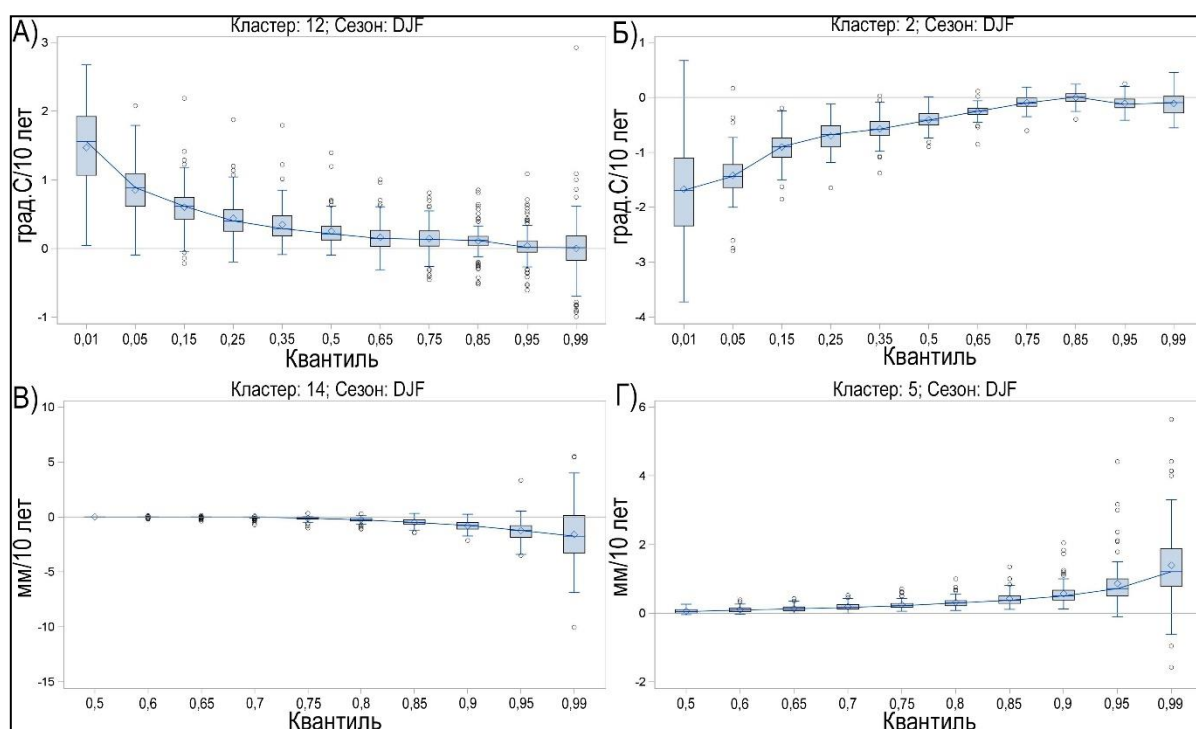


Рисунок 7. Обобщения для некоторых кластеров и сезонов в виде «ящиков с усами» зависимостей значений квантильных трендов от выбора квантиля

А) Максимальная суточная температура Кластер 12 сезон DJF зима Б) Максимальная суточная температура Кластер 2 сезон DJF зима В) Осадки Кластер 14 сезон JJA лето Г) Осадки Кластер 5 сезон DJF зима

В докладе подробно рассматриваются географические особенности расположения основной части станций, отнесенных к кластерам. Для станций каждого из кластеров и каждого из сезонов рассматриваются и анализируются особенности процесс-диаграмм квантильных трендов максимальной суточной температуры и суммы осадков (примеры обобщений процесс-диаграмм приводятся на рис. 7). Анализ результатов позволяет отметить,

что для температуры и для осадков имеются определенные различия в проявлении квантильных трендов как для разных кластеров, так и внутри каждого кластера – между сезонами.

Проведенная оценка вхождения станций различных кластеров в квази-однородные климатические регионы России (например, регионы России, рассматриваемые при подготовке Ежегодных докладов Росгидромета о состоянии и изменении климата на территории РФ), позволяет судить о том, что практически для каждого кластера может быть указан квази-однородный географический регион, к которому относится большинство станций кластера.

Результаты настоящей работы могут оказаться полезными для уточнений климатического районирования территории РФ, когда при климатическом районировании следует учитывать характер проявления и тенденции изменений значений метеовеличин, близких к экстремальным.

Список литературы

Лавров А.С., Стерин А.М. (2023) *Сравнение результатов кластеризации квантильных трендов приземной температуры на территории Российской Федерации с квази-однородными климатическими регионами России*, СITES-2023. с. 78-79.

Стерин А.М., Лавров А.С. (2021) Тренды температуры в свободной атмосфере: расчеты с использованием метода квантильной регрессии, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 2, с. 99-114.

Стерин А.М., Лавров А.С. (2022a) Использование квантильной регрессии для оценки пространственных особенностей характеристик трендов приземной температуры на территории России. *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 2, с. 92-111.

Стерин А.М., Лавров А.С. (2022b) *Детализация климатических трендов, оцененных методом квантильной регрессии с использованием данных наблюдений*, ENVIROMIS 2022, с. 389-391.

Koenker R., Bassett G. Jr. (1978) Regression Quantiles, *Econometrica*, vol. 46, no. 1, pp. 33-50.

Onderka M., Pecho J. (2023) On how precipitation temperature coupling affects drought severity in the western Carpathians and the adjacent northern part of the Pannonian Plain, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 152, pp. 681-692.

**ПАРАМЕТРЫ ПРИРОДНЫХ СИСТЕМ СУШИ, МОНИТОРИНГ КОТОРЫХ ВАЖЕН
ДЛЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА БАЙКАЛЬСКОГО РЕГИОНА
NATURAL TERRESTRIAL SYSTEMS PARAMETERS, WHICH MONITORING IS
IMPORTANT FOR ADAPTATION TO CLIMATE CHANGES IN THE BAIKAL REGION**

Липка О.Н., Андреева А.П., Богданович А.Ю., Крыленко С.В.

Lipka O.N., Andreeva A.P., Bogdanovich A.Yu., Krylenko S.V.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. В регионе Байкала десятки лет успешно действуют системы мониторинга гидрометеорологических параметров и загрязнений, проводится множество исследований. Для целей адаптации к изменениям климата важна постоянность и непрерывность наблюдений, а также необходимы дополнительные сведения о состоянии природных систем и идущих в них климатообусловленных процессах. Необходим мониторинг грозовой активности, особенно сухих гроз. Вероятностные оценки зон затопления и подтопления не выполнены. Данные о селях, оползнях, лавинах, солифлюкции, переработке берегов носят несистематический характер. В анализе климатообусловленной динамики природных систем и их компонентов делаются только первые шаги. Ценным источником информации, который нуждается в обработке, осмыслении и развитии в масштабную систему мониторинга, являются летописи природы особо охраняемых природных территорий.

Ключевые слова: изменения климата, Байкальский регион, адаптация, природные системы.

Abstract. Systems for monitoring hydrometeorological parameters and pollution have been successfully operating in the Baikal region for decades, and many studies have been carried out. For climate change adaptation, the constancy and continuity of observations is important, and additional information is needed about the state of natural systems and their climate-related processes. It is necessary to monitor thunderstorm activity, especially dry thunderstorms. Probabilistic assessments of flooding zones have not been prepared. Data on mudflows, landslides, avalanches, solifluction, coastal erosion are non-systematic. The analysis of the climate dynamics of natural systems and their components takes only the first steps. A valuable source of information is the chronicles of the nature conducted by protected areas. It should be processed, comprehended and developed into a large-scale monitoring system.

Keywords: climate change, Baikal region, adaptation, terrestrial systems.

Подготовка региональных планов адаптации к изменениям климата вскрыла необходимость исходных данных о состоянии и изменении природных систем и их отдельных компонентов. Министерство экономического развития определило список из 24 явлений, которые рассматриваются в качестве «климатических рисков» на большей части территории страны: оползни; сели; лавины; абразия и термоабразия; переработка берегов водохранилищ, озер; карст; суффозия; просадочность лессовых пород; подтопление территории; эрозия плоскостная и овражная; русловые деформации; термоэрозия овражная; термокарст; пучение; солифлюкция; наледеобразование; наводнение; ураганы, смерчи, сильный ветер; жара; засуха; заморозки; град; сильные атмосферные осадки; пожарная опасность в лесах (Приказ Министерства..., 2021). Фактический список опасных явлений индивидуален для каждого из регионов. В том числе возможно наличие явлений локального уровня, наносящих существенный ущерб населению и экономике.

Уникальным для каждого региона является список объектов (природных и антропогенных), которые подвергаются опасным явлениям или их последствиям. Кроме подверженности, к компонентам климатического риска относится уязвимость объектов к

погодно-климатическим воздействиям. Объекты одного и того же класса (например, жилые дома или породы деревьев) могут быть в разной степени уязвимы по отношению к одному и тому же явлению одинаковой интенсивности. Плавные изменения средних значений климатических переменных также могут оказывать существенное воздействие, как отрицательное, так и положительное, например, на глубину сезонного протаивания многолетнемерзлых пород, продуктивность растительности или степень сезонной обводненности болот.

В соответствии с законом «Об окружающей среде» (2001), мониторинг представляет собой «систему наблюдения за состоянием окружающей природной среды, ее отдельными компонентами, протекающими процессами и явлениями с целью своевременного выявления изменений под воздействием природных и/или антропогенных факторов, а также оценка и прогноз данных изменений» (Федеральный закон об охране..., 2001).

Природные системы определяются как «пространственно ограниченная совокупность функционально взаимосвязанных живых организмов и окружающей их среды, характеризующихся определенными закономерностями энергетического состояния, обмена, круговорота веществ» (Письмо Роскомзема, 1996). Термин близок к таким понятиям, как «экосистема», «биогеоценоз» и «природно-территориальный комплекс». В большинстве случаев объектами мониторинга являются отдельные компоненты природных систем и воздействующие на них абиотические (в том числе гидрометеорологические, погодно-климатические) факторы.

Байкальский регион рассматривается нами как единый географический объект со сложной структурой, включающий российскую часть бассейна Байкала и Ангары (до Усть-Илимской ГЭС) – 1 039 000 км². Выбор обусловлен зарегулированностью общего гидрологического бассейна каскадом ангарских ГЭС. Территория охватывает большую часть Республики Бурятия и значительную часть Иркутской области, небольшой фрагмент Забайкальского края и восточные районы Республики Тыва. Административно Иркутская область и Тыва относятся к Сибирскому федеральному округу, а Бурятия и Забайкальский край – к Дальневосточному.

В рамках реализации первого этапа адаптации к изменениям климата (Национальный план..., 2019) все субъекты Федерации должны были подготовить региональные планы. Высокая эффективность мероприятий может быть достигнута за счет скоординированности действий региональных администраций, относящихся к одному водному бассейну (бассейновый принцип). В Байкальском регионе была сделана попытка объединения субъектов в рамках Байкальской природной территории (БПТ; Распоряжение Правительства..., 2006) для совместного решения экологических, экономических и

социальных проблем. Однако фактическое административное разделение (в том числе отнесение к разным федеральным округам) препятствует консолидации усилий. Система мониторинга, охватывающая БПТ, не обеспечивает сбор и обработку информации, необходимой для адаптации к изменениям климата в регионе и в каждом из субъектов в отдельности.

Мониторинг метеорологических параметров, который ведется на станциях наблюдений, а также обработка их результатов позволяют сделать выводы о подверженности региона следующим явлениям и их интенсивности: ураганы, смерчи и сильный ветер; жара (экстремально высокие температуры и аномально жаркая погода); засуха; заморозки; град; сильные атмосферные осадки; пожарная опасность в лесах (а также в других природных системах, в частности – в степях региона по индексу Нестерова). Кроме того, континентальность климата требует учета экстремально низких температур и волн холода, данные о которых собираются.

В байкальском регионе важен мониторинг грозовой активности: количество дней и часов с грозой, а также частота ударов молнии. Речь идет не только о физическом повреждении объектов и угрозе для жизни людей. Для региона характерны частые «сухие грозы» и связанные с ними природные пожары. В настоящее время системы мониторинга явления не существует.

Также ощущается дефицит данных метеорологической статистики в горных районах. Большинство метеостанций расположены в нижних горных поясах, обеспечивают информацией о территориях вблизи населенных пунктов и важных объектов инфраструктуры. Однако ряд опасных явлений зависит от ситуации высоко в горах, например, количество экстремальных осадков для оперативного прогноза паводков или формирования лавин, селей и оползней, изменение температуры как фактор деградации мерзлоты и др.

Сеть гидрологических постов покрывает все основные реки и водоемы региона. Желательно увеличение ее плотности за счет установления дополнительных пунктов наблюдений на водохранилищах и горных реках. Повышение температуры оказывает существенное негативное воздействие на оз. Байкал: уменьшается количество растворенного кислорода, создаются благоприятные условия для развития патогенных организмов, ухудшаются условия для эндемичной фауны. Целесообразно наладить постоянный мониторинг изменения температуры по всей площади акватории и по всей водной толще.

Данные о максимальных уровнях подъема воды над нулем поста фиксируются, существуют публикации о частоте и вероятности развития наводнений разного типа на реках региона. Вместе с тем, события 2019 года в Иркутской области продемонстрировали, что интенсивность явлений может быть выше, чем имеющиеся данные мониторинга. С точки

зрения адаптации к изменениям климата важно иметь высокодетальные карты вероятности затопления и подтопления территорий, полученные пересчетом данных гидрологического мониторинга с использованием цифровых карт рельефа.

Остальные «климатические риски» из списка для региональных планов адаптации не обеспечены регулярной и надежной системой мониторинга. Информация собирается точечно, разными организациями, как правило, только вблизи населенных пунктов и важных объектов инфраструктуры. Соответственно, с уверенностью сказать о площади подверженности и скорости развития процессов в пределах региона невозможно. Так как предполагается развитие территории, в том числе освоение малоиспользуемых в настоящее время участков, необходимо иметь четкое представление о следующих опасных явлениях и перспективах изменения их частоты и интенсивности: оползни; сели; лавины; абразия и термоабразия; переработка берегов водохранилищ, озер; карст; суффозия; просадочность лессовых пород; подтопление территории; эрозия плоскостная и овражная; русловые деформации; термоэрозия овражная; термокарст; пучение; солифлюкция; наледеобразование. Так, сели, оползни и карст имеют не только широкое распространение в бассейнах Байкала и Ангары, но также наносят существенный экономический ущерб, разрушая дороги и здания, в том числе жилые дома. Процессы вносят вклад в увеличение поступления твердых наносов в водохранилища, могут локально перераспределять поверхностный и подземный сток в бассейне (Национальный атлас..., 2007; Атлас природных и техногенных..., 2012; Экологический атлас..., 2015; Макаров, 2016; Государственный доклад..., 2022).

К важным последствиям изменения климата относятся изменения в структуре, видовом составе, а также границ природных систем. Сохранение БПТ, которая является Объектом всемирного природного наследия ЮНЕСКО, невозможно без системного мониторинга климатообусловленных процессов в живой природе. Тем более, что происходит не только вселение более теплолюбивых видов, но продвижение на север границ ареалов вредителей лесного хозяйства и болезней деревьев. Реакция редких и уязвимых видов региона на климатические изменения изучена слабо. В качестве основы для мониторинга климатообусловленных изменений природных систем могут быть использованы летописи природы, которые ведутся на ООПТ. Для целей адаптации необходимо доработать и дополнить принципы их составления, проанализировать связи между погодно-климатическими условиями и откликом природных систем. Важно сохранить, цифровизировать и сделать доступной для научного сообщества накопленную за многие десятилетия информацию.

Благодарим компанию Эн+ Груп за оказанную поддержку в рамках проекта «Адаптация ГЭС Ангарского каскада к изменениям климата».

Список литературы

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации (2010) М., МЧС России, ООО «Издательско-продюсерский центр «Дизайн. Информация. Картография», 398 с.

Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2021 году» (2022) Иркутск, ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 370 с.

Макаров С.А. (2016) *Современный морфолитогенез на юге Восточной Сибири*, Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук, М., 360 с.

Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года (2019) Утвержден распоряжением Правительства Российской Федерации от 25 декабря 2019 г. № 3183-р.

Письмо Роскомзема от 18.01.1996 № 3-15/104 «О рассмотрении методического положения и руководства по составлению карт, оценке затопления и подтопления земель».

Приказ Министерства экономического развития РФ от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата».

Распоряжение Правительства РФ от 27.11.2006 N 1641-р (ред. от 17.10.2022) «О границах Байкальской природной территории и ее экологических зон – центральной экологической зоны, буферной экологической зоны и экологической зоны атмосферного влияния».

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ, URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/?ysclid=llumlgmfvn140933686.

Абалаков А.Д., Аргучинцев В.К., Аргучинцева А.В. и др. (2015) *Экологический атлас бассейна озера Байкал*, Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы Сибирского отделения Российской академии наук, 145 с.

**ПРИМЕНЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ ФИЗИКО-СТАТИСТИЧЕСКОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В САНКТ-
ПЕТЕРБУРГЕ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ
ПОСЛЕДСТВИЙ**

**APPLICATION OF MODERN METHODS OF PHYSICAL AND STATISTICAL
MODELING TO ASSESS CLIMATE CHANGE IN ST. PETERSBURG AND LENINGRAD
REGION AND THEIR ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES**

Лобанов В.А., Дроздов В.В., Окуличева А.А., Буренкова А.А.

Lobanov V.A., Drozdov V.V., Okulichева A.A., Burenkova A.A.

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»
Россия, 192007, г. Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79

Аннотация. Цель работы – оценка современных и будущих изменений климатических характеристик и их экологических последствий для территории Ленинградской области. Разработана методика совместного применения результатов статистического моделирования многолетних временных рядов при оценке современного изменения климата и результатов экспериментов (исторического и будущих проекций RCP) по физико-математическим моделям климата проектов CMIP5 и CMIP6 для выбора наиболее подходящей для территории модели климата и для оценки будущих изменений при объединении их с современными изменениями. Полученные количественные результаты свидетельствуют, что климатические характеристики изменяются как в современный период, так и в будущий.

Ключевые слова: Ленинградская область, современные изменения климата, оценки будущих изменений климата, влияние на экологию.

Abstract. The purpose of the work is to assess current and future changes in climatic characteristics and their environmental consequences for the territory of the Leningrad Region. A technique has been developed for joint application of the results of statistical modeling of long-term time series in assessing current climate change and the results of experiments (historical and future RCP projections) on physical and mathematical climate models of the CMIP5 and CMIP6 projects to select the most suitable climate model for the territory and to assess future changes when combined them with modern modifications. The obtained quantitative results indicate that climatic characteristics are changing both in the modern period and in the future.

Keywords: Leningrad region, modern climate change, assessment of future climate change, impact on the environment.

Целью настоящей работы является оценка современных и будущих изменений климатических характеристик на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области и их влияние на экологическую ситуацию в регионе.

Для решения поставленной цели были сформированы базы данных, включающие многолетние ряды наблюдений за среднемесячными температурами воздуха, суммами месячных осадков продолжительностью более 40 лет с последним годом наблюдений от 2019 г. до 2022 г. в 35 метеостанциях, по максимальным в году расходам воды в 17 пунктах наблюдений, по максимальным суточным осадкам августа в 23 пунктах наблюдений. Расположение пунктов наблюдений за рассматриваемыми характеристиками приведено на рис. 8.

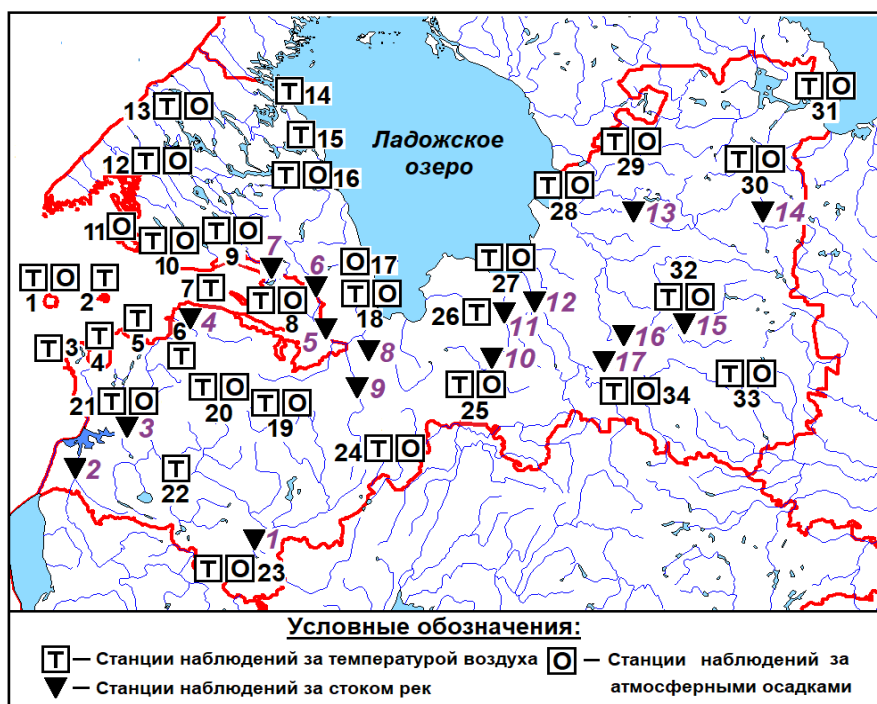


Рисунок 8. Схема размещения пунктов наблюдений за максимальными в году расходами воды (треугольники), среднемесячными температурами апреля (кружки) и максимальными суточными осадками августа (квадраты) по территории Ленинградской области

Для выбора наиболее подходящей для Ленинградской области физико-математической модели климата и оценки будущих климатических изменений были получены из Интернета результаты исторического эксперимента по 10 моделям климата и их будущие оценки RCP для сценариев $2,6 \text{ Вт/м}^2$, $4,5 \text{ Вт/м}^2$ и $8,5 \text{ Вт/м}^2$ проектов CMIP5 и CMIP6. В историческом эксперименте воспроизводятся климатические характеристики за период с 1950 г. по 2005 г. в проекте CMIP5 и по 2015 г. в проекте CMIP6. Соответственно будущие оценки даны с 2006 г. в проекте CMIP5 и с 2016 г. в проекте CMIP6 по 2100 год.

Для совместного применения многолетних наблюдений и данных физико-математического моделирования климата была разработана методика, включающая 2 части: оценка современного изменения климата и оценка будущих региональных климатических изменений. Первая часть методики для оценки влияния современного изменения климата на региональные гидрометеорологические характеристики разработана и успешно применена в работах (Лобанов, Кириллина, 2019; Шукри, Лобанов, Хамид, 2018) и включает в себя:

- оценку качества информации, однородности экстремумов, стационарности параметров, восстановление пропусков наблюдений и приведение непродолжительных рядов к многолетнему периоду (Рекомендации по статистическим методам..., 1984; Лобанов и др., 2015).

- аппроксимацию многолетних временных рядов моделями тренда и ступенчатых изменений и оценку их эффективности и устойчивости показателей не стационарности;

– количественную оценку климатических изменений и построение их пространственных изменений, как в единицах измерений, так и в долях от естественной изменчивости.

Вторая часть методики основана на объединении результатов оценки современного изменения климата по статистическим моделям и будущих оценок климата по физико-математическим моделям с корректировкой их результатов. Прежде всего, оценивается градиент или скорость современного изменения рассматриваемой климатической характеристики ($\Delta_{\text{сов}}$) за 2 периода времени как разность между двумя средними 30-летними значениями, например, средняя температура за 30-летний период 1981-2010 гг. ($T_{\text{ср } 1981-2011}$) минус средняя температура за предыдущий 30-летний период 1951-1980 гг. ($T_{\text{ср } 1951-1980}$): $\Delta_{\text{сов}} = T_{\text{ср } 1981-2011} - T_{\text{ср } 1951-1980}$. Последний год наблюдений задан 2010 в связи с тем, что сценарные оценки приводятся с 2011 г., а выбор 30-летнего периода обусловлен тем, что по определению для получения показателей климата необходимо обобщить информацию не менее, чем за 30 лет.

Затем определяется средний градиент будущих изменений ($\Delta_{\text{ср_буд}}$) как последовательные разности средних за три 30-летних периода времени сценарных оценок: 2011-2040 гг., 2041-2070 гг. и 2071-2100 гг.:

$$\Delta 1_{\text{буд}} = T_{\text{ср } 2041-2070} - T_{\text{ср } 2011-2040} \quad \text{и} \quad \Delta 2_{\text{буд}} = T_{\text{ср } 2071-2100} - T_{\text{ср } 2041-2070} \quad (1)$$

и

$$\Delta_{\text{ср_буд}} = (\Delta 1_{\text{буд}} + \Delta 2_{\text{буд}}) / 2 \quad (2)$$

Далее рассчитывается средний градиент из современных и будущих изменений как:

$$\Delta_{\text{ср}} = (\Delta_{\text{сов}} + \Delta_{\text{ср_буд}}) / 2 \quad (3)$$

и принимается, что этот градиент $\Delta_{\text{ср}}$ будет определять первую будущую траекторию изменений от современной 30-летки к первой будущей 30-летке и среднее значение температуры воздуха за период 2011-2040 гг. с учетом корректировки на эту среднюю тенденцию рассчитывается как:

$$T'_{\text{ср } 2011-2040} = T_{\text{ср } 1981-2011} + \Delta_{\text{ср}} \quad , \quad (4)$$

где: $T'_{\text{ср } 2011-2040}$ – откорректированное значение средней сценарной температуры за период 2011-2040 гг.

Для остальных двух 30-летних периодов будущего коррекция средних осуществляется на основе вычисленных ранее сценарных градиентов $\Delta 1_{\text{буд}}$ и $\Delta 2_{\text{буд}}$ по формулам:

$$T'_{\text{ср } 2041-2070} = T'_{\text{ср } 2011-2040} + \Delta 1_{\text{буд}} \quad , \quad (5)$$

$$T'_{\text{ср } 2071-2100} = T'_{\text{ср } 2041-2070} + \Delta 2_{\text{буд}} \quad , \quad (6)$$

где: $T'_{\text{ср}} 2041-2070$, $T'_{\text{ср}} 2071-2100$ –откорректированные значения средней сценарной температуры за периоды 2041-2070 гг. и 2071-2100 гг. соответственно.

На основе приведенной методике было проведено исследование, в результате которого установлено, что по территории Ленинградской области за последние 30-50 лет средние многолетнее значения температур воздуха апреля увеличились от 1,0-1,2°C на северо-западе (Рощино, Выборг, Сосново) и востоке (Тихвин) до 1,8-1,9 °C на западе (Гогланд, Кингисепп) и в центре (Свирица, Новая Ладога, Любань). В северной части Ленинградской области максимальные осадки уменьшаются почти до 14 мм (Выборг), а в остальной части – растут (до 10, 6 мм в Тихвине). Осуществлен выбор эффективных моделей климата на территории Ленинградской области. Используются результаты исторического эксперимента различных моделей проекта СМIP5 и СМIP6. Обоснованы и представлены модельные прогностические результаты пространственного распределения температур воздуха в районах Ленинградской области и на территории Санкт-Петербурга за периоды с 2011 по 2040 гг., с 2041 по 2070 гг. и с 2071 по 2100 гг. согласно модели CanESM2, сценарий RCP 4.5. При этом в период 2041–2070 гг. возможно ожидать увеличение средней температуры воздуха за апрель в 1,5 раза, а в период 2071-2100 гг. – в 2 раза по сравнению с текущими значениями. Существенно возрастет также температура воздуха в зимний период, большая часть атмосферных осадков будет выпадать в жидкой форме, причем в большем на 20-30 % объеме. Более часто возникающие паводочные и явления и наводнения на реках Ленинградской области, в том числе на территориях промышленных центров и городов Луга, Тихвин, Кингисепп, Подпорожье, Тосно и др. потребуют значительных затрат на строительство дамб, плотин и защиту побережий.

Подобные проблемы могут возникнуть и в ряде районов Санкт-Петербурга, прежде всего в Курортном, Кронштадтском, Приморском, Адмиралтейском, Кировском, Красносельском. Прогностические оценки и сценарии изменения климата целесообразно учесть в генеральных планах развития городов, а также при планировании развития речных и морских портов и их береговой инфраструктуры в Ленинградской области (Дроздов, 2015; Дроздов, Лобанов, Окуличева, Буренкова, 2023). Необходимо уделить особое внимание мероприятиям по охране окружающей среды на уже созданных и планируемых особо-охраняемых природных территориях, прежде всего прибрежных, в составе которых государственный природный заказник «Западный Котлин» на о. Котлин в Кронштадтском районе Санкт-Петербурга, памятник природы «Комаровский берег» в Курортном районе, реликтовые леса и дюны восточного побережья Нарвского залива в Кингисеппском районе, Нижне-Свирский государственный заповедник и другие территории.

Потепление и увеличение увлажненности территорий может вызвать изменения в эрозионном потенциале рельефа, в том числе на сельскохозяйственных землях, что также

потребуется соответствующих адаптационных инженерных защитных мероприятий (Третий оценочный доклад..., 2022). Вероятны существенные изменения в агротехнических мероприятиях при выращивании сельско-хозяйственной продукции. Могут появиться новые насекомые и микроорганизмы – вредителей урожая. Рост объема атмосферных осадков до устойчивых значений 700-900 мм в год приведет к необходимости существенного увеличения производительности очистных сооружений, в связи с ростом объема поступающих ливневых вод с городских районов.

Исследование выполнено в Российском государственном гидрометеорологическом университете при реализации гранта «Исследование закономерностей и разработка прогностических сценариев изменения климата в Санкт-Петербурге и Ленинградской области для разработки программ адаптации отраслей промышленности и жилищно-коммунального хозяйства к климатическим изменениям с учетом возникающих экологических рисков», 2022-2023 гг. Соглашение между Российским научным Фондом, руководителем проекта и организацией (РГГМУ) о предоставлении гранта на проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований № 22-27-20145 от 25.03.2022 г. Соглашение о предоставлении регионального гранта между Санкт-Петербургским научным фондом, организацией (РГГМУ) и руководителем проекта № 59/2022 от 15.04.2022 г.

Список литературы

Лобанов В.А., Кириллина К.С. (2019) *Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия)*, Монография, Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 157 с.

Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. (2018) *Современный и будущий климат Аравийского полуострова*, Монография, Санкт-Петербург, Изд-во РГГМУ, 190 с.

Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока (1984) Л., Гидрометеиздат, 78 с.

Лобанов В.А., Лемешко Н.А., Жильцова Е.Л., Горлова С.А., Ренева С.А. (2005) Восстановление многолетних рядов температуры воздуха на Европейской территории России, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 5-14.

Дроздов В.В. (2015) *Влияние колебаний климата на динамику экосистем Балтийского и Белого морей*, Монография, СПб., Изд. РГГМУ, 234 с., ISBN 978-5-86813-424-1.

Дроздов В.В., Лобанов А.В., Окуличева А.А., Буренкова А.А. (2023) Экстремальные гидрометеорологические процессы и их влияние на экосистемы и промышленную инфраструктуру Ленинградской области, *Экология и промышленность России*, т. 27, № 2, с. 53-59, URL: doi.org/10.18412/1816-0395-2023-2-53-59.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме (2022) СПб., Научно-технологические институты, 124 с., ISBN 978-5-907618-14-5.

**БАЙКАЛ – УНИКАЛЬНЫЙ УГЛЕРОДНЫЙ ПОЛИГОН: РЕЗУЛЬТАТЫ
КОМПЛЕКСНОГО ИЗУЧЕНИЯ ГАЗООБМЕНА CO₂ И CH₄ В СИСТЕМЕ «ВОДА-
АТМОСФЕРА»**

**BAIKAL IS A UNIQUE CARBON POLYGON: RESULTS OF A COMPREHENSIVE
STUDY OF CO₂ AND CH₄ GAS EXCHANGE IN THE «WATER-ATMOSPHERE»
SYSTEM**

*Панченко М.В.¹⁾, Домышева В.М.²⁾, Пестунов Д.А.¹⁾, Сакирко М.В.²⁾, Шамрин А.М.¹⁾
Panchenko M.V.¹⁾, Domysheva V.M.²⁾, Pestunov D.A.¹⁾, Sakirko M.V.²⁾, Shamrin A.M.¹⁾*

¹⁾Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН
Россия, 634021, г. Томск, пл. Академика Зуева, 1

²⁾Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. В работе представлен краткий обзор результатов комплексного изучения процесса газообмена CO₂ и CH₄ в системе «вода-атмосфера». С 2004 по 2023 гг. проведено 67 циклов измерений концентраций парниковых газов, содержания кислорода, биогенных элементов, хлорофилла и флуоресцентных характеристик в воде прибрежной зоны. Проанализирован сезонный и суточный ход концентрации и потоков CO₂ и CH₄. На основе 17 судовых экспедиций по акватории Байкала проведена оценка пространственного распределения направления их потоков.

Ключевые слова: углекислый газ, метан, потоки, биогенные элементы, хлорофилл, флуоресценция.

Abstract. The paper presents a brief review of the results of a comprehensive study of the process of CO₂ and CH₄ gas exchange in the "water-atmosphere" system. From 2004 to 2023, 67 cycles of measurements of greenhouse gas concentrations, oxygen content, biogenic elements, chlorophyll and fluorescent characteristics in coastal water were carried out. The seasonal and diurnal variations in the concentration and fluxes of CO₂ and CH₄ are analyzed. On the basis of 17 ship expeditions in the water area of Lake Baikal, an assessment was made of the spatial distribution of the direction of their fluxes.

Keywords: carbon dioxide, methane, fluxes, biogenic elements, chlorophyll, fluorescence.

Климатические проблемы современного периода обуславливают необходимость тщательного изучения процессов, определяющих газообмен углеродосодержащих газов в системе «атмосфера – подстилающая поверхность» в глобальном, региональном и локальном масштабах. Озеро Байкал – один из наиболее уникальных объектов мирового значения, экосистема которого требует особого изучения всех процессов, определяющих ее функционирование, и анализа устойчивости к внешним воздействиям. Выбор Байкала, как объекта наших исследований парниковых газов, был продиктован следующими соображениями: найти некий «фоновый» эталон для длительных наблюдений в природных объектах, экосистема которого на протяжении многих лет гарантированно сохраняла бы свои основные свойства, в настоящее время весьма сложно; практически все пункты наблюдений, расположенные на суше, постоянно находятся под угрозой нарушения состояния окружающей среды – либо под воздействием антропогенного вмешательства, либо серьезных экстремальных техногенных или природных катастроф. В этом отношении большие водоемы менее уязвимы, а Байкал с его огромной площадью, пожалуй, является наиболее устойчивым.

Длительные исследования химического состава воды показали, что реальные колебания концентраций основных катионов и анионов не выходят за пределы $\pm 1\%$, и, следовательно, вода Байкала может рассматриваться как естественный эталон чистой воды (Грачев и др., 2004).

Более того, уникальность Байкала, для изучения газообмена углеродосодержащих газов, мощно базируется на основе бесценного 100-летнего материала всестороннего научного изучения отечественными исследователями биологических, химических и гидрофизических процессов. Следует особо подчеркнуть, что уникальность Байкала, как постоянно работающего углеродного полигона, определяется и наличием научно-исследовательского флота ЛИН СО РАН, который на протяжении многих лет обеспечивает проведение комплексных работ по всей акватории озера.

Исследования газообмена на Байкале были начаты нами в 2002 году с целью изучения потоков парниковых газов, необходимых для развития климатических моделей (Панченко и др., 2007). В рамках этой задачи, Байкал является уникальной природной лабораторией, в которой, благодаря устойчивости чистоты воды, имеется возможность достаточно надежно определить иерархию физических, химических и биологических составляющих в сложном процессе газообмена «вода-атмосфера». По мере нашего понимания проблемы стало понятно, что очень важным является изучение и цикла углерода в системе «вода-атмосфера», в котором содержится около 20% мировых запасов поверхностной идеальной пресной воды. Этот цикл является неотъемлемым атрибутом всей экосистемы Байкала – именно здесь в процессе газообмена CO_2 на границе атмосфера – вода в начале трофической цепи лежит процесс фотосинтеза, определяющий зарождение жизни водной биоты, которая и обеспечивает сохранность чистоты воды на протяжении многих лет. Для проведения комплексных мультидисциплинарных исследований была организована совместная Байкальская атмосферно-лимнологическая обсерватории (БАЛО) и создан современный, автоматизированный газоаналитический комплекс, обеспечивающий измерения концентраций CO_2 и CH_4 в воде, приземной атмосфере и их потоков, метеорологических характеристик атмосферы. Мониторинговый комплекс расположен на побережье озера в открытой литорали на исследовательском стационаре ЛИН СО РАН вблизи поселка Б.Коты (координаты $51^\circ 54' \text{ N}$, $105^\circ 05' \text{ E}$), а его мобильный вариант предназначен для применения в судовых экспедициях. Для определения сезонной и суточной изменчивости в разные сезоны года измерения проводятся сериями продолжительностью 2-3 недели. В сезонном измерительном цикле реализуется следующий режим круглосуточных измерений – каждые 3 часа проводится отбор проб воды для лабораторного анализа химического состава и измерения флуоресцентных характеристик. Регистрация парциальных давлений газа в воде и

приводной атмосфере, флуоресцентных характеристик в поверхностной воде и метеорологических параметров осуществляется в непрерывном режиме. По данным многолетних наблюдений в прибрежной зоне было выявлено, что в содержании биогенных элементов, углекислого газа в воде и его потоков, которые тесно связаны с фотосинтетической деятельностью водной биоты, отчетливо наблюдается сезонный и суточный ход (рис. 9а). В тоже время, в вариациях метана и, соответственно, его потоков суточный ход практически отсутствует, а сезонный выражен весьма слабо (рис. 9б), поскольку его содержание на поверхности озера регулируется иными процессами.

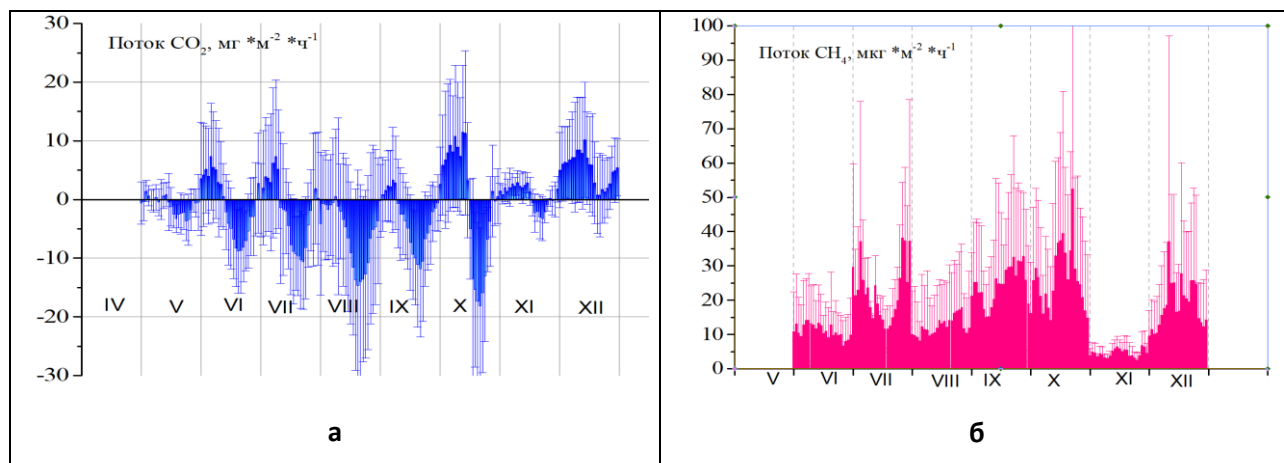


Рисунок 9. Сезонный и суточный ход потоков в прибрежной зоне (отрицательные значения сток на водную поверхность): а – CO₂ (2004-2021 гг.), б – CH₄ (2012-2021 гг.)

На основе данных многолетних измерений выявлено, что в 21 веке в приводной атмосфере озера Байкал происходит рост концентрации CO₂, тренд которого соответствует глобальному, и определено, что на фоне большой амплитуды межгодовых вариаций региональных факторов однонаправленные тренды растворенных газов и биогенных элементов не наблюдаются, что указывает на определенную устойчивость экосистемы Байкала к глобальным изменениям (Panchenko et al., 2020). Анализ суточного хода концентрации CO₂ и фотосинтетической активности планктона позволил убедиться, что именно *фотопериодизм* водной биоты является ключевым процессом и регулирует изменение концентрации CO₂ в воде и его потоков в течение суток (рис. 10) (Заворуев и др., 2018). На этой основе создана эмпирическая модель суточного хода потоков и парциального давления CO₂ в поверхностной воде в условных солнечных координатах для всего периода открытой воды (Пестунов и др., 2017).

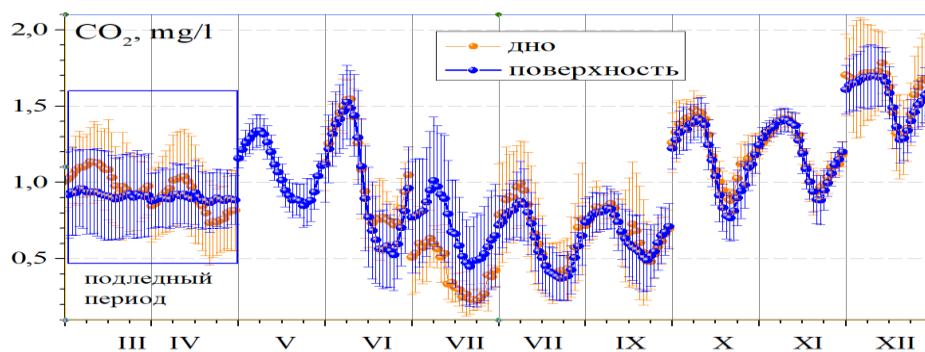


Рисунок 10. Сезонный и суточный ход концентрации CO_2

По данным измерений суточного хода концентраций углекислого газа в поверхностной и придонной воде в прибрежной зоне (рис. 10) проведена оценка биопродуктивности для характерных сезонных циклов в жизнедеятельности байкальского планктона (Domysheva et al., 2023). По результатам многолетних измерений потоков CO_2 и CH_4 (рис. 9), был осуществлен расчет баланса углерода и показано, что в период открытой воды 1 м^2 поверхности озера поглощает $5,9 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ CO_2 и выделяет $0,087 \text{ г} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$ метана. Следовательно, при пересчете на углерод в воду прибрежной зоны озера за счет стока углекислого газа поступает углерода примерно в 25 больше, чем уходит в атмосферу с потоками метана.

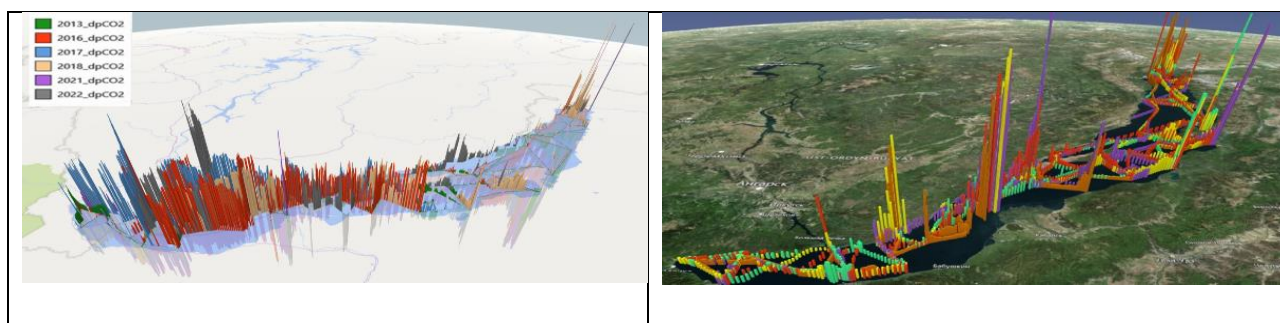


Рисунок 11. Пространственное распределение разности парциальных давлений между поверхностной водой и приподной атмосферой
a - ΔP_{CO_2} и б - ΔP_{CH_4} , (2013, 2016, 2017, 2018, 2021, 2022 гг.), мкатм

Очевидно, что применимость результатов, полученных в одном наблюдательном пункте в литоральной зоне, для адекватной оценки требует постановки продолжительных исследований по всей акватории Байкала. Для решения этой задачи нами уже проведено 17 комплексных судовых экспедиций (рис. 11), как по периметру прибрежной зоны Байкала (Panchenko et al., 2018), так и по всей его акватории (Пестунов и др., 2015).

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИОА № 121031500342-0 и ЛИИ СО РАН №121032300199-9.

Список литературы

Грачев М.А., Домышева В.М., Ходжер Т.В. и др. (2004) Глубинная вода озера Байкал – природный стандарт пресной воды, *Химия в интересах устойчивого развития*, № 12, с. 417-29.

Заворуев В.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В., Панченко М.В. (2018) Суточный ход потоков CO₂ в системе атмосфера – вода и вариабельной флуоресценции фитопланктона в период открытой воды на оз. Байкал по данным многолетних измерений, *ДАН*, т. 479, № 5, с. 574-577.

Панченко М.В., Домышева В.М., Пестунов Д.А., Сакирко М.В., Заворуев В.В., Новицкий А.Л. (2007) Экспериментальные исследования процессов газообмена CO₂ в системе «атмосфера – водная поверхность» оз. Байкал (постановка эксперимента), *Оптика атмосферы и океана*, т. 20, № 05, с. 448-452.

Пестунов Д.А., Домышева В.М., Иванов В.Г., Шамрин А.М., Панченко М.В. (2015) Пространственное распределение направления потоков CO₂ и CH₄ по акватории озера Байкал (кругобайкальская экспедиция, июнь 2013 г.), *Оптика атмосферы и океана*, т. 28, № 09, с. 792-799.

Пестунов Д.А., Шамрин А.М., Домышева В.М., Сакирко М.В., Панченко М.В. (2017) Суточный ход потока и парциального давления углекислого газа в поверхностной воде в координатах солнечного времени (период открытой воды в литорали Южного Байкала 2004-2015 гг.), *Оптика атмосферы и океана*, т. 30, № 2, с. 160-169.

Domyшева V.M., Panchenko M.V., Pestunov D.A., Sakirko M.V., Shamrin A.M. (2023) Estimation of primary production in the water of the coastal zone of Lake Baikal based on daily variations in CO₂ concentration in different seasons of 2005-2021, *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 36, no. 1, pp. 92-100.

Panchenko M.V., Domyшева V.M., Pestunov D.A., Sakirko M.V., Shamrin A.M., Shmargunov V.P. (2020) Carbon dioxide in the atmosphere-water system and biogenic elements in the littoral zone of Lake Baikal during period 2004-2018, *J. Great Lakes Res.*, no. 46, pp. 85-94.

Panchenko M.V., Domyшева V.M., Pestunov D.A., Shmargunov V.P. (2018) Spatial distribution of the carbon-containing gas fluxes direction in the «water – atmosphere» system in the littoral zone of lake Baikal in summer, *International Journal of Hydrology*, vol. 2, no. 2, pp. 195-196, doi: 10.15406/ijh.2018.02.00068.

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПО
ДАНЫМ МОНИТОРИНГА РОСГИДРОМЕТА
MODERN PROBLEMS OF ASSESSING ENVIRONMENTAL QUALITY ACCORDING
TO ROSHYDROMET MONITORING DATA**

*Черногаева Г.М.^{1),2)}, Журавлева Л.Р.²⁾, Малеванов Ю.А.²⁾
Chernogaeva G.M.^{1),2)}, Zhuravleva L.R.²⁾, Malevanov Yu.A.²⁾*

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б
²⁾ ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

В кратком докладе невозможно остановиться на всех проблемах, с которыми сталкиваются ученые и специалисты, оценивая в пространственном и временном аспектах изменения качества природных сред.

В связи с этим основная цель доклада – изложить особенности формирования национальных сетей наблюдений за качеством окружающей среды в 70-80-ые годы прошлого столетия. Необходимость мониторинга загрязнения окружающей среды обсуждалась на международных конференциях на протяжении более десятилетия (см. лит.).

В монографии Ю.А. Израэля «Экология и контроль состояния природной среды Ленинград, Санкт-Петербург, Гидрометеиздат, 1979-2000 гг., 140 с.» отмечается, что в результате обсуждений было сделано несколько выводов: использование уже готовых структур для создания национальных сетей наблюдений и использования разработанных национальных стандартов качества природных сред.

В докладе рассматривается необходимость проведения контроля состояния окружающей среды, анализируется состав российской наблюдательной сети, а также технология проведения анализа полученных данных наблюдений за уровнями загрязнения атмосферы, почв, вод и донных отложений рек, озер, водохранилищ и морей по физическим, химическим и гидробиологическим показателям и сравнение их с существующими национальными стандартами. В целом технология анализа за это время не изменилась и разрыв между наблюдателями и разработчиками стандартов по-прежнему существует, что приводит к бесконечным дискуссиям и снижает объективность оценок качества.

In a short report it is impossible to dwell on all the problems that scientists and specialists face when assessing changes in the quality of natural environments in spatial and temporal aspects.

In this regard, the main goal of the report is to outline the features of the formation of national observation networks for environmental quality in the 70-80s of the last century. The need to monitor

environmental pollution has been discussed at international conferences for more than a decade (see lit.).

In the monograph by Yu.A. Israel “Ecology and control of the state of the natural environment Leningrad, St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1979-2000, 140 p.” It is noted that as a result of the discussions, several conclusions were made: the use of ready-made structures for creating national observation networks and the use of developed national environmental quality standards.

The report examines the need to monitor the state of the environment, analyzes the composition of the Russian observation network, as well as the technology for analyzing the obtained observation data on the levels of pollution of the atmosphere, soil, water and bottom sediments of rivers, lakes, reservoirs and seas according to physical, chemical and hydrobiological indicators and comparing them with existing national standards. In general, the analysis technology has not changed during this time and the gap between observers and standard developers still exists, which leads to endless discussions and reduces the objectivity of quality assessments.

Список литературы

Израэль Ю.А. (1979) Охрана природной среды и рациональное природопользование в СССР, *Вопросы философии*, № 6, с. 119-127.

Израэль Ю.А. (1984) *Проблемы охраны природной среды и пути их решения*, Л. Гидрометеоиздат, 48 с.

Федоров Е.К. (1977) *Экологический кризис и социальный прогресс*, Л., Гидрометеоиздат, 176 с.

The World Environment 1972-1982 (1982) A Report by UNEP, in Holgate et al. (eds.), Dublin, Tycooby Intern. Publ. Ltd.

Izrael Yu. (1984) *World wide environmental issues: atmosphere and oceans*, Report prepared for Interparliamentary Conference on Environment, Nairobi, 26 November – 1 December 1984, IPU, Environment/84/6, October 1984.

**СЕКЦИЯ
«АТМОСФЕРА»**



**ВНУТРИГОДОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ МАКРОСТРУКТУРЫ
ТРЕНДОВ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ПОРЯДКА ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В СЛОЕ
АТМОСФЕРЫ 0-30 КМ НАД СЕВЕРНЫМ И ЮЖНЫМ ПОЛУШАРИЯМИ НА ФОНЕ
ИХ ИЗМЕНЕНИЙ НАД ЗЕМНЫМ ШАРОМ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ РАДИОЗОНДОВЫХ
ИЗМЕРЕНИЙ**

**INTRA-ANNUAL VARIATIONS IN THE MACROSTRUCTURE OF FIRST- AND
SECOND-ORDER TRENDS IN AIR TEMPERATURE IN THE 0-30-KM ATMOSPHERIC
LAYER OVER THE NORTHERN AND SOUTHERN HEMISPHERES ON THE
BACKGROUND ITS CHANGES OVER GLOBE FROM RADIOSONDE DATA**

Алдухов О.А., Черных И.В.

Aldukhov O.A., Chernykh I.V.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»,
Россия, 249035, г. Обнинск, ул. Королева 6

Аннотация. Информация о вертикальной структуре трендов температуры воздуха в атмосфере, полученная на основе наблюдений, необходима для исследования изменений климата. В докладе представлены тренды первого и второго порядка для температуры воздуха на стандартных высотах в атмосферном слое 0-30 км над уровнем моря для месяцев, сезонов, года в целом для земного шара, Северного и Южного полушарий за период наблюдений 1964-2018 гг. Исследования проведены на основе данных глобального массива результатов радиозондирования атмосферы CARDS, дополненных текущими данными, собираемыми с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД».

Ключевые слова: атмосфера, климат, температура, вертикальная структура, тренды, радиозондирование, земной шар, полушарие.

Abstract. The information about the vertical structure of trends in air temperature in the atmosphere obtained from observations is necessary to study climate change. The paper presents the series of the first- and second-order trends in air temperature at standard heights in the 0-30 km atmospheric layer above sea level for months, seasons, for the year as a whole for globe and for the Northern and Southern Hemispheres for the period 1964-2018. Results of observations from the CARDS global aerological dataset that were updated with the current data from RHMWDC were used in this research.

Keywords: atmosphere, climate, temperature, vertical structure, trends, upper air data, globe, hemisphere.

Данная работа является частью исследований вертикальной структуры трендов аэрологических величин в разных атмосферных слоях за один период радиозондовых наблюдений 1964-2018 гг. Цель статьи – исследовать внутригодовые изменения вертикальной структуры трендов 1-го и 2-го порядка (Aldukhov, Chernykh, 2020) температуры воздуха (T) в атмосферном слое 0-30 км над уровнем моря для Северного и Южного полушария на фоне ее изменения для земного шара по данным радиозондирования за 1964-2018 гг.

Исследования были проведены на основе данных массива результатов радиозондирования атмосферы CARDS (Comprehensive Aerological Reference Data Set) (Eskridge et al. 1995), прошедших процедуру комплексного контроля качества (Алдухов, Черных, 2013) и дополненных проконтролированными текущими данными, собираемыми с каналов связи в ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» (Руденкова, 2010), для периода 1964-2018 гг.

Метод интерполяции на базе кубического сплайна Акимы (Де Бор, 1985) был использован для расчетов значений T на стандартных высотах в слое 0-30 км над уровнем моря на основе стандартных уровней по давлению и особых точек вертикального профиля. Согласно (Алдухов, Черных, 2013) она обеспечивает для большинства аэрологических параметров наиболее точную интерполяцию с наименьшей погрешностью по сравнению с другими ее видами. Долгопериодные тенденции изменения метеорологических величин, характеризующих состояние климатической системы, исследовались с использованием метода наименьших квадратов. Для определения значимости трендов использовался критерий Стьюдента.

Для изучения характера долгопериодных изменений метеорологических величин (оценки ускорения их долгопериодных изменений), в частности, для возможности предсказания изменения трендов в следующие ближайшие годы, были использованы логически обоснованные понятия трендов 1-го и 2-го порядка. Напомним их определения. Рассмотрим линейную аппроксимацию $\tilde{F}(t, t_0, t_1)$ метеовеличины $F(t)$ на временном отрезке $t \in [t_0, t_1]$:

$$\tilde{F}(t, t_0, t_1) = a_1(t_0, t_1) \cdot t + b_1(t_0, t_1), \quad t_0 \leq t \leq t_1,$$

которая минимизирует интеграл квадрата разности $\tilde{F}(t, t_0, t_1) - F(t)$ на временном отрезке $t \in [t_0, t_1]$:

$$\int_{t_0}^{t_1} \left(\tilde{F}(t, t_0, t_1) - F(t) \right)^2 \cdot dt \rightarrow \min.$$

Трендом 1-го порядка является коэффициент $a_1(t_0, t_1)$. Он показывает среднюю скорость изменения $F(t)$ на изучаемом временном отрезке $t \in [t_0, t_1]$ и соответствует классическому линейному тренду. При анализе достаточно длинного ряда значений метеовеличины $F(t)$, возникает вопрос о том, как скорость изменения метеовеличины $F(t)$ зависит от начальной точки t_0 по мере приближения ее к t_1 - концу отрезка? Для ответа на этот вопрос процедура линейной аппроксимации была применена к временным рядам трендов 1-го порядка $a_1(\tau, t_1)$:

$$\tilde{a}_1(\tau, t_0, t_1) = a_2(t_0, t_1) \cdot \tau + b_2(t_0, t_1), \quad \tau \in [t_0, t_1].$$

Трендом 2-го порядка является коэффициент $a_2(t_0, t_1)$. Он показывает среднюю скорость изменения тренда 1-го порядка в зависимости от приближения начальной точки

отрезка t_0 к его конечной точке, т.е. $a_2(t_0, t_1)$ показывает среднее ускорение изменения $F(t)$ по отношению к фиксированной конечной точке t_1 . Зная знак $a_2(t_0, t_1)$, можно предсказать характер изменения трендов 1-го порядка в следующих ближайших точках, их увеличения при положительных или уменьшения при отрицательных значениях тренда 2-го порядка.

Для достижения поставленной цели были рассчитаны тренды 1-го и 2-го порядка для аномалий средних значений температуры воздуха на стандартных высотах в изучаемом слое атмосферы для месяцев, сезонов и года в целом. Тренды 2-го порядка были оценены по соответствующим временным рядам трендов 1-го порядка за последовательно уменьшающиеся на один год периоды наблюдения 1964-2018, 1965-2018, ... до 2003-2018 гг. При вычислении аномалий за базовый период (период осреднения при расчете среднего значения метеовеличины, относительно которого рассчитываются аномалии) был выбран полный 55-летний период наблюдений 1964-2018 гг.

В табл. 9 представлены диапазоны внутригодовых изменений трендов 1-го и 2-го порядка аномалий многолетних средних месячных значений T в слое атмосферы 0-30 км для земного шара, Северного и Южного полушарий за период 1964-2018 гг.

Таблица 9. Диапазоны (Δ) внутригодовых изменений трендов 1-го ($С^\circ$ за десятилетие) и 2-го ($С^\circ$ за десятилетие²) порядка аномалий многолетних средних месячных значений температуры воздуха в слое атмосферы 0-30 км для земного шара, Северного и Южного полушарий за период 1964-2018 гг. N – число наблюдений; в числителе в скобках приведен месяц (мм), в который был определен максимум/ минимум и в знаменателе – высота (h), на которой он был определен

Изучаемая территория	Δ тренды 1-го порядка, $С^\circ$ за десятилетие (мм) / h	Δ тренды 2-го порядка, $С^\circ$ за десятилетие² (мм) / h	N, млн
Земной шар	$\frac{-0.382 (11)}{18 \text{ км}} - \frac{0.174 (08)}{2 \text{ км}}$	$\frac{-0.038 (06)}{25 \text{ км}} - \frac{0.171 (11)}{15 \text{ км}}$	23.9
Северное полушарие	$\frac{-0.375 (06)}{20 \text{ км}} - \frac{0.202 (04)}{1 \text{ км}}$	$\frac{-0.060 (06)}{25 \text{ км}} - \frac{0.223 (05)}{10 \text{ км}}$	20.7
Южное полушарие	$\frac{-0.526 (11)}{18 \text{ км}} - \frac{0.164 (09)}{2 \text{ км}}$	$\frac{-0.057 (02)}{25 \text{ км}} - \frac{0.159 (12)}{15 \text{ км}}$	3.2

На рис. 12 показана вертикальная структура трендов 1-го и 2-го порядка аномалий температуры воздуха в слое атмосферы 0-30 км для месяцев, сезонов и года в целом для земного шара, Северного и Южного полушарий. Статистики для месяцев и сезонов были двукратно сглажены с использованием сглаживания по трем точкам. Тренды со значимостью не менее 50 % отмечены наклонными линиями и со значимостью не менее 95 % – сеткой.

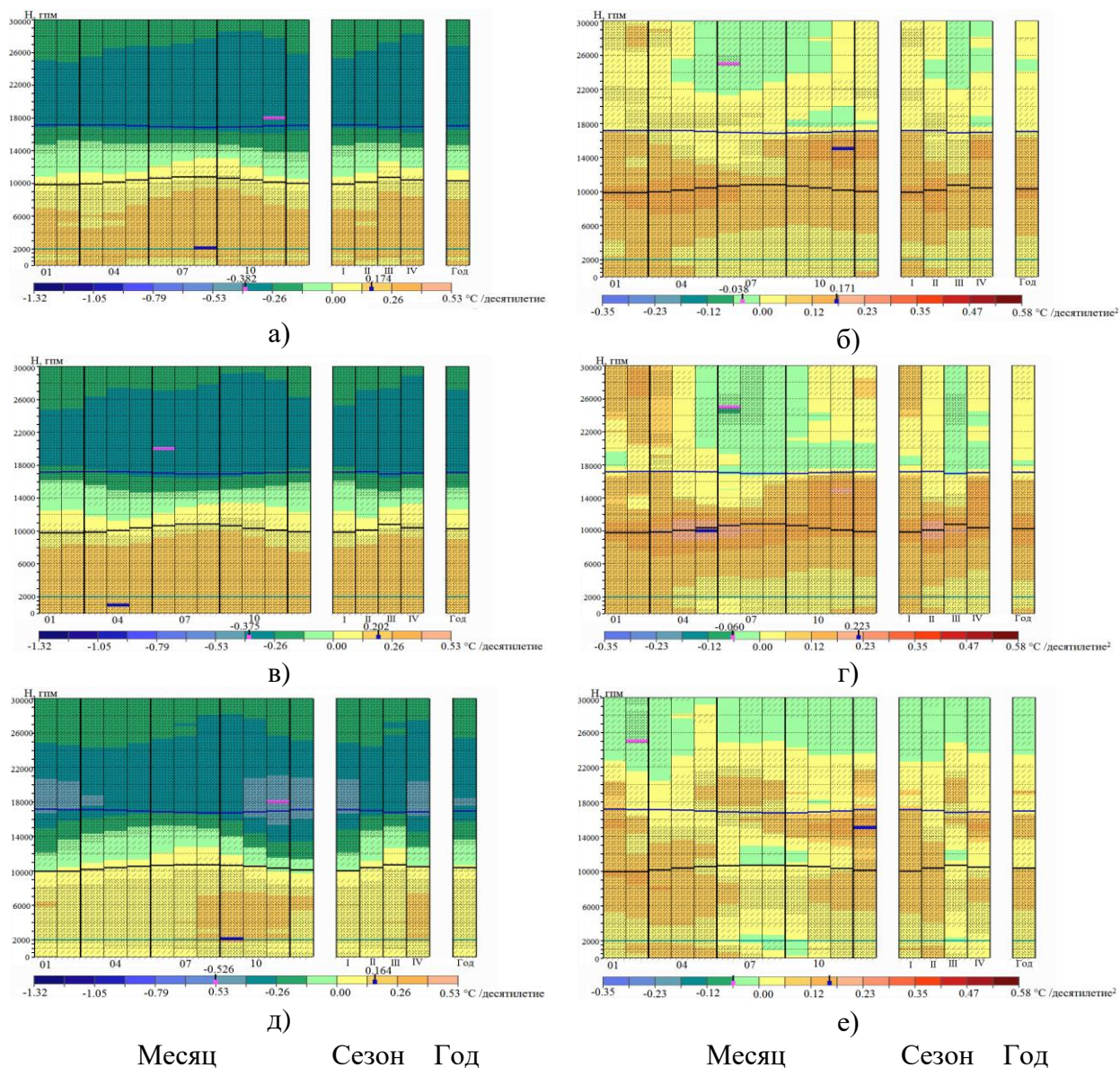


Рисунок 12. Тренды 1-го (C° за десятилетие; а, в, д) и 2-го (C° за десятилетие²; б, г, е) порядка аномалий многолетних средних значений T в слое атмосферы 0-30 км для каждого месяца, сезона и за год в целом за период наблюдений 1964-2018 гг.

(а, б) – для земного шара, (в, г) – для Северного и (д, е) – для Южного полушария.

Сезоны: I (зима) – ДЯФ, II (весна) – МАМ, III (лето) – ИИА, IV (осень) – СОН.

Синие и розовые отрезки соответствуют максимальным и минимальным значениям

Анализ расчетов, выполненных на основе глобальных аэрологических массивов за период 1964-2018 гг. показал, что вертикальная макроструктура линейных трендов как 1-го, так и 2-го порядка аномалий температуры воздуха неоднородна в атмосферном слое 0-30 км над уровнем моря для Северного и Южного полушарий и земного шара в целом.

Для обоих полушарий было зафиксировано следующее: для всех месяцев потепление в слое 0-8 км и похолодание в слое 16-30 км; по мере приближения к 2018 г. наибольшее ускорение изменения T для зимы (ДЯФ) в слое 5-17 км, для весны (МАМ) – в слоях 0-1 и 4-13 км, для осени (СОН) – в слоях 7-9 и 14-16 км, при рассмотрении года в целом – в слоях 6-10 и 14-16 км. Для земного шара определено для всех месяцев потепление в слое 0-10 км и

похолодание в слое 14-30 км; по мере приближения к 2018 г. наибольшее ускорение изменения T определено для зимы в слоях 0-2 и 4-17 км, для весны – в слоях 0-1 и 4-14 км, для лета – в слое 6-12 км, для осени – в слое 6-17 км, при рассмотрении года в целом – в слое 5-16 км. Соответствующие тренды были определены со значимостью более 95 %.

Работа выполнена в рамках темы НИТР 3.2. Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга.

Список литературы

Алдухов О.А., Черных И.В. (2013) *Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 1. Контроль качества и обработка данных*, Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, 306 с.

Де Бор К. (1985) *Практическое руководство по сплайнам*, М., Радио и связь, 304 с.

Руденкова Т.В. (2010) *Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ*, в сб. Труды ВНИИГМИ-МЦД, вып. 174. – Обнинск, ВНИИГМИ-МЦД, с. 41-63.

Aldukhov O.A., Chernykh I.V. (2020) *First and second-order trends of air temperature at the surface level from global radiosonde data – Research activities in Earth system modelling*, Working Group on Numerical Experimentation, Report no. 50, WCRP Report No.12/2020,. E. Astakhova (ed.), July 2020, WMO, Geneva, p. 2-03-2-04, URL: <http://bluebook.meteoinfo.ru/>.

Eskridge R.E., Aldukhov O.A., Chernykh I.V., Zhai P., Polansky A.C., Doty S.R. (1995) A comprehensive aerological reference dataset (CARDS): rough and systematic errors, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 76, no. 10, pp. 1759-1775.

**РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ВАКУУМНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ВОДНЫХ ПРОБ
АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ МАЛОГО ОБЪЕМА
DEVELOPMENT OF A DEVICE FOR VACUUM FILTRATION OF WATER SAMPLES
OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION OF SMALL VOLUME**

Александрова М.С.^{1), 2)}, Конькова А.С.^{1), 3)}, Позднякова Е.А.¹⁾

Aleksandrova M.S.^{1), 2)}, Kon'kova A.S.^{1), 3)}, Pozdnyakova Ye.A.¹⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б; *mkotorova.igce@gmail.com*

²⁾ Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 101000, Москва, Мясницкая улица, 20; *mkotorova.igce@gmail.com*

³⁾ ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт общей физики им. А.М. Прохорова
Российской академии наук»

Россия, 119991 ГСП-1, Москва, ул. Вавилова, д. 38; *alexandrakonkova95@gmail.com*

Аннотация. Цель работы – разработать устройство вакуумной фильтрации водных проб малого объема, в котором фильтрация производится через мембранные фильтры в полуавтоматическом режиме. В рамках поставленной задачи данное устройство позволяет производить фильтрацию проб объемом менее 10 мл. Разработанная конструкция стенда позволяет расширить возможности по фильтрации в зависимости от требуемых условий.

Ключевые слова: КФМ, ЕМЕП, EANET, фильтрация проб, атмосферные осадки, 3D печать.

Abstract. The aim of the work is to develop a device for vacuum filtration of water samples of small volume, in which filtration is performed through membrane filters in a semi-automatic mode. As part of the task, this device allows filtering samples with a volume of less than 10 ml. It should be noted that the design of the stand is designed in such a way as to allow expanding the possibilities of the installation for filtration, depending on the required conditions.

Keywords: CBM, EMEP, EANET, sample filtration, precipitation, 3D printing.

ФГБУ «ИГКЭ» является методическим и координирующим центром станций мониторинга на территории Российской Федерации в рамках программ Комплексного фоновый мониторинга – КФМ, Международной совместной программы мониторинга и оценки дальних переносов атмосферных загрязняющих веществ в Европе – ЕМЕП, и Сети кислотных выпадений в Восточной Азии – EANET.

В ФГБУ «ИГКЭ» проводятся измерения проб природных сред: атмосферных осадков, поверхностных вод, атмосферного воздуха, проб и растительности. Анализ водных проб на основные ионы производится методом ионной хроматографии (РД 52.44.916-2021, 2021; Руководство ЕМЕП..., 2006). Обязательным этапом измерений является фильтрация с целью очистки проб от крупных механических частиц, что предотвращает загрязнение хроматографа и позволяет повысить качество анализа. В настоящее время фильтрация производится с помощью нестерильных гидрофильных Nylon шприцевых фильтров (толщина: 0,45 мкм; диаметр: 25 мм). Проба набирается в шприц и вручную прокачивается оператором. Недостатками данного метода является: использование более дорогих, в сравнении с мембранными фильтрами, и значительные усилия со стороны оператора. В связи с этим в ФГБУ «ИГКЭ» была поставлена задача разработать устройство вакуумной фильтрации

водных проб малого объема, в котором фильтрация производится через мембранные фильтры в полуавтоматическом режиме.

Модель устройства представлена на рис. 13. Основными частями разработанной установки являются: корпус 1, крышка корпуса 2, выходной патрубок для подключения средства откачки воздуха (вакуумного насоса), воронка с сеткой и фиксатором 4, держатель приемной емкости 6 и емкость 7. В зависимости от задачи (куда фильтруется проба, объем пробы, необходимая степень очистки и др.) изменяется форма сменных деталей: держателя приемной емкости, воронка, сетка и ограничитель пробы.

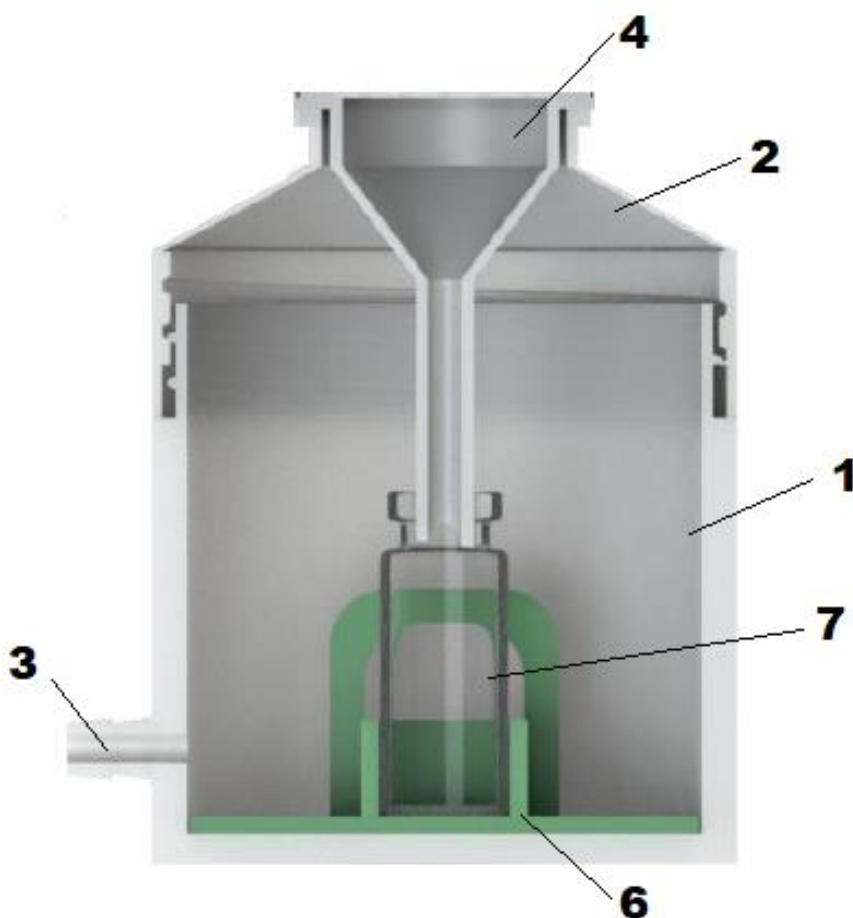


Рисунок 13. 3D модель устройства вакуумной фильтрации водных проб атмосферных осадков малого объема в разрезе

Корпус 1 выполнен в форме цилиндра, крышка 2 выполнена с возможностью резьбового соединения корпусом, воронка выполнена с возможностью резьбового соединения с крышкой. Корпус 1 в форме цилиндра выполнен диаметром 90 см и высотой 93 см. Держатель 6 емкости для отфильтрованной жидкости выполнен в виде вкладыша на дно полого сосуда с полым выступом для установки в нем емкости для отфильтрованной жидкости. Держатель может быть снабжен двумя ручками для установки и выемки держателя из корпуса.

Используется устройство вакуумной фильтрации следующим образом. Фильтрующий элемент 5, например, мембранный фильтр, устанавливается в воронку 4, через которую напрямую или с откачки воздуха для повышения интенсивности в емкость 7 проступает отфильтрованная жидкость. Во время фильтрации из жидкости удаляются крупные твердые частицы и другие примеси, затрудняющие анализ или приводящие к поломке измерительные средства.

Наиболее близким техническим решением к предложенному является вакуумная лабораторная установка Ручей-1, представляющая собой полый сосуд с патрубком в боковой стенке, выполненным с возможностью соединения со средствами откачки воздуха, а также установленную в верхней части воронку с фильтрующим элементом, выполненную с возможностью подачи жидкой среды для фильтрации. Недостатком данной установки является относительно низкая универсальность, не позволяющая использовать его многократно без дополнительной полной промывки сосуда при необходимости получения фильтрата без примесей, которые могут остаться на стенках сосуда после предыдущей фильтрации. Кроме того, при исследованиях объем исходного материала может быть ограничен малыми дозами, что вызывает проблемы сбора отфильтрованного материала.

По сравнению с известными техническими решениями и установками, в предложенной обеспечивается возможность размещать приемную емкость в нижней части полого сосуда, что позволяет фильтровать пробы малого объема с минимальными потерями, а также исключает необходимость мыть полый сосуд после каждой фильтрации в случае необходимости проведения высокоточных исследований, например, методами ионной хроматографии.

Данная установка позволит производить фильтрацию водных проб малого объема с увеличенной скоростью, небольшими усилиями со стороны оператора и меньшими затратами на расходные материалы. На разработанную установку был получен Патент на полезную модель №217761 «Устройство вакуумной фильтрации», заявка №2023101482. Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации: 17 апреля 2023 (Александрова и др., 2023).

В докладе будет представлена структура и принцип работы установки.

Работа выполнена в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)».

Список литературы

Александрова М.С., Конькова А.С., Позднякова Е.А. (2023) Патент на полезную модель №217761 Российская Федерация, МПК В01D 29/00 (2006.01), *Устройство вакуумной фильтрации*, 2023101482, заявл. 24.01.2023, опубл. 17.04.2023, 8 с.

РД 52.44.916-2021 (2021) *Организация и проведение режимных наблюдений за фоновым состоянием загрязнения окружающей среды и трансграничным переносом загрязняющих веществ*, утвержден и введен в действие приказом Росгидромета от 29.11.2021 № 411, ФГБУ «ИГКЭ», Москва, 41 с.

Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу (2006) Перевод с английского под редакцией А.Г. Рябошапко, Москва, ФГБУ «ИГКЭ», 294 с.

**ОЦЕНКА ТЕНДЕНЦИЙ МНОГОЛЕТНЕЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ
ОБЪЕМНОЙ АКТИВНОСТИ ^{137}Cs И ^{90}Sr В АТМОСФЕРНЫХ АЭРОЗОЛЯХ
НА ТЕРРИТОРИИ РФ
ASSESSMENT OF LONG-TERM TRENDS OF ^{137}Cs AND ^{90}Sr VOLUME ACTIVITY IN
THE ATMOSPHERIC AEROSOLS IN RUSSIA**

Богачева Е.Г., Полянская О.Н., Зубачева А.А., Каткова М.Н.

Bogacheva E.G., Polyanskaya O.N., Zubacheva A.A., Katkova M.N.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»
Россия, 249038, г. Обнинск, ул. Победы, 4

Аннотация. В работе представлены результаты анализа объемной активности ^{137}Cs и ^{90}Sr аэрозольных фильтров, отобранных в период 2000-2022 гг. на всей территории России. Исследование позволяет лучше понять временную изменчивость и корреляцию активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в атмосфере, оценить вклад указанных техногенных радионуклидов в радиоактивное загрязнение окружающей среды.

Ключевые слова: ^{137}Cs , ^{90}Sr , аэрозоли, РФ, радиоактивность окружающей среды.

Abstract. In this study, the results of the analysis of ^{137}Cs and ^{90}Sr activity concentrations on aerosol filters collected from 2000 to 2022 in Russia are presented. The paper describes the temporal variability and correlation of ^{137}Cs and ^{90}Sr activities in the atmosphere, and assesses the contribution of these artificial radionuclides to radioactive pollution of the environment.

Keywords: ^{137}Cs , ^{90}Sr , aerosols, Russian Federation, environmental radioactivity.

Мониторинг атмосферных аэрозолей является эффективным способом обнаружения изменений радиационной обстановки, поскольку аэрозольные частицы могут нести следы недавно образовавшихся продуктов деления. Систематические мониторинговые наблюдения радиоактивных аэрозолей в России проводятся с 1954 г., в данной работе представлены результаты с 2000 г. Стационарное оборудование для отбора проб находится в 55 пунктах сети наблюдений за радиоактивным загрязнением окружающей среды Росгидромета. Сеть используется для регистрации текущего уровня загрязнения и позволяет определить естественную изменчивость при атмосферном переносе.

За указанный период проведено более двухсот двадцати тысяч измерений проб атмосферных аэрозолей. Средневзвешенная по территории РФ среднегодовая объемная активность ^{137}Cs в приземном слое атмосферы составила $1,4-4,9 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³ (без учета 2011 года), ^{90}Sr – $0,7-1,4 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³. Оба радионуклида демонстрируют тенденцию к снижению, при этом максимальная активность ^{137}Cs приходилась на 2011 год ($54,8 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³), за счет влияния аварии на АЭС «Фукусима-1», а максимальная активность ^{90}Sr наблюдалась в 2017 г. ($1,4 \cdot 10^{-7}$ Бк/м³). Все наблюдаемые величины были ниже допустимых уровней в соответствии с НРБ-99/2009 (рис. 14).

Рассмотрены средневзвешенные значения активностей радионуклидов, в зависимости от расположения пунктов отбора по географическим районам, от деления территорий РФ по федеральным округам.

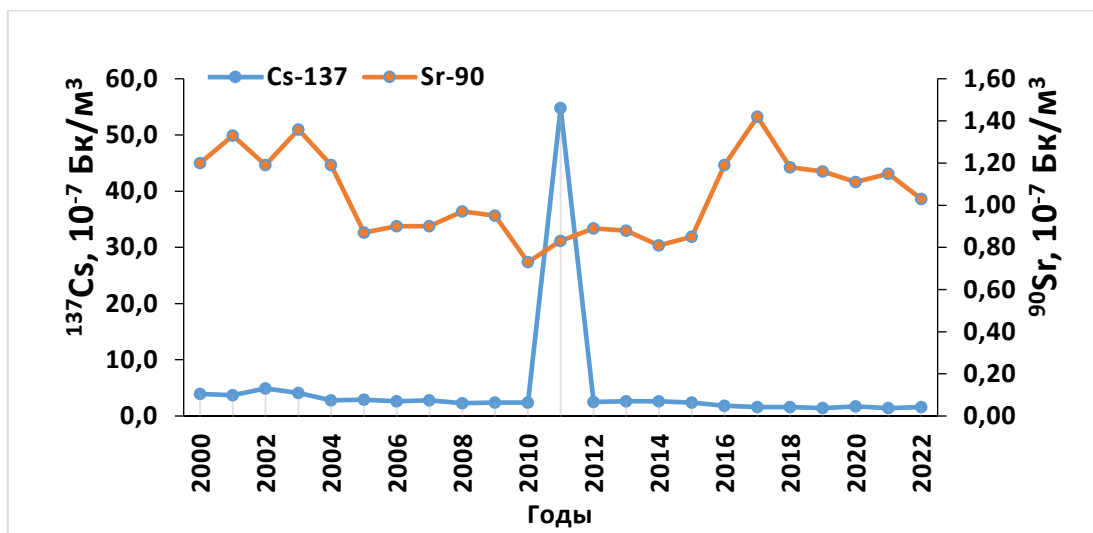


Рисунок 14. Изменение со временем средневзвешенных объемных активностей ^{137}Cs и ^{90}Sr в воздухе РФ

Список литературы

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2021 г. Ежегодник (2021) Под ред. Шершакова В.М., Булгакова В.Г., Вакуловского С.М. и др., Обнинск, ФГБУ «НПО «Тайфун», 342 с.

СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы (2009) М., Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 100 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ТЕРРИТОРИИ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» AIR POLLUTION WITH HEAVY METALS IN THE SMOLENSK LAKE NATIONAL PARK

Бурцева Л.В., Кручина Е.Б., Александрова М.С., Пастухов Б.В.

Burtseva L.V., Kruchina E.B., Alexandrova M.S., Pastukhov B.V.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель работы – на основе фактических данных оценить состояние загрязнения атмосферного воздуха ртутью, свинцом, кадмием и медью на территории национального парка «Смоленское Поозерье», где планируется организация наблюдений по программе комплексного фоновый мониторинга загрязнения природной среды. По результатам наблюдений установлены диапазоны колебания концентраций микроэлементов в годовом цикле, составляющие доли процентов от предельно допустимых концентраций, принятых для атмосферного воздуха. Выявлены межэлементные особенности изменчивости концентраций.

Ключевые слова: комплексный фоновый мониторинг, концентрации, микроэлементы, атмосферный воздух.

Abstract. The purpose of the work is to assess the state of mercury, lead, cadmium and copper pollution of atmospheric air on the territory of the Smolenskoye Lake National Park on the basis of actual data, where it is planned to organize observations under the program of integrated background monitoring of environmental pollution. Based on the results of observations, ranges of fluctuations in the concentrations of trace elements in the annual cycle have been established, which are fractions of percentages of the maximum permissible concentrations accepted for atmospheric air. The interelement features of the variability of concentrations are revealed.

Keywords: complex background monitoring, concentrations, trace elements, atmospheric air.

Данные непрерывных многолетних наблюдений за состоянием загрязнения геофизических сред на «Особо охраняемых природных территориях» (ООПТ) по программе «Комплексный фоновый мониторинг» (КФМ) – это информационная база оценки масштабов распространения продуктов промышленных выбросов, поступающих в глобальную атмосферу, и выявления динамики этих процессов.

На европейской части России (ЕЧР) на четырех станциях, расположенных в Астраханском, Приокско-Террасном, Воронежском и Кавказском биосферных заповедниках (далее АБЗ, ПТБЗ, ВБЗ, КБЗ) более 25 лет ведется наблюдение за состоянием загрязнения атмосферного воздуха, осадков, поверхностных вод, почвы и растительности. В число измеряемых компонентов входят ртуть, свинец, кадмий и медь.

Национальный парк «Смоленское Поозерье» (далее НПСП) по своим физико-географическим условиям является наиболее перспективной территорией для расширения числа станций КФМ с целью большего охвата заповедных зон на ЕЧР. Он расположен в области умеренно континентального климата, в зоне смешанных широколиственно-тёмнохвойных лесов, западнее других станций КФМ, на пути перемещения воздушных масс с европейского континента. Атмосферные осадки чаще связаны с прохождением циклонов, приносящих воздушные массы с атмосферными аэрозолями из дальних регионов. Общая

площадь НПСП немногим меньше 1,5 тысяч кв. км, на которой 35 больших и малых озер (Богданов и др., 2021). Антропогенные источники эмиссии загрязняющих веществ, способные непосредственно влиять на природную среду НПСП в радиусе 100 км, отсутствуют.

Для оценки состояния загрязнения микроэлементами атмосферного воздуха на территории НПСП, ИГКЭ Росгидромета выполнил в период с 2008 г. по 2015 г. эпизодические, а с июля 2016 г по март 2017 г. с небольшим перерывом, систематические измерения концентраций свинца, кадмия и меди в атмосферном воздухе. Среднесуточные концентрации свинца, кадмия, меди в составе осажденных на фильтр ФПА атмосферных аэрозолей измерялись по методике (РД 52.44.593-2015), элементарной ртути по методике (РД 52.44.591-2015).

Для сравнительной оценки состояния загрязнения микроэлементами атмосферного воздуха на территории НПСП и БЗ, где работают станции КФМ на ЕЧР, проанализированы ряды концентраций, измеренных одновременно в НПСП и станциях КФМ.

В качестве характеристик использованы значения концентраций, осредненных за весь период 2016-2017 г., за периоды холодных и теплых месяцев, а также коэффициенты вариации суточных концентраций в эти периоды (см. табл. 10).

Таблица 10. Характеристики массивов концентраций микроэлементов в атмосферном воздухе, измеренных на территориях ООПТ на ЕЧР

Характеристика	Природные зоны				
	Полупустыни	Смешанные леса		Лесостепь	Высотная поясность
	Астраханский БЗ	Приокско-Террасный БЗ	Национальный парк СП	Воронежский БЗ	Кавказский БЗ
Свинец					
Среднегодовая ¹	1,8/0,6	2,1/0,7	1,1/0,37	3,4/1,1	1,2/0,4
КВгод ²	2,3	1,3	1,5	1,1	1,3
Средняя X / T ³	1,7/1,9	2,5/1,7	1,1/1,2	4,1/2,7	0,79/1,39
КВх / КВт	1,6/2,7	1,4/0,94	1,5/1,6	1,2/0,72	1,3/1,1
Кадмий					
Среднегодовая	1,2/0,4	0,08/0,026	0,4/0,13	0,14/0,046	0,048/0,016
КВгод	1,4	1,9	1,1	1,3	1,8
Среднее X / T	1,1/1,3	0,08/0,080	0,19/0,09	0,15/0,14	0,036/0,048
КВх / КВт	1,8/1,1	2,0/1,0	2,1/6,1	1,5/0,71	2,7/0,93
Медь					
Среднегодовая	2,3/0,2	11,4/1,1	10,9/1,1	16,0/1,6	6,0/0,6
КВгод	2,3	1,6	3,4	3,4	1,4
Среднее X / T	2,5/2,1	10,3/12,4	3,8/37,0	5,8/25,6	3,7/9,3
КВх / КВт	2,5/2,9	1,9/1,4	1,5/1,1	1,4/3,0	0,67/1,1
Ртуть					
Среднемесячная.		2,0/0,7	1,8/0,6		
КВ _м		0,38	0,45		

Примечание: 1 – концентрация, нг/м³ в числителе, % ПДК в знаменателе; 2 – КВ – коэффициент вариации суточных концентраций; 3 – X/T – холодные/теплые месяцы.

Представленные в таблице характеристики, показали, что есть общие закономерности, характерные для ООПТ, включая НПСП. Так концентрации ртути, свинца, кадмия и меди в атмосферном воздухе, крайне низки. В зависимости от элемента и географического положения БЗ, составляют от 0,016 % до 1,6 % предельно допустимой концентрации (ПДК). Вариабельность концентраций микроэлементов, как в годовом периоде, так и в сезоны года выше 1, что свидетельствует о широком диапазоне изменчивости крайне низких среднесуточных значений во времени. Аномальных различий в состоянии загрязнения атмосферного воздуха микроэлементами в БЗ, располагающихся в разных природных зонах, не проявляется.

Распределение концентраций микроэлементов, присутствующих в атмосфере в виде аэрозолей (свинец, кадмий, медь), на территориях ООПТ, включая НПСП, совпадает с распределением Кларков рассеяния элементов в земной коре, составляющих возрастающий ряд – Hg < Cd < Pb < Cu. То есть, на территориях, удаленных от антропогенных источников эмиссии (ООПТ), аэрозольная составляющая микроэлементов в атмосферном воздухе формируется в большей степени под влиянием их природных источников, например такого, как региональное пространственное распределение каждого микроэлемента в подстилающей поверхности, а также индивидуальных свойств самих микроэлементов. Примером является ртуть, нарушающая природный порядок распределения элементов. Ртуть присутствует в атмосфере в газообразной форме и имеет, по сравнению с аэрозолями, длительный период жизни в атмосфере (Из-за олимпийских строек..., 2023). Природными источниками её эмиссии являются ртутные проявления в подстилающей поверхности, которые могут быть на территориях ООПТ, как это имеет место в КБЗ (Шенцева и др., 2015). Перечисленные факторы, не смотря на низкий уровень концентраций микроэлементов, создают региональные особенности пространственной изменчивости загрязнения атмосферного воздуха на территориях ООПТ на ЕЧР.

Сравнительный поэлементный анализ состояния загрязнения атмосферного воздуха на территории НПСП и территориях БЗ с действующими станциями КФМ на ЕЧР выявил следующие закономерности.

Свинец. Состояние загрязнения атмосферы свинцом на территории НПСП идентично зоне высотной поясности Западного Кавказа, где расположен на высоте 560 м.н.у.м. КБЗ. Колебания суточных концентраций происходят в устойчивом диапазоне, что подтверждают однородные средние оценки концентраций и коэффициенты вариаций за весь анализируемый период, за холодные и теплые месяцы (см. таблицу).

Концентрации свинца в атмосфере ниже, чем в ПТБЗ, расположенном в одноименной природной зоне, но в более густонаселенной и экономически развитой Московской области, а также в 1,6-3,0 раза ниже, чем на территориях АБЗ и ВБЗ.

Изменчивость среднемесячных концентраций свинца в воздухе НПСП в зависимости от месячных сумм осадков оценивается значимым, отрицательным коэффициентом корреляции ($R = -0,56$). То есть, в приземном слое воздуха концентрации свинца снижаются при увеличении количества атмосферных осадков, что закономерно для хорошо вымываемых, местного происхождения, аэрозолей, к которым, по-видимому, относятся аэрозоли свинца.

Пространственная изменчивость содержания свинца в приземной атмосфере на территориях ООПТ характеризуется диапазоном средних за период наблюдений концентраций 1,1-3,0 нг/м^3 , коэффициентом вариации 0,54 и минимумом концентрации в НПСП.

Медь. Концентрации меди в атмосферном воздухе НПСП менее стабильны, чем свинца. Коэффициент вариации среднесуточных концентраций в рассматриваемом полном периоде наблюдений составляет значение 3,4 против значения 1,6 в ПТБЗ, расположенном в той же лесной зоне. Вариабельность концентраций меди с коэффициентом 3,4 наблюдается и в ВБЗ, расположенном в лесостепной зоне индустриально-аграрной Воронежской области (Шенцева и др., 2015) с большими площадями сельскохозяйственного назначения, являющимися природными источниками эмиссии аэрозолей в атмосферу.

В зимние месяцы, когда подстилающая поверхность ЕЧР покрыта снегом, в НПСП, ВБЗ, и КБЗ концентрации меди значительно ниже, чем в летние. В АБЗ и ПТБЗ сезонные различия не существенны.

Коэффициент корреляции среднемесячных концентраций меди и месячных сумм осадков в НПСП так же, как у свинца отрицательный, равный $-0,58$, свидетельствующий о близости временных закономерностей изменчивости концентраций свинца и меди. Амплитуда зональных колебаний средних за период наблюдений концентраций в приземной атмосфере ООПТ ограничена более широким, в сравнении со свинцом, диапазоном 2,3-10,9 нг/м^3 с коэффициентом вариации 0,69 минимумом в АБЗ.

Кадмий. Динамика изменчивости концентраций кадмия во времени и пространстве отличается от свинца и меди. Зональная дифференциация среднегодовых концентраций значительно выше, чем концентраций свинца и меди, оценивается коэффициентом вариации, равным 2,5 и имеет пятнистый характер. Размах пространственных колебаний составляет 0,08-1,2 нг/м^3 . Среди рассматриваемых ООПТ по уровню концентраций кадмия НПСП занимает среднее место. Концентрации кадмия в НПСП выше, чем ПТБЗ и КБЗ, но ниже, чем в АБЗ и

ВБЗ. В приземном слое воздуха в НПСП в холодные месяцы концентрации в 2 раза выше, чем в теплые, в то время как в других БЗ сезонные концентрации, практически сопоставимы.

Взаимосвязь временной изменчивости среднемесячных концентраций кадмия и месячных сумм осадков на территории НПСП характеризуется, в отличие от свинца и меди, положительным коэффициентом корреляции $R=0,74$. Наибольшее количество осадков в регионе НПСП выпадает в летние месяцы. Осадки, как правило, связаны с прохождением фронтальных воздушных масс, с которыми, вероятно, в результате дальнего переноса в приземный слой атмосферы НПСП поступают аэрозоли кадмия.

Ртуть. Измеренные в течение короткого периода времени концентрации ртути, представленные в таблице, можно рассматривать, как рекогносцировочные, дающие представление об уровне содержания ртути в осенний сезон года (сентябрь) на территории НПСП, и сопоставить с аналогичным периодом на территории ПТБЗ.

Исходя из представленных данных, в осенний период в зоне смешанных лесов на ЕЧР в приземном слое воздуха устойчивый низкий уровень концентраций ртути порядка 2 нг/м^3 . Об этом свидетельствуют близкие значения среднемесячных концентраций и коэффициенты вариаций среднесуточных концентраций, значения которых на территориях НПСП и ПТБЗ ниже 0,5. Кроме того, по уровню измеренных концентраций ртути в атмосферном воздухе, можно заключить, что на территории НПСП нет ртутных проявлений в почвенном покрове.

Таким образом, сравнительный анализ исходных донных о содержании микроэлементов в приземном слое атмосферного воздуха на территории НПСП и территориях четырех БЗ, расположенных в разных природных зонах и отличающихся экономических регионах ЕЧР, показал следующее.

Состояние загрязнения атмосферного воздуха микроэлементами на территориях ООПТ, включая НПСП, на ЕЧР, формирующееся природными источниками и за счет дальнего переноса микроэлементов, составляет доли процентов от предельно допустимых концентраций, принятых для атмосферного воздуха.

Среднесуточные концентрации варьируют во времени в устойчивых, индивидуальных для каждого элемента по ширине диапазонов. Коэффициенты вариаций в НПСП составляют от 0,45 для ртути до 3,4 для меди.

Пространственная изменчивость концентраций микроэлементов в атмосфере ООПТ на ЕЧР в зависимости от элемента характеризуется значениями коэффициентов вариации, составляющими: свинца – 0,54 с минимумом концентрации в НПСП, меди – 0,58 с минимумом концентрации в АБЗ, кадмия – 2,5 с минимумом концентрации в КБЗ. Аномалий в содержании микроэлементов в атмосферном воздухе НПСП не обнаружено.

Список литературы

Богданов Е.В., Солар О.Г., Хохряков В.Р., Богданова С.А. (2021) *Национальный Парк Смоленское Поозерье. Путеводитель*, ООО «Идея», с. 192.

РД 52.44.593-2015 *Массовая концентрация тяжелых металлов в атмосферном воздухе Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии с беспламенной атомизацией (2015)* Введен в действие приказом Росгидромета от 29.01.2016 № 19, разработан ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», Ижевск, ООО «Принт 2», 37 с.

РД 52.44.591-2015 *Массовая концентрация ртути в атмосферном воздухе Методика измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии "холодного пара" (2015)* Введен в действие приказом Росгидромета от 14.03.2016 № 114, разработан ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», Ижевск, ООО «Принт 2», 23 с.

Петрухин В.А., Бурцева Л.В., Васьковский А.Г. (1982) К вопросу о содержании ртути в атмосфере фоновых районов, *Мониторинг фоновых загрязнений природной среды*, Л., Гидрометеоздат, № 1, с. 112-120.

Из-за олимпийских строек жители Сочи могут отравиться парами ртути (2023) URL: <https://viking-nord.livejournal.com/2742139.html?ysclid=ljw4gd7wf117208585>.

Шенцева Л.Н., Выборнов В.И., Землянко А.В. (2015) Характерные черты территориально-хозяйственного комплекса Воронежской области на современном этапе развития, *Молодой ученый*, № 7-3, с. 87-89.

**ОЦЕНКА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В СЕКТОРЕ ЖИВОТНОВОДСТВО
НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**
**ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM LIVESTOCK IN THE
RUSSIAN FEDERATION**

Вертянкина В. Ю.

Vertyanikina V. Yu.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель работы – оценка выбросов парниковых газов метана (CH₄) и закиси азота (N₂O) в секторе животноводство на территории Российской Федерации. На основе проведенных исследований были оценены выбросы в результате внутренней ферментации и систем сбора, хранения и использования навоза на территории Российской Федерации. По данным национального кадастра суммарное значение выбросов от сектора Сельское хозяйство в 2021 году составило 121 258 тыс. тонн CO₂ экв. Вклад закиси азота в общие сельскохозяйственные выбросы составили 60% от суммарных выбросов в секторе, выбросы метана – 39,2 %, вклад CO₂ составил около 0,8%. Среди наиболее значимых источников в аграрном секторе РФ выделяют прямые выбросы от сельскохозяйственных почв (55587,7 тыс. тонн CO₂ экв.) и выбросы CH₄ в результате внутренней ферментации домашних животных (41007,1 тыс. тонн CO₂ экв.). Выбросы метана от систем сбора и хранения навоза составили – 5925,8 тыс. тонн CO₂ экв., выбросы закиси азота (прямые и косвенные) – 7635,3 тыс. тонн CO₂ экв. (Национальный доклад о кадастре, 2023).

Ключевые слова: сельское хозяйство, изменение климата, парниковые газы, углекислый газ, метан, закись азота.

Abstract. The aim of the work is to assess greenhouse gas emissions of methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O) from livestock on the territory of the Russian Federation. Based on the conducted research, emissions from the enteric fermentation and manure management systems on the territory of the Russian Federation were estimated. According to the national inventory report, the total value of emissions from the Agriculture sector in 2021 was 121,258 thousand tons of CO₂ eq. The contribution of nitrous oxide to the total agricultural emissions was 60% of the total emissions in the sector, methane emissions – 39,2%, the contribution of CO₂ was about 0,8%. Among the most significant sources in the agricultural sector of the Russian Federation are direct emissions from agricultural soils (55587,7 thousand tons of CO₂ eq.) and CH₄ emissions from enteric fermentation of livestock (41007,1 thousand tons of CO₂ eq.). Methane emissions from manure management systems amounted to 5925,8 thousand tons of CO₂ eq. and nitrous oxide emissions (direct and indirect) – 7635,3 thousand tons of CO₂ eq. (National Inventory report, 2023).

Keywords: agriculture, climate change, greenhouse gases, carbon dioxide, methane, nitrous oxide.

Согласно Рамочной конвенции ООН по изменению климата (РКИК) (1992) и Парижскому соглашению (Парижское соглашение, 2015) выбросы парниковых газов, таких как CO₂, CH₄, N₂O и другие подлежат обязательной ежегодной инвентаризации во всех странах-участницах РКИК, включая Российскую Федерацию. В аграрном секторе РФ основными источниками выбросов парниковых газов являются выбросы в результате внутренней ферментации домашних животных, от систем сбора, хранения и использования навоза и птичьего помета, выращивание риса, выбросы от сельскохозяйственных почв, известкование и внесение мочевины в почвы. Данная работа, посвященная оценке выбросов метана и закиси азота в секторе животноводство в аграрном секторе РФ.

В части животноводства в секторе Сельское хозяйство в РФ оцениваются выбросы метана в результате внутренней ферментации домашних животных и выбросы метана и закиси азота от систем сбора, хранения и использования навоза. Метан производится травоядными

животными в качестве побочного продукта внутренней ферментации, пищеварительного процесса, в ходе которого микроорганизмы расщепляют углеводы на простые молекулы для их последующего впитывания в кровоток. Количество высвобождаемого метана зависит от типа пищеварительного тракта, возраста и массы животного, а также качества и количества потребляемого корма. От систем сбора, хранения и использования навоза метан образуется в результате разложения навоза в анаэробных условиях. Условия для этого создаются тогда, когда животные содержатся на ограниченных площадках и там, где навоз утилизируется в жидкостных системах.

При оценке выбросов учитываются следующие виды домашних животных: крупный рогатый скот (КРС), включая молочных коров, свиньи, козы, овцы, мулы, ослы, лошади, верблюды, кролики, северные олени, лисы, песцы, норки, нутрии и разные виды домашней птицы. Наибольший вклад в совокупные выбросы метана от сектора животноводство в результате внутренней ферментации и от систем сбора и хранения навоза вносят КРС и свиньи.

Выбросы закиси азота от систем сбора, хранения и использования навоза происходят прямым и косвенным путями. Прямые выбросы происходят в ходе комбинированной нитрификации – денитрификации содержащегося в навозе азота. Косвенные выбросы происходят в результате потерь летучего азота, главным образом в форме аммиака и NO_x . Часть выделяемого органического азота, которая минерализуется до аммонийного азота в процессе сбора и хранения навоза, зависит в основном от времени и в меньшей степени от температуры.

Для оценки выбросов парниковых газов нами использовались методы расчетного мониторинга, которые применяются при составлении отчетности РФ в соответствии с требованиями РКИК ООН (МГЭИК, 2006).

Согласно данным Национального кадастра (Национальный доклад о кадастре, 2023), суммарные значения выбросов парниковых газов в секторе Сельское хозяйство в 2021 г. составили 121284,74 тыс. тонн CO_2 экв., выбросы метана в результате внутренней ферментации составили – 41007,06 тыс. тонн CO_2 экв., совокупные выбросы от систем сбора, хранения и использования навоза – 13561,09 тыс. тонн CO_2 экв., выбросы в результате выращивания риса – 585,13 тыс. тонн CO_2 экв., выбросы от сельскохозяйственных почв – 65151,19 тыс. тонн CO_2 экв., в результате известкования и внесения мочевины в почвы – 980,28 тыс. тонн CO_2 экв. На рис. 15 представлена диаграмма изменения выбросов парниковых газов от основных источников в аграрном секторе РФ за период с 1990 по 2021 гг.

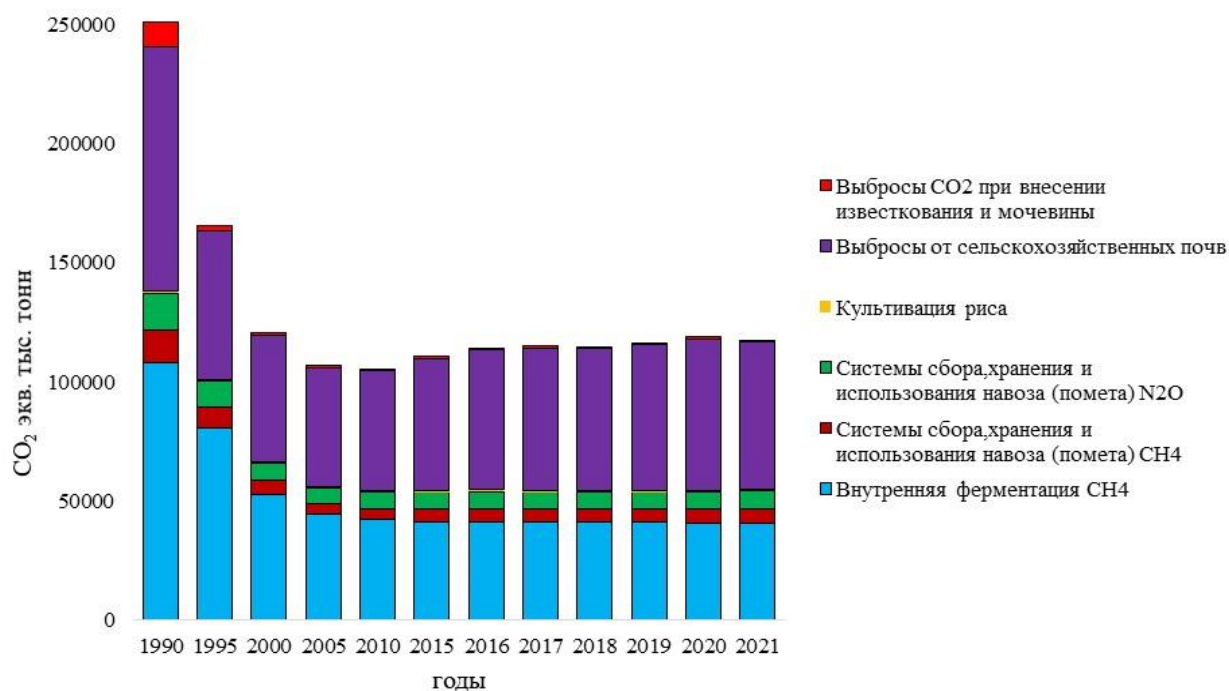


Рисунок 15. Выбросы парниковых газов в сельском хозяйстве по источникам (тыс. тонн CO₂ экв.)

Расчет выбросов метана от КРС и коров в результате внутренней ферментации оценивался по Уровню 2 Руководящих принципов МГЭИК. Расчет выбросов метана при процессах внутренней ферментации свиней оценивался по разработанной национальной методике, которая по сложности и детальности расчетов соответствует Уровню 2 методики МГЭИК (2006). Национальная методология оценки базируется на ежегодной статистической информации по потреблению разных видов кормов по видам сельскохозяйственных животных, предоставляемой Федеральной службой государственной статистики (Росстат) (Российский статистический ежегодник, 2021). При оценке выбросов учитывается перевариваемость кормов КРС, молочных коров и свиней. Учитывая разницу в рационе КРС и свиней, а также физиологические особенности переваривания корма у жвачных и нежвачных животных на сегодняшний день расчет коэффициента перевариваемости производится на основе справочных данных (Шпаков и др., 1991). Под перевариваемостью понимается доля, содержащаяся в корме валовой энергии, которая не выделяется с фекалиями, выражается в виде процентной доли валовой энергии. После оценки коэффициента перевариваемости производится расчет валовой энергии и коэффициента эмиссии метана.

Оценка выбросов метана от систем сбора, хранения и использования навоза от КРС и свиней в Национальном кадастре выбросов парниковых газов РФ также как и выбросы в результате внутренней ферментации проводится с применением Уровня 2 методики МГЭИК (МГЭИК, 2006). Значения валовой энергии, а также коэффициента перевариваемости для КРС

и свиней используются по аналогии с категорией выбросов от внутренней ферментации сельскохозяйственных животных. Оценка прямых выбросов закиси азота от КРС и свиней проводится с применением Уровня 2 Руководящих принципов МГЭИК (МГЭИК, 2006).

По результатам проверки международной группы экспертов по проверке кадастров РКИК ООН в последнее время часто возникают замечания, касающиеся несогласованности и неточности оценки расчета валовой энергии и коэффициента эмиссии метана с рационом кормления КРС в ряде областей на территории РФ (например: Брянской, Московской и Ленинградской областей) (Report on the individual review..., 2020; Report on the individual review..., 2018). В связи с чем, возникает необходимость по проведению работ, связанных с уточнением национальных особенностей рационов кормления животных и выведения национального коэффициента перевариваемости для расчета внутренней энергии и коэффициентов эмиссии парниковых газов.

В рамках выполнения работ Важнейшего инновационного проекта государственного назначения (ВИП ГЗ) были проведены работы по уточнению оценок коэффициента перевариваемости кормов для КРС молочного и мясного направлений, и свиней, а также произведены оценки эмиссий от перечисленных видов домашних животных.

Работа выполнена в рамках реализации ключевого результата, важнейшего инновационного проекта государственного назначения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (утв. Распоряжением Правительства Российской Федерации от 29.10.2022 № 3240-р).

Список литературы

МГЭИК 2006 (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК*, т. 4, Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов, Игглестон Х.С., Буэндия Л., Мива К., Нгара Т. и Танабе К. (редакторы), опубликовано: ИГЕС, Япония.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (2023) Разработан и представлен в соответствии с обязательствами Российской Федерации по Рамочной Конвенции ООН об изменении климата и Киотскому протоколу к Рамочной Конвенции ООН об изменении климата.

Парижское соглашение согласно Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата («Парижское соглашение») (2015) ООН, 30 с., URL: http://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/russian_paris_agreement.pdf

Российский статистический ежегодник (2021) М., Росстат, 692 с.

Шпаков А.П., Назаров В.К., Певзнер И.Л., Пахомов И.Я. (1991) *Кормовые нормы и состав кормов: Справочное пособие*, Минск, Ураджай, 384 с.

РКИКООН (1992) *UNFCCC. United Nation Framework Convention on Climate Change*, UNEP/IUC, 29 p.

Report on the individual review of the annual submission of the Russian Federation submitted
in 2018, FCCC/ARR/2018/RUS (2019) 63 p., URL:
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2018_RUS.pdf.

Report on the individual review of the annual submission of the Russian Federation submitted
in 2020, FCCC/ARR/2020/RUS (2021) 73 p., URL:
https://unfccc.int/sites/default/files/resource/arr2020_RUS.pdf.

**СЕЗОННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА ПРИЗЕМНОГО
АЭРОЗОЛЯ В КРУПНОМ ГОРОДЕ**
**SEASONAL VARIABILITY OF ELEMENTAL COMPOSITION OF near-SURFACE
AEROSOL IN A LARGE CITY**

Виноградова А.А., Губанова Д.П., Иорданский М.А.

Vinogradova A.A., Gubanova D.P., Iordanskiy M.A.

ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Россия, 119017, г. Москва, Пыжёвский пер., д. 3

Аннотация. Анализируются сезонные изменения концентрации отдельных химических элементов в составе приземного аэрозоля в Москве и пригороде на протяжении трех лет наблюдений (2019-2022 годы). Сравнивается аэрозоль в центре Москвы (ИФА им. А.М. Обухова РАН) и на Звенигородской научной станции института (вблизи г. Звенигород Московской обл.). Выделены элементы регионального и локального распространения, характерные для аэрозоля города и/или пригорода. По величине фактора обогащения обнаружена одна и та же группа терригенных элементов в городе и пригороде для всех сезонов, что указывает на общность природно-территориального комплекса для обоих пунктов наблюдений. Сезонные вариации содержания разных элементов в аэрозоле, а также их распределение по размерам аэрозольных частиц отражают особенности формирования (эмиссии и стоки) их поля концентрации в воздухе города и пригорода.

Ключевые слова: приземная атмосфера, Москва, пригород, аэрозоль, элементный состав, сезонные вариации.

Abstract. Seasonal changes in the concentration of individual chemical elements in the near-surface aerosol in Moscow and one of its suburbs are analyzed over three years of observations (2019-2022). Aerosol composition is compared for the center of Moscow (A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics, RAS) and the point near Zvenigorod, Moscow region (Zvenigorod Scientific Station of IAP RAN). The elements of regional and local distribution are revealed for aerosols in the city and/or the suburb. According to the value of enrichment factor, the one group of terrigenous elements were found in the city and its suburb for all seasons, which indicates identity of the natural-territorial complex for both observation points. Seasonal variations in the content of different aerosol elements, as well as their distributions by aerosol particle size, reflect the peculiarities of their forming processes (emissions and sinks) in the air of Moscow and its suburb.

Keywords: near-surface atmosphere, Moscow, suburb, aerosol, elemental composition, seasonal variations.

При изучении атмосферного аэрозоля очень полезную информацию дает его элементный состав, который косвенно указывает на локальные/удаленные источники загрязнения атмосферы и пути его поступления к месту наблюдений (Rasmussen, 1998; Трефилова и др., 2012). В Московском регионе исследования элементного состава аэрозоля до недавнего времени проводились эпизодически (Волох, Журавлева, 1994; Губанова и др., 2021; Огородников и др., 1996). В последние годы сотрудниками МГУ им. М.В. Ломоносова реализуются комплексные исследования по сопоставлению элементного состава частиц почв и дорожной пыли с составом атмосферного аэрозоля и осадков в Москве и Подмосковье (Власов и др., 2014; Kasimov et al., 2020).

Изучение сезонных вариаций элементного состава приземного аэрозоля в городе и пригороде позволяет не только количественно и качественно сопоставить концентрации различных элементов в течение года, но и, наоборот, по этим вариациям попытаться понять особенности генезиса ряда элементов в городе и в загородной местности.

В течение последних трех лет (с октября 2019 г. по настоящее время) ИФА им. А.М. Обухова РАН проводит комплексный аэрозольный эксперимент по синхронному исследованию физико-химических характеристик приземного аэрозоля в городе и пригороде. Пункты наблюдений: 1) в центральной части Москвы (далее – ИФА), в зоне плотной городской застройки, недалеко от транспортных магистралей средней загруженности; 2) в пригороде, на Звенигородской научной станции ИФА РАН (далее – ЗНС), около 60 км к западу от Москвы, на окраине г. Звенигород. Общая мониторинговая часть эксперимента подробно описана в (Gubanova et al., 2022). Дополнительно пробы аэрозоля на гравиметрический и элементный анализ отбираются в течение 5 недель в центральный месяц каждого сезона (январь, апрель, июль, октябрь) с помощью аспирационных пробоотборников ежедневно на высоте около 2 м над поверхностью земли синхронно в обоих пунктах. В эти же периоды происходит непрерывный отбор проб на 6-каскадные импакторы (диапазоны размеров частиц < 0,5; 0,5-1; 1-2; 2-3; 3-5; > 5 мкм) для изучения распределения элементов по размерным фракциям аэрозоля. Элементный состав аэрозоля определяется методами атомно-эмиссионной спектрометрии (ICP-AES), масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), рентгенофлуоресцентного анализа (XFA).

Применяемые методы анализа позволяют определять на каждом суточном фильтре содержание 65 химических элементов. Далее более детально будем рассматривать 33 элемента (табл. 11), масса которых составляет в среднем 27% и 18% от массы частиц PM₁₀ в городе и в пригороде, соответственно. Исключены из анализа все редкоземельные элементы, кроме лантана, поскольку их поведение в атмосфере очень похоже, а также несколько химических элементов, значения концентрации которых часто были на пределе чувствительности аналитических приборов, что привело к многочисленным пропускам в массиве данных.

Таблица 11. Средняя (за три года) концентрация выбранных 33 химических элементов в составе приземного аэрозоля в Москве (ИФА) и пригороде (ЗНС), нг/м³

Элемент	Li	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Fe	Cs	Ba
ИФА	0,40	209	258	451	35	576	204	2385	1000	0,057	16
ЗНС	0,14	157	89	167	28	411	143	517	310	0,032	7,7
Элемент	Sr	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	W
ИФА	6,3	2,3	3,1	20	0,40	2,5	14	40	0,48	0,20	0,42
ЗНС	1,7	0,8	1,1	7,8	0,12	1,5	4,2	44	0,18	0,28	0,13
Элемент	Hg	Pb	Hf	As	Se	Sn	Sb	Bi	La	Th	U
ИФА	0,019	9,4	0,032	0,43	0,26	2,2	2,0	0,15	0,50	0,10	0,042
ЗНС	0,008	5,4	0,012	0,22	0,24	0,58	0,82	0,056	0,16	0,036	0,013

На рис. 16 можно выделить элементы регионального распространения над территорией Москвы и пригорода (Na, P, S, K, Zn, Cd, Se) с примерно равными концентрациями в пунктах

ИФА и ЗНС (красный пунктир на рис. 16), а также антропогенные элементы (Ca, Sr, Sn), для которых круглый год характерно превышение значений концентрации в городе над значениями – в пригороде.

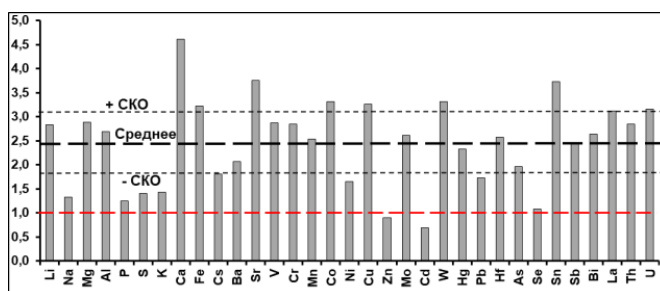


Рисунок 16. Отношение среднегодовых значений концентрации каждого элемента в городе и пригороде (ИФА/ЗНС).

Среднее значение отношения для 33 элементов и его статистический разброс (\pm СКО) – черный пунктир

В мегаполисе разделить аэрозоль на природный и антропогенный, строго говоря, нельзя. Пыль (в основном, микронный аэрозоль), поднимаемая с поверхности, имеет антропогенную (осаждение антропогенных составляющих из атмосферы) и естественную (почва) природу, а попадает в атмосферу в результате антропогенных (транспорт) и природных (ветер) процессов. Сама городская почва – естественная среда, состав которой преобразован антропогенными процессами. Субмикронный аэрозоль в большом городе является, в основном, результатом выбросов промышленных предприятий, транспорта, горения биомассы (антропогенная составляющая), а также химических газо-фазных реакций (антропогенная и естественная природа).

Грубое разделение элементов по их происхождению на преимущественно терригенные и нетерригенные традиционно проводится по величине коэффициента обогащения (КО) в сравнении со средним составом земной коры. Результаты такого анализа приведены в табл. 12. По результатам анализа КО выявлены две группы элементов – терригенные и нетерригенные, состав которых не меняется от сезона к сезону и одинаков для ИФА и ЗНС (черный шрифт в табл. 12), что, видимо, обусловлено расположением пунктов наблюдения в пределах одного природно-территориального комплекса. Элементы, для которых $1 < КО < 10$ (средняя часть табл. 12), часто имеют смешанное происхождение и связаны с эмиссией почвенных составляющих во время человеческой деятельности (стройки, транспорт, с/х работы и т.д.).

Сезонные вариации концентраций разных элементов в приземном аэрозоле весьма разнообразны, они формируются процессами эмиссии элементов в атмосферу и удаления (стоками) из нее. Эмиссии аэрозольных частиц в атмосферу обусловлены: 1) выбросами предприятий отопления и промышленности, транспорта, от строительства/реконструкции

дорог и зданий; 2) поднятием с поверхности транспортом и ветром; 3) переносом воздушными массами. Основные процессы стока аэрозоля: 1) осаждение на поверхность (включая кроны деревьев, крыши домов и саму почву), сухое и осадками; 2) атмосферный вынос (горизонтальная адвекция и вертикальная конвекция).

Таблица 12. Разделение рассматриваемых элементов на терригенные и нетерригенные по коэффициенту обогащения КО. Черный шрифт – одинаковые элементы для ИФА и ЗНС

	Терригенные элементы (КО≈1)	
ИФА	Th, Al, U, La, V, Li, Sr, Ba, Mg, Fe, Cs, Co, Mn, Cr, K, Ca, P, Hf, Na	
ЗНС	Th, Al, U, La, V, Li, Sr, Ba, Mg, Fe, Cs, Co, Mn, Cr, K, Ca	
	Исключения – в разных группах в разные годы:	
ИФА	Ni, W, Hg	только летом
ЗНС	Ni, W, Na, P, Hf, As	в разные сезоны
	Нетерригенные элементы (КО>10)	
ИФА	As, Mo, Cu, Zn, Pb, Sn, S, Sb, Cd, Se, Bi	
ЗНС	Hg, Mo, Cu, Zn, Pb, Sn, S, Sb, Cd, Se, Bi	

Значения коэффициентов корреляции, рассчитанных по профилям отклонений величин концентрации каждого элемента относительно среднегодового значения, между городом и пригородом зимой, весной, летом и осенью: 0,91, 0,75, 0,73 и 0,33. Таким образом, осенью переход от летнего к зимнему элементному составу аэрозоля в приземном воздухе происходит по-разному в городе и в сельской местности, в отличие от обратного весеннего перехода. Корреляции тех же профилей между зимой и летом составили -0,70 и -0,82 в точках ИФА и ЗНС отдельно. Естественно, что в зимнее время максимальны концентрации антропогенных элементов, тогда как в теплый сезон это наблюдается у терригенных элементов (табл. 13).

Таблица 13. Элементы, имеющие в определенный сезон максимумы концентрации в аэрозоле города и пригорода

Сезон	Одинаковые элементы	+ В городе	+ В пригороде
Зима	Na, S, Cd, Pb, Se	–	Mo, As
Весна	Li, Mg, Ca, V, Co, W	Al, P, K, Fe, Sb, Th	Ni, Cu, U
Лето	Ba, Sr, Cr, Mn, Cu, Hf, Bi, La	Ca, Cs, Ni, Zn, Hg, As, Sn	Al, P, Fe, Th
Осень	Sn	Mo	K, Cs, Zn, Sb

Сравнение элементного состава аэрозоля и пыли/почвы (по данным (Власов и др., 2014; Kasimov et al., 2020)) показывает их качественное соответствие друг другу как в городе, так и в пригороде, причем содержание большинства элементов в пыли ниже, чем в аэрозоле (рис. 17). Для элементов Ni, Sn, Co качественное соотношение значений концентрации в приведённых составах отличается в городе и пригороде.

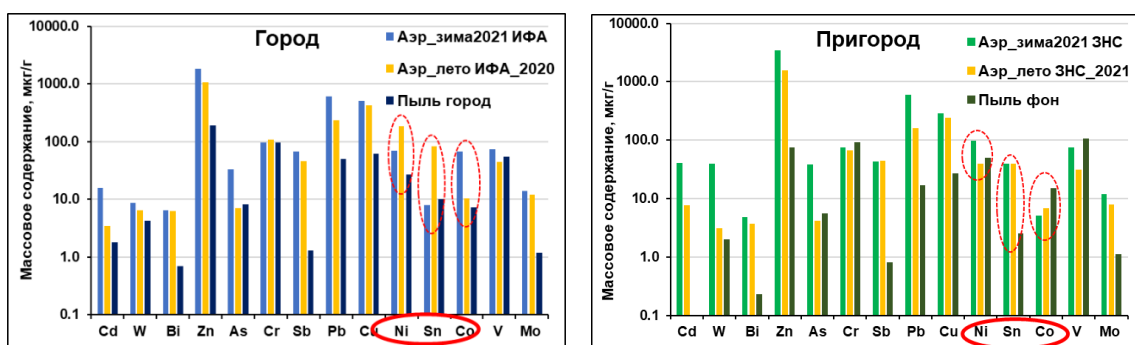


Рисунок 17. Сравнение содержания некоторых элементов в приземном аэрозоле и пыли/почве в Москве (ИФА) и в пригороде (ЗНС) зимой и летом

Исследованы сезонные изменения в распределении рассматриваемых 33 элементов по размерам аэрозольных частиц. На более крупных частицах (>3 мкм) весь год сосредоточены терригенные **Mg, Al, Ca, Fe, Ba, Sr, Hf, La, Th, U**, как в городе, так и в пригороде, + **Li, Na, P, Co, Cu, Mo, W** только в городе. В городе весной к ним добавляются **K, Cs, V, Cr, Mn, Ni, Zn, Sn, Bi**, и вся эта группа элементов сохраняется на крупных частицах далее летом и осенью. В пригороде весной к зимней устойчивой группе элементов добавляются **Li, Na, P, Mn, Co, W**, затем летом – ещё **Cs, V, As**, а осенью – ещё **Cr, Ni, Cu, Mo, Sn**. На субмикронных частицах (<1 мкм) весь год переносятся **S, Cd, Pb, Se, Sb**, как в городе, так и в пригороде, + **As** только в городе и + **K, Zn, Bi** только в пригороде. По-видимому, все эти различия связаны с почвой, и после установления снежного покрова элементный состав аэрозоля возвращается к зимнему.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ, грант №23-27-00063.

Список литературы

- Власов Д.В., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. (2014) Геохимия дорожной пыли (Восточный округ Москвы), *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География*, № 3, с. 23-33.
- Волох А.А., Журавлева М.Г. (1994) Оценка техногенного загрязнения воздуха в г. Москве, *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*, т. 30, № 2, с. 182-188.
- Губанова Д.П., Виноградова А.А., Иорданский М.А., Скороход А.И. (2021) Временные вариации состава атмосферного аэрозоля в Москве весной 2020 года, *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 57, № 3, с. 334-348.
- Огородников Б.И., Будыка А.К., Скитович В.И., Бродовой А.В. (1996) Характеристики аэрозолей пограничного слоя атмосферы над Москвой, *Изв. АН. Физика атмосферы и океана*, т. 32, № 2, с. 163-171.
- Трефилова А.В., Артамонова М.С., Кудерина Т.М., Губанова Д.П., Давыдов К.А., Иорданский М.А., Гречко Е.И., Минашкин В.М. (2012) Химический состав и микрофизические характеристики аэрозоля г. Москвы и Подмосковья в июне 2009 г. и на пике пожаров 2010 г., *Геофизические процессы и биосфера*, т. 11, № 4, с. 65-82.
- Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Iordanskii M.A., Skorokhod A.I. (2022) Variability of Near-Surface Aerosol Composition in Moscow in 2020-2021: Episodes of Extreme Air Pollution of Different Genesis, *Atmosphere*, vol. 13, no. 4, pp. 574-599.
- Kasimov N.S., Vlasov D.V., Kosheleva N.E. (2020) Enrichment of road dust particles and adjacent environments with metals and metalloids in eastern Moscow, *Urban Climate*, vol. 32, 100638.
- Rasmussen P.E. (1998) Long-range atmospheric transport of trace metals: the need for geoscience perspectives, *Environ. Geology*, vol. 33, no. 2/3, pp. 96-108.

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТВЁРДЫХ
ВЗВЕШЕННЫХ ЧАСТИЦ В ПРИЗЕМНОМ СЛОЕ АТМОСФЕРЫ Г.**

ВЛАДИВОСТОКА

**INFLUENCE OF CLIMATIC CONDITIONS ON THE DISTRIBUTION OF SOLID
SUSPENDED PARTICLES IN THE SURFACE LAYER OF THE ATMOSPHERE OF
VLADIVOSTOK**

Виткина Т.И., Веремчук Л.В.

Vitkina T.I., Veremchuk L.V.

ВФ ФГБНУ ДНЦ ФПД – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и
восстановительного лечения

Россия, 690105, г. Владивосток, ул. Русская, д. 73г

Аннотация. Цель работы – оценка воздействия прибрежного морского климата на распределение твёрдых взвешенных частиц атмосферного воздуха г. Владивостока. Оценивали содержание твёрдых взвешенных частиц в районах с разным уровнем загрязнения, параллельно определяли метеопараметры. В статистической обработке использовали модуль «Канонический анализ». В загрязнённом районе города наибольшее влияние на распределение опасных для здоровья частиц тонкодисперсного ряда (2,5-10 мкм) оказала циркуляция атмосферы (направление, скорость и порывы ветра). На слабо загрязнённой островной части города влияние на ультрадисперсный спектр пыли формируется температурно-влажностным режимом, атмосферным давлением, облачностью с частыми туманами. Температурно-влажностный режим активно влияет на дисперсный состав пыли в обоих участках отбора проб, в островном районе он определяет содержание частиц фракции до 10 мкм, в континентальном – фракций размером 0,1-50 мкм.

Ключевые слова: пылевые частицы атмосферного воздуха, муссонный климат.

Abstract. The purpose of the work is to assess the impact of the coastal marine climate on the distribution of particulate matter in the atmospheric air of Vladivostok. The content of solid suspended particles was estimated in areas with different levels of pollution. At the same time, the readings of temperature, humidity, air pressure, wind direction and speed were determined, and the monitoring of meteorological data from the nearest regional meteorological stations (dew point, wind gusts, cloudiness, fogs) was used. Statistical processing used the "Canonical Analysis" module. In the polluted area of the city, the distribution of finely dispersed particles hazardous to health (2,5-10 microns) was most affected by atmospheric circulation (direction, speed and gusts of wind). In the slightly polluted island part of the city, the influence on the ultrafine dust spectrum is formed by the temperature and humidity regime, atmospheric pressure, cloudiness with frequent fogs. The temperature and humidity regime actively influences the disperse composition of dust in both sampling sites; in the island region, it determines the content of fraction particles up to 10 µm; in the continental region, it determines the content of fractions 0,1-50 µm in size.

Keywords: atmospheric dust particles, monsoon climate.

Крайне остро стоит проблема загрязнения атмосферы городов аэрозольными твёрдыми взвешенными частицами (ТВЧ) в приземном слое, обусловленная выбросами автотранспорта и промышленными объектами (Longhin et al., 2016). В долгосрочной перспективе это приводит к хроническому накоплению в органах и тканях человека пылевых частиц с наиболее патогенным воздействием диаметром менее 2,5 мкм. Установлено, что ТВЧ вызывают рост заболеваемости бронхолёгочными, сердечно-сосудистыми патологиями, увеличение частоты обострений заболеваний и уровня смертности (Veremchuk et al., 2017; Zivin, Neidell, 2018). Загрязнение воздуха пылевыми частицами вызывает ограничения поступления солнечной радиации, что снижает температуру и повышает влажность воздуха, способствуя изменению микроклимата в сторону патогенного действия на здоровье человека (Fang et al., 2017). Целью

исследования явилось оценка воздействия прибрежного морского климата на распределение твёрдых взвешенных частиц атмосферного воздуха г. Владивостока.

Территория города была разделена на зону с плотной жилищно-производственной застройкой с высоким уровнем загрязнения воздуха (континентальная часть г. Владивостока) и слабо загрязнённую прибрежно-морскую островную территорию (остров Русский). С использованием разработанной в Институте авторской методики, отбор проб твёрдых взвешенных частиц (Янкова и др., 2014) проводили в приземном слое (зона дыхания) человека (на уровне 1,5-2,5 м), в утренние часы, вблизи автомобильных дорог. Круглогодично за период 2013-2022 гг. в континентальной зоне была отобрана 431 проба, в островной части города – 439 проб. Для отбора проб использовался электрический аспиратор ПУ-4Э (ЗАО «ХИМКО», Россия). Для оценки распределения ТВЧ по размеру использовался лазерный анализатор Analysette 22 NanoTech plus (фирма Fitch, Германия). Микровзвеси классифицировали по 9 диапазонам (0-0,1; 0,1-1,0; 1,0-2,5; 2,5-10; 10-50; 50-100; 100-400; 400-700; 700-2000 мкм). Одновременно в месте отбора проб ТВЧ каждые 10 минут снимали показания температуры, влажности, давления воздуха, направления и скорости ветра для стандартизации расчётов (Барскова и др. 2016). В едином пространственно-временном режиме использовали метеоданные ближайших районных метеостанций (точка росы, порывы ветра, облачность, туманы). Для расчётов использовали модуль «Канонический анализ» (STATISTICA 8). Из множества канонических связей $R_{кан}$ выделяли зависимости, имеющие высокую статистическую значимость ($p < 0,05$). При анализе факторной структуры канонических корней проводили повторные аналогичные расчёты канонических зависимостей с более значимыми корнями. Условия самоочищения атмосферы оценивали по мощности воздействия метеопараметров на ТВЧ (среднее значение канонической связи $\bar{R}_{кан}$) и активности воздействия (количество связей).

Сравнительный анализ показал, что общая масса ТВЧ ($294,7 \pm 14,2$ мкг/м³) в континентальной части города в 1,9 раз ($p=0,038$) превышает пылевую массу островной территории ($156,3 \pm 11,79$ мкг/м³). При сравнении весового содержания пыли по диапазонам в районах с разным техногенным прессом значимое отличие зафиксировано для фракций размером менее 0,1 ($0,1 \pm 0,01$ на островной территории и $2,3 \pm 0,1$ на материковой, $p=0,002$) и 2,5-10 мкм ($40,9 \pm 2,9$ и $134,4 \pm 9,8$, $p=0,01$). На 2-ом этапе исследования в приземном слое атмосферы в зонах различного уровня загрязнения среды определено доминантное влияние метеопараметров на распределение ТВЧ по фракциям (табл. 14, 15).

Таблица 14. «Мощность» ($\bar{R}_{кан}$) и «активность» ($\sum R_{кан}$) влияния метеопараметров на дисперсность ТВЧ в материковой зоне г. Владивостока

Метеофакторы / Фракции ТВЧ	$\bar{R}_{кан}/\bar{p} / p < 0,05$ $\sum R_{кан}$							Итоговая по климату
	0-0,1 мкм	0,1-1,0 мкм	1,0-2,5 мкм	2,5-10 мкм	10-50 мкм	50-100 мкм	100-400 мкм	
Температура воздуха, °С	–	0,34/0,03 3	0,35/0,03 3	0,37/0,002 9	0,36/0,03 3	–	0,35/0,02 3	0,35/0,02 21
Точка росы, °С	–	0,31/0,05 1	0,35/0,03 3	0,4/0,02 11	0,35/0,03 3	–	0,37/0,02 3	0,36/0,03 21
Направление ветра, в град.	0,44/0,004 3	0,44/0,004 3	0,42/0,007 4	0,42/0,001 8	0,32/0,04 3	–	0,44/0,003 1	0,4/0,01 22
Скорость ветра, м/с	0,31/0,05 2	0,32/0,04 5	0,4/0,01 5	0,37/0,02 3	0,37/0,02 1	–	–	0,35/0,03 16
Порывы ветра, м/с	0,32/0,04 2	0,39/0,003 9	0,49/0,001 2	0,38/0,02 8	0,4/0,02 8	–	0,44/0,003 1	0,4/0,02 30
Относительная влажность, %	–	0,34/0,03 1	0,33/0,03 1	0,37/0,02 11	0,35/0,03 10	0,32/0,04 3	0,34/0,03 4	0,34/0,03 30
Атм. давление на уровне моря, мм рт.ст.	–	0,32/0,04 1	–	0,32/0,04 1	–	–	0,33/0,03 1	0,32/0,04 3
Облачность, туманы	–	–	–	0,33/0,03 2	–	–	0,34/0,03 1	0,33/0,03 3
Итоговая по ТВЧ	0,36/0,03 7	0,3/0,03 23	0,39/0,02 18	0,37/0,02 53	0,36/0,03 28	0,32/0,04 3	0,37/0,02 14	0,36/0,03 146

Таблица 15. «Мощность» ($\bar{R}_{кан}$) и «активность» ($\sum R_{кан}$) влияния метеопараметров на дисперсность взвешенных частиц в районе г. Владивостока на островной территории

Метеофакторы / Фракции ТВЧ	$\bar{R}_{кан}/\bar{p} / p < 0,05$ $\sum R_{кан}$						Итоговая по климату
	0-0,1 мкм	0,1-1,0 мкм	1,0-2,5 мкм	2,5-10 мкм	10-50 мкм	> 400 мкм	
Температура воздуха, °С	0,42/0,01 1	0,37/0,03 2	0,37/0,03 3	0,38/0,03 1	–	–	0,39/0,03 7
Точка росы, °С	0,33/0,05 3	0,36/0,04 2	0,36/0,04 1	0,35/0,04 2	–	–	0,35/0,04 8
Направление ветра, в град.	–	0,36/0,03 4	0,37/0,04 3	0,41/0,02 4	0,39/0,03 3	0,38/0,03 1	0,38/0,03 15
Скорость ветра, м/с	–	0,36/0,04 4	0,38/0,03 2	0,36/0,04 4	0,43/0,01 1	–	0,38/0,03 11
Порывы ветра, м/с	–	0,41/0,02 3	0,38/0,03 3	0,39/0,03 2	0,41/0,02 2	0,37/0,03 5	0,39/0,03 15
Относительная влажность, %	0,46/0,006 1	–	–	0,36/0,04 6	–	0,35/0,04 2	0,39/0,03 9
Атм. давление на уровне моря, мм рт.ст.	–	0,42/0,01 1	0,39/0,02 1	0,38/0,02 1	–	–	0,4/0,02 3
Облачность, туманы	0,42/0,02 2	–	0,36/0,03 2	0,37/0,03 2	–	–	0,38/0,03 6
Итоговая по ТВЧ	0,41/0,02 7	0,38/0,03 16	0,37/0,03 15	0,38/0,03 22	0,41/0,02 6	0,37/0,03 8	0,38/0,03 74

Анализ показал, что климатические параметры в районах с высокой и низкой техногенной нагрузкой вызывают аналогичную реакцию фракционных диапазонов от 0 до 50 мкм. Различие зафиксировано только по крупным фракциям, причём в загрязнённой среде на метеофакторы реагируют диапазоны 50-100 и 100-400 мкм, в районе с низкой техногенной нагрузкой – более крупные фракции (> 400 мкм). В районе г. Владивостока с высоким уровнем

техногенного загрязнения установлен широкий охват аэрозольных фракций ТВЧ (0–400 мкм). Наибольшее воздействие на распределение опасных для здоровья частиц тонкодисперсного ряда (0-0,1; 0,1-1,0; 1,0-2,5; 2,5-10) оказала циркуляция атмосферы (направление, скорость и порывы ветра). В условиях производственно-жилой зоны с плотной застройкой, в связи с инверсионными процессами, происходящими в приземном слое над асфальтированной поверхностью, направление ветра часто меняется и, как следствие, сила влияния на дисперсность ТВЧ также варьирует (Mizuo et al., 2017). Зависимость от температуры воздуха можно связать с повышенным прогреванием воздуха над асфальтированной территорией, что способствует увеличению концентрации взвешенных частиц (Fang et al., 2017).

Распространение на о. Русский частиц с аэродинамическим диаметром 10,0–50,0 мкм и > 400 мкм не является критичным для здоровья человека, так как они быстро оседают, а высокий уровень активности процесса самоочищения связанный с прилегающей морской акваторией, повышенными скоростями ветра, высокой влажностью на фоне залесенности территории делает островной район более благополучным (Marignani et al., 2017). Анализ воздействия метеопараметров на распределение в атмосферном воздухе фракций ТВЧ показал преобладание действия ветрового режима (преимущественно ветров южного направления), как в сильно, так и слабо загрязнённой части г. Владивостока. Это указывает на роль муссонного морского климата в очищении воздуха. На островной территории данное воздействие сосредоточено на наночастицах и фракциях от 0,1 до 10 мкм, в континентальной части – на фракции размером 0,1-50 мкм, что связано с тем, что на территории города температурно-влажностная инверсия в приземном слое имеет большие градиенты. Усиление вертикального перемешивания воздуха приводит к захватыванию более тяжёлых частиц пыли.

Список литературы

Барскова Л.С., Витькина Т.И., Гвозденко Т.А., Веремчук Л.В., Голохваст К.С. (2019) Оценка загрязнения атмосферного воздуха мелкодисперсными взвешенными веществами на урбанизированных территориях с различной техногенной нагрузкой (на примере г. Владивостока, Россия), *Российский открытый медицинский журнал*, т. 8, № 3, Статья № э0304, doi: 10.15275/rusomj.2019.0304.

Янькова В.И., Гвозденко Т.А., Голохваст К.С., Чайка В.В., Городной В.А. (2014) Гранулометрический анализ атмосферных взвесей экологически благополучных и неблагополучных районов Владивостока, *Здоровье. Медицинская экология. Наука*, т. 2, № 56, с. 62-66.

Fang X., Fang B., Wang C., Xia T., Bottai M., Fang F., Yang C. (2017) Relationship between fine particulate matter, weather condition and daily non-accidental mortality in Shanghai – China: A Bayesian approach, *PLoS One*, vol. 12, no. 11, Article no. e0187933, doi: 10.1371/journal.pone.0187933.

Longhin E., Gualtieri M., Capasso L., Bengalli R., Mollerup S., Holme J., Ovrevik J., Casadei S., Benedetto C., Parenti P., Camatini M. (2016) Physico-chemical properties and biological effects of diesel and biomass particles, *Environ Pollut.*, vol. 215, pp. 366-375,

doi: 10.1016/j.envpol.2016.05.015.

Marignani M., Bruschi D., Astiaso-Garcia D., Frondoni R., Carli E., Pinna M., Cumo F., Gugliermetti, F., Saatkamp A., Doxa A., Queller M., Chaieb M., Bou Dagher-Kharrat M., Zein R., El J., Khater-Carla M., Shami A., Harik G. (2017) Identification and prioritization of areas with high environmental risk in Mediterranean coastal areas: A flexible approach, *Sci Total Environ.*, vol. 590-591, pp. 566-578, doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.221.

Mizuo K., Hiromasa U., Zhiwei H., Rei K., Yayoi I., Hidenori K. (2017) Synergy between air pollution and urban meteorological changes through aerosol-radiation-diffusion feedback – A case study of Beijing in January 2013, *Atmospheric Environment*, vol. 171, pp. 98-110, doi: 10.1016/j.atmosenv.2017.10.018.

Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Vitkina T.I., Gvozdenko T.A., Golokhvast K.S. (2017) Impact of atmospheric microparticles and heavy metals on external respiration function of urbanized territory population, *ROMJ*, vol. 6, no. 4, pp. 402-407, doi: 10.15275/rusomj.2017.0402.

Zivin J.G., Neidell M. (2018) Air pollution's hidden impacts, *Science*, vol. 359, no. 6371, pp. 39-40, doi: 10.1126/science.

**ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИЙ СУЛЬФАТОВ В АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКАХ В
ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЧИТА ПО ДАННЫМ 2003-
2020 гг.**

**DYNAMICS OF SULFATE CONCENTRATIONS IN ATMOSPHERIC PRECIPITATION
DURING THE COLD PERIOD OF TIME ON THE TERRITORY OF THE CITY OF
CHITA ACCORDING TO THE DATA OF 2003-2020**

Галушин Д.А.

Galushin D.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Атмосферные осадки являются важным индикатором, по которому можно говорить об экологическом состоянии отдельно рассматриваемого региона. Химический состав осадков будет определяться как выбросами в атмосферу вредных веществ, так и атмосферной циркуляцией на уровне региона. В данной работе рассматривается концентрация сульфатов с атмосферными осадками на территории г. Чита в холодный период времени и выявлены особенности динамики вследствие орографии местности и атмосферной циркуляции.

Ключевые слова: химический состав осадков, сульфаты, кислотные осадки, Восточная Сибирь.

Abstract. Atmospheric precipitation is an important indicator by which one can speak about the ecological state of a separately considered region. The chemical composition of precipitation will be determined by both emissions of harmful substances into the atmosphere and atmospheric circulation at the regional level. This paper considers the concentration of sulfates with atmospheric precipitation in the territory of Chita during the cold period of time and reveals the features of the dynamics due to the orography of the area and atmospheric circulation.

Keywords: chemical composition of precipitation, sulfates, acid precipitation, Eastern Siberia.

Забайкальский край является одним из крупных по площади субъектов Российской Федерации.

Территория Забайкальский край по протяженности с севера на юг составляет около 1000 км (от хребта Кодар до Приононской равнины). С запада на востоке – чуть больше 850 км. При этом площадь региона – 431, 5 тыс. км².

Орография местности представлена разновысотными горными хребтами и межгорными впадинами (Кулаков, 2000). Горные хребты как правило имеют направления с северо – востока на юго-запад. Среди горных хребтов выделяют Баргузинский который относят к востоку Прибайкалья, Хамар-Дабан, Улан-Бургасы.

Климат Забайкальского края резко континентальный с неравномерным распределением осадков в течение года и значительными годовыми и суточными колебаниями температуры воздуха. Зима длительная и холодная. В этот период выпадает незначительное количество осадков. Лето короткое, но сравнительно теплое. Основная часть годовых осадков выпадает именно в этот период, в результате чего на реках формируется серия паводков, нередко катастрофического характера.

В Забайкальском крае около половины промышленного потенциала области сосредоточено в краевом центре – г. Чита. Вследствие этого на территории города производится более 60% от общего объема отходов производства, выбросов в атмосферу и сбросов в водный бассейн. Воздушными переносами и через систему рек загрязняющие вещества из города переносятся на значительную часть Забайкальского края.

Поскольку по климатическим особенностям региона (длительная и холодная зима), процесс отопления жилого фонда других объектов происходит достаточно долго (8 месяцев), то основным источником загрязнения является теплоэлектростанции и котельные, а также автомобильный транспорт.

Стоит сказать, что использование угля в энергетике и применение низкокачественного топлива будет играть роль в загрязнении региона, однако в большей степени на уровень загрязнения территории будет оказывать орография местности (горно-котловинный рельеф) и климатические условия (действие Сибирского антициклона в зимний период), от которых зависит перенос выбросов и их рассеивающие способности (Котельников, 1995). Это находит отражение и в концентрациях загрязняющих веществ атмосферных осадков.

Наибольшие значения концентраций сульфатов в атмосферных осадках наблюдаются в зимние месяцы. По осредненным данным за 2003-2020 гг. концентрация сульфатов в осадках в январе достигает 37,05 мг/л, а максимум загрязнения фиксируется в феврале – 44,01 мг/л (рис. 18).

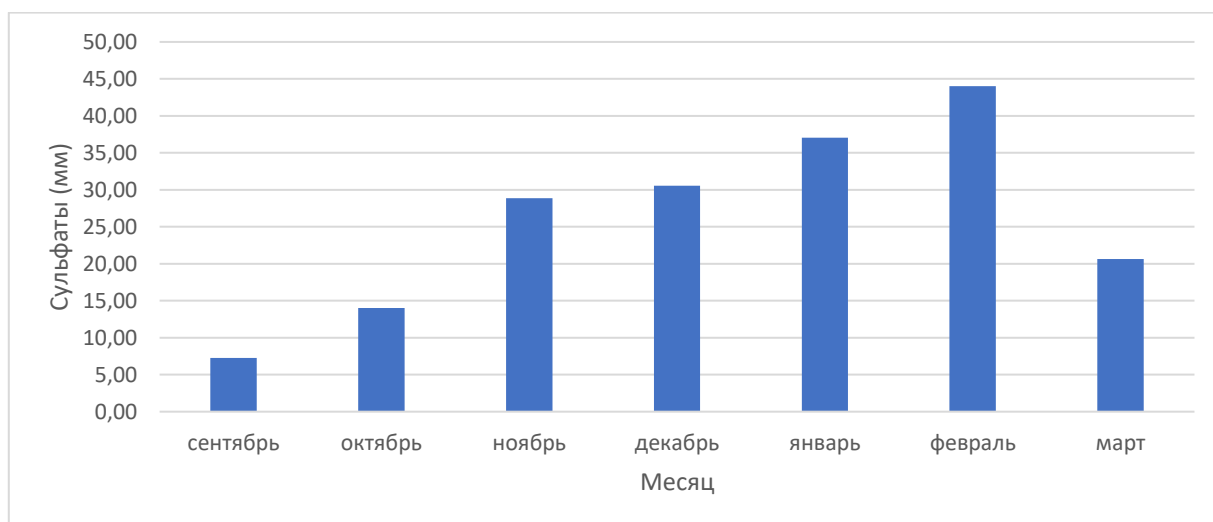


Рисунок 18. Среднемесячные концентрации сульфатов в атмосферных осадках за период 2003-2020 гг.

Одним из важных источников в загрязнение атмосферы является действие от теплоэлектростанций, расположенные в городе, а также сложным условиям рассеивания в зимний период.

Формирование Азиатского антициклона начинает происходить в ноябре. Основной центр антициклона располагается на территориях западной части Монголии, а отдельные отроги способствуют формированию и развитию Лено-Колымского ядра (Семенченко, 2002).

Благодаря таким синоптическим условиям, в район Восточной Сибири по ультраполярным и полярным направлениям происходит вторжения холодных арктических воздушных масс, что в свою очередь обуславливает солнечную и морозную погоду, с минимумом осадков.

Развитие Сибирского антициклона достигает пика с середины зимы, когда на территорию Восточной Сибири поступают антициклоны с северных направлений (иногда с северо - востока или северо - запада). Именно антициклонической активностью, совместно с орографии местности и наличием промышленных предприятий можно объяснить сложную экологическую обстановку в г. Чита.

Помимо прочего, в регионе активно используют печное отопление, в котором активно используют уголь, что также приводит к рекордному загрязнению атмосферы сульфатами в холодное время года. Для сравнения, мы сопоставили результаты содержания концентраций сульфатов в осадках, выпавших в сентябре и феврале (рис. 19, табл. 16).

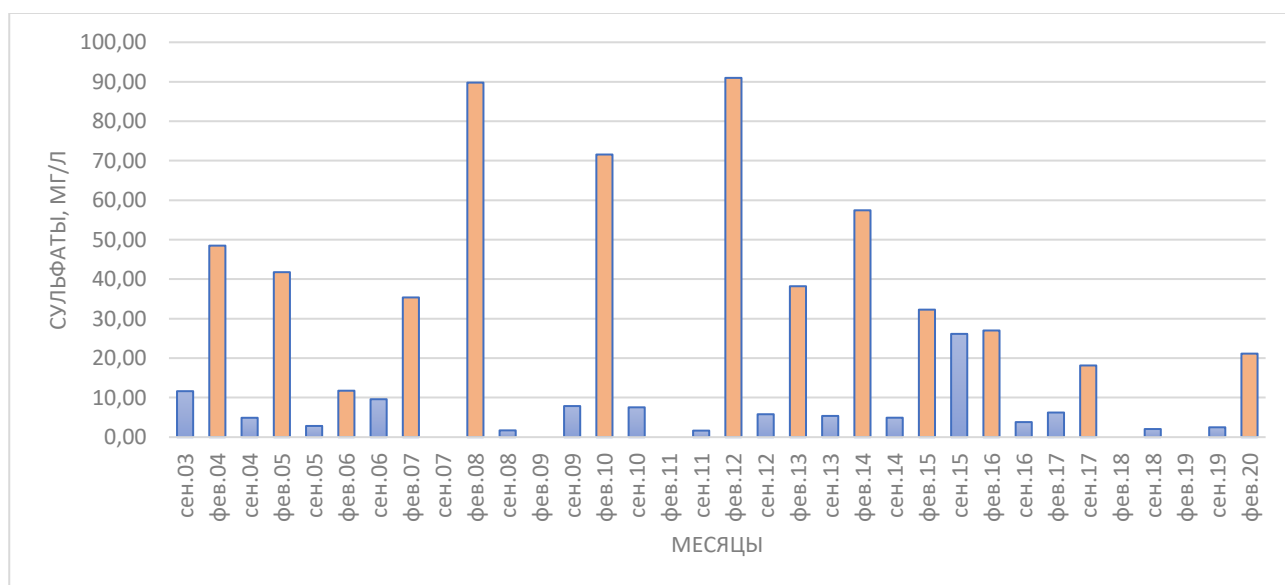


Рисунок 19. Результаты наблюдений за содержанием сульфатов в атмосферных осадках сентября и февраля за период с 2003 по 2020 гг.

Таблица 16. Разница в концентрациях сульфатов между начальным периодом (сентябрь) и максимальным развитием сибирского антициклона (февраль).

Месяц и год	Сульфаты (мг/л)	Разница
сен.03	11,64	4,2
фев.04	48,50	
сен.04	4,90	8,5
фев.05	41,78	

Месяц и год	Сульфаты (мг/л)	Разница
сен.05	2,83	4,2
фев.06	11,76	
сен.06	9,60	3,7
фев.07	35,38	
сен.07		-
фев.08	89,79	
сен.08	1,71	-
фев.09		
сен.09	7,87	9,1
фев.10	71,58	
сен.10	7,55	-
фев.11		
сен.11	1,65	55,15
фев.12	90,99	
сен.12	5,80	6,6
фев.13	38,22	
сен.13	5,37	10,7
фев.14	57,45	
сен.14	4,92	6,56
фев.15	32,29	
сен.15	26,15	1,03
фев.16	27,01	
сен.16	3,81	1,64
фев.17	6,23	
сен.17	18,15	-
фев.18		
сен.18	2,05	-
фев.19		
сен.19	2,49	8,49
фев.20	21,15	

Как можно видеть, из табл. 16 и рис. 19, максимальные концентрации сульфатов в атмосферных осадках наблюдались в 2008 и 2012 гг. – 90 мг/л. Это 55 раз больше, чем в сентябре 2011 года – 1,65 мг/л. Связано это с достаточно холодным периодом, который наблюдался в феврале 2012 года – 17 дней из 29 наблюдались отклонения от нормы температуры (от -1 до - 11°С) (Погода в Чите, 2023).

Минимальная разница между сентябрем и февралем наблюдалось в сезоне 2015-2016 гг. Это произошло за счет лесных пожаров произошедшие в 2015 году (В Забайкалье..., 2015).

Выводы: Ситуация с загрязнением атмосферы в Чите продолжает оставаться напряженной. Однако в последнее время приняты ряд важных документов, в частности региональная программа «Чистый воздух», по которой планируется за счет реализации комплекса мероприятий снизить общий объем выбросов в атмосферу на 22%, что скажется также и на концентрациях сульфатов в атмосферных осадках региона.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)».

Список литературы

Котельников А.М., Вотях О.А., Возмилов А.М. и др. (1995) *Окружающая среда и условия устойчивого развития Читинской области*, Новосибирск, Наука, Сибирская издательская фирма РАН, 248 с.

Кулаков В.С. (2000) Рельеф, *Энциклопедия Забайкалья. Читинская область, т. 1, Общий очерк*, Новосибирск, Наука, с. 37-40.

Семенченко Б.А. (2002) *Физическая метеорология*, М., Аспент-Пресс.

Погода в Чите. Температура воздуха и осадки. Февраль 2012 г., Погода и климат, URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=30758&month=2&year=2012>.

В Забайкалье в 2015 году полыхало 1053 лесных пожара, Комсомольская правда, URL: <https://www.kp.ru/daily/26385/3263594/>.

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЭМИССИИ CH₄ И CO₂ ИЗ
ДЕГАЗИРУЮЩИХ ПОДЗЕМНЫХ ИСТОЧНИКОВ, РАЗГРУЖАЮЩИХСЯ В
БАЛКАХ ПРИТОКОВ И В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА БАСКУНЧАК
THE FIRST RESULTS OF MONITORING THE EMISSION OF CH₄ AND CO₂
FROM DEGASSING UNDERGROUND SOURCES DISCHARGED IN THE GULLIES OF
TRIBUTARIES AND IN THE COASTAL ZONE OF LAKE BASKUNCHAK**

Гарькуша Д.Н.¹⁾, Фёдоров Ю.А.¹⁾, Талпа Б.В.¹⁾, Ковалев А.Е.¹⁾, Андреев Ю.А.²⁾,

Тамбиева Н.С.²⁾, Михайленко О.А.²⁾

Garkusha D.N.¹⁾, Fedorov Yu.A.¹⁾, Talpa B.V.¹⁾, Kovalev A.E.¹⁾, Andreev Yu.A.²⁾, Tambieva

N.S.²⁾, Mikhailenko O.A.²⁾

¹⁾ Институт наук о Земле Южного федерального университета

Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 40

²⁾ Гидрохимический институт, г. Ростов-на-Дону

Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

Аннотация. Впервые для источников подземных вод, разгружающихся в озеро Баскунчак, а также его притоков, проведены натурные измерения эмиссии CH₄ и CO₂ камерным методом. В различных горизонтах отложений определены концентрации метана, сероводорода, органического вещества, значения Eh и pH, плотность и влажность; в воде – значения pH, концентрации CH₄, основных ионов, валовых Fe и Mn.

Ключевые слова: рапа, донные отложения, парниковые газы, сероводород, распределение, эмиссия.

Abstract. For the first time, full-scale measurements of CH₄ and CO₂ emissions by the chamber method were carried out for groundwater sources discharged into Lake Baskunchak, as well as its tributaries. Concentrations of CH₄, H₂S, organic matter, Eh and pH values, density and humidity were determined in various sediment horizons. pH values, concentrations of CH₄, basic ions, gross Fe and Mn were determined in water.

Keywords: brine, bottom sediments, methane, carbon dioxide, hydrogen sulfide, distribution, emission.

Озеро Баскунчак – это крупное бессточное самосадочное соленое озеро, расположенное в пределах Боткульско-Баскунчакской депрессии, входящей в состав Прикаспийской низменности. Соленость оз. Баскунчак составляет около 300 г/л, что связано как с поступлением в озеро высокоминерализованных вод ручьев, так и с жарким летним климатом, обуславливающим высокую испаряемость воды. Особенно крупные ручьи формируются за счет мощных восходящих подземных источников, связанных с сильно закарстованными гипсами кунгурского яруса (нижний отдел пермской системы), и разгружающихся на северо-западном, северном и восточном побережьях озера, в виде грифонов, а также сосредоточенными струями различной мощности как из трещиноватых гипсов, так и на дне карстовых воронок, а также в заиленных днищах балочных долин (см. (Гарькуша и др., 2023) и ссылки там).

В восходящих источниках подземных вод, выявленных в нижнем течении ручья Улан-Благ в весенний период (май), наряду с разгрузкой вод, авторы (Гарькуша и др., 2023) наблюдали выделение струй газов различной интенсивности, невоспламеняющихся при поднесении горящей спички. Несмотря на отсутствие горения, единичные измерения весной

(Гарькуша и др., 2023) удельного потока CH_4 в атмосферу с поверхности воды дегазирующего источника, разгружающегося в устье ручья Улан-Благ, показали, достаточно большие его значения – $1,97\text{-}2,07 \text{ мг}/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$, что обусловлено высокими концентрациями CH_4 в водах источника ($46,9\text{-}118,0 \text{ мкл}/\text{дм}^3$).

В связи с вышесказанным было решено провести масштабные экспедиционные исследования в различные сезоны года с целью изучения закономерностей распределения концентраций и потоков CH_4 и CO_2 в восходящих источниках подземных вод, разгружающихся в балках притоков и прибрежной зоне оз. Баскунчак (рис. 20).



Рисунок 20. Карта-схема местоположения станций наблюдения и фото накопительных камер – ловушек, использованных для измерений потоков CH_4 и CO_2

В подготовительный период авторами по космоснимкам (*Google Earth*) и опубликованным данным определено возможное местоположение источников, выводящих подземные водно-газовые потоки на поверхность в пределах оз. Баскунчак и его водосборного бассейна. В летний период 2023 г. в пределах водосбора озера проведены рекогносцировочные работы с целью подтверждения местоположения дешифрованных по космоснимкам источников и их картирования. Помимо рекогносцировки, авторами в ходе маршрутных наблюдений в этот период (конец июня) проведен отбор проб воды и донных отложений из источников подземных вод, а также в оз. Баскунчак и его притоках для определения гидрохимических показателей и гранулометрического состава отложений. Выполнено подробное описание выявленных источников, измерены их первичные морфометрические и морфологические характеристики и дебит, а также определена величина потока CH_4 и CO_2 в атмосферу, в том числе с обводненных участков озера.

Обращает на себя внимание, что в летний период не из всех исследованных карстовых воронок, заполненных водой, наблюдался сток воды, хотя весной разгрузка вод наличествовала. Также летом, в отличие от весны, практически не наблюдалась спонтанная дегазация из исследованных источников, за исключением редких проявлений. Обычно выход газов летом происходил лишь при отборе проб донных отложений, а также протыкании специальным щупом (длина 2 м) отложений при измерении их мощности. На ряде станций отобраны пробы поднимающихся со дна пузырьков газа для последующего определения их компонентного состава и изотопного значения углерода CH_4 и других УВ-газов и CO_2 .

Помимо измерения потоков CH_4 и CO_2 , в различных горизонтах донных отложений определены концентрации CH_4 , сероводорода ($\sum\text{H}_2\text{S}$), органического вещества (ОВ), значения Eh и pH, плотность и влажность, гранулометрический состав. В воде определены значения pH, температуры, концентрации CH_4 , основных ионов, валовых Fe и Mn.

Отбор проб воды и донных отложений и последующее определение CH_4 и $\sum\text{H}_2\text{S}$ в них проведены согласно аттестованным методикам (РД 52.24.512-2012; РД 52.24.511-2013; РД 52.24.525-2011). Измерение значений pH, Eh и температуры выполнено с помощью иономера “Экотест 2000” сразу после отбора проб. Содержания основных ионов определены по общепринятым в системе Росгидромета стандартным методикам, валовые содержания Fe и Mn – по РД 52.24.377-2021. Определение содержания ОВ в отложениях выполнено по методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-2021). Определение гранулометрического состава отложений – по модифицированной нами методике (ГОСТ 12536-2014).

Определение удельного потока CH_4 и CO_2 с поверхности воды восходящих подземных источников и озера Баскунчак выполнено камерным методом с помощью накопительных камер – ловушек (Гарькуша и др., 2016). Для определения концентраций CO_2 в воздушной фазе камер использован переносной газоанализатор инфракрасный ПГА-1.

Далее кратко анонсированы некоторые результаты, полученные авторами при проведении вышеописанных работ.

Минерализация воды в восходящих подземных источниках в балках Улан-Благ, Пещерная, Синяя и Горькой речки, а также в одном из многочисленных малодобитных источников, разгружающихся на западном берегу оз. Баскунчак (ст. 1), варьируется в пределах 78,5-284,4 г/дм³ (хлоридно-натриевые рассолы). Минерализация рапы непосредственно в оз. Баскунчак (ст. 2) составляет 320,2 г/дм³, что незначительно превышает значения (312,3 г/дм³), установленные авторами (Гарькуша и др., 2023) на этой же станции весной (конец мая). Минерализация рапы в устье ручья Улан-Благ летом (184,0 г/дм³) также несколько превышала ее значения, установленные авторами весной (149,9 г/дм³ по (Гарькуша и др., 2023)).

Значения изученных показателей донных отложений исследованных станций, следующие: влажность 9,7-61,1% (в среднем 29,9%), плотность 0,941-2,778 г/см³ (в среднем 1,72 г/см³); рН 6,27-7,40 (в среднем 6,86), Eh – 350,0...+33,4 мВ (в среднем – 135,5 мВ); C_{орг} 0,33-3,32% (в среднем 2,07%); CH₄ 0,06-24,8 мкг/г влажного веса (в среднем 1,90 мкг/г); ΣH₂S 0,01-4,25 мг/г влажного веса (в среднем 1,26 мг/г).

Концентрация CH₄ в рапе восходящих подземных источников варьируется в широких пределах – от 4,6 до 8895 мкл/дм³ (в среднем 887,8 мкл/дм³; медиана 28,5 мкл/дм³; n = 17 проб) с аномально высокими значениями (5725-8895 мкл/дм³) в одном из десятков малодобитных источников (4,8 мл/сек) (ст. 18), разгружающихся в пойме ручья Горькая речка, в охристо-красного цвета водах которой концентрация CH₄ также была аномально высокая 1371-2007 мкл/дм³ (ст. 16). В этом источнике, содержащем огромные концентрации CH₄, а также в водах ручья Горькая речка наблюдается большое количество железа (до 22,8 мг/дм³) и марганца (до 5,08 мг/дм³), которые, судя по окраске вод и поверхности отложений, интенсивно окисляются. В пойме ручья Горькая речка, в 0,2-0,3 м ниже точек выхода источников, в местах протекания вод на поверхности отложений образуются шлейфы охристо-красного цвета, вдоль которых образуются железомарганцевые корки толщиной до 3 см.

Многочисленные малодобитные выходы железистых подземных вод выявлены также в алевритистых песках западной береговой зоны оз. Баскунчак (ст. 1) и на севере озера в пойме небольшого ручья в балке, расположенной между балками Пещерная и Синяя. Валовая концентрация Fe в водах одного из таких источников на станции 1 также достигала очень высоких значений – 61,2 мг/дм³; Mn – 2,66 мг/дм³; однако концентрация CH₄ (28,5 мкл/дм³) была на два порядка меньше, чем в источниках, разгружающихся в пойме ручья Горькая речка. В ряде источников на станции 1, наряду с водой из выводного отверстия диаметром до 3-5 мм выделялись и газы, которые, как и в подземных источниках нижнего течения ручья Улан-Благ (Гарькуша и др., 2023), не воспламенялись при поднесении горящей спички. Измеренная с помощью накопительных камер-ловушек эмиссия CO₂ из этого отверстия, выводящего точечный водно-газовый поток, составила 12,3 мг/час.

Концентрация CH₄ в рапе, отобранной непосредственно в оз. Баскунчак на значительном удалении от берега (ст. 2), варьируется в пределах 1,96-2,66 мкл/дм³, что близко к его концентрациям, установленным весной (Гарькуша и др., 2023). Эти концентрации на порядок меньше медианных значений CH₄ (28,5 мкл/дм³), найденных для рапы подземных источников, исследованных в летний период. Концентрации как CH₄, так и ΣH₂S в верхнем 10 см слое темно-серых песчано-алевритовых осадков с большим количеством кристаллов соли гравийной размерности, отобранных в оз. Баскунчак (ст. 2) под устлавшей дно 8 см коркой

крупнокристаллического галита, также были низкими – соответственно 0,10-0,28 мкг/г влажного веса (в среднем 0,16 мкг/г) и 0,033-0,230 мг/г вл. в. (в среднем 0,124 мг/г).

Удельный поток CH_4 с поверхности воды восходящих подземных источников и притоков оз. Баскунчак по данным натурных измерений в летний период составляет 0,224-2,92 мг/(м² час), с максимальными значениями в ручье Горькая речка (ст. 16), характеризующегося наиболее высокими концентрациями CH_4 в воде и донных отложениях. Удельный поток CH_4 с поверхности вод озера Баскунчак (ст. 2) был самым низким (0,123 мг/(м² час)), по сравнению с остальными исследованными в этот период объектами, что в целом хорошо соотносится с минимальными его концентрациями в воде озера.

Удельный поток CO_2 характеризуется значительной изменчивостью не только его величины, но и направленности. Так, для станций, где наблюдается разгрузка подземных вод установлено выделение CO_2 в атмосферу со скоростью 15,84-226,97 мг/(м² час) (в среднем 107,13 мг/(м² час); 6 измерений). При этом максимальные потоки CO_2 (226,97 мг/(м² час)) установлены для вод дебитного поля восходящих источников, стекающих в устье ручья Улан-Благ, и ручья Горькая речка (186,17 мг/(м² час)). Для устья ручья Улан-Благ, а также ряда заполненных водой карстовых воронок, расположенных в балке этого ручья, из которых весной наблюдалось интенсивная разгрузка вод и дегазация, а летом эти проявления отсутствовали (недействующие источники), поток CO_2 был либо нулевым, либо фиксировался сток CO_2 со скоростью 10,09-27,83 мг/(м² час) (в среднем 21,31 мг/(м² час); 4 измерения).

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00330, <https://rscf.ru/project/23-27-00330/> в Южном федеральном университете.

Список литературы

Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Трубник Р.Г., Талпа Б.В., Ковалев Е.А. (2023) Концентрация и эмиссия метана и сероводорода в озере Баскунчак, ручье балки Улан-Благ и дегазирующих источниках подземных вод в весенний период, *Известия Вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, № 3, с. 79-91.

Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. (2016) Расчет элементов баланса метана в водных экосистемах Азовского моря и Мирового океана на основе эмпирических формул, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 48-58.

**АТМОСФЕРНЫЕ ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ ТРАНСПОРТНОГО
СЕКТОРА В РОССИИ ЗА 2010-2021 гг.**

**THE ATMOSPHERIC GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM TRANSPORT
SECTOR IN RUSSIA FOR THE YEARS 2010-2021**

Грабар В.А.¹⁾, Лытов В.М.^{1,2)}

Grabar V.A.¹⁾, Lytov V.M.^{1,2)}

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)»
Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

Аннотация. Представлены результаты количественной оценки эмиссии парниковых газов от транспортного сектора России за период 2010-2021 гг. В 2021 г. суммарные выбросы CO₂, CH₄, N₂O от дорожного транспорта, внутренней авиации, внутреннего водного и железнодорожного транспорта составили 172 млн. т CO₂-экв. или 10,2% суммарных выбросов при сжигании топлива в энергетическом секторе. В компонентном составе выбросов преобладал диоксид углерода, на долю которого приходилось 98,8% совокупного выброса. Выбросы метана и закиси азота составили 0,3% и 0,9% соответственно. Основной вклад в выбросы парниковых газов от сжигания топлива на транспорте вносит дорожный транспорт (87%), за ним с большим отрывом следуют авиация (9%), железнодорожный транспорт (2%) и водный транспорт (2%).

Ключевые слова: парниковые газы, выбросы, расчёт, дорожный транспорт, внутренняя авиация, внутренний водный транспорт, железнодорожный транспорт.

Abstract. The results of greenhouse gas emissions assessment from the transport sector in Russia for the period 2010-2021 are presented. In 2021, the total emission of CO₂, CH₄ and N₂O from road transport, domestic aviation, domestic navigation and railway transport amounted to 172 million tons of CO₂-equivalent, which is 10,2% of the total emission from fuel combustion in the energy sector. Carbon dioxide dominates in the component composition of the emissions, its share in the total emission amounted to 98.8%. Contributions of methane and nitrous oxide emissions were 0,3% and 0,9%, respectively. The road transport is responsible for producing more than 87% of greenhouse gases in the transport sector, while aviation, railway and navigation account for 9%, 2% and 2% respectively.

Keywords: greenhouse gases, emissions, calculation, road transport, domestic aviation, domestic navigation, railway transport.

Транспорт генерирует около 15% общемировых выбросов парниковых газов и около 23% глобальных выбросов CO₂, связанных со сжиганием топлива в энергетическом секторе. При этом, на дорожные перевозки приходится три четверти (74,5%) транспортных выбросов, из которых большая часть поступает от легковых автомобилей и автобусов, на долю которых приходится 45,1%, оставшиеся 29,4% относятся к грузовым автомобильным перевозкам. Выбросы от авиации и судоходства составляют 11,6% и 10,6% соответственно. Железнодорожные перевозки вносят около 1% в суммарные выбросы от транспорта. На другие виды транспорта, главным образом трубопроводный, приходится оставшиеся 2,3% (IEA, 2020a; Jaramillo, Kahn Ribeiro et al., 2022). Необходимо отметить, что в течение последних десятилетий выбросы парниковых газов от транспорта быстро увеличиваются, причем значительно быстрее, чем выбросы в других секторах экономики (ИМО, 2014; ICAO, 2019).

Основными парниковыми газами, поступающими в атмосферу при сгорании нефтепродуктов в двигателях внутреннего сгорания, являются диоксид углерода (CO_2), метан (CH_4) и закись азота (N_2O). Расчеты выбросов парников газов от транспортного сектора в России были выполнены в соответствии с методологией Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006). В докладе представлены результаты количественной оценки атмосферных выбросов парниковых газов от дорожного, авиационного, водного и железнодорожного транспорта в России с 2010 по 2021 гг. включительно. Международные воздушные и морские перевозки с территории России за рубеж и из зарубежных стран в Россию не учитывались. В категорию «Транспорт» включены только выбросы при сжигании моторного топлива, используемого в качестве источника энергии для двигателей внутреннего сгорания различных видов транспорта.

Выбросы парниковых газов от дорожного транспорта напрямую связаны с марочным составом, численностью, структурой автомобильного парка по типу, экологическому классу, возрасту транспортных средств, виду используемого топлива, среднегодовым пробегам и т. д. Глобально, уровень мобильности (населения), транспортной доступности и модернизации транспортной системы отражает текущую ситуацию, связанную с выбросами парниковых газов от автомобильного транспорта. В период с 2010-2015 гг. наблюдался рост выбросов парниковых газов. Начиная с 2016 г. ситуация стабилизировалась, произошло насыщение автопарка, с 1 января 2016 года в России введен более экологичный стандарт Евро 5 для всех продаваемых автомобилей в России. Постепенно в автопарк внедрялись гибриды, электротранспортные средства и расширялось использование газомоторного топлива, что привело к сокращению выбросов парниковых газов со 161,7 млн т CO_2 -экв в 2016 г. до 149,6 млн т CO_2 -экв. в 2021 г.

Динамика авиационных выбросов парниковых газов зависит от интенсивности эксплуатации гражданских воздушных судов. Как показали выполненные расчеты, в целом за рассматриваемый период наблюдался рост эмиссии парниковых газов от внутренних авиаперевозок. В 2020 г. выбросы парниковых газов сократились относительно уровня 2019 г. на фоне распространения коронавируса, однако в 2021 г. по мере восстановления авиаперевозок они снова начали расти. При этом, в 2021 году объёмы пассажиропотока на внутренних линиях не только полностью восстановились до уровня допандемийного 2019 года, но и превысили его. Таким образом, Россия стала мировым лидером по темпам восстановления пассажирских авиаперевозок внутри страны после пандемии коронавируса. В 2021 г. выбросы парниковых газов от воздушного транспорта составили 15,9 млн т CO_2 -экв, что выше уровня 2010 года в 1,8 раз.

Динамика выбросов парниковых газов от водного транспорта связана с интенсивностью движения судов. В целом за период с 2010-2020 гг. наблюдался нисходящий тренд эмиссии парниковых газов при внутренних водных перевозках. В 2021 г. совокупная эмиссия CO₂ CH₄, N₂O от водного транспорта в России составила 3,0 млн т CO₂-экв.

Железнодорожный транспорт является самым экологичным видом транспорта в пересчете на единицу выполняемой работы. Выбросы парниковых газов от железнодорожного транспорта связаны с эксплуатацией дизельных локомотивов от всех пассажирских и грузовых перевозчиков в стране. С 2010-2020 годы наблюдался рост выбросов парниковых газов с 5,3 млн т CO₂-экв. до 9,3 млн т CO₂-экв. с резким падением выбросов до 3,5 млн т CO₂-экв. в 2021 г. Причины снижения выбросов в 2021 г. еще предстоит установить.

На рис. 21 представлена динамика выбросов парниковых газов от транспортного сектора в России.

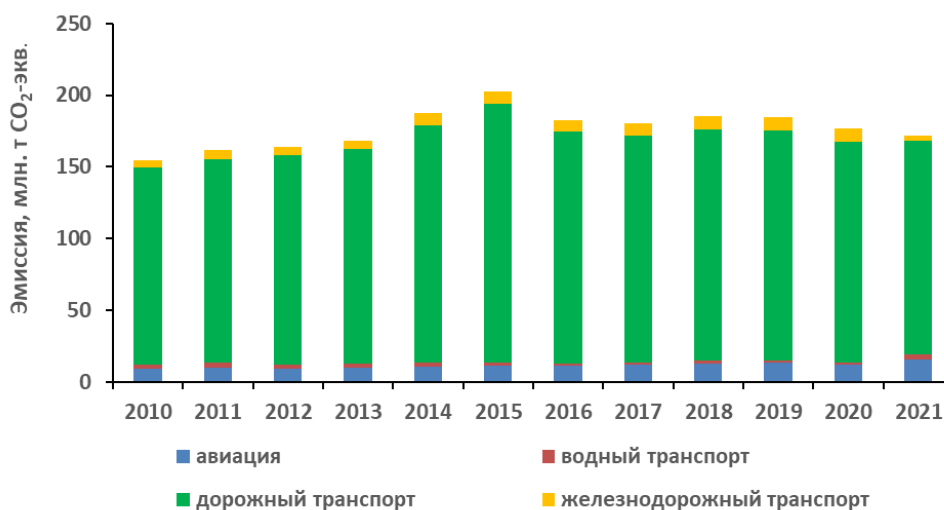


Рисунок 21. Динамика выбросов парниковых газов от транспортного сектора в России

Как видно из рис. 20, наибольшая величина выбросов наблюдалась в 2015 г., достигнув 202,5 млн т CO₂-экв. После 2015 г. выполненные расчёты показывают тенденцию к снижению выбросов, что связано с сокращением потребления топлива дорожным транспортом. В 2021 г. общие выбросы CO₂, CH₄, N₂O от дорожного транспорта, авиации, водного и железнодорожного транспорта составили 172 млн т CO₂-экв. или 10,2% суммарных выбросов при сжигании топлива в энергетическом секторе. В компонентном составе выбросов преобладал диоксид углерода, на долю которого приходилось 98,8% совокупного выброса. Выбросы метана и закиси азота составили 0,3% и 0,9% соответственно.

Основной вклад в выбросы парниковых газов от сжигания топлива транспортом вносит дорожный транспорт (87%), за ним с большим отрывом следуют авиация (9%), железнодорожный транспорт (2%) и водный транспорт (2%) (рис. 22).



Рисунок 22. Вклад разных видов транспорта в совокупные выбросы парниковых газов от транспортного сектора

Основными факторами, влияющими на динамику выбросов парниковых газов, являются общие тенденции развития экономики и торговли. В ближайшие годы можно ожидать рост глобальных выбросов парниковых газов от транспортного сектора в связи с увеличением спроса на транспортные услуги. Кроме того, по оценкам некоторых экспертов, введение антироссийских санкций в 2022 г. существенно меняет логистические цепочки доставки грузов в обход России, что в свою очередь приведет к увеличению глобальной эмиссии диоксида углерода от транспортных перевозок (Пердеро, Грушевенко и др., 2022).

Список литературы

МГЭИК 2006 (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК*, Подготовлено Программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов, Игглестон Х.С., Буэндиа Л., Мива К., Нгара Т и Танабе К. (Ред.), МГЭИК – ИГЕС.

Пердеро А., Грушевенко Е., Доброславский Н., Гайда И., Ляшик Ю. (2022) *«Декарбонизация магистральной логистики»*, Школа управления «Сколково», Москва, 160 с.

IEA (2020a) *Tracking Transport 2020*, International Energy Agency, Paris, France.

IMO, 2014 (2015) *Third IMO GHG Study 2014*, London, UK, International Maritime Organization, 327 p.

International Civil Aviation Organization (2019) *ICAO global environmental trends – Present and future aircraft noise and emissions (A40-WP/54)*.

Jaramillo P., Kahn Ribeiro S., Newman P., Dhar S., Diemuodeke O.E., Kajino T., Lee D.S., Nugroho S.B., Ou X., Hammer Strømman A., Whitehead J. (2022) *Transport. In IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [P.R. Shukla, J. Skea, R. Slade, A. Al Khourdajie, R. van Diemen, D. McCollum, M. Pathak, S. Some, P. Vyas, R. Fradera, M. Belkacemi, A. Hasija, G. Lisboa, S. Luz, J. Malley, (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, doi: 10.1017/9781009157926.012.

**СОСТАВ ПРИЗЕМНОГО АЭРОЗОЛЯ В МОСКВЕ КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЧИСТОТЫ
ВОЗДУХА МЕГАПОЛИСА**

**THE NEAR-SURFACE AEROSOL COMPOSITION IN MOSCOW AS AN INDICATOR
OF THE METROPOLIS AIR PURITY**

Губанова Д.П.¹⁾, Виноградова А.А.¹⁾, Лезина Е.А.²⁾, Иорданский М.А.¹⁾

Gubanova D.P.¹⁾, Vinogradova A.A.¹⁾, Lezina E.A.²⁾, Jordansky M.A.¹⁾

¹⁾ ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., 3

²⁾ ГПБУ «Мосэкомониторинг»
Россия, 119992, Москва, ул. Новый Арбат, 11, стр. 1

Аннотация. Исследована изменчивость характеристик приземного аэрозоля (массовая концентрация, состав, морфологическая структура) в Москве по результатам наблюдений в центре города, в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН с осени 2019 по конец 2022 года. Установлен «условно фоновый уровень» аэрозольного загрязнения мегаполиса, когда среднесуточная концентрация частиц PM_{10} не выше ПДК, для разных сезонов (в целом более 91% дней в году). Выявлены и изучены эпизоды экстремального роста концентраций аэрозольных частиц. Выполнен сравнительный анализ результатов наблюдений в ИФА РАН с данными измерений на сети станций ГПБУ «Мосэкомониторинг» в Москве, а также с информацией о массовой концентрации аэрозольных частиц в других крупных городах мира. На основе полученных экспериментальных результатов можно заключить, что Москва – достаточно чистый город с точки зрения официальных показателей аэрозольного загрязнения для приземной атмосферы.

Ключевые слова: Москва, атмосфера, аэрозольные частицы, массовая концентрация, изменчивость, метеорологические параметры, антропогенные и природные источники.

Abstract. The variability of the characteristics of the near-surface aerosol (mass concentration, composition, morphological structure) in Moscow is studied based on the results of observations in the city center, at the A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences from autumn 2019 to the end of 2022. The "conditionally background level" of aerosol pollution, when the average daily concentration of PM_{10} particles not exceeds the MPC value, is set for different seasons (in general, more than 91% of days a year). Episodes of extreme increase in aerosol concentration have been identified and studied. A comparative analysis of our results was carried out with the measurement data at the stations of the Mosecomonitoring network, as well as with information on the mass concentration of aerosol in other major cities of the world. Based on the experimental results obtained, it can be concluded that Moscow is a fairly clean city in terms of official indicators of aerosol pollution for the near-surface atmosphere.

Keywords: Moscow, atmosphere, aerosol particles, mass concentration, variability, meteorological parameters, anthropogenic and natural sources.

Атмосферный аэрозоль является одним из самых заметных для человека загрязнителей атмосферы, влияющим на различные компоненты окружающей среды и климат. Крупный город с его специфическими атмосферными условиями («остров тепла», орография, ветровой режим, химическая активность атмосферы) традиционно рассматривается как зона повышенного риска для здоровья и комфортности жизни человека. Для уточнения роли атмосферных аэрозолей в процессах изменения состояния экосистемы города и регионального климата необходимы долговременные ряды данных о составе приземного аэрозоля, полученные на основе непрерывных натурных наблюдений (мониторинга).

В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова (ИФА) РАН с октября 2019 г. по настоящее время проводится комплексный аэрозольный эксперимент по исследованию характеристик приземного аэрозоля (счетная и массовая концентрация, распределение частиц по размерам, элементный состав, морфологическая структура) и их вариаций, с учетом

влияния сезонов, синоптико-метеорологических параметров, антропогенных и природных источников, в Московском мегаполисе. Пункт наблюдений расположен во дворе ИФА РАН, в центре столицы, в зоне плотной застройки с малой площадью озеленения, вблизи густой сети автодорог со средней и малой загруженностью, в отдалении от промышленных и энергетических комплексов. Методически эксперимент организован таким образом, что круглогодично в непрерывном автоматическом режиме с временным разрешением 5 мин производится измерение счетной концентрации и распределения по размерам аэрозольных частиц. Дополнительно в течение 5 недель в центральном месяце каждого сезона (январь, апрель, июль, октябрь) проводится интенсивная фаза исследований с отбором аэрозольных проб на гравиметрический, элементный и морфологический анализ. Массовая концентрация аэрозоля определяется гравиметрическим методом и расчетным способом по известной формуле (Seinfeld, Pandis, 2006) с использованием счетной концентрации частиц. Полученные в пункте ИФА РАН данные о массовой концентрации частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} сопоставлены с результатами наблюдений на московской сети автоматических станций контроля загрязнения атмосферы (АСКЗА) ГПБУ «Мосэкомониторинг» (далее – МЭМ) (<http://mosecom.mos.ru/>). Более подробно методы и средства натуральных исследований характеристик приземного аэрозоля в ИФА РАН, а также привлекаемые открытые Интернет-ресурсы и архивы описаны в (Gubanova et al., 2022).

По результатам трехлетнего комплексного аэрозольного эксперимента в ИФА РАН определен характерный для Москвы элементный состав аэрозоля, изучены его сезонная изменчивость, происхождение элементов и распределение их массы по размерам частиц (Губанова и др., 2023; Gubanova et al., 2022). В докладе основное внимание уделено исследованию изменчивости массовой концентрации приземного аэрозоля в Москве, являющейся одним из основных критериев качества воздуха, для которого российскими и международными стандартами установлены количественные показатели в единицах предельно-допустимой массовой концентрации (ПДК) аэрозольных частиц фракций $PM_{2.5}$ и PM_{10} .

На рис. 22 показан временной ход среднесуточной массовой концентрации аэрозолей $PM_{2.5}$ и PM_{10} за весь период наблюдений в ИФА РАН. Как видно из рисунка, величина среднесуточной концентрации мелкой фракции частиц $PM_{2.5}$ лишь в отдельные дни превосходит ПДК (35 мкг/м^3). Временная изменчивость среднесуточной массовой концентрации частиц PM_{10} характеризуется более сильными флуктуациями. За три года наблюдений выявлены непродолжительные эпизоды (2-10 дней) экстремально высокого роста среднесуточной массовой концентрации аэрозольных частиц PM_{10} , сопровождавшиеся превышением ПДК (60 мкг/м^3). Почти все они наблюдались при неблагоприятных

метеорологических условиях (Кузнецова и др., 2014) и были обусловлены региональным или дальним переносом аэрозолей горения и пыли (Gubanova et al., 2023). Этот вывод подтверждается и данными измерений на АСКЗА МЭМ. Для наглядности в сравнении на рис. 22 представлены также данные станций МЭМ «Спиридоновка» и «Сухаревская площадь», географически наиболее близко расположенные к пункту наблюдений ИФА РАН (в пределах Садового кольца). Для массивов значений среднесуточной концентрации PM_{10} и $PM_{2.5}$ по данным ИФА РАН и АСКЗА МЭМ «Спиридоновка» установлена значимая корреляция. Случаи резкого роста концентрации частиц PM_{10} (в городе – выше ПДК) наблюдаются в одни и те же дни на всех рассмотренных станциях, что свидетельствует об аэрозольном загрязнении приземного слоя атмосферы над большой территорией и характерно для условий регионального/дальнего переноса примесей воздушными массами.

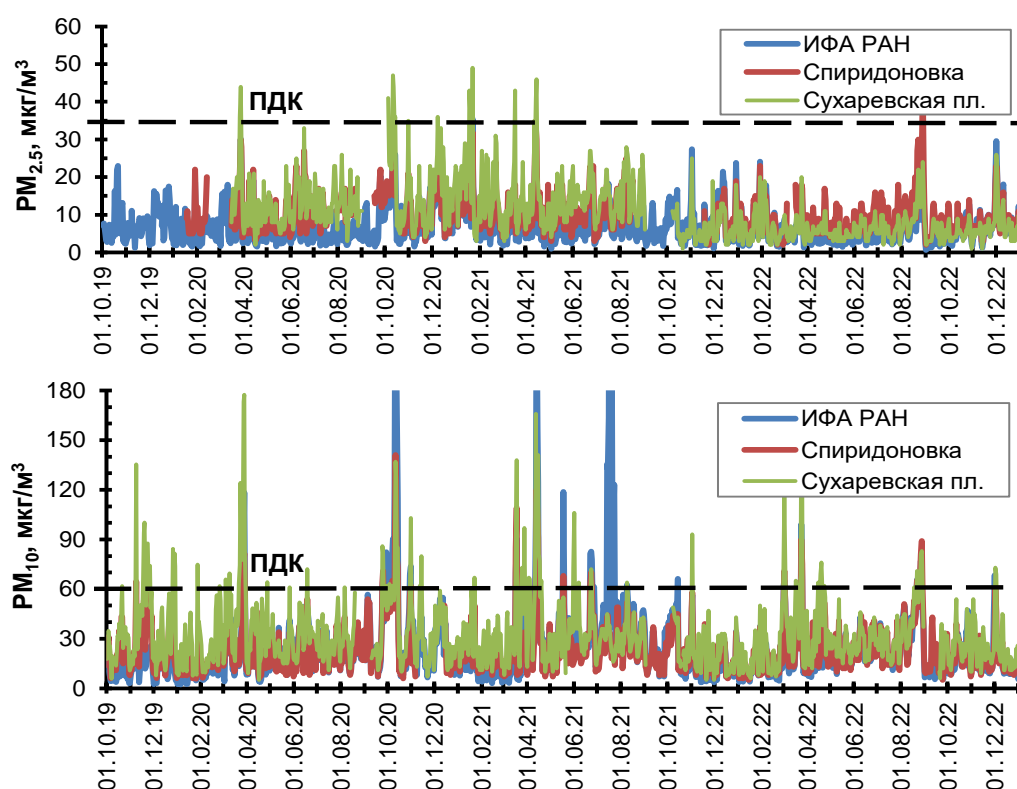


Рисунок 22. Временной ход среднесуточной концентрации аэрозольных частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} по данным наблюдений в ИФА РАН и на АСКЗА МЭМ в 2019-2022 гг.

Исключение составил эпизод летом 2021 г., связанный с интенсивным локальным источником, подробно рассмотренный в работе (Губанова и др., 2021). Это уникальное событие никак не сказалось на результатах измерений на АСКЗА МЭМ, удаленных на несколько километров от ИФА РАН.

В остальное время средняя суточная массовая концентрация аэрозолей PM_{10} в мегаполисе не превышает ПДК. Число таких дней за три года наблюдений составило более

94% в среднем для двух станций в центре города (ИФА и АСКЗА МЭМ «Спиридоновка»), более 91% для более загрязненного района АСКЗА МЭМ «Сухаревская площадь», а для средних значений массовой концентрации PM_{10} по Москве в целом (с учетом данных измерений на всех АСКЗА МЭМ) – больше 93%. Это позволяет ввести для Москвы понятие *условно фоновое аэрозольное загрязнение приземного воздуха* для тех дней, когда средняя суточная массовая концентрация аэрозольных частиц PM_{10} не превосходит ПДК. Условно фоновое аэрозольное загрязнение воздуха формируется как природными, так и антропогенными источниками не только локального, но и удаленного происхождения. В нем проявляется влияние метеорологических параметров на источники и стоки аэрозолей, а также адвективного переноса аэрозоля воздушными массами к пунктам наблюдений и от них. Такой критерий выделения условно фонового уровня аэрозольного загрязнения не является строго математическим определением с указанием конкретных численных показателей. По мнению авторов, его можно вводить при оценке качества воздуха и в других городах. Однако он применим только в том случае, если среднесуточная концентрация частиц $PM_{10} < ПДК$ будет характеризовать значимо большую часть дней в году. Похожее понимание городского фона для Санкт-Петербурга использовали авторы работы (Власенко и др., 2019).

Характер сезонной изменчивости массовой концентрации частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ (рис. 23) в течение трех лет наблюдений в мегаполисе обусловлен спецификой и многообразием его источников и стоков, а также метеорологическими особенностями разных сезонов и годов. Максимальный уровень концентрации частиц PM_{10} , как правило, наблюдается весной и летом, когда пыль и почва на поверхности вносят наибольший вклад в содержание аэрозоля более крупной размерности. Концентрация частиц $PM_{2.5}$ высока и в холодное время года, за счет дополнительных антропогенных источников, связанных с отоплением. Отношение значений концентрации частиц $PM_{2.5}/PM_{10}$ зимой максимально. Летом картина обратная: доля массы частиц $PM_{2.5}$ минимальна при большой массе более крупных частиц PM_{10} .

Сравнение данных о массовой концентрации приземного аэрозоля в Москве с аналогичной информацией в других крупных городах мира (табл. 17), а также с учетом требований к количественным показателям российских и международных стандартов качества воздуха, позволяет сделать вывод о том, что *Московский мегаполис – достаточно чистый город*.

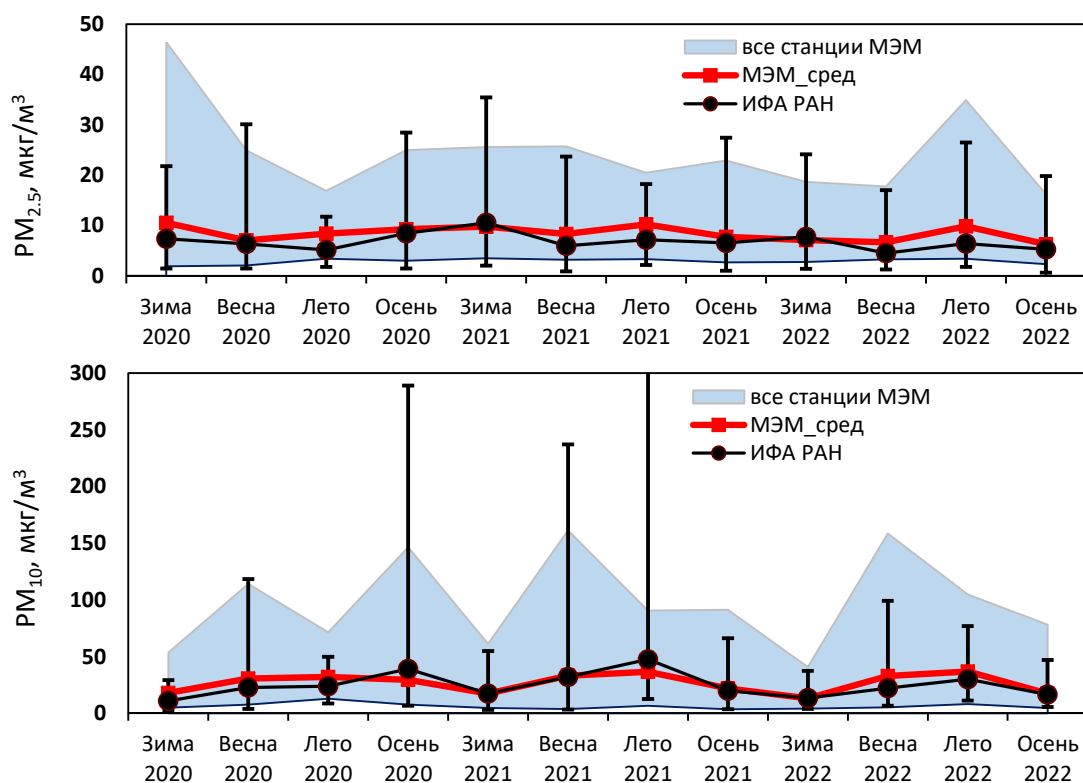


Рисунок 23. Сезонная изменчивость массовой концентрации аэрозольных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ по данным наблюдений в ИФА РАН и на АСКЗА МЭМ в 2020-2022 гг.
«Усами» обозначены разбросы среднесуточных значений от минимальных до максимальных

Таблица 17. Массовая концентрация аэрозольных частиц PM_{2.5} и PM₁₀ в некоторых крупных городах мира (Sokhi et al., 2021; Air quality in the world..., 2022)

Город	2018 ¹⁾		2019 ¹⁾		2020 ¹⁾		2021 ²⁾		2022 ²⁾	
	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀	PM _{2.5}	PM ₁₀
Хельсинки	10	32	10	32	5.4	14	5.9	-	5.5	-
Берлин	-	28	-	25	-	22	12.5	-	12.6	-
Москва³⁾	11.6	22.1	11.1	25.1	9.7/7.9	23.2/25.4	12.3/9.4	24.5/28.1	10.5/8.0	22.6/20.9
Амстердам	17	25	15	24	10	20	10.3	-	10.1	-
Париж	13	25	15	27	13	23	13.7	-	12.7	-
Лондон	15	24	19	30	14	24	9.8	-	9.6	-
Рим	14	27	12	25	13	23	11.1	-	12.6	-
Мадрид	5.1	8.6	6.5	11	7.5	9.6	9.4	-	9.5	-
Афины	17	39	16	32	13	19	19.2	-	19.2	-
Нью-Йорк	6.7	-	5.7	-	4.9	-	10	-	9.9	-
Оттава	5.3	-	5.1	-	5.4	-	8.2	-	6.8	-
Мехико	22	37	26	44	21	36	21.7	-	22.1	-
Сан-Пауло	17	28	17	29	13	24	14.2	-	13.5	-
Сидней	11	22	7.9	17	7.7	14	5.3	-	3.1	-
Пекин	24	53	46	88	76	83	34.4	-	29.8	-
Дели	91	263	88	240	48	112	85	-	89.1	-
Сеул	31	60	25	48	22	46	19.7	-	18.3	-

Примечания: ¹⁾ Средние значения за первое полугодие; ²⁾ среднегодовые значения; ³⁾ средние значения по данным всех станций МЭМ/наблюдений в ИФА РАН.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 23-27-00063).

Список литературы

- Власенко С.С., Волкова К.А., Ионов Д.В., Рышкевич Т.И., Иванова О.А., Михайлов Е.Ф. (2019) Изменчивость углеродсодержащей фракции атмосферного аэрозоля вблизи Санкт-Петербурга, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 55, № 6, с. 147-156.
- Губанова Д.П., Виноградова А.А., Скороход А.И., Иорданский М.А. (2021) Аномальное аэрозольное загрязнение воздуха в Москве вблизи локального антропогенного источника в июле 2021 года, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 4, с. 133-147.
- Губанова Д.П., Садовская Н.В., Иорданский М.А., Авилов А.С., Минашкин В.М. (2023) Морфология частиц приземного аэрозоля в Москве по результатам анализа методом растровой электронной микроскопии, *Известия РАН. Сер. Физическая*, т. 87, № 10, с. 1-7.
- Кузнецова И.Н., Шалыгина И.Ю., Нахаев М.И., Глазкова А.А., Захарова П.В., Лезина Е.А., Звягинцев А.М. (2014) Неблагоприятные для качества воздуха метеорологические факторы, *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, № 351, с. 154-172.
- Мосэкомониторинг, URL: <http://mosecom.mos.ru/> (дата обращения 15 августа 2023).
- Air quality in the world, World's most polluted cities, 2017-2022, available at: <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities> (accessed 7 August 2023).
- Gubanova D.P., Vinogradova A.A., Iordanskii M.A., Skorokhod A.I. (2022) Variability of Near-Surface Aerosol Composition in Moscow in 2020–2021: Episodes of Extreme Air Pollution of Different Genesis, *Atmosphere*, vol. 13, no. 4, pp. 574-599.
- Seinfeld J.H., Pandis S.N. (2006) *Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change*, 2nd Edition, New York, Wiley, USA, 1232 p.
- Sokhi R.S. et al. (97 authors) (2021) A global observational analysis to understand changes in air quality during exceptionally low anthropogenic emission conditions, *Environment International*, vol. 157, no. 12, 106818.

**ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПОНЕНТНОГО СОСТАВА ПРИОРИТЕТНЫХ ВИДОВ
ЖИДКОГО ТОПЛИВА ДЛЯ РАЗРАБОТКИ НАЦИОНАЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА
ВЫБРОСОВ CO₂**

**INVESTIGATION OF THE PRIORITY LIQUID FUELS COMPONENT COMPOSITION
FOR THE DEVELOPMENT OF NATIONAL CO₂ EMISSION FACTORS**

Зеленова М.С.¹⁾, Лытов В.М.^{1,2)}, Гинзбург В.А.^{1,3)}, Зайнулин С.М.^{1,4)}

Zelenova M.S.¹⁾, Lytov V.M.^{1,2)}, Ginzburg V.A.^{1,3)}, Zainulin S.M.^{1,4)}

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБОУ ВО «Московский Автомобильно-Дорожный Государственный Технический Университет
(Мади)»

Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

³⁾ ФГБУН Институт географии РАН

Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

⁴⁾ ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»

Россия, 119991, г. Москва, проспект Ленинский, 65 кор.1

Аннотация. В работе представлены проблематика и особенности формирования научно-исследовательской работы по изучению компонентного состава приоритетных видов жидкого топлива. Итоговым результатом данной работы, реализуемой в рамках ВИП ГЗ, станет разработка национальных коэффициентов выбросов диоксида углерода от сжигания отдельных видов жидких топлив. Описана разработанная концепция исследования, основанная на анализе опыта аналогичных исследований, выполненных в выборочных странах Приложения 1, проанализированы их национальные коэффициенты. Отмечены тенденции отклонения национальных коэффициентов от коэффициентов выбросов по умолчанию, приведенных в Руководящих принципах МГЭИК. Выделен параметр (теплотворная способность топлива), оказывающий максимальное влияние на разрабатываемый национальный коэффициент выбросов CO₂.

Ключевые слова: парниковые газы, углекислый газ, жидкое топливо, выбросы, коэффициент выбросов, сжигание топлива.

Abstract. The study presents the problems and specifics of the scientific research work of the component composition of priority liquid fuels. The result of this research, carried out under the GZ WIP, should be the development of national carbon dioxide emission factors for the combustion of certain types of liquid fuels. The concept of the study is described, based on the experience of similar studies in the UNFCCC Annex 1 countries. Their national factors are analyzed. Trends in the deviation of the national factors from the default emission factors given in the IPCC guidelines are noted. The parameter (calorific value of fuel) that has the greatest influence on the developed national CO₂ emission factor is highlighted.

Keywords: greenhouse gases, carbon dioxide, liquid fuels, emissions, emission factor, fuel combustion.

По данным Национального доклада о кадастре парниковых газов (НДК, 2023) совокупные антропогенные выбросы парниковых газов в РФ в 2021 году составили 2156,6 млн. т CO₂-экв. без учета сектора землепользование, изменение землепользования и лесного хозяйства (ЗИЗЛХ). Подавляющее большинство выбросов приходится на диоксид углерода (CO₂) – 1712 млн т CO₂. Сектор Энергетика вносит наиболее существенный вклад в выбросы парниковых газов РФ (77,9%), переход на национальные коэффициенты обеспечит повышение уровня расчета и снижение неопределенности итоговых оценок выбросов категориях, связанных со сжиганием всех видов ископаемого топлива.

Наиболее значимым для повышения точности расчета выбросов от ключевых категорий подсектора Сжигание топлива является определение национальных значений коэффициентов

выбросов CO₂ от жидких топлив, так как в настоящее время в кадастре применяются коэффициенты 1 уровня, приведенные по умолчанию в Руководящих принципах МГЭИК (МГЭИК, 2006). В рамках работ по ВИП ГЗ¹ впервые за 25 лет работы над Кадастром парниковых газов стало возможным выполнить подобное узкопрофильное исследование.

Коэффициенты выбросов CO₂ от сжигания топлива зависят от содержания углерода в конкретном виде топлива. Содержание углерода в топливе является химической характеристикой, присущей каждому конкретному виду топлива и не зависит от процесса или условий сжигания топлива (Доклад 2001). Коэффициенты выбросов для CO₂ при сжигании ископаемого топлива выражаются в расчете на единицу энергии, поскольку содержание углерода в топливе варьируется в меньшей степени, в случае выражения в расчете на единицу энергии, чем в расчете на единицу массы и учитывают высшую/низшую теплотворную способность (НТС/ВТС) и коэффициент окисления топлива.

В общем виде формула расчета коэффициента выбросов CO₂ от сжигания топлива выглядит следующим образом (1):

$$\text{Коэффициент выбросов } CO_2 = \frac{C}{\text{НТС}} \times 44/12, \quad (1)$$

где C – содержание углерода в топливе.

Для корректной организации исследования компонентного состава приоритетных видов жидкого топлива был проведен анализ опыта аналогичных работ по разработке национальных коэффициентов выбросов в странах Приложения 1 РКИК ООН: Германия, США, Канада, Австралия, Италия, Япония, Новая Зеландия, Нидерланды². Выделены Германия и США, как наиболее полно раскрывающие данные и специфику выполненных национальных исследований (EF CO₂, 2016, EF CO₂, 2022, GHGRP³, FLIGHT⁴, NIR USA⁵).

В Германии национальный средневзвешенный коэффициент выбросов основывается на исследовательских отчетах Немецкого общества нефтегазовой науки и технологий DGМК⁶. Для определения национального коэффициента DGМК изучены образцы топлив различных марок с 14 нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) Германии. Для каждой марки топлива определялись индивидуальный, групповой состав и содержание углерода, рассчитаны

¹ Важнейший инновационный проект государственного значения, Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2022 г. №3240-р «Об утверждении инновационного проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»

² National Inventory Submissions 2022. – URL: <https://unfccc.int/process-and-meetings/transparency-and-reporting/reporting-and-review-under-the-convention/national-inventory-submissions-2022>

³ Greenhouse Gas Reporting Program (GHGRP). – URL: <https://www.epa.gov/ghgreporting>

⁴ Facility Level Information on GreenHouse gases Tool (FLIGHT). – URL: <https://ghgdata.epa.gov/ghgp/main.do>

⁵ National Inventory Report United States of America. – URL: <https://unfccc.int/documents/461948>

⁶ DGМК German Society for Sustainable Energy Carriers, Mobility and Carbon Cycles e.V. We, URL: <https://dgmk.de/en/>

средневзвешенные уровни содержания углерода для каждого из 3-х анализируемых сортов бензина. Аналогичная работа выполнена для дизельного топлива (ДТ), оценены образцы летнего и зимнего топлива с 13 НПЗ. На основе исследований DGMK, Агентство по охране окружающей среды Германии выпускает в открытом доступе сводные публикации о национальных коэффициентах выбросов CO₂ для ископаемых видов топлива.

Методы разработки национальных коэффициентов CO₂ в США отражены в отчете Управления энергетической информации США (EIA⁷) и пересматриваются ежегодно. Статистика энергопотребления в США насчитывает более 20 различных видов жидких нефтепродуктов. Учитываются следующие факторы, определяющие коэффициент содержания С: плотность топлива, массовая доля углеводородного продукта, доля неуглеводородных примесей, конкретные типы «семейств» углеводородов, которые составляют углеводородную часть топлива, теплосодержание топлива.

По результатам проведенного анализа опыта зарубежных стран разработана концепция проведения исследования компонентного состава выделенных приоритетных видов жидкого топлива. Перечни приоритетных видов жидких топлив и исследуемых показателей приведены в табл. 18.

Таблица 18. Перечни приоритетных видов жидких топлив и исследуемых показателей

№ п/п	Наименование топлива	Показатели
1.	<u>Бензин</u> АИ-92 (в том числе с экологическими классами К2-К5) АИ-95 (в том числе с экологическими классами К4-К5) АИ-98 и выше (класс топлива К5)	<u>1. Низшая теплота сгорания, МДж/кг:</u> 1. минимальное значение выборки
2.	<u>Дизельное топливо</u> Дизельное летнее топливо (в том числе с экологическими классами К2-К5) Дизельное зимнее топливо (в том числе с экологическими классами К2-К5) Дизельное межсезонное топливо (в том числе с экологическими классами К2-К5) Арктическое дизельное топливо (в том числе с экологическими классами К2-К5) Судовое дизельное топливо*	2. максимальное значение выборки; 3. средневзвешенное значение выборки; 4. неопределенность средневзвешенного значения <u>2. Индивидуальный и групповой компонентный состав топлив (% масс.)</u>
3.	<u>Мазут</u> Мазут топочный Мазут флотский**	<u>3. Содержание углерода (% масс.)</u>
4.	<u>Авиационный керосин</u>	

* – судовое дизельное топливо по смыслу является синонимом таким понятиям, как судовое маловязкое топливо или судовое дистиллятное топливо (далее – ТМС).

** – мазут флотский (термин согласно ГОСТ 10585-2013) схож по составу с судовым остаточным топливом (термин согласно ISO 8217: 2017). Объемы производства флотского мазута незначительны, поэтому в работе проводится исследование судового остаточного топлива (далее – ТСО)

⁷ U.S. Energy Information Administration (EIA), URL: <https://www.eia.gov/>

Разработанная концепция реализации НИР включает 6 последовательных этапов:

- анализ рынка жидких топлив Российской Федерации в 2010-2021 гг.;
- анализ компонентного состава выбранных видов жидких топлив в 2010-2021 гг., в т.ч. разработка расчетной модели предсказания компонентного состава пула производства выбранных видов жидких топлив;
- экспериментальное исследование отдельных образцов выбранных видов жидких топлив для оценки точности работы модели состава жидких топлив и её параметризации;
- выявление параметров (факторов), косвенно или прямо влияющих на общее содержание углерода в выбранных видах жидкого топлива;
- восстановление по косвенным факторам коэффициентов пересчета содержания углерода в выбранных видах жидких топлив в 1990-2009 гг.;
- подготовка предложений по сбору исходных данных для расчета коэффициентов пересчета содержания углерода и апробации итогов работ.

Исполнителем данной работы выступает ООО «ЦМНТ», экспериментальное исследование образцов жидкого топлива проводится совместно с ИНХС РАН.

Выполнен сравнительный анализ национальных коэффициентов выбросов для выбранных стран Приложения 1, и их отклонение от коэффициента выбросов по умолчанию (МГЭИК, 2006) (см. табл. 19 и 20).

Таблица 19. Коэффициенты выбросов CO₂ по умолчанию (МГЭИК, 2006)

Топливо	МГЭИК, 2006, кгСО ₂ /ГДж	95% доверительный интервал	
		Нижний предел	Верхний предел
Бензин	69 300	-2,6%	5,3%
Авиационный керосин	71 500	-2,5%	4,1%
Дизельное топливо	74 100	-2,0%	0,9%
ТМС	74 100	-2,0%	0,9%
ТСО	74 100	-2,0%	0,9%
Мазут топочный	77 400	-2,5%	1,8%

Таблица 20. Отклонение национальных коэффициентов выбросов выборочных стран Приложения 1 от коэффициентов выбросов по умолчанию (МГЭИК, 2006)

Топливо	Германия (НТС)	Италия (НТС)	Нидерланды (НТС)	США (ВТС)	Канада (ВТС)	Австралия (ВТС)	Япония (ВТС)	Н.Зеландия (ВТС)
Бензин	7,5%	5,2%	4,0%	1,9%	-0,5%	-2,8%	-1,1%	-3,8%
АК	2,5%	-	1,4%	3,5%	-4,5%	-2,7%	-4,9%	-4,6%
ДТ	-0,1%	-0,2%	-3,6%	-1,3%	-6,0%	-6,0%	-4,7%	-6,7%
ТМС	-0,1%	3,1%	-	-1,3%	-	-	-0,1%	-1,5%
ТСО	-0,1%	-	-	-1,6%	-	-	-	-
Мазут топочный	2,6%	3,8%	0,0%	-3,1%	-4,3%	-5,2%	-5,6%	-5,6%

Как видно из таблицы, абсолютно все национальные коэффициенты по дизельному топливу ниже приведенных в Руководящих принципах коэффициентов по умолчанию. Схожая

динамика, но не в абсолютном значении, наблюдается также для судовых видов топлива. В отношении бензинов, авиационного топлива и топочного мазута наблюдается тенденция к более высоким значениям коэффициентов выбросов для тех стран, которые используют при расчете значение НТС, и более низким значениям в случае расчета по ВТС. Вместе с тем, очевидно, что в целом, если страна для формирования национальных коэффициентов выбросов использует ВТС, то наблюдается тенденция к национальным коэффициентам ниже, чем те, которые приводятся по умолчанию в Руководящих принципах МГЭИК. Поскольку нормативные документы и практика в РФ предполагают использование именно НТС, проводимое исследование было направлено в первую очередь на получение информации и расчете коэффициентов выбросов именно для данного параметра. Однако учитывая результаты анализа зависимости национальных коэффициентов от теплоты сгорания, исследованию данного факта в ходе выполнения НИР будет уделено отдельное внимание.

Анализ опыта зарубежных исследований, направленных на разработку национальных коэффициентов выбросов при сжигании жидких топлив позволил сформировать концепцию НИР и начать реализацию работ. Выявленные тенденции в национальных коэффициентах стран Приложения 1 РКИК акцентируют внимание на дополнительном исследовании такого параметра, как низшая и высшая теплота сгорания топлива. Данный параметр может быть как потенциальным косвенным фактором, помогающим восстановить весь временной ряд с 1990 года, так и обоснованием завышения / занижения национальных коэффициентов относительно коэффициента выбросов CO₂ по умолчанию (МГЭИК, 2006).

Список литературы

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов*, МГЭИК, 2006 г., URL: <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>.

НДК (2023) *Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг.* в 2 томах, М.

Доклад (2001) *Доклад о Руководящих указаниях по эффективной практике и учету факторов неопределенности в национальных кадастрах парниковых газов, глава 2, Энергетика*, URL: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/russian/gpgaum_ru.html.

EF CO₂ (2016) URL: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/co2-emission-factors-for-fossil-fuels>.

EF CO₂ (2022) URL: <https://www.umweltbundesamt.de/en/publikationen/co2-emission-factors-for-fossil-fuels-0>.

ТРЕНДЫ КОНЦЕНТРАЦИЙ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ФОНОВЫХ РАЙОНОВ

TRENDS OF POLLUTANTS CONCENTRATIONS IN THE ATMOSPHERIC AIR OVER BACKGROUND AREAS

Иванов В.А.^{1),2)}, Парамонов С.¹⁾, Позднякова Е.А.¹⁾

Ivanov V.A.^{1),2)}, Paramonov S.G.¹⁾, Pozdnyakova E.A.¹⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
"МИРЭА – Российский технологический университет"
Россия, 119571, г. Москва, Проспект Вернадского, д. 86

Аннотация. Цель работы – определить зависимость трендов загрязняющих веществ в атмосферном воздухе фоновых районов от способа их определения. На основе данных 35 летнего ряда регулярных наблюдений на станциях комплексного фонового мониторинга определены статистические характеристики массива данных и построены тренды концентраций при различных способах процедуры чистки рядов, а также при использовании в качестве средних – среднего арифметического, среднего геометрического и медианы.

Установлено, что тренды, построенные с использованием медианных значений концентраций, наиболее устойчивы к неоднородностям рядов, возникающих из-за отсутствия данных за какой-то период года, а также изменениям предела обнаружения загрязняющих веществ.

Предложено использование указанного способа построения трендов для публикаций данных наблюдений за загрязнением атмосферного воздуха, получаемых на станциях комплексного фонового мониторинга.

Ключевые слова: Комплексный фоновый мониторинг, атмосферный воздух, статистическая обработка данных.

Abstract. The aim of a study is to determine the dependence of trends in pollutants in the atmospheric air of background areas on the method of their determination. Based on the data of a 35-year series of regular observations at integrated background monitoring stations, the statistical characteristics of the data array were determined and concentration trends were plotted for various methods of the series cleaning procedure, as well as when using the arithmetic mean, geometric mean, and median.

It has been established that the trends constructed using median values of concentrations are the most resistant to the inhomogeneities of the series arising from the lack of data for some period of the year, as well as changes in the detection limit of pollutants.

It is proposed to use the specified method for constructing trends for publishing observational data on atmospheric air pollution obtained at integrated background monitoring stations.

Keywords: Comprehensive background monitoring, atmospheric air, statistical data processing.

Концепция комплексного фонового мониторинга (КФМ) появилась в 70-ых гг. XX века, а сеть станций комплексного наблюдения появилась в начале 80-х годов XX века (Израэль, 1979). Более чем за 35 лет регулярных наблюдений на станциях фонового мониторинга было накоплено большое количество информации, которая не всегда однородна:

- Несостыковка количества проб за разные годы измерений – так, в некоторые года пробоотбор мог производиться ежедневно, либо через равные временные промежутки (двое или четверо суток). В результате некоторые месяцы содержат в себе измерения в количестве 5-10 шт., а некоторые 20-31 шт. в разные годы.
- Отсутствие измерений на протяжении всего года либо нескольких месяцев в году
- Значительное число проб ниже предела обнаружения, причем предел обнаружения меняется в зависимости от применяемых методов отбора и анализа проб,

используемой пробоотборной и аналитической аппаратуры, а также от величины измеряемых концентраций.

При приведении баз данных к общему внутримесячному количеству измерений путем удаления части данных было выявлено сильное влияние данной процедуры на конечный результат. Так разница в некоторых случаях достигала 20-25% при среднегеометрических и медианных значениях от исходных данных внутри месяца, результаты представлены в табл. 21. Стоит отметить, что такие сильные различия обусловлены тем, какие именно значения будут удалены из ряда данных внутри месяца.

Таблица 21. Результаты обработки ряда данных по свинцу внутри месяца в Приокско-Террасном биосферном заповеднике за январь 1984 г.

	Среднее геометрическое значение	Медианное значение
Ежедневный пробоотбор (30 проб за месяц)	18,94	20,45
Пробоотбор через 2 суток (11 проб за месяц)	24,23	26,75
Разница в % после привода ряда данных к общему виду	21,84	23,56

Также остается открытым вопрос о корректности удаления реальных измерений из исходного ряда данных для приведения его к общему числу измерений.

По данным, полученным в первые годы регулярных наблюдений, было установлено, что распределение концентраций большинства загрязняющих веществ в атмосферном воздухе фоновых территорий наиболее точно аппроксимируется логнормальным многомодальным распределением, поэтому для описания анализа данных и построения графиков многолетнего хода концентраций использовалось среднее геометрическое (Парамонов, 1994).

На данный момент ФГБУ ИГКЭ публикует полученные данные по оценке загрязнения атмосферного воздуха в виде среднегеометрических значений за месяц, сезон, год (Обзор фонового состояния, 2022). Однако данный метод не учитывает неравномерность рядов, а также возможные экстремальные значения (выбросы/аутлаеры), что может сильно влиять на итоговый результат и дальнейшие оценки состояния атмосферного воздуха. Одним из возможных методов решения вышеописанной проблемы может являться переход к более робастным методам статистической обработки данных, а именно медиана.

В рамках выполнения указания Росгидромета по переходу представления данных наблюдений с геофизического на календарный год, была выполнена работа по расчету медианных значений для всех загрязняющих веществ, определяемых в атмосферном воздухе на станциях комплексного фонового мониторинга.

На рис. 23 представлен график, сравнивающий между собой полученные среднегеометрические (СГ) для геофизического года и медианные (МД) для календарного года значения концентраций свинца в атмосферном воздухе станции КФМ «Приокско-Террасный биосферный заповедник» (ПТБЗ) с 1985 по 2021 гг.

Таким образом, использование медианы позволит избежать потери и искажения данных, неизбежно возникающих при различных процедурах чистки и/или заполнения рядов. Кроме того, на медиану не влияют аномально высокие и низкие концентрации, измеряемые на станциях КФМ т.к. она является устойчивой статистикой (Розенберг и др., 1994).

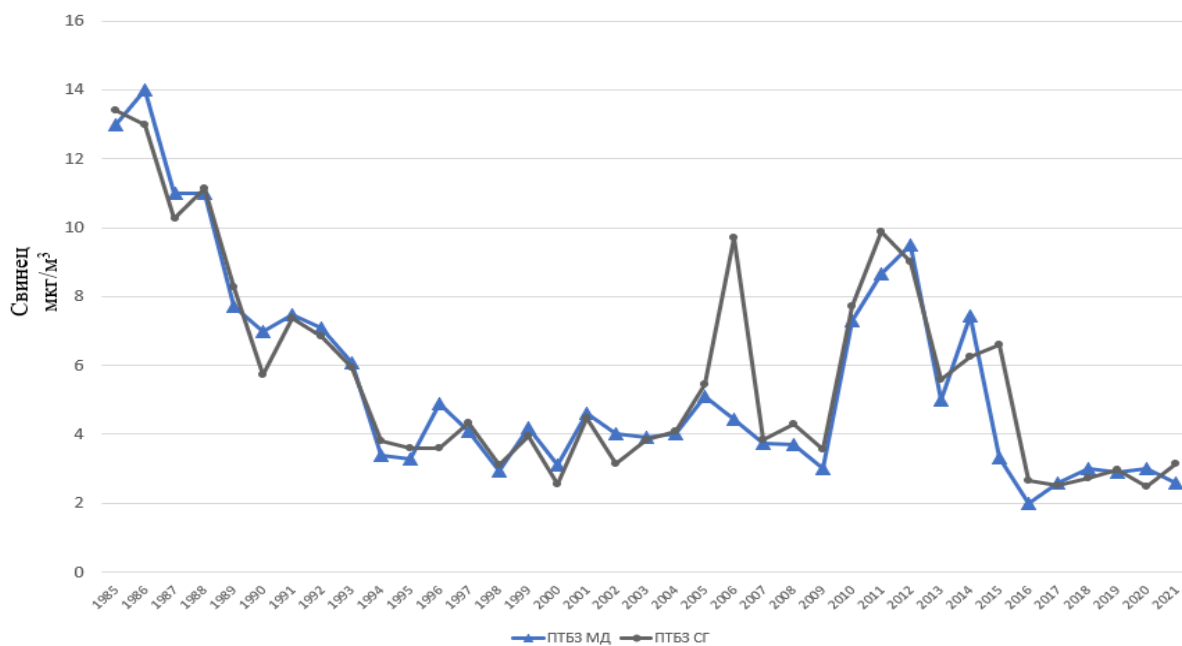


Рисунок 23. Концентрации свинца в атмосферном воздухе в Приокско-Террасном биосферном заповеднике 1985-2021 гг.

Для проведения трендового анализа использовался табличный редактор MAKESENS. Данный табличный редактор использует Тест Манна-Кендалла для оценки наличия тенденции и непараметрический метод робастного линейного сглаживания с использованием оценочной функции Тейла-Сена (метод Сена) для определения величины тренда (Иванов и др., 2021). На рис. 24 и рис. 25 продемонстрированы полученные результаты за 2011-2021 гг.



Data – данные; Sen's estimate – оценка Сена

Рисунок 24. Результаты трендового анализа данных по свинцу в Приокско-террасном биосферном заповеднике по медианным значениям за 2011-2021 гг.



Data – данные; Sen's estimate – оценка Сена

Рисунок 25. Результаты трендового анализа данных по свинцу в Приокско-террасном биосферном заповеднике по среднегеометрическим значениям за 2011-2021 гг.

На графиках наблюдается нисходящий тренд, как для среднегеометрических, так и для медианных значений. При оценке тренда по средним геометрическим скорость падения концентраций на 10% выше, чем при оценках по медиане.

Исследование выполнено в рамках тем НИОКТР АААА-А20-120020490070-3 «Развитие и модернизация методов и технологий комплексного фоновое мониторинга и комплексной оценки состояния и загрязнения окружающей среды РФ и ее динамики (по интегрированным результатам сетей мониторинга Росгидромета)» (План НИТР Росгидромета на 2022 г., т.4.5) и НИОКТР АААА-А20-120013190049-4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)» (План НИТР Росгидромета на 2022 г., т. 4.4).

Список литературы

Иванов В.А., Позднякова Е.А., Громов С.А. (2021) Тест Манна-Кендалла для оценки тенденций поступления загрязняющих веществ от стационарных источников на территории Российской Федерации, *Прикладная физика и математика*, № 3, с. 32-39.

Израэль Ю.А. (1979) *Экология и контроль состояния природной среды*, Л., Гидрометеоздат, 375 с.

Обзор фоновое состояние окружающей природной среды на территории стран СНГ за 2021 г. (2022) Ред. Г.М. Черногаева, М., Институт глобального климата и экологии имени акад. Ю.А. Израэля, 113 с.

Парамонов С.Г. (1994) *Фоновое загрязнение атмосферы на Европейской территории России*, автореферат дис. ... кандидата географических наук, 22 с.

Розенберг Г.С., Шитиков В.К., Брусиловский Г.Н. (1994) *Экологическое прогнозирование* (Функциональные предикторы временных рядов).

**СОВРЕМЕННЫЕ МЕЖДУНАРОДНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К МОНИТОРИНГУ
СОДЕРЖАНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ
MODERN INTERNATIONAL REQUIREMENTS FOR MONITORING POLLUTANTS IN
THE AMBIENT AIR**

Конькова Е.С., Кручина Е.Б.

Konkova E.S., Kruchina E.B.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Рассмотрены требования международных программ мониторинга, рабочих групп и организаций. Основное внимание уделяется требованиям программ трансграничного мониторинга (ЕМЕП и ЕАНЕТ), Глобальной Службы Атмосферы Всемирной Метеорологической Организации и международной научно-исследовательской инфраструктуры ACTRIS. Учтены директивы европейского союза и соответствующие стандарты. Данные программы были выбраны на основе их текущей деятельности в рамках конвенций, принятых и ратифицированных Россией, а также с учетом рекомендаций специалистов, создающих требования для данных программ. Выбранными к рассмотрению загрязняющими веществами являются приоритетные для мониторинга по программе ЕМЕП вещества (базового уровня), а также расширенной программы, актуальной для некоторых территорий Российской Федерации, а также принятые для мониторинга системы комплексного фоновый мониторинга РФ. В докладе приведены обобщенные требования и выделены Основные ключевые моменты, необходимые при создании современных станций мониторинга международного уровня.

Ключевые слова: фоновый мониторинг, требования к мониторингу, ЕМЕП.

Abstract. The requirements of international programs, working groups and organizations are considered in this paper. The focus of this work is on the requirements of the transboundary monitoring programs (EMEP and EANET), the Global Atmosphere Watch of the World Meteorological Organization and the research infrastructure ACTRIS. European directives and relevant standards are taken into account. It was selected on the basis of their ongoing activities under conventions, agreements and ratified by Russia, as well as the scientific community recommendations. The pollutants selected for consideration are the priority substances for monitoring under the EMEP program (base level), as well as the level 2 program, relevant for some territories of the Russian Federation, as well as those accepted for monitoring of the integrated background monitoring system of the Russian Federation. The report presents generalized requirements and highlights the main key points necessary for the creation of modern international level monitoring stations.

Keywords: background monitoring, monitoring requirements, EMEP.

На территории России ведутся наблюдения по нескольким программам фоновый мониторинга: Национальной сети комплексного фоновый мониторинга (КФМ), мониторинга в рамках совместной программы ЕМЕП и мониторинга в рамках программы ЕАНЕТ. Список анализируемых веществ по этим программам несколько различается, но существуют и те вещества, измерение которых обязательно по всем трем программам. Для расширения сети станций мониторинга ЕМЕП необходимо учитывать не только национальные стандарты, которые используются в рамках КФМ, но и международные рекомендации, в том числе Руководство по отбору проб и химическому анализу ЕМЕП, рекомендации ГСА ВМО, ACTRIS и др.

В базовую программу ЕМЕП входят наблюдения за содержанием закисляющих и эвтрофицирующих веществ в атмосферных осадках и атмосферном воздухе, неорганического

и органического углерода в $PM_{2,5}$, диоксида азота, озона; за массовой концентрацией $PM_{2,5}$ и PM_{10} и содержанием тяжелых металлов в осадках (Стратегия мониторинга...).

В настоящее время в рамках программы ЕМЕП существует сборник методик, разработанный в начале 2000х годов, который периодически обновляется, но в нем описаны не все современные технологии. Также экспертами программы ЕМЕП рекомендованы к использованию некоторые нормативные документы Европейского союза, отчеты ГСА ВМО и сети АКТРИС (EBAS Data Submission Manual...).

АКТРИС – Инфраструктура исследования аэрозолей, облаков и газовых примесей – представляет собой научную сеть экспертов, специализирующихся на наблюдениях за аэрозолями, облаками и малых газов. АКТРИС призвана собрать наиболее современные научные данные об объектах исследования, включенных в основные научные интересы сети. ГСА ВМО уже много лет создает рекомендации по наблюдению различных загрязняющих веществ. Среди одобренных и применяемых методик в ЕМЕП и АКТРИС присутствуют несколько стандартов Европейского союза.

Исследование содержания закисляющих и эвтрофицирующих веществ входит в базовый уровень мониторинга по программе ЕМЕП. Мониторинг этих веществ подразумевается в трёх средах: атмосферные осадки, атмосферные аэрозоли и газы. Мониторинг атмосферных осадков можно разделить на два типа: общих выпадений и влажных выпадений. В случае низкого содержания в атмосферных аэрозолях и газах рассматриваемых веществ, возможен мониторинг общих. В случае высокого содержания загрязняющих веществ в воздухе необходимо проводить мониторинг исключительно влажных выпадений. В случае мониторинга общих выпадений допускается использование воронок с защитными бортами или специальных пакетов (холодный сезон для снега) для отбора проб атмосферных осадков. Специализированное сложное оборудование не требуется, пробоотборные емкости находятся в открытом виде все время отбора. В случае же отбора исключительно влажных выпадений, пробоотборные емкости должны закрываться в периоды отсутствия осадков. Требования для датчиков, например, в руководстве ЕМЕП, отмечается на уровне 0,05 мм в час. Но также во многих источниках отмечается, что такие датчики плохо работают в случае выпадения твёрдых осадков (Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу...).

Отбор проб атмосферных аэрозолей и газов, для определения закисляющих и эвтрофицирующих веществ в программе ЕМЕП проводится с помощью системы последовательных фильтров. Как отмечается в руководстве ЕМЕП, защитный конус такой системы позволяет отсекают частиц диаметром более 10 мкм. В то же время в рамках директивы европейского союза о чистом воздухе существуют стандарты мониторинга веществ в аэрозолях диаметром до 2,5 мкм. При этом в случае документа CEN среди допустимых

материалов фильтров отсутствуют использующийся в настоящее время на станциях ЕМЕП России бумажные фильтры. В рассмотренных документах возможно использование высоко и низко объёмных отборников, хотя для определения РМ10 для исследования содержания основных ионов все же рекомендуются низкообъёмные пробоотборники. Ввиду того, что в настоящее время существуют трудности с поставками систем кассетных фильтров, была рассмотрена возможность их замены импакторами отечественного производства. Исходя из документации этого пробоотборного оборудования, его использование возможно, но необходимо проведение полевых исследований (Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу...).

Вторая и третья стадия системы кассетных фильтров представляет собой пропитанные соответствующим агентом бумажные фильтры для определения консольных и щелочных газов. Определение содержания диоксида серы, одного из важнейших кислотообразующих газов, может так же проводиться с помощью автоматических газоанализаторов, основанных на исследовании ультрафиолетовой флуоресценции. Как правило, нет необходимости проводить мониторинг данного газа на всей сети с той частотой, которую предоставляют автоматические газоанализаторы. Метод фильтров достаточно точен, в ходе отбора и анализа не происходят значительные изменения в концентрации диоксида серы, поэтому, хотя в нормативных документах EN метод автоматического анализа рассматривается как стандартный, его замена на метод, основанный на отборе на фильтры, не приведёт к снижению качества данных (Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу..., EN 14212:2012 Ambient air...).

С другой стороны – газы, содержащие азот, в ходе отбора и дальнейшего хранения фильтров, могут изменяться и переходить из одной формы в другую. В целом, среди исследуемых газов, наибольший интерес представляет диоксид азота, мониторинг которого необходимо проводить отдельно. Остальные вещества допускается измерять, используя принудительный отбор на фильтры и оценивая общее содержание азотсодержащих веществ. Диоксид азота следует измерять с помощью непрерывных методов на основе хемилюминесценции. Данный метод рекомендован как нормативными актами ЕС, так и документами в рамках работы международных организаций (Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу..., EN 14211:2012 Ambient air..., Deliverable 3.17...).

Наблюдения за озоном могут проводиться тремя способами: пассивный (диффузионный) пробоотбор, хемолюминесцентный метод, метод УФ абсорбции. Последний из перечисленных методов рекомендуется как в рамках программы ЕМЕП, так и другими документами, например рекомендациями ГСА ВМО для фоновых территорий, стандартом ЕС (Руководство

ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу..., EN 14625:2012 Ambient air..., GAW Report – 209...).

Углеродсодержащие аэрозоли в частицах РМ 2.5 вошли в базовую программу ЕМЕП недавно. Не требуется высокая частота получаемых данных о содержании органического и неорганического углерода в таких аэрозолях, достаточно суточных данных о их содержании. Как в программных документах, так и в стандарте СЕН, рассматриваются методы лабораторного определения этих веществ после отбора на кварцевые фильтры. Выбор скорости отбора зависит от содержания аэрозолей в атмосферном воздухе и влияет на выбор используемых материалов фильтра. Возможна корректировка скорости прокачки за счет увеличения площади фильтров. Зачастую пробы, отбираемые для определения массовой концентрации РМ_{2,5} и РМ₁₀ (что входит в расширенную программу), используются и для определения содержания углеродистых аэрозолей (Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу...).

Стоит так же отдельно отметить, что в рамках работы ГСА ВМО создана группа по исследованию сенсоров низкой стоимости, а также существует стандарт СЕН, предъявляющий требования к данному виду сенсоров. Данные сенсоры возможно использовать, как альтернативу более дорогому эталонному оборудованию.

В рамках базовой программы ЕМЕП не проводятся измерения содержания органических загрязнителей, но в рамках работы сети КФМ это является обязательным требованием. Для гармонизации работы двух программ возможно включение в перечень измеряемых на территории РФ показателей в рамках ЕМЕП, включение отбора проб для определения СОЗов. Данные вещества могут отбираться как на недельной/суточной основе, при использовании системы, состоящей из полиуретановых фильтров и сорбционной смолы с помощью высокообъемных пробоотборников, так и с помощью пассивных пробоотборников, с более низким временным расширением – одна проба за сезон – для характеристики общего среднего уровня содержания этих веществ в атмосферном воздухе.

Рассмотренные стандарты не противоречат требованиям к качеству воздуха, предъявляемых российским законодательством, но во многом устанавливают более высокие уровни достоверности и качества данных, в связи с чем, текущее оснащение фоновых станций ЕМЕП должно быть модернизировано с учетом данных требований и их адаптации под современное состояние рынка.

Список литературы

Руководство ЕМЕП по отбору проб и химическому анализу (2006) Перевод с английского под редакцией А.Г. Рябошапко, Москва, ФГБУ «ИГКЭ», 294 с., URL: https://projects.nilu.no/ccs/manual/download/EMEP_manual_russian.pdf.

Стратегия мониторинга Совместной программы наблюдения и оценки распространения загрязнителей воздуха на большие расстояния в Европе на период 2020-2029 годов (2019) URL: https://unece.org/DAM/env/documents/2019/AIR/EB_Decisions/Decision_2019_1_R_.pdf.

Deliverable 3.17. (2018) *Updated Measurement Guideline for NO_x and VOC_s*, Reimann Stefan, Robert Wegener, Anja Claude and Stephan Sauvage (eds.), 103 p., URL: https://www.actris.eu/sites/default/files/Documents/ACTRIS-2/Deliverables/WP3_D3.17_M42.pdf.

EBAS Data Submission Manual, URL: <https://ebas-submit.nilu.no/SOPs>.

EN 14211:2012 *Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of nitrogen dioxide and nitrogen monoxide by chemiluminescence*: дата публикации 2012-08-22.

EN 14212:2012 *Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of sulphur dioxide by ultraviolet fluorescence*: дата публикации 2012-11-30.

EN 14625:2012 *Ambient air – Standard method for the measurement of the concentration of ozone by ultraviolet photometry*: дата публикации 2012-11-30.

GAW Report – 209. *Guidelines for Continuous Measurements of Ozone in the Troposphere*, Prepared by Ian E. Galbally and Martin G. Schultz, World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland, 37 p.

**БАЛАНС ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В УПРАВЛЯЕМЫХ ЭКОСИСТЕМАХ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ И ВОЗМОЖНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНОГО КАДАСТРА В СЕКТОРЕ
«ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ, ИЗМЕНЕНИЯ В ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИИ И ЛЕСНОЕ
ХОЗЯЙСТВО»**

**GREENHOUSE GAS FLOWS IN MANAGED ECOSYSTEMS OF THE RUSSIAN
FEDERATION AND POSSIBLE DIRECTIONS FOR IMPROVING THE NATIONAL GHG
INVENTORY IN THE SECTOR “LAND USE, LAND-USE CHANGE AND FORESTRY”**

Коротков В.Н., Трунов А.А., Полумиева П.Д., Сорокина Д.Д., Вертянкина В.Ю., Исаева А.В.

Korotkov V.N., Trunov A.A., Polumiyeva P.D., Sorokina D.D., Vertyankina V.YU., Isayeva A.V.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»

Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Представлены оценки баланса парниковых газов в управляемых экосистемах России и рассмотрены основные направления работ по уточнению компонентов этого баланса применительно к лесам, возделываемым землям, сенокосам и пастбищам, водно-болотным угодьям, поселениям, заготовленным лесоматериалам в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения «Мониторинг климатически активных веществ».

Ключевые слова: парниковые газы, кадастр, землепользование, земельные угодья, ЗИЗЛХ.

Abstract. Assessments of the balance of greenhouse gases in managed ecosystems of Russia are presented and the main directions of work to clarify the components of this balance are considered in relation to forest land, cropland, grassland, wetlands, settlements, harvested wood product within the framework of the most important innovative project of national importance “Monitoring of climate-active substances”.

Keywords: greenhouse gases, cadaster, land-use, lands, LULUCF.

Согласно одобренной Правительством РФ Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г., Россия будет стремиться достичь углеродной нейтральности не позднее 2060 г. Одним из важнейших направлений в стратегии достижения углеродной нейтральности Российской Федерации является сохранение и увеличение поглощающей способности лесов и иных экосистем. Ожидается, что к 2060 г. сектор «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство» (ЗИЗЛХ), в котором учитываются потоки парниковых газов в управляемых экосистемах, будет полностью компенсировать антропогенные выбросы от других секторов экономики 1200 млн т CO₂-экв. в год, однако высказываются сомнения в реализации этого показателя (Птичников и др., 2023). Осуществление Стратегии должно обеспечиваться преимущественно реальными мерами в лесном и сельском хозяйстве, а не только корректировкой способов расчета (Сорокина и др., 2023).

Успехи нашей страны в достижении углеродной нейтральности должны отражаться в национальном кадастре парниковых газов, подготовкой которого занимается Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля. Согласно данным кадастра

(Национальный..., 2023), совокупные выбросы парниковых газов в 2021 г. составили 2061,1 млн т CO₂-экв. без учета сектора ЗИЗЛХ и 1503,5 млн т CO₂-экв. – с учетом этого сектора, то есть сектор ЗИЗЛХ компенсирует 27% антропогенных выбросов от секторов «Энергетика», «Промышленные процессы», «Сельское хозяйство» и «Отходы». По сравнению с 1990 г. антропогенные выбросы без учета сектора ЗИЗЛХ снизились на 34,9%, а с учетом этого сектора – на 51,3%. Баланс парниковых газов в секторе ЗИЗЛХ показывает, что основной объем нетто-поглощения парниковых газов обеспечивают лесные земли, в меньшей степени – сенокосы и пастбища, а остальные управляемые земли и пул заготовленных материалов (ЗЛМ) пахотные угодья являются нетто-источниками (рис. 26).

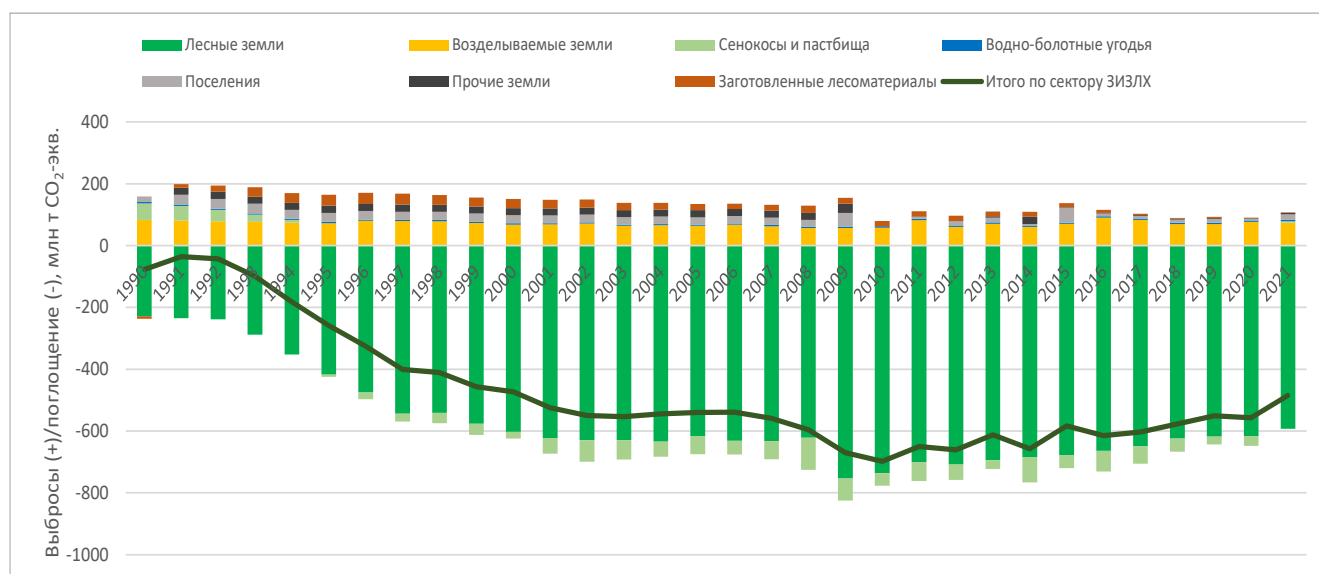


Рисунок 26. Баланс парниковых газов в секторе «Землепользование, изменения в землепользовании и лесное хозяйство»

При подготовке кадастра используются методические руководства Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2006; 2019), а также национальные методики в том случае, если они сопоставимы с рекомендациями МГЭИК и дают репрезентативные по территории и виду источников, научно-обоснованные и более точные результаты.

Важнейшим элементом отчетности в секторе ЗИЗЛХ является составление матрицы земель, отражающей динамику площади земельных угодий и переустройство земельных угодий из одной категории в другую. В настоящее время информация по площадям земельных угодий собирается Росреестром и публикуется в ежегодных докладах о состоянии и использовании земель в Российской Федерации, однако в них отсутствует информация о площади перевода земельных угодий из одной категории в другую. При переводе земель необходимо рассчитывать изменения запасов углерода во всех пулах (биомасса, мертвая

древесина, подстилка, органическое вещество почвы) и соответствующие выбросы парниковых газов. В кадастре парниковых газов используется упрощенный подход, который не учитывает взаимные переводы площадей земельных угодий из одной категории в другую. В результате выполнения работ в рамках важнейшего инновационного проекта государственного значения (ВИП ГЗ) «Мониторинг климатически активных веществ» планируется переход к использованию данных дистанционного зондирования Земли для отслеживания изменений в землепользовании. Кроме того, будут использованы результаты работ консорциума 4 «Национальная система мониторинга динамики климатически активных веществ в наземных экосистемах» по ВИП ГЗ, возглавляемого Центром по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН. В частности, будут уточнены запасы пулов углерода, а также актуализированные коэффициенты по ежегодному изменению запасов углерода на единицу площади в разных типах управляемых экосистем при разных режимах управления и при нарушениях.

Лесные земли. Прорабатываются методические подходы для использования результатов первого цикла государственной инвентаризации лесов. Кроме того, будут использованы результаты работ консорциума 4 ВИП ГЗ по уточнению коэффициентов, используемых для расчетов поглощающей способности лесов, а также по оценке площадей погибших древостоев.

Сельскохозяйственные угодья (возделываемые земли, сенокосы и пастбища). Выбросы парниковых газов из почв сельскохозяйственных угодий в настоящее время рассчитываются только для осушенных земель с органогенными почвами, а изменения запасов углерода в минеральных почвах приняты равными нулю. Изменение запасов углерода в пуле биомассы оценивается только для многолетних насаждений. Все расчеты осуществляются в соответствии с подходом первого уровня, предложенным МГЭИК (2006). В расчетах используются коэффициенты, предложенные по умолчанию, не учитывается региональная специфика сельскохозяйственных угодий. Планируется проведение расчета ежегодного изменения запасов углерода в органическом веществе почв пахотных и используемых луговых угодий в разрезе субъектов РФ на основе балансовой оценки поступления и потерь углерода в почвы (Романовская и др., 2008) с учетом результатов работ консорциума 4 ВИП ГЗ. Кроме того, планируется использование модели почвенного углерода, описанной в дополнении 2019 г. к руководящим указаниям МГЭИК (IPCC, 2019).

Оценки потоков парниковых газов от водно-болотных угодий имеют значительную неопределенность, связанную с недостатком исходных данных и значительной вариабельностью коэффициентов выбросов. Для уточнения оценок необходимы актуальные данные о современном состоянии осушенных и обводненных торфяников в разных регионах

страны. Кроме того, планируется использовать уточненные коэффициенты выбросов парниковых газов от осушенных и вторично-обводненных органических почв по типам землепользования, которые будут разработаны консорциумом 4 в рамках ВИП ГЗ.

Заготовленные лесоматериалы (ЗЛМ) могут учитываться в качестве дополнительного пула углерода. Согласно руководящим указаниям (МГЭИК, 2006), запасы углерода учитываются для трех групп ЗЛМ: пиломатериалы, древесные плиты и изделия из бумаги. На данный момент в кадастре для расчета пула ЗЛМ применяются коэффициенты по умолчанию, которые не учитывают национальные особенности заготовки и обработки древесины, а также сроки службы различных видов изделий из древесины. В настоящее время в рамках ВИП ГЗ ведутся работы по уточнению коэффициентов, что позволит в дальнейшем снизить неопределённость оценок запасов углерода в ЗЛМ.

Список литературы

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК 2006 г.*, подготовлено программой МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов, под ред. С. Игглестона, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара и К.Танабе, т. 4, Хайяма, ИГЕС.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2021 гг. (2023) Часть 1, М., 479 с.

Птичников А.В., Шварц Е.А., Попова Г.А., Байбар А.С. (2023) Стратегия низкоуглеродного развития России и роль лесов в её реализации, *Вестник Российской академии наук*, т. 93, № 1, с. 36-49.

Романовская А.А. (2008) *Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO₂, N₂O, CH₄) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России*, Автореф. дисс. ... докт. биол. Наук, М., 42 с.

Сорокина Д.Д., Птичников А.В., Романовская А.А. (2023) Сравнительный анализ и оценка методик расчета поглощения парниковых газов лесными экосистемами, применяемых в Российской Федерации, *Известия РАН. Серия географическая*, т. 87, № 4, с. 497-511.

IPCC 2019 (2019) *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Calvo Buendia, E., Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P. and Federici, S. (eds), IPCC, Switzerland.

**ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ МЕДНОГОРСК,
НОВОКУЗНЕЦК, ОМСК, ЧЕРЕПОВЕЦ, БРАТСК, ЛИПЕЦК
ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИМИ АРОМАТИЧЕСКИМИ УГЛЕВОДОРОДАМИ
AIR POLLUTION OF THE CITIES OF MEDNOGORSK, NOVOKUZNETSK, OMSK,
CHEREPOVETS, BRATSK, LIPETSK WITH POLYCYCLIC AROMATIC
HYDROCARBONS**

Корунов А.О., Заневалов М.А.

Korunov A.O., Zapevalov M.A.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»
Россия, 249038, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Ленина, 82

Аннотация. Цель работы – анализ содержания бенз(а)пирена и других высокомолекулярных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах атмосферного воздуха, отобранных в период с 2020 по 2022 гг. в городах Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк на государственной наблюдательной сети Росгидромета. Измерения ПАУ проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии с использованием флуориметрического детектора. Исследованы основные причины, формирующие повышенные уровни загрязнения атмосферного воздуха ПАУ. Показана сезонная изменчивость в содержании бенз(а)пирена и других ПАУ в атмосферном воздухе городов Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк с максимумом в зимнее время и минимумом в летний сезон. Представлены результаты расчета молекулярных соотношений ПАУ для возможности оценки источников загрязнения атмосферного воздуха.

Ключевые слова: загрязнение, воздух, бенз(а)пирен, ПАУ, ВЭЖХ

Abstract. The purpose of the work is to analyze the content of benz(a)pyrene and other high-molecular polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in atmospheric air samples taken in the period from 2020 to 2022 in the cities of Mednogorsk, Novokuznetsk, Omsk, Cherepovets, Bratsk, Lipetsk on the state monitoring network of Roshydromet. PAH measurements were carried out by high-performance liquid chromatography fluorimetric detector. There are investigated main causes forming the increased levels of atmospheric air pollution of PAHs. It is shown seasonal concentration's variability of benz(a)pyrene and other PAHs in the ambient air of the cities of Mednogorsk, Novokuznetsk, Omsk, Cherepovets, Bratsk, Lipetsk with a maximum in winter and a minimum in summer. The are presented results of the calculation of molecular ratios of PAHs for the assessment of sources of atmospheric air pollution.

Keywords: pollution, air, benz(a)pyrene, PAHs, HPLC

Наблюдения за уровнем загрязнения атмосферного воздуха городов являются одной из основных задач государственной системы мониторинга состояния и загрязнения окружающей среды и осуществляются территориальными подразделениями Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромета).

Бенз(а)пирен, единственный из приоритетных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), включен в перечень загрязняющих веществ, в отношении которых для атмосферного воздуха применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды (Распоряжение Правительства РФ, N 1316-р, 2015) и установлен санитарно-гигиенический норматив (ПДКс.с. в воздухе – 1 нг/м³) (ГН 2.1.6.1338-03).

ФГБУ «НПО «Тайфун» в рамках государственного задания осуществляет определение бенз(а)пирена в атмосферном воздухе 143 городов на государственной наблюдательной сети

Росгидромета, в списке которых города-участники проекта «Чистый воздух» Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк. Оценке тенденций изменения уровней загрязненности атмосферного воздуха в этих городах в последние годы уделяется особое внимание в связи с осуществлением мероприятий по сокращению выбросов загрязняющих веществ.

Концентрации бенз(а)пирена в атмосферном воздухе городов Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк возрастают в зимний период (рис. 27). Причина роста концентраций ПАУ обусловлена, с одной стороны, ростом объемов сжигаемого топлива на объектах теплоэнергетики в зимний период (отопительный сезон) и, с другой стороны, снижением рассеивающей способности атмосферного воздуха. Оба этих фактора действуют однонаправленно и приводят к росту концентраций ПАУ.

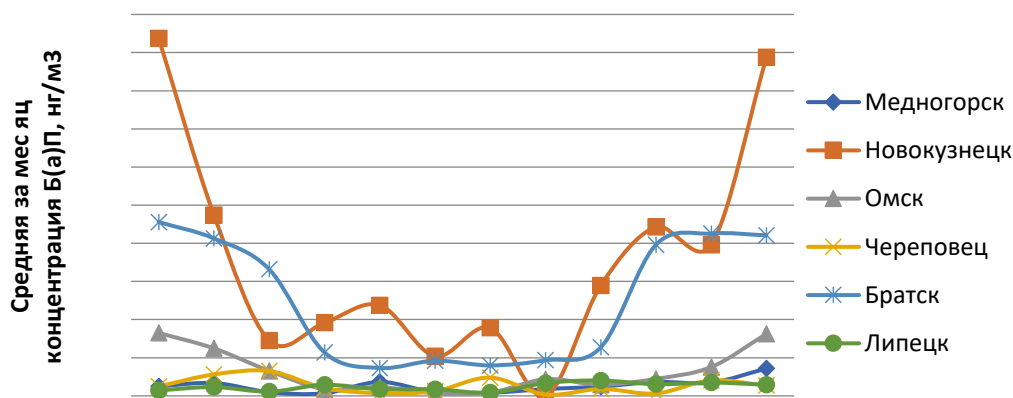
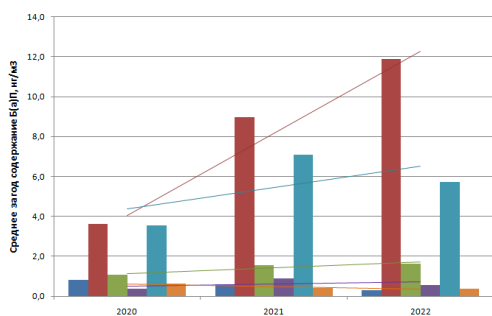
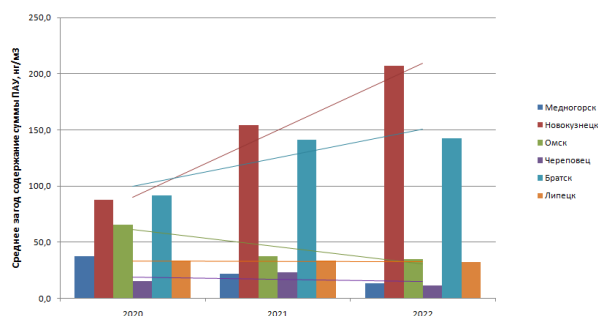


Рисунок 27. Динамика содержания Б(а)П в атмосферном воздухе по месяцам в течение года в городах Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк за период 2020-2022 гг.

Анализ динамики изменения среднегодовых концентраций бенз(а)пирена и суммы ПАУ (по 14 веществам из списка приоритетных) за период 2020-2022 гг. (рис. 28) показывает разнонаправленные тенденции. В городах Новокузнецк и Братск (наибольшие уровни содержания Б(а)П и суммы ПАУ) наблюдается тенденция увеличения концентрации Б(а)П и суммы ПАУ, для Омска при незначительном увеличении содержания Б(а)П значения концентраций суммы ПАУ снижаются. Для городов Липецк и Медногорск наблюдается тенденция к снижению концентраций Б(а)П и суммы ПАУ. Для г. Череповец среднегодовые концентрации Б(а)П и суммы ПАУ в 2020-2022 годах изменялись незначительно.



а)



б)

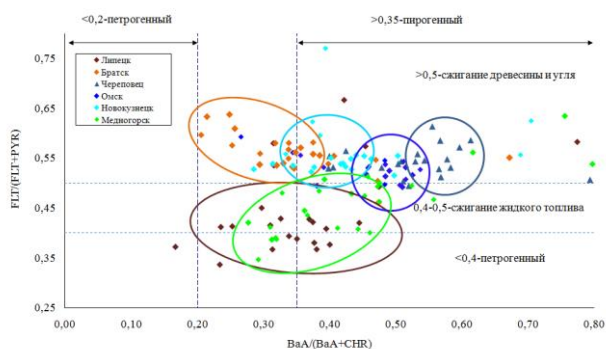
Рисунок 28. Тенденции изменения содержания Б(а)П (а) и суммы ПАУ (б) в атмосферном воздухе в городах Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк за период 2020-2022 гг.

К основным источникам загрязнения атмосферного воздуха городов полициклическими ароматическими углеводородами относятся объекты топливно-энергетического, металлургического, нефтехимического, машиностроительного комплексов и автомобильный транспорт. Считается, что “техногенная” составляющая ПАУ в максимальной степени представлена высокомолекулярными 4-6-циклическими соединениями (Пшенин, 1995; Суздорф, 1994; Халиков, 2018).

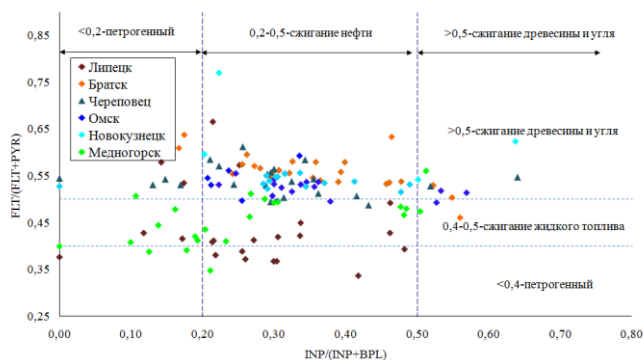
Наглядным способом визуального представления результатов идентификации источников загрязнения (оценки петрогенного или пирогенного происхождения ПАУ) является использование перекрестных графиков сравнения соотношений $BaA/(BaA+CHR)$ и $FLT/(FLT+PYR)$, $INP/(INP+BPL)$ и $FLT/(FLT+PYR)$, $BaA/(BaA+CHR)$ и $INP/(INP+BPL)$ (Халиков, 2018). Результаты расчетов этих соотношений для исследованных городов приведены на рис. 29.

При анализе графиков наиболее представительным оказались соотношения $BaA/(BaA+CHR)$ и $FLT/(FLT+PYR)$, из которых следует, что экспериментальные данные распределяются по определенным кластерам, характерным для каждого города. Исходя из расположения точек на графиках, представленных на рис. 28, можно полагать, что для загрязнения атмосферного воздуха городов Медногорск и Липецк характерны петрогенные источники, а для городов Братск, Череповец, Медногорск и Новокузнецк – источники сжигания древесины и угля. Можно заметить (рис. 28), что в летний период во всех городах наблюдается сдвиг в сторону петрогенных источников (например, к ним относится автотранспорт). В зимний период с ростом концентраций ПАУ (декабрь-февраль) происходит смещение центра облака точек в сторону пирогенных источников загрязнения (сжигание

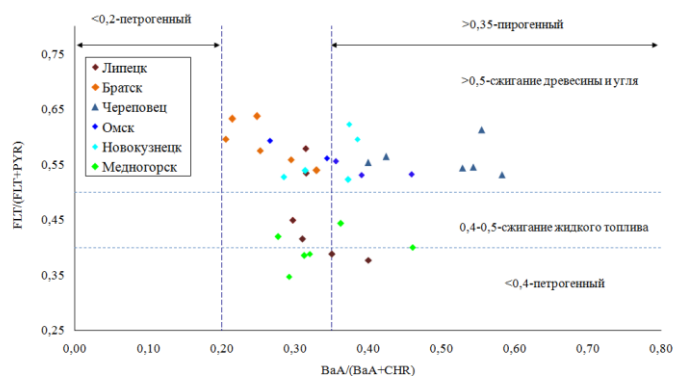
древесины и угля), что может говорить о влиянии работы угольных котельных, автономных источников теплоснабжения частного сектора.



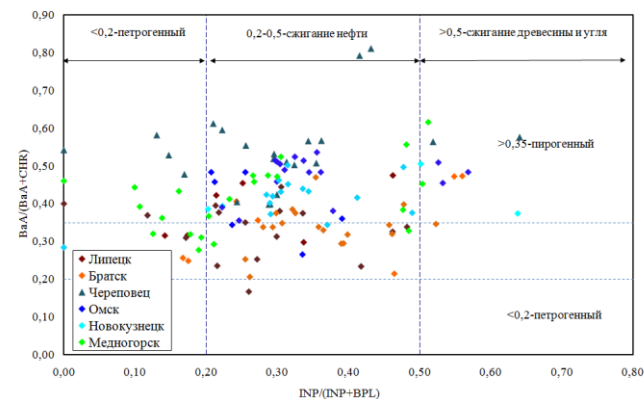
а) Год



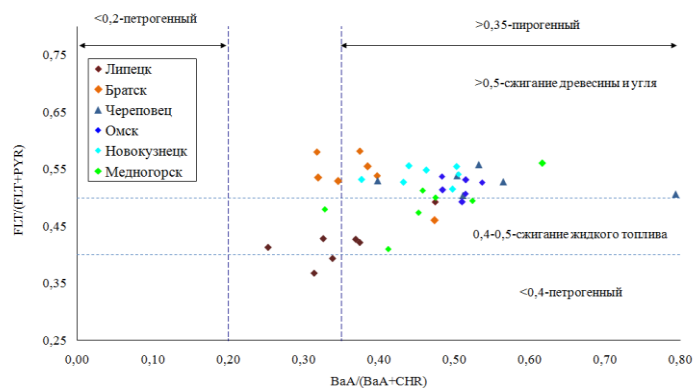
г) Год



б) Лето



д) Год



в) Зима

Рисунок 29. Сравнение диагностических соотношений ПАУ в атмосферном воздухе в городах Медногорск, Новокузнецк, Омск, Череповец, Братск, Липецк за период 2020-2022 гг.

Исходя только из диагностических соотношений, определить вклад отдельных источников поступления ПАУ (например, производство алюминия, ТЭЦ, котельные, автономные источники теплоснабжения, автотранспорт) в формирование повышенных

уровней загрязнения атмосферного воздуха исследованных городов не представляется возможным. Однако при наличии априорных данных инструментального контроля источников выбросов диагностические соотношения могут служить дополнительным фактором идентификации источников выбросов, создающих повышенные уровни загрязнения атмосферного воздуха ПАУ.

Список литературы

ГН 2.1.6.1338-03. (2003) *“Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест”*, Москва.

Распоряжение Правительства Российской Федерации от 8 июля 2015 года N 1316-р “Об утверждении перечня загрязняющих веществ, в отношении которых применяются меры государственного регулирования в области охраны окружающей среды”.

Пшенин В.Н. (1995) *Транспорт как источник полициклических ароматических углеводородов в окружающей среде*, Москва, ВИНТИ, 19 с.

Суздорф А.Р., Морозов, С.В., Кузубова Л.И., Аншиц Н.Н., Аншиц А.Г. (1994) Полициклические ароматические углеводороды в окружающей среде: источники, профили и маршруты превращения, *Хим. интерес. устойч. разв.*, № 2, с. 511-540.

Халиков И.С. (2018) Идентификация источников загрязнения объектов природной среды полициклическими ароматическими углеводородами с использованием молекулярных соотношений, *Экол. хим.*, т. 27, № 2, с. 76-85.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭМИССИИ
ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СИСТЕМ ХРАНЕНИЯ НАВОЗА
ESTIMATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM MANURE STORAGE
SYSTEMS WITH USE OF PILOT-SCALED PLANT**

Козлова Е.Н., Позднякова Е.А., Конькова А.С.

Kozlova E.N., Pozdniakova E.A., Konkova A.S.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Работа посвящена измерению эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза КРС (жидкий и твёрдый вариант хранения), свиного и птичьего на территории РФ. Проведён разбор имеющихся подходов к определению эмиссии парниковых газов. Предложен подход к определению средней величины эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза на территории РФ с использованием модельных установок в разных климатических зонах. Описаны два варианта разработанных авторами с учётом имеющегося международного опыта модельных установок для оценки эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза.

Ключевые слова: парниковые газы, метан, закись азота, измерение эмиссии, модельная установка, системы хранения навоза.

Abstract. The work is devoted to the measurement of greenhouse gas emissions from the storage systems of cattle manure (liquid and solid storage options), swine and poultry on the territory of the Russian Federation. The analysis of the available approaches to the determination of greenhouse gas emissions is carried out. An approach to determining the average greenhouse gas emissions from manure storage systems in the territory of the Russian Federation using model installations in different climatic zones is proposed. Two variants of model installations developed by the authors taking into account the existing international experience for estimating greenhouse gas emissions from manure storage systems are described.

Keywords: greenhouse gases, methane, nitrous oxide, emission measurement, model installation, manure storage systems.

Рост содержания парниковых газов в атмосфере является одним из ведущих факторов изменения климата на планете. Одним из наиболее значимых источников поступления парниковых газов в атмосферу является сектор сельского хозяйства, и, в частности, системы хранения навоза. Оценка величины поступления парниковых газов от систем хранения навоза производится с помощью расчётных коэффициентов выбросов, а не путём прямого измерения эмиссии с поверхности субстрата. Для точных расчётов выбросов парниковых газов необходимо, чтобы выбор коэффициентов опирался на достоверные экспериментальные данные, полученные в результате измерения эмиссии парниковых газов от систем хранения навоза. Существует несколько методов оценки эмиссии парниковых газов с исследуемой поверхности в зависимости от размеров изучаемого объекта: 1) бортовая, спутниковая съёмка, 2) микрометеорологические методы, 3) метод эмиссионных камер. Для наших объектов изучения подходят два последних подхода. Наиболее простым в выполнении является метод эмиссионных камер (Dalal, Allen, 2008; Bartlett et al., 1992). Принцип камерного метода заключается в следующем. На поверхность исследуемого объекта устанавливается герметичная камера, у которой отсутствует нижняя часть основания. Выделяющиеся газы поступают в свободное пространство камеры, и по изменению концентрации газа в камере

можно рассчитать величину потока. Используемые камерные системы могут быть разделены на статические и динамические (Ehhalt, 1974). В статических камерах не происходит обмена воздухом с атмосферой. По мере накопления газов в камерном пространстве могут существенно изменяться условия газообмена, выделения и поглощения парниковых газов, что при относительно длительной экспозиции может привести к искажению результатов измерения потоков газов. В отличие от статических камер, в динамических газовых камерах осуществляется постоянная продувка воздухом (Monson, Baldocchi, 2014; Burba, 2013). При постоянном потоке газа с исследуемой поверхности в динамической камере довольно быстро наступает стационарное состояние, и величина газового потока может быть определена как

$F=Q(C_{\text{выход}}-C_{\text{вход}})/S$, где $C_{\text{вход}}$ и $C_{\text{выход}}$ – концентрации измеряемых газов в воздухе на входе в камеру и выходе из неё, Q – скорость потока воздуха (продувки), S – площадь основания камеры.

Системы хранения навоза являются сложным объектом наблюдения. В силу физических свойств субстрата на его поверхность невозможно установить эмиссионную камеру для определения величины потока парниковых газов. Поэтому для оценки величины эмиссии парниковых газов от навоза распространено использование двух подходов.

Первый подход заключается в прямом измерении концентрации парниковых газов в воздухе над поверхностью субстрата при закрытой системе хранения. При таком подходе навоз хранится в бетонных ёмкостях размером несколько метров, сверху накрытых тепличным покрытием. Конструкция оснащается системой вентиляции, датчиками контроля состояния окружающей среды (температуры, давления, влажности). Отбор проб проводится с помощью вакуумного насоса через газовые линии, анализ содержания парниковых газов осуществляется с помощью диодно-лазерного газоанализатора или газохроматографическим методом (Amon, Kryvoruchko, 2006). Вся используемая конструкция представляет собой динамическую эмиссионную камеру большого объёма.

Второй подход предполагает использование для определения эмиссии парниковых газов модельных установок (Rodhe, Ascue, 2001; Meng et al., 2023). Модельная установка представляет собой ёмкость большого объёма, заполняемая исследуемым субстратом, фиксированной массы. Для равномерного распределения газов в свободном пространстве установки в целях предотвратить изменений величины газового потока с поверхности навоза вследствие повышения концентрации газов в приповерхностном слое необходимо обеспечить перемешивание воздуха (с помощью вентилятора или посредством продувки установки воздухом при постоянной скорости потока). Установка должна герметично закрываться и иметь устройство для отбора газовой пробы (газовый кран или септу). Газовые пробы отбираются через септу с помощью газоплотного шприца во флаконы, наполненные

насыщенным соевым раствором. Также возможно проводить отбор газовых проб через газовый кран в пробоотборные сосуды или пакеты из газоплотного инертного материала (из плёнки Тедлара или с тефлоновым покрытием) (Другов, Родин, 2020). Анализ газовых проб проводится газохроматографическим методом.

Модельная установка должна находиться в условиях идентичным условиям содержания навоза в полноразмерных системах хранения (температура, давление, осадки, воздухообмен с окружающей средой), и также подвергаться периодической разгрузке и загрузке навоза. Всё это требуется проводить для наиболее полного соответствия процессов, происходящих в модельной установке таковым в полноразмерных системах хранения навоза, и, таким образом, получения оценки величины эмиссии парниковых газов максимально приближенной к фактической эмиссии от систем хранения навоза.

В ходе выполнения работ для определения эмиссии закиси азота и метана от систем хранения навоза были сконструированы два варианта модельной установки. Первая установка является статической эмиссионной камерой, снабжённой вентилятором для перемешивания воздушной массы в свободном пространстве камеры, а также термодатчиком для контроля изменения температурного режима внутри установки и устройством для отбора газовых проб с помощью шприца. Схема установки представлена на рисунке 30 (А). Для проведения модельного эксперимента ёмкость установки на половину объёма заполняется субстратом, герметично закрывается и экспонируется в условиях аналогичных условиям содержания субстрата в полноценных системах хранения навоза. Пробы отбираются 3 раза в сутки. Анализ проб проводится газохроматографическим методом. По динамике увеличения концентрации парниковых газов в пробах воздуха оценивается величина их эмиссии с поверхности навоза.

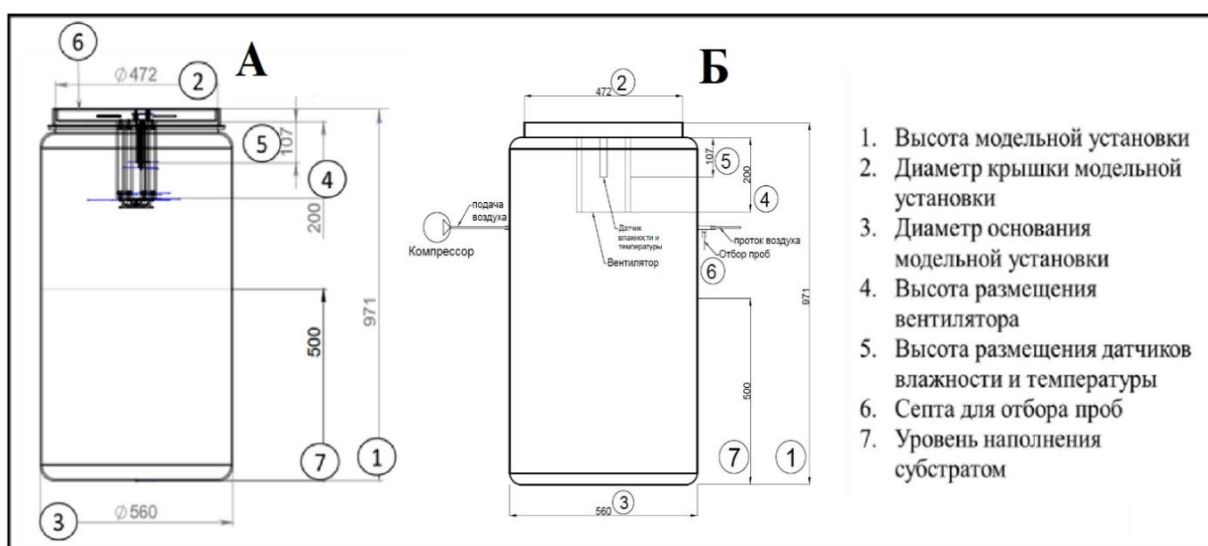


Рисунок 30. Схема модельной установки
А - статическая эмиссионная камера, Б – динамическая эмиссионная камера

Второй вариант модельной установки представляет собой динамическую эмиссионную камеру (рис. 30Б). В данном случае осуществляется непрерывная продувка свободного пространства камеры путём подачи воздуха с постоянной скоростью с помощью компрессора. При постоянном потоке газа с исследуемой поверхности в камере наступает стационарное состояние, величина газового потока при этом определяется по формуле:

$$F = \frac{Q(C_{\text{выход}} - C_{\text{вход}})}{m}, \text{ где } C_{\text{вход}} \text{ и } C_{\text{выход}} - \text{концентрации измеряемых газов в воздухе на входе}$$

в камеру и выходе из неё, Q – скорость потока воздуха (продувки), m – масса субстрата, от которого происходит эмиссия газов.

Необходимость использования двух типов эмиссионных камер обусловлена следующими причинами. Внутреннее пространство статической камеры полностью изолировано от внешней среды, поэтому не происходит газообмен с атмосферным воздухом, концентрация эмитирующихся с поверхности субстрата газов в свободном пространстве камеры постепенно растёт, что оказывает влияние на процессы газообмена между исследуемым субстратом и воздухом. Это может исказить результаты оценки величины эмиссии газов. В динамической эмиссионной камере при осуществлении постоянной продувки существенного увеличения концентрации газов не происходит, таким образом устраняется фактор, значительно влияющий на процессы обмена газовыми составляющими между субстратом и воздухом в свободном пространстве камеры. В таком случае оценка эмиссии исследуемых газов будет более точной. Поэтому для определения эмиссии метана нами был выбран вариант динамической эмиссионной камеры. В случае закиси азота измерение эмиссии осложняется очень низкими концентрациями газа в воздухе, на уровне предела обнаружения прибором. Поэтому при измерении содержания закиси азота требуется продолжительная экспозиция эмиссионной камеры при полном исключении возможности газообмена с окружающей средой, что обуславливает использование нами статической эмиссионной камеры.

Поскольку эмиссия парниковых газов зависит от климатических параметров, для определения величины выбросов были выбраны три региона с резко различающимися климатическими условиями: Ленинградская область, Иркутская область и Краснодарский край.

Список литературы

- Другов Ю.С. (2020) *Газохроматографический анализ загрязненного воздуха: практическое руководство*, 6-е изд., М., Лаборатория знаний, 531 с.
- Amon B., Kryvoruchko V. (2006) Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle and pig slurry and influence of slurry treatment, *Agriculture Ecosystems & Environment*, vol. 112 (2-3), pp. 153-162.
- Bartlett K. B., Crill P.M., Sass R.L., Harriss R.C., Dise N.B. (1992) Methane emissions from tundra environments in the Yukon-Kuskokwim Delta Alaska, *Journal of Geophysical Research D.*, vol. 97 (15), pp. 16645-16660.

Burba G. (2013) *Eddy Covariance Method for Scientific, Industrial, Agricultural and Regulatory Applications: a Field Book on Measuring Ecosystem Gas Exchange and Areal Emission Rates*, LI-COR Biosciences, Lincoln, USA, 331 p.

Dalal R.C., Allen D.E. (2008) Greenhouse gas fluxes from natural ecosystems: Turner review, *Australian. J. N.*, vol. 18, pp. 369-407.

Ehhalt D.H. (1974) The atmospheric cycle of methane, *Tellus*, vol. 1 (1), pp. 58-70.

Monson R., Baldocchi D. (2014) *Terrestrial Biosphere-Atmosphere Fluxes*, Cambridge University Press, New York, 487 p.

Rodhe, L., Ascue J. (2001) Production and consumption of methane by soils, *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, vol. 37, no. 1, pp. 25-50.

Meng X., Sorensen P, Muller H.B., Petersen S.O. (2023) *Greenhouse gas balances and yield- scaled emissions for storage and field application of organic fertilizers derived from cattle manure*, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 345 p.

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫБРОСОВ МЕТАНА ОТ СТАЦИОНАРНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ТЕРРИТОРИИ РФ

SPATIAL DISTRIBUTION OF METHANE EMISSIONS FROM STATIONARY SOURCES ON THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Кудрявцева Л.В., Попов Н.В., Гинзбург В.А.

Kudryavtseva L.V., Popov N.V., Ginzburg V.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель работы – оценка выбросов метана от стационарных источников на территории РФ. На основе данных Росстата о сжигании топлива в различных видах производства и данных спутникового мониторинга о сжигании попутного нефтяного газа на факелах выполнены расчеты с использованием национальных коэффициентов выбросов метана, рекомендуемых в национальных методиках и утвержденных в России. Рассчитаны годовые выбросы метана в 8 Федеральных округах и территориальных образованиях в каждом округе. Определен вклад каждого вида топлива в выбросы метана. Получено пространственное распределение и определены приоритетные источники выбросов метана на территории РФ.

Ключевые слова. Метан, стационарное сжигание, ископаемое топливо.

Abstract. The purpose of the work is to estimate methane emissions from stationary sources on the territory of the Russian Federation. Based on Rosstat data on fuel combustion in various types of production and satellite monitoring data on associated petroleum gas flaring, calculations were performed using national methane emission factors recommended in national methodologies and approved in Russia. Annual methane emissions in 8 federal districts and territorial units in each district were calculated. The contribution of each type of fuel to methane emissions is determined. The spatial distribution was obtained and the priority sources of methane emissions on the territory of the Russian Federation were determined.

Keywords. Methane, stationary combustion, fossil fuels.

В последние 3-5 лет появилось ряд сообщений о заметном воздействии на климатическую систему короткоживущих климатически активных веществ антропогенного происхождения. К ним относятся четыре типа веществ – метан (CH_4), тропосферный озон (O_3), гидрофторуглероды (ГФУ) и чёрный углерод (ЧУ). В отличие от долгоживущих парниковых газов (время их жизни 100 и более лет), короткоживущие парниковые агенты не способны к продолжительной циркуляции в системе атмосфера – океан – экосистемы суши. Поэтому сокращение объема их выбросов может сказаться на их содержании в атмосфере сравнительно быстро – на временах порядка 10 лет и менее. Считается, что наряду с контролем выбросов диоксида углерода (CO_2), меры по сокращению выбросов короткоживущих парниковых агентов могут снизить антропогенное повышение глобальной температуры еще на $0,5^\circ\text{C}$ к 2050 г. (UNEP, 2011).

Метан является парниковым газом более сильным в этом отношении, чем углекислый газ, из-за наличия глубоких колебательно-вращательных полос поглощения его молекул в инфракрасном спектре. Если степень воздействия углекислого газа на климат условно

принять за единицу, то парниковая активность того же молярного объёма метана составит 21-25 единиц. Вклад в образование CO₂ учитывается для метана в зависимости от того, происходит он из ископаемого углерода, поэтому метан из источников ископаемого топлива имеет более высокие значения выбросов (29,8), чем метан из других источников (27,2) (Метан и климатические изменения..., 2022). Однако время жизни метана в атмосфере невелико (от нескольких месяцев до нескольких лет), поскольку он окисляется кислородом до углекислого газа в тропосфере под действием грозных разрядов и в стратосфере под действием УФ-С излучения Солнца.

CH₄ и ГФУ входят в число парниковых газов, подлежащих контролю в границах Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН, 2005). Россия и ряд других развитых стран регулярно представляют отчеты по выбросам этих веществ в атмосферу в Секретариат РКИК ООН, где эти данные ежегодно проходят международный аудит (Национальный доклад о кадастре..., 2017). Тропосферный озон является вторичным производным от парниковых газов, регулируемых РКИК ООН.

Расчет выбросов метана от таких категорий источников, как производство электроэнергии и тепла, производственные отрасли, жилой сектор и сельское хозяйство, выполнен с использованием национальных коэффициентов выбросов метана, рекомендуемых в национальных методиках и утвержденных в России (Инструкция по инвентаризации..., 2002; Кадастр выбросов парниковых газов, 2005) по данным Росстата 2013 года о расходе различных видов топлива в год.

В категории стационарного сжигания в производственных отраслях и строительстве российские методики дают следующие изменения в коэффициентах эмиссии метана (кг CH₄ на ТДж):

2 вместо 3 для нефти, 2 вместо 1 для газа нефтеперерабатывающего сухого, 10 вместо 1 для бурого угля, 30 вместо 1 для кокса металлургического, 10 вместо 1 для газа горючего искусственного коксового, 5 вместо 1 для природного газа, 30 для древесины и 300 для топлива печного бытового.

Применение отечественных коэффициентов при расчетах выбросов приводит к их увеличению в этих категориях в 2-3 раза по сравнению с выбросами, рассчитанными по коэффициентам МГЭИК.

В категории коммунального /сельского/лесного/рыбного хозяйства и рыбоводства, а также других категорий национальные коэффициенты эмиссии метана не больше методических руководящих принципов МГЭИК.

Для оценки выбросов от сжигания попутного нефтяного газа (ПНГ) в различных регионах РФ привлекались данные спутникового мониторинга (Матвеев и др., 2018; Жижин и

др., 2017). В этой работе выполнено сравнение объемов сжигания ПНГ по данным Национального доклада о выбросах парниковых газов и спутникового мониторинга, которое показало, что при одинаковой динамике изменения объемов сжигания, по абсолютным значениям суммарные объемы сжигания ПНГ, приведенные в Национальном кадастре (Национальный доклад..., 2017) меньше значений, определяемых по спутниковым данным. Плотность сжигаемых углеводородов была уточнена по данным об усреднённом составе ПНГ (табл. 3), в расчете которого учитывался состав углеводородной смеси, сжигаемой на крупнейших нефтегазовых месторождениях и газоперерабатывающих заводах на территории Российской Федерации, а также их вклад в общий объём сжигания ПНГ в России (Попов и др., 2021).

На рис. 31 представлены абсолютные и относительные выбросы от стационарных источников в 2013 г в различных округах РФ.

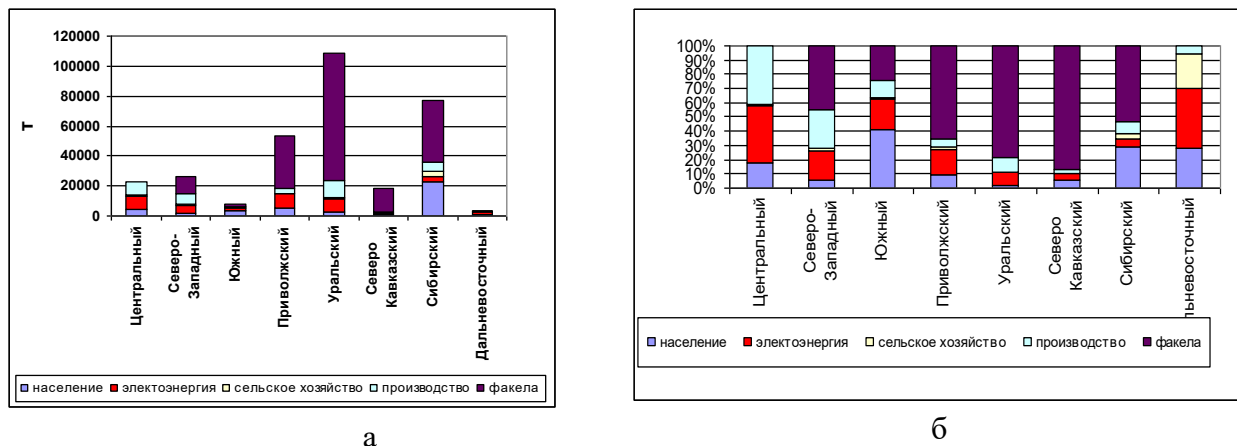
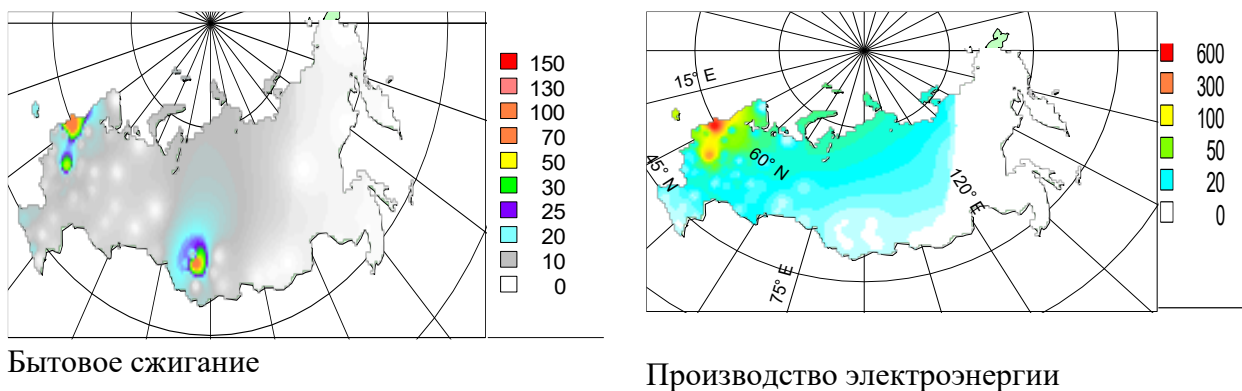


Рисунок 31. Выбросы метана от стационарных источников в 2013 г. в различных округах РФ

На рис. 32 показано пространственное распределение метана на территории РФ в кг/км² от разных категорий источников



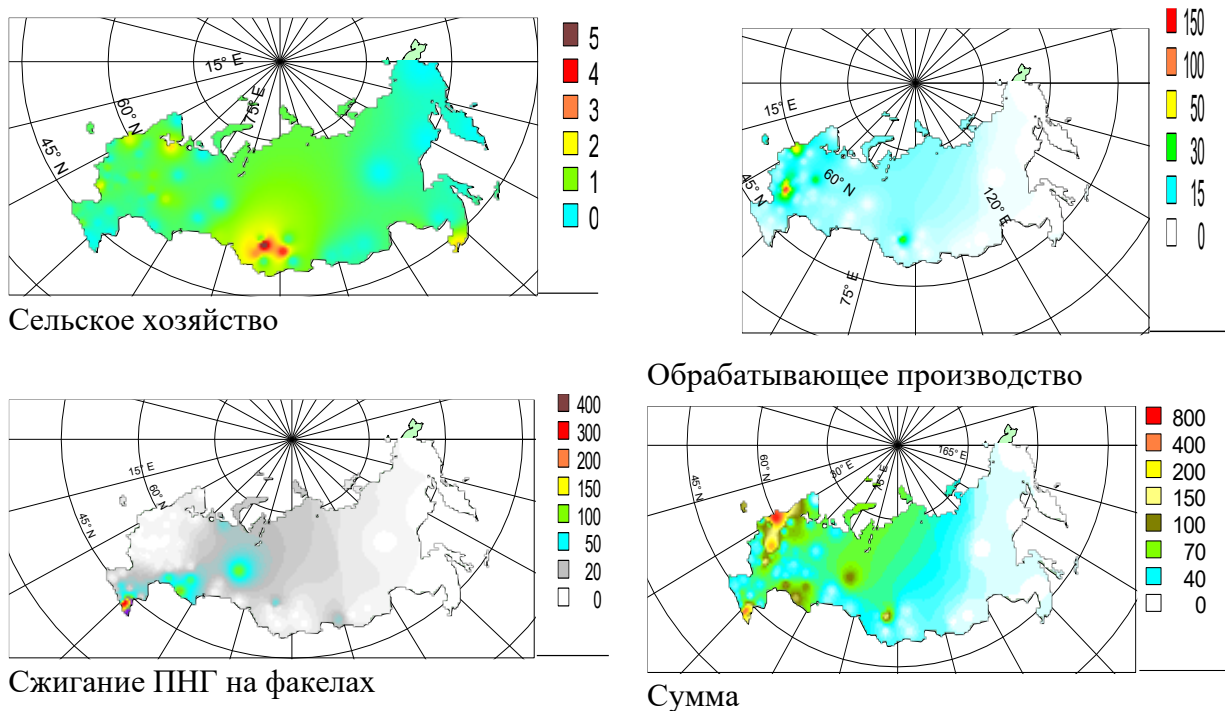


Рисунок 32. Пространственное распределение метана на территории РФ от разных категорий источников, кг/км²

Как видно из этих рисунков, максимальные выбросы метана дает Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий АО, а плотность выбросов наибольшая в Европейской части. Это соответствует результатам базы данных EDGAR, где максимальное значение в районе Санкт-Петербурга составляет 8 т/км², в Архангельской области 0,05 т/км², в Ямало-Ненецком АО 0,06 т/км², что вполне соответствует нашим расчетам, соответственно, 1,5, 0,07 и 0,05 т/км².

Список литературы

Гинзбург В.А., Кудрявцева Л.В., Зеленова М.С. (2020) Методические подходы к оценке выбросов в атмосферу черного углерода на территории Российской Федерации при стационарном сжигании ископаемого топлива, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXXI, № 3-4.

ЕМЕП/ЕАОС (2016) *Руководство ЕМЕР/ЕАОС по инвентаризации выбросов*. Общие руководящие указания по подготовке национальных инвентаризационных выбросов, ЕАОС, Копенгаген.

Инструкция по инвентаризации и национальному учету выбросов парниковых газов в атмосферу (2002) НИИ Атмосферы, под. ред. В.Б. Миляева, Санкт-Петербург.

Кадастр выбросов парниковых газов (2005) Общие требования к содержанию и оформлению, СТО Газпром.

Матвеев А.М., Жижин М.Н., Пойда А.А. (2018) Применение алгоритма спутникового мониторинга сжигания попутного нефтяного газа Viirs Nightfire на территории России и его результаты, *Сборник тезисов докладов Шестнадцатой всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*, с. 100.

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата*, под ред. С. Игглестона, Л. Буэндия, К. Мива, Т. Нгара и К. Танабе, т.1-5, ИГЕС, Хайяма.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты (2022) Под ред. академика РАН Б.Г. Бандура, академика РАН И.И. Мохова, члена-корреспондента РАН А.А. Макоско, Российская академия наук.

Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей (1996), Москва, ВНИИГаз.

Методика расчёта выбросов вредных веществ в атмосферу при сжигании попутного нефтяного газа на факельных установках (1997), Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха Минприроды РФ, Санкт-Петербург.

Рекомендации по инвентаризации и национальному учету выбросов парниковых газов в атмосферу, приложение к приказу министра экологии и природных ресурсов от 01.08.05 г. № 662 (2005).

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата*, под ред. С. Игглестона, Л. Буэндия, К. Мива, Т. Нгара и К. Танабе, т.1-5, ИГЕС, Хайяма.

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2020 гг. (2022) Москва, с. 58-61.

Попов Н.В., Говор И.Л., Гитарский М.Л. (2021) Эмиссия парниковых газов от сжигания попутного нефтяного газа в России, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 54-61.

РКИК ООН (2005) *Рамочная Конвенция ООН об изменении климата. Секретариат РКИК ООН при поддержке Отделения ООН в Женеве*, Женева, 41 с.

ЕС-JRC/PBL (2012) *Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR)*, release EDGARv4.2 FT2012, URL: <http://edgar.jrc.ec.europa.eu>.

EEA EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook (2019) European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, URL: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

**МОНИТОРИНГ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В СВОБОДНОЙ
АТМОСФЕРЕ. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ И ВЕТРОВОЙ РЕЖИМЫ**
**MONITORING OF METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE FREE
ATMOSPHERE. TEMPERATURE AND WIND REGIMES**

Лавров А.С.

Lavrov A.S.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации
Мировой центр данных»
Россия, 249030, г. Обнинск, ул. Королева, 6

Аннотация. Температура, скорость и направление ветра в свободной атмосфере входят в число основных климатических переменных (Essential Climate Variables), оказывающих значительное влияние на климат Земли. В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» проводится мониторинг температурного и ветрового режима на стандартных изобарических поверхностях, результаты которого публикуются в ежегодных «Обзорах Росгидромета об особенностях климата на территории РФ». В докладе приводятся основные моменты методик мониторинга температурного и ветрового режима свободной атмосферы, и проводится обобщенный анализ результатов мониторинга температуры и ветра за последние несколько лет.

Ключевые слова: климат, климатический тренд, температура, скорость ветра, направление ветра, свободная атмосфера.

Abstract. Temperature, wind speed and direction in the free atmosphere are among the Essential Climate Variables that have a significant influence on the Earth's climate. FGBU "RIHMI" monitors temperature and wind regimes on standard isobaric surfaces, the results of which are published in the annual reports of Roshydromet on the climate of the Russian Federation. The report presents the main points of the methodologies for monitoring of the temperature and wind regimes of the free atmosphere and a generalised analysis of the results of temperature and wind monitoring for the last few years.

Keywords: climate, climatic trend, temperature, wind speed, wind direction, free atmosphere.

Температура, скорость и направление ветра в свободной атмосфере входят в число основных климатических переменных (Essential Climate Variables), оказывающих значительное влияние на климат Земли. В ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» мониторинг температурного и ветрового режимов в свободной атмосфере осуществляется на основе данных аэрологического массива АЭРОСТАС (Хохлова, 2015). Перед поступлением в массив данные проходят комплексный контроль качества (Алдухов, Черных, 2013). Общее число станций, по которым ведется сбор аэрологических данных, превышает 900 и варьирует от месяца к месяцу. Около 700 станций глобальной сети расположены в Северном полушарии.

Общая схема мониторинга состоит из нескольких этапов:

- обработка месячной порции поступивших данных радиозондирования по всей глобальной сети;
- получение статистических характеристик для каждой станции на 15 стандартных изобарических поверхностях от 1000 гПа до 10 гПа;
- расчет аномалий по отдельным станциям;
- временное обобщение аномалий по сезонам и годам по отдельным станциям;

- вертикальное обобщение по слоям атмосферы: тропосфера (850-300 гПа) и нижняя стратосфера (100-50 гПа);
- пространственное обобщение/визуализация результатов расчета аномалий для отдельных станций;
- расчет трендов и других характеристик;
- анализ особенностей анализируемого года;
- представление результатов.

Поле температуры в свободной атмосфере имеет практически зональный характер, то есть температура не зависит от долготы, а является лишь функцией широты и высоты точки над уровнем моря. В связи с этим пространственное обобщение аномалий температуры для северного полушария осуществляется по широтным поясам: пятиградусным поясам, тридцатиградусным поясам 0-30° с.ш., 30-60° с.ш., 60-90° с.ш., по всему северному полушарию.

Ветер в свободной атмосфере зональным характером не обладает. Для его пространственного представления используются карты распределения характеристик ветра.

Методики мониторинга температуры и ветра были утверждены на Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиофизическим прогнозам. Результаты публикуются в ежегодных докладах Росгидромета об особенностях климата на территории РФ. Ниже представляются некоторые результаты, полученные при мониторинге параметров температуры и ветра в свободной атмосфере.

Температурный режим. Согласно докладу ВМО «О состоянии климата в 2022 году» 2015-2022 гг. являются восемью самыми теплыми годами за всю историю наблюдений с точки зрения приземной температуры. Аналогичная ситуация наблюдается и в тропосфере. В табл. 22 приведены 10 самых теплых лет в тропосфере всего северного полушария для отдельных сезонов.

Таблица 22. Десять самых теплых лет в тропосфере и самых холодных лет нижней стратосфере. Т – аномалии температуры

	Зима		Весна		Лето		Осень		Год	
	Год	Т	Год	Т	Год	Т	Год	Т	Год	Т
Тропосфера (850-300 гПа)										
1	2020	1,13	2016	0,80	2021	0,88	2020	1,01	2020	0,83
2	2016	0,81	2018	0,75	2010	0,81	2019	0,79	2015	0,65
3	2017	0,68	2020	0,74	2018	0,74	2015	0,73	2016	0,65
4	2007	0,65	1959	0,63	2016	0,71	2022	0,59	2019	0,60
5	2015	0,56	2015	0,55	2022	0,68	2021	0,58	2021	0,57
6	2022	0,55	1998	0,53	2020	0,61	2017	0,57	2022	0,52
7	2019	0,51	2022	0,48	2019	0,55	2016	0,51	2017	0,52
8	1959	0,43	2017	0,44	2017	0,48	1998	0,45	2018	0,52

9	1999	0,43	2014	0,42	1998	0,47	2005	0,44	1998	0,49
10	2021	0,41	2007	0,40	2012	0,46	1958	0,42	1959	0,44
Нижняя стратосфера (100-50 гПа)										
1	2019	-1,77	1999	-1,25	2016	-1,34	2016	-1,68	2017	-1,14
2	2017	-1,61	2017	-1,20	2020	-1,21	2020	-1,21	2016	-1,10
3	2013	-1,22	2011	-1,15	1996	-0,99	2000	-1,15	2019	-1,01
4	2001	-1,20	2008	-1,10	2017	-0,92	2019	-1,14	2012	-0,74
5	1999	-1,06	2012	-0,96	2007	-0,88	2007	-0,97	2011	-0,73
6	2004	-1,03	2018	-0,96	2005	-0,87	2017	-0,95	2000	-0,70
7	2012	-1,02	2021	-0,89	2011	-0,86	2014	-0,93	1999	-0,68
8	2006	-0,98	2019	-0,76	2000	-0,80	2005	-0,78	2022	-0,68
9	2002	-0,93	2015	-0,72	2022	-0,78	2013	-0,73	2008	-0,64
10	2021	-0,91	2022	-0,65	2018	-0,74	2022	-0,69	2018	-0,61

Как и в случае приземной температуры 2015-2022 гг. в среднем за год являются восемью самыми теплыми годами в тропосфере за всю историю инструментальных наблюдений. Те же годы за исключением 2018 являются самыми теплыми годами в осенний период. Рекордно теплым годом за всю историю наблюдений является 2020 год. В среднем за год его аномалия температуры составила 0,83°C, а в зимний период – 1,13°C. 2015-2022 гг. преобладают в десятке самых теплых лет в тропосфере во всех сезонах.

В нижней стратосфере температурных рекордов за 2015-2022 гг. меньше чем в тропосфере, особенно в зимний период. Тем не менее, весной и летом более половины исследованных годов входят в десятку самых холодных лет в нижней стратосфере, а в среднем по северному полушарию 2017, 2016 и 2019 являются самыми холодными годами за всю историю наблюдений. Абсолютные значения температурных рекордов в нижней стратосфере выше, чем в тропосфере.

Наблюдаемые особенности температурных рекордов отражаются и в оценках температурных трендов (табл. 23).

Таблица 23. Оценки линейного тренда температуры в тропосфере и нижней стратосфере (1981-2022 гг.). *b* – значения сезонного или годового тренда, (°C/10 лет). *D* – объясненная линейным трендом доля общей дисперсии ряда, в %. Жирным курсивом выделены значения трендов, значимо отличные от нуля с вероятностью не менее 0,95

СЕЗОН	0-30 С.Ш.		30-60 С.Ш.		60-90 С.Ш.		Северное полушарие	
	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>b</i>	<i>D</i>	<i>B</i>	<i>D</i>
ТРОПОСФЕРА, 850-300 гПа								
ЗИМА	0,21	41	0,16	16	0,14	22	0,17	32
ВЕСНА	0,13	22	0,21	41	0,14	15	0,18	47
ЛЕТО	0,10	21	0,26	50	0,27	42	0,21	50
ОСЕНЬ	0,15	29	0,24	49	0,24	37	0,21	55
ГОД	0,15	38	0,22	58	0,20	46	0,19	58
НИЖНЯЯ СТРАТОСФЕРА, 100-50 гПа								
ЗИМА	-0,58	45	-0,30	20	-0,13	1	-0,37	39
ВЕСНА	-0,49	53	-0,29	29	-0,36	16	-0,36	49
ЛЕТО	-0,49	50	-0,32	44	-0,21	34	-0,36	52
ОСЕНЬ	-0,53	42	-0,31	45	-0,21	40	-0,37	51
ГОД	-0,52	63	-0,30	55	-0,23	22	-0,36	65

Статистически значимые тенденции потепления в тропосфере наблюдаются во всех сезонах и всех широтных поясах. Годовая оценка тренда в среднем по северному полушарию составляет $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет. Ежегодное расширение временных рядов приводит и к изменению оценок температурных трендов. На рис. 33 показано изменение сезонных оценок трендов при увеличении исследуемого периода 1981-N на год с 2011 до 2022 г.

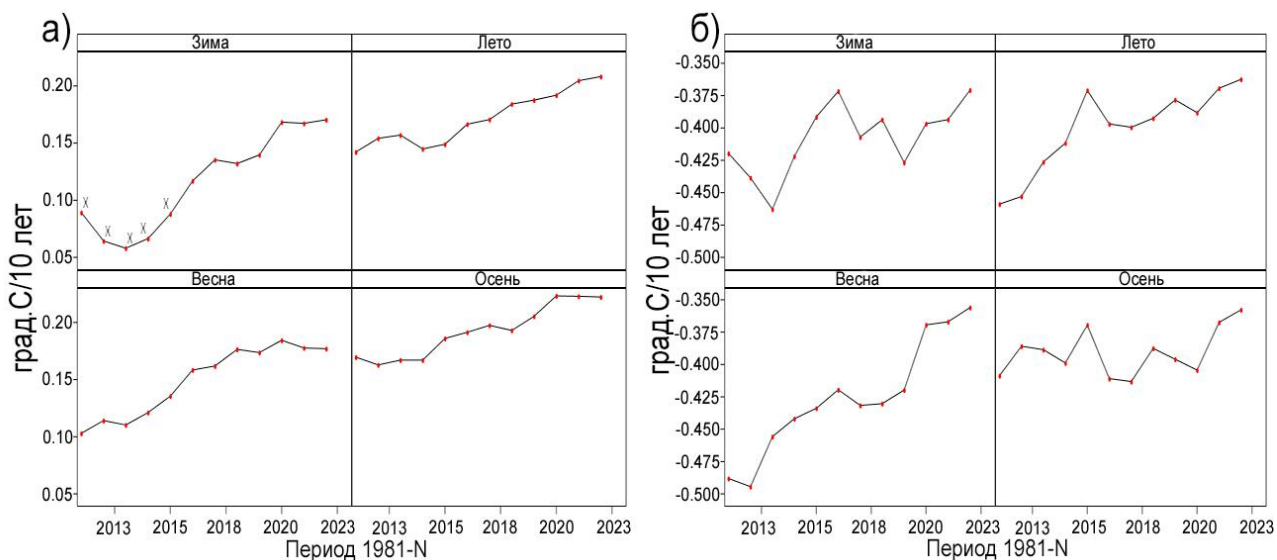


Рисунок 33. Изменение сезонных оценок трендов температуры в тропосфере (а) и нижней стратосфере (б) северного полушария

В тропосфере наблюдается ускорение потепления, особенно в зимний и весенний периоды. С 2011 по 2015 год зимой тренды температуры были статистически незначимы. А весенние тренды в 2011 году были в полтора раза меньше ($0,10^{\circ}\text{C}/10$ лет), чем летние и осенние ($0,15^{\circ}\text{C}/10$ лет). К 2022 году все сезонные тренды имеют схожие значения около $0,19^{\circ}\text{C}/10$ лет.

В нижней стратосфере статистически значимые отрицательные тренды наблюдаются во всех сезонах и всех широтных поясах за исключением зимы в высоких широтах. Годовая оценка тренда в среднем по северному полушарию составляет $-0,36^{\circ}\text{C}/10$ лет. Также с 2011 по 2022 год наблюдается уменьшение абсолютных значений трендов в зимний, весенний и летний периоды. Весенний тренд похолодания уменьшился на $0,15^{\circ}\text{C}/10$ лет за 11 лет. Осенние тренды на протяжении всего периода остаются на одном уровне.

Ветровой режим. За рассматриваемый период 2015-2022 гг. по результатам мониторинга, опубликованным в ежегодном докладе Росгидромета, в тропосфере над территорией России в среднем за год положительные аномалии скорости ветра преобладают над европейской частью России, а отрицательные – над азиатской. В нижней стратосфере в среднем за год над большей частью территории России в 2015 году, а также в 2020-2022 гг. преобладали положительные аномалии скорости, а в 2016-2019 гг. – отрицательные. Зимний и весенний сезоны в нижней стратосфере характеризуются большими абсолютными

значениями аномалий одного знака над большей частью территории России. В 2019 зимние аномалии скорости ветра достигали -10 м/с, а в 2020 году они достигали 12 м/с.

В свободной атмосфере над территорией России наблюдаются тенденции к изменению модуля скорости ветра (рис. 334).

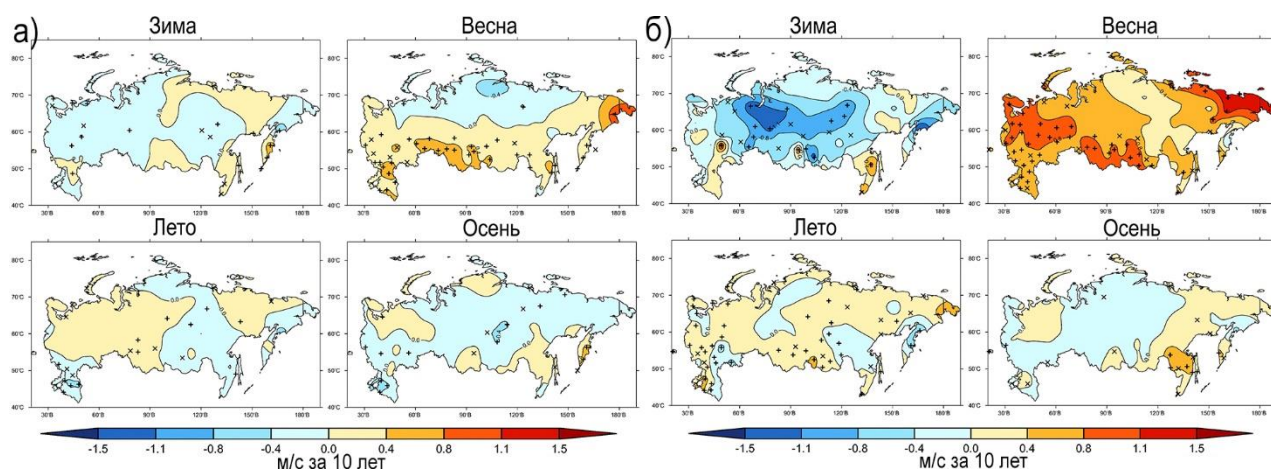


Рисунок 34. Тренды модуля скорости ветра в тропосфере (а) и нижней стратосфере (б)
 Станции со статистически значимым значением тренда с вероятностью 0,9 обозначены «+»; станции со статистически значимым значением тренда с вероятностью 0,85 обозначены «х»

В тропосфере весной над южной половиной ЕЧР и на юге Сибири наблюдаются статистически значимые положительные тренды модуля скорости ветра. В нижней стратосфере значимые отрицательные тренды наблюдаются в Сибири зимой, а значимые положительные – над ЕЧР весной.

Так как скорость ветра характеризуется квазизональностью, то есть широтные составляющие ветра преобладают над меридиональными, то и распределение оценок трендов зонального ветра практически совпадает с распределением оценок модуля скорости ветра.

Список литературы

Хохлова А.В. (2015) *Базовый массив аэрологических данных «АЭРОСТАС» и его производные для нужд прикладной аэроклиматологии*, Труды ВНИИГМИ-МЦД, 179 с.

Алдухов О.А., Черных И.В. (2013) *Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т.1. Контроль качества и обработка данных*, Обнинск. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 306 с.

РТУТЬ В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ГОРОДОВ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

MERCURY IN SNOW COVER OF CITIES IN THE SOUTHERN BAIKAL REGION

Луцкин Е.С., Хуриганова О.И.

Lutskin E.S., Khuriganova O.I.

Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3

Аннотация. Работа посвящена изучению содержания общей ртути в снежном покрове городов Иркутска и Шелехов. Подготовка проб для химического анализа и измерение концентраций ртути в них выполнялась по методике ПНД Ф 14.1:2:4.271-2012. Повышенное содержание концентраций общей ртути фиксируется в снежном покрове на территориях городов Иркутск и Шелехов вблизи антропогенных источников. Содержание общей ртути в городах Иркутск и Шелехов в 2-3 раза выше, чем в фоновых районах Прибайкалья.

Ключевые слова: общая ртуть, снежный покров, города, фоновые районы Прибайкалья.

Abstract. The work is aimed at studying the content of total mercury in the snow cover of the cities of Irkutsk and Shelekhov. Preparation of samples for chemical analysis and measurement of mercury concentrations in them was carried out according to the methodology of PND F 14.1:2:4.271-2012. The elevated concentrations of total mercury are recorded in the snow cover in the territories of Irkutsk and Shelekhov near anthropogenic sources. The content of total mercury in the cities of Irkutsk and Shelekhov is 2-3 times higher than in the background areas of the Baikal region.

Key words: total mercury, snow cover, cities, background areas of the Baikal region.

Ртуть – природный элемент, находящийся во всех природных средах и имеющий свои естественные геохимические циклы, которые до конца еще не изучены. Ртуть признана глобальным загрязнителем окружающей среды вследствие ее токсичности, мобильности и способности к накоплению в различных природных объектах (Луцкин и др., 2023).

Сжигание угля рассматривается сегодня в качестве крупнейшего отдельно взятого глобального источника выбросов ртути в атмосферу (Tripathee et al., 2019; Chen et al., 2018). В результате горения значительная часть микроэлементов, содержащихся в угле, поступает в атмосферу вместе с субмикронными аэрозолями или в газообразной фазе (Крылов, 2012). Так при сжигании углей в атмосферу поступает в среднем не менее 10 % общей массы содержащихся в них Al, Co, Fe, Mn, Na, Se; 30 % – Cr, Cu, Ni, V; 50 % – Ag, Cd, Pb, Zn; 100 % – As, Br, Cl, Hg, Sb и Sc (Кизильштейн, Левченко, 2003). Таким образом, вся содержащаяся ртуть в углях, полностью поступает в атмосферу.

По данным государственного доклада (О состоянии озера Байкал..., 2022) расход топлива по предприятиям ООО «Байкальская энергетическая компания» в 2021 г. составил 4383 тыс. т. тонн угля. Зная (Крылов, 2012; Кизильштейн, Левченко, 2003), что в одной тонне угля содержится около $0,1 \pm 0,01$ г ртути, в атмосферу по нашим расчетам поступило около $0,44 \pm 0,04$ тонн ртути от сжигания угля при расходе топлива в Иркутской области на предприятиях теплоэнергетики в 2021 г.

Для оценки поступления ртути из атмосферы и ее накопления в снежном покрове за холодный период 2021-2022 гг., проведен анализ общей и растворённой концентрации ртути в 76 пробах снежного покрова, отобранных в феврале 2022 г. в крупных городах Иркутск, Шелехов Иркутской области. Для сравнительного анализа полученных результатов с

«чистыми» (фоновыми) районами отобраны пробы снежного покрова на научно-исследовательской станции мониторинга атмосферы «Листвянка» (западное побережье Южного Байкала), на восточном побережье Среднего Байкала и в Баргузинской долине. Полученные результаты представлены в виде картографического материала на рис. 35-37.

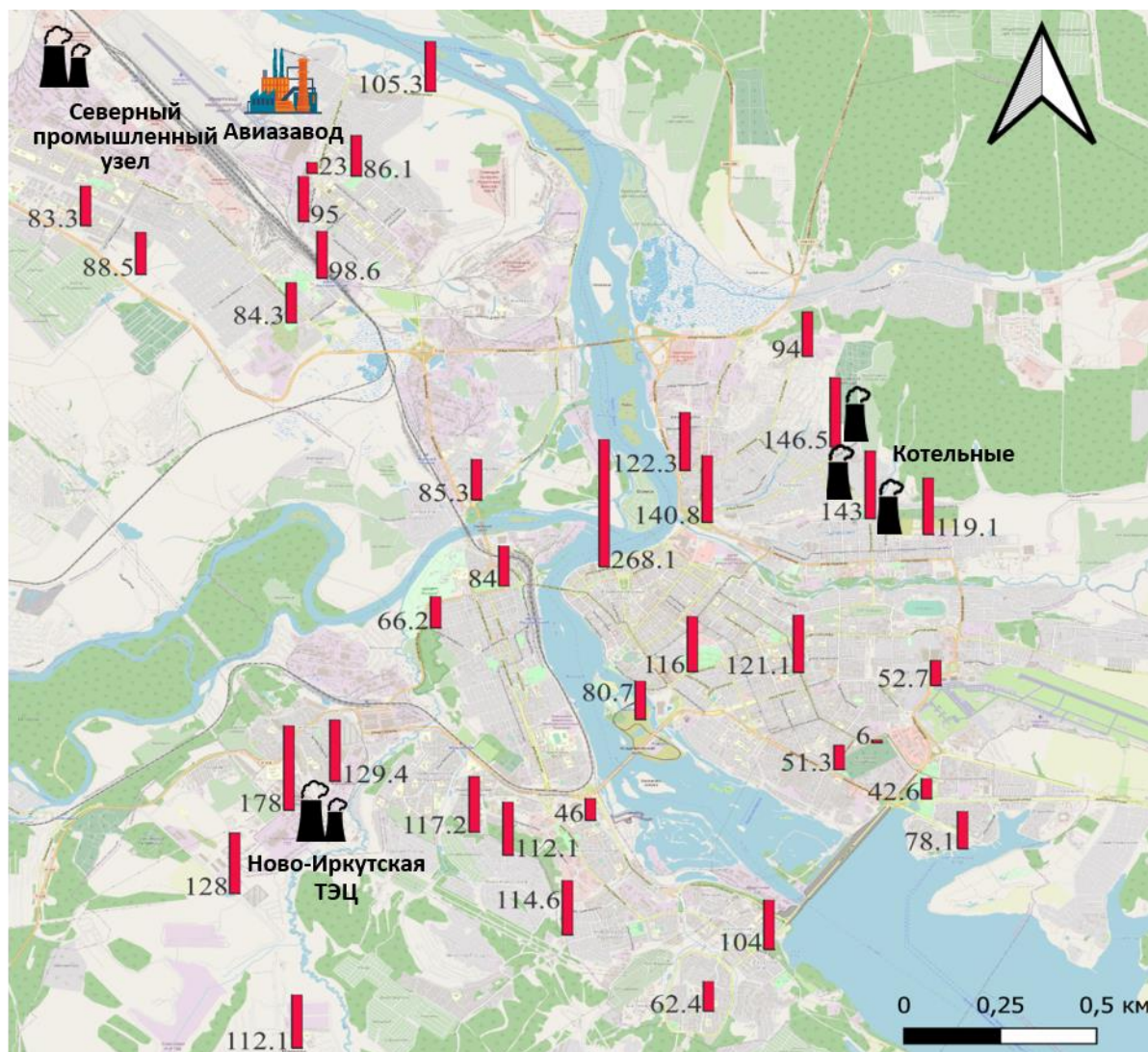


Рисунок 35. Карта-схема распределения концентрации общей ртути (нг/л) в снежном покрове г. Иркутск

Несколько проб снежного покрова отобраны около Ново-Иркутской ТЭЦ – одной из крупнейших теплоэлектростанций региона, работающей на угле, где зарегистрировано повышенное содержание ртути в снежном покрове. По мере удаления от источника загрязнения, концентрация ртути в снежном покрове уменьшалась от 178 нг/л до 112,1 нг/л. В пробах, отобранных возле мелких котельных города, расположенных в предместье «Рабочее», концентрация ртути составила 146,5 нг/л, что выше среднего значения по городу, равное 95 нг/л. Наибольшая концентрация общей ртути зафиксирована возле памятника «Вечного огня» в центре города – 268,1 нг/л. Минимальная концентрация общей ртути в г. Иркутске составила 6 нг/л в точке отбора проб в лесопарке Октябрьского района города.

На рис. 36 представлено распределение ртути в снежном покрове г. Шелехов.

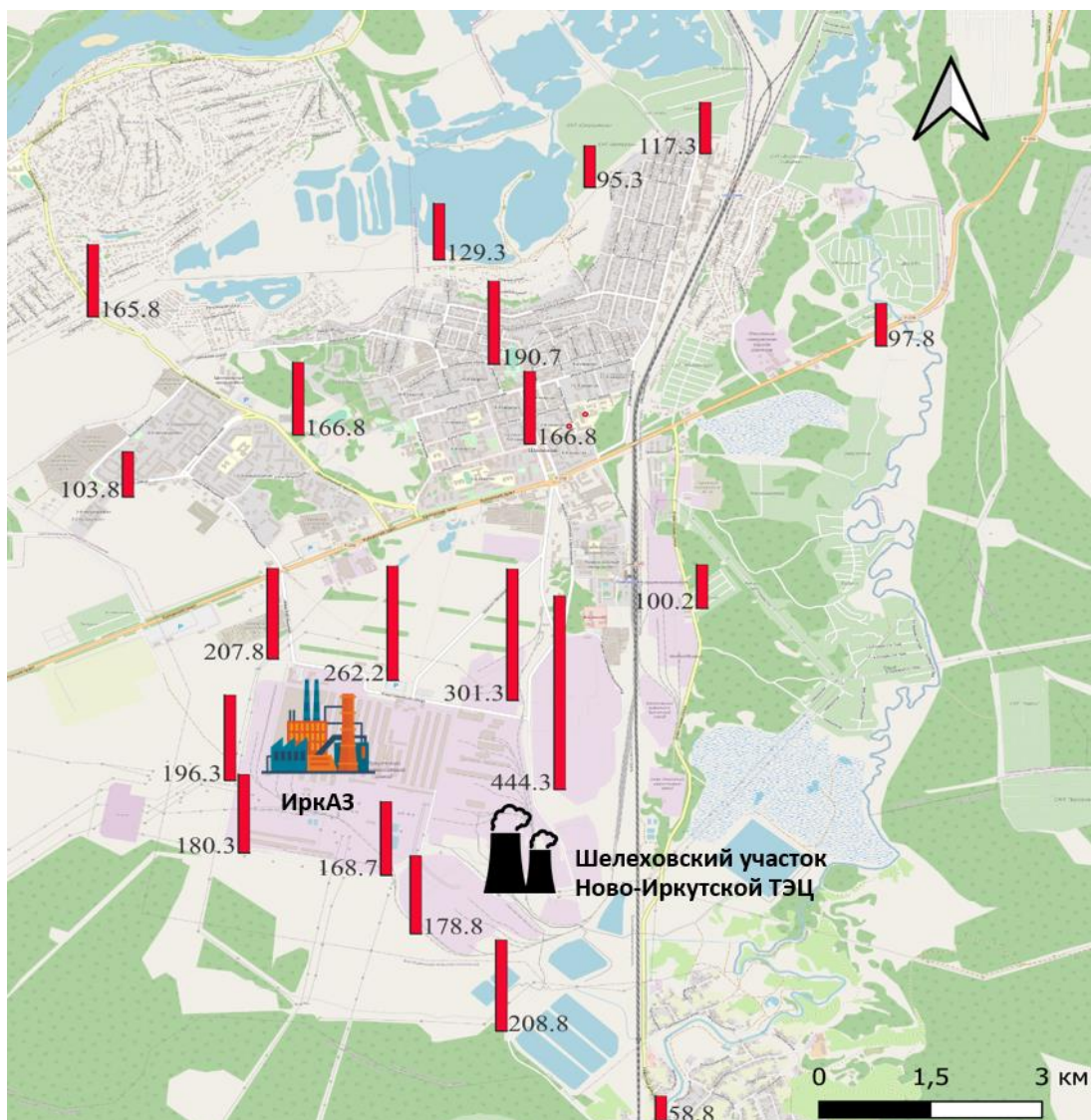


Рисунок 36. Карта-схема распределения концентрации общей ртути (нг/л) в снежном покрове г. Шелехов

Здесь наибольшая концентрация общей ртути в снеговой воде зафиксирована на границе промышленной площадки Иркутского алюминиевого завода, где максимальная концентрация 444,3 нг/л составила в точке, находящейся вблизи шелеховского участка комплекса Иркутской ТЭЦ. Наименьшая концентрация – 58,8 нг/л и зафиксирована в точке, находящейся в деревне Олха в 3 километрах от промышленной зоны Иркутского алюминиевого завода. Средняя концентрация общей ртути в г. Шелехов составила 165,4 нг/л и была выше в 1,7 раз, чем в г. Иркутск. Такие различия по концентрациях ртути в снежном покрове на анализируемых территориях можно объяснить разной высотой труб ТЭЦ в городах. Высота трубы шелеховского участка ТЭЦ составляет 80 м, высоты труб Ново-Иркутской ТЭЦ – 180 и 230 м, что напрямую влияет на локальное рассеивание загрязняющих веществ.

На рис. 37 показано распределение ртути в снежном покрове сельской местности и фоновых районах побережья оз. Байкал.

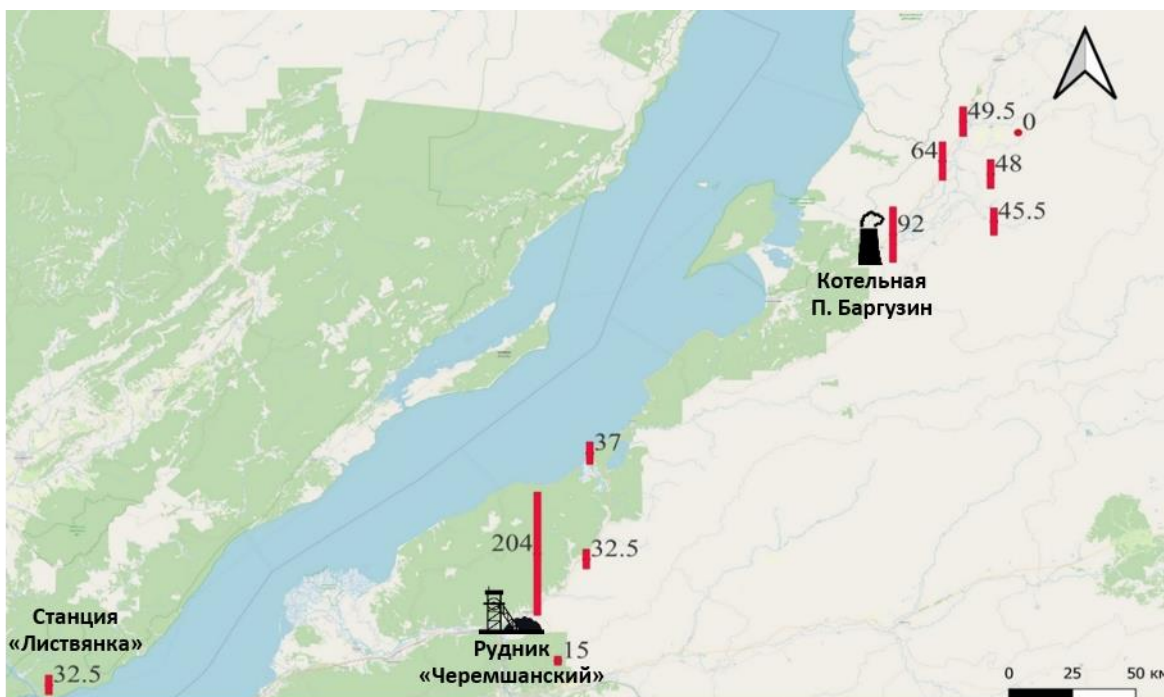


Рисунок 37. Карта-схема распределения концентрации общей ртути (нг/л) в снежном покрове на станции «Листвянка», сельских и фоновых районах восточного побережья оз. Байкал

Наибольшая концентрация общей ртути – 204 нг/л определена в районе с. Турунтаево (восточное побережье оз. Байкал). Вероятной причиной повышенной концентрации ртути является пыление в результате открытой добычи кускового кварцитовидного песчаника на руднике «Черемшанский» с объёмом добычи 150-500 тыс. тонн в год. В качестве акцессорных минералов в добываемом сырье присутствуют выделения серицита, пирита, циркона и др. (Нефтегазовая и горнодобывающая промышленность России, 2023). Согласно работам (Панов, Короткова, 2006; Артеменко, Артеменко, 2010; Рычагов и др., 2015) пирит концентрирует ртуть, при этом содержание ртути в нем может быть выше, чем в угле в несколько сотен раз.

Концентрация ртути зафиксирована в Баргузинской долине, где значение было ниже предела определения метода. Средняя концентрация общей ртути составила 47,5 нг/л и, соответственно, была ниже средних значений ртути в снежном покрове в городе Иркутск и Шелехов почти в 2 и 3,5 раза.

Таким образом, в феврале 2022 года в двух крупных городах Иркутск и Шелехов, сельских и фоновых районах западного и восточного побережья оз. Байкал проанализирована общая и растворенная ртуть в снежном покрове. По результатам анализа установлено: в городах с большой антропогенной нагрузкой содержание ртути в снежном покрове в 2-3 раза выше, чем в сельских и фоновых районах побережья озера и в районе Баргузинской долины. Основным источником атмосферной ртути является сжигание угля на крупных ТЭЦ и котельных в городах Южного Прибайкалья.

Список литературы

Артеменко В.М., Артеменко О.В. (2010) Опасность заражения окружающей среды ртутью при реализации проекта строительства угольного терминала в Севастополе, *Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты*, с. 87-90.

Кизильштейн Л.Я., Левченко С.В. (2003) Элементы примеси и экологические проблемы угольной энергетики, *Теплоэнергетика*, № 12, с. 14-19.

Крылов Д.А. (2012) *Негативное воздействие микроэлементов, содержащихся в углях, в золошлаковых отвалах и в золе-уносе угольных ТЭС, на окружающую среду и здоровье людей*, Москва, 37 с.

Луцкий Е.С., Шиховцев М.Ю., Хуриганова О.И. (2023) Предварительные результаты измерения общей ртути в атмосферных осадках в теплый период в Южном Прибайкалье, *Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, Иркутск, 23-25 ноября 2022 года*, отв. редактор Е.Н. Сутырина, Иркутск, Иркутский государственный университет, с. 402-408, EDN WOJPKW.

О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2021 году: гос. доклад / Министерство природных ресурсов и экологии РФ. - Москва; Иркутск: Ин-та географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2022. – 369 с.

Панов Б.С., Короткова Н.Г. (2006) *О ртутной опасности Донецкого бассейна*, Материалы для «Геологического сборника» г. Львов.

Рычагов С.Н., Нуждаев А.А., Степанов И.И. (2015) Геохимическая модель транспорта ртути в современных гидротермальных системах (Южная Камчатка), *Второй международный симпозиум «Ртуть в Биосфере: Эколого-геохимические аспекты»*, Новосибирск, с. 304-308.

Chen L. et al. Wet deposition of mercury in Qingdao, a coastal urban city in China: Concentrations, fluxes, and influencing factors // *Atmospheric Environment*. – 2018. – Т. 174. – С. 204-213.

Tripathee L. et al. (2019) Spatial and temporal distribution of total mercury in atmospheric wet precipitation at four sites from the Nepal-Himalayas, *Science of the Total Environment*, vol. 655, pp. 1207-1217.

Uglevodorody.ru: *Нефтегазовая и горнодобывающая промышленность России (2023)*
URL: <https://uglevodorody.ru/field/cheremshanskoe-mestorozhdenie-kvarcitovidnyh-peschanikov>.

**ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО
ТРАНСПОРТА НА НАЦИОНАЛЬНОМ УРОВНЕ. РАЗРАБОТКА РАСЧЕТНОЙ
ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕДУРЫ
ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ВЫБРОСОВ**

**PROBLEMS OF GHG EMISSION ESTIMATES FOR ROAD TRANSPORT IN NATIONAL
GHG INVENTORY. DEVELOPMENT OF A CALCULATED TRANSPORT MODEL TO
IMPROVE EMISSION ESTIMATES**

*Лытов В.М.^{1,2)}, Трофименко Ю.В.²⁾, Зеленова М.С.¹⁾, Гинзбург В.А.^{1,3)}, Зайнулин С.М.^{1,4)},
Lytov V.M.^{1,2)}, Trofimenko Y.V.²⁾, Zelenova M.S.¹⁾, Ginzburg V.A.^{1,3)}, Zainulin S.M.^{1,4)},*

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
(МАДИ)»

Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

³⁾ ФГБУН Институт географии РАН

Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

⁴⁾ ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»
Россия, 119991, г. Москва, проспект Ленинский, 65 кор.1

Аннотация. Организация национальной системы учёта выбросов ПГ дорожным транспортом в настоящее время сдерживается из-за отсутствия требуемой детализации и уровня точности данных о деятельности автомобильного транспорта. По результатам проведенного анализа показано, что текущая транспортная статистика, экспертные оценки, и прочие источники данных не удовлетворяют требованиям для включения их в качестве входных данных для расчета выбросов по восходящему подходу. Для обеспечения систематизации, необходимого уровня детализации и достоверности требуемых входных данных было предложено разработать специальную Транспортную модель, которая будет содержать базу достоверных и верифицированных значений всех основных показателей деятельности автомобильного парка Российской Федерации в ретроспективе и на перспективный период.

Ключевые слова: парниковые газы, автомобильный транспорт, Транспортная модель, восходящий подход, база данных, детализация данных, COPERT 5.

Abstract. The organization of a national inventory system of GHG emissions from road transport is currently hampered by the lack of required detail and level of accuracy of data on road transport activities. Based on the results of the analysis, it was shown that current transport statistics, expert estimates, and other data sources do not meet the requirements for inclusion as input data for calculating emissions at an Bottom-Up approach. To ensure systematization, the required level of detail and reliability of the required input data, it was proposed to develop a special Transport Model, which will contain a database of reliable and verified values of all main indicators of transport activity of the Russian Federation in retrospect and for the long-term period.

Keywords: greenhouse gases, road transport, transport modelling, Bottom-Up approach, database, data detailing, COPERT 5.

Оценка выбросов парниковых газов (далее ПГ) от дорожного транспорта на национальном уровне основывается на двух независимых подходах: нисходящий подход (Уровень 1 согласно МГЭИК, 2006) и восходящий подход (уровень 3 согласно МГЭИК, 2006).

Нисходящий подход основывается на статистических данных о конечном потреблении моторных видов топлива. Восходящий подход основывается на данных о транспортной деятельности автомобильного парка страны с доступной на национальном уровне детализацией. Большинство развитых стран, входящих в Приложение I РКИК ООН, при инвентаризации выбросов от дорожного транспорта используют оба подхода.

Руководящие принципы (МГЭИК, 2006) для оценки выбросов по восходящему подходу рекомендуют использовать методику (EMEP/EEA,2019) которая реализована в виде компьютерной программы COPERT 5. В качестве входных данных для COPERT 5 требуется информация о транспортной деятельности автомобильного парка с подробной детализацией и высоким уровнем точности.

Оценка валовых выбросов ПГ автомобильным транспортом в COPERT выполняется по 7 основным показателям: тип, численность автотранспортных средств (далее – АТС); возраст АТС; экологический класс АТС; вид используемого топлива (энергии); объём топливопотребления, удельный расход топлива; коэффициенты эмиссии; среднегодовой пробег АТС.

Основная задача работы – проанализировать доступный уровень информации о транспортной деятельности автомобильного парка РФ, который требуется в качестве входных данных для использования в программе COPERT 5.

В результате анализа полноты, согласованности, достоверности исходной статистической информации было выявлено, что актуальные формы Росстата, ГИБДД и других ведомств в части автомобильного транспорта не в полном объёме позволяют учесть все значимые для расчётной оценки выбросов ПГ факторы. Отмечено, что в статистике ГИБДД по форме 1-БДД отсутствует информация о рабочем объёме двигателя внутреннего сгорания (далее – ДВС) отдельных моделей легковых АТС, полной массе легких коммерческих, грузовых АТС, автобусов. Также не учитывается реальный пробег стоящих на государственном учете автомобилей экологических классов 0, 1 и 2, которые фактически выведены из эксплуатации, а также АТС, не прошедших государственный технический осмотр и не имеющих страхового полиса ОСАГО. Отсутствие информации о возрасте АТС с разбивкой по годам затрудняет проведение достоверной оценки численности в парке АТС разных моделей, которые фактически выведены из эксплуатации, а также идентификацию экологического класса АТС, который в данной форме «не установлен» (около 30% численности АТС).

В тоже время, детализированные данные о регистрации АТС органами ГИБДД МВД РФ доступны в коммерческом доступе аналитическим агентством «Автостат» в виде результатов индивидуальных исследований о марочно-модельной структуре парка, распределении АТС по виду используемого топлива и т.п. Данные сформированы на информации ГИБДД о регистрации автомобилей, сведений дистрибьюторов и дилеров автомобилей, данных Государственного таможенного комитета и экспертных оценках. Структура данных детализирует автомобильный парк не только до уровня моделей, а модификаций АТС, являясь максимально подробной, что, с одной стороны, позволяет при необходимости гибко

формировать любые классификации и группировки данных, а, с другой стороны, делает внесение новых характеристик в модельные группы (например, значения расходов топлива или коэффициентов выбросов ПГ) крайне трудозатратной процедурой ввиду очень большого количества модельных групп (порядка миллиона).

База данных «Автостат» является наиболее полной и может быть использована в качестве эталонной. В ней содержится более 68 млн записей, есть ряд пропусков данных в отношении классов ТС и других атрибутов, что требует корректного восстановления пропущенных данных.

Эффективная практика оценки достоверности расхода топлива автомобильным парком заключается в сравнении суммарного потребления топлива парком АТС, рассчитанного по методике Уровня 3 (программа COPERT) с данными официальной статистики о суммарном потреблении топлива дорожным транспортом.

Анализ информации из разных источников (форма 4-ТЭР, 1-нефтепродукт, ТЭБ РФ, базы данных ООО «ЦМНТ» и «Петромаркет») с 2010-2021 гг. показал, что результаты по потреблению автомобильного бензина и дизельного топлива являются сравнимыми (за исключением формы 4-ТЭР в силу того, что малые предприятия не включаются в отчетность). Среднее значение потребления автомобильного бензина по всем источникам составило: 29 млн. тонн в 2010 году, пиковое значение 33 млн. тонн в 2014 году, после чего наблюдалось плавное снижение потребления и в 2021 году потребление достигло минимального значения – 27,5 млн тонн. Для дизельного топлива, наоборот, тренд восходящий, среднее потребление составило: в 2010 году – 19 млн тонн, в 2016 году – 25 млн тонн с небольшим падением до 20 млн тонн в 2021 году и резким ростом до 28 млн тонн в 2022 году.

Потребление природного газа и сжиженного углеводородного газа по разным источникам отличается в несколько раз, что требует дальнейшего уточнения совместно с ответственными сторонами.

Для обеспечения систематизации, требуемого уровня детализации и достоверности входных данных в рамках научно-исследовательской работы «Актуализация распределения автомобильного парка России по видам топлива и экологическим классам, определения расхода топлива, средневзвешенных пробегов автотранспортных средств разных классов для автопарка Российской Федерации» группа специалистов Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ) разрабатывает специальную Транспортную модель, которая будет содержать базу достоверных и верифицированных значений всех показателей транспортной деятельности. Транспортная модель будет представлять собой хранилище данных в виде Excel-таблиц, адаптированной для использования (импорта) в качестве входных данных для компьютерной программы COPERT.

Роль реляционной базы данных в процедуре формирования Транспортной модели показана на рис. 38.

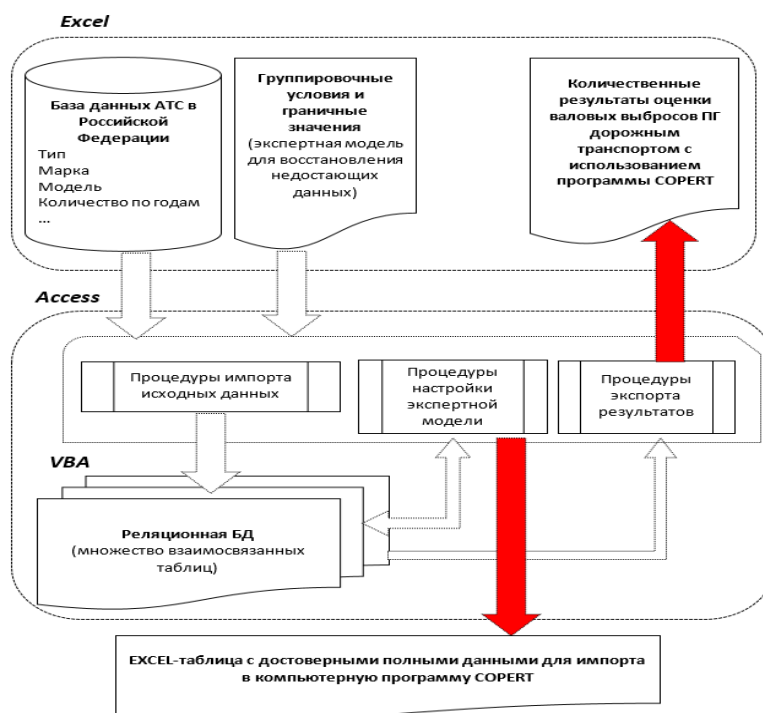


Рисунок 38. Укрупнённая схема формирования Транспортной модели

Наиболее важными алгоритмами в программной части Транспортной модели являются процедуры настройки экспертной модели, позволяющие частично восстанавливать (сглаживать) недостающие исходные данные, выявлять и минимизировать несоответствия между данными из различных источников, формулировать наиболее подходящие группировочные условия и формировать, в соответствии с этими условиями, расчетные модельные группы автотранспортных средств по различным классификационным признакам.

Основным этапом процедуры создания структурной модели парка АТС, включающей в себя 206 расчётных модельных групп программы COPERT является формирование (выбор) наиболее подходящего множества исходных данных. Как отмечалось выше, данные формы 1-БДД не обладают достаточной полнотой для достоверной оценки численности по каждой из 206 расчётных модельных групп и более предпочтительным становится использование данных аналитического агентства «Автостат».

Транспортные модели, которые в настоящий момент используются развитыми странами, являются качественным примером построения системы мониторинга, отчетности и верификации (MRV, Measurement, Reporting & Verification) выбросов ПГ от транспорта. Транспортные модели разрабатываются с учетом требований к уровню проработки их элементов, структурированию информации и методов обмена, с учетом национальных

доступных данных о деятельности дорожного транспорта, устанавливаемых параметров выбросов, национальных методик и т. д.

В настоящее время в России отсутствует единая система сбора и обработки исходной информации о деятельности автомобильного парка в детализации, необходимой для достоверной оценки прямых выбросов парниковых газов автомобильным парком Российской Федерации, в связи с чем поставлена задача разработки единой Транспортной модели. Данные работы запланированы и реализуются в рамках ВИП ГЗ⁸ в 2023-2024 гг. Временной диапазон, закладываемый в создаваемую Транспортную модель, будет с 2010 по 2022 год. Планируется также восстановление временного ряда выбросов ПГ в период с 1990 по 2009 год по косвенным показателям и сценарное прогнозирование выбросов ПГ с учетом развития автопарка России.

Список литературы

Приказ Росстата от 03.12.2021 N 866 «Об утверждении Указаний по заполнению формы федерального статистического наблюдения N 4-ТЭР «Сведения об использовании топливно-энергетических ресурсов», URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_402753/.

Приказ Минэнерго России от 29.10.2021 N 1169 «Об утверждении Порядка составления топливно-энергетических балансов субъектов Российской Федерации, муниципальных образований», URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_400477/.

МГЭИК (2006) *Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов Межправительственной группы экспертов по изменению климата*, под ред. С. Игглестона, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара и К. Танабе, т. 1-5, ИГЕС, Хайяма, URL: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/index.html>.

Сайт аналитического агентства «Автостат», URL: <https://www.autostat.ru/>.

Форма 1-БДД ГИБДД МВД РФ. Раздел 3. Количество автомототранспортных средств, прицепов и полуприцепов к ним, стоящих на учёте, URL: <http://stat.gibdd.ru/>.

COPERT 5, URL: <https://copert.emisia.com/w/Copert>

EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2019 (2019) URL: <https://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2019>.

⁸ Важнейший инновационный проект государственного значения, Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2022 г. №3240-р «Об утверждении инновационного проекта «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ»

**МНОГОМЕРНЫЙ СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ИСТОЧНИКОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ
ВЫПАДЕНИЙ - ПОБЕРЕЖЬЕ ЮЖНОГО БАЙКАЛА**

**MULTIDIMENSIONAL STATISTICAL ANALYSIS TO DETERMINE THE
SOURCES OF ATMOSPHERIC PRECIPITATION AFFECTING THE CHEMICAL
COMPOSITION - THE COAST OF SOUTHERN BAIKAL**

Моложникова Е.В., Шиховцев М.Ю., Нецветаева О.Г., Оболкин В.А., Хотжер Т.В.
Molozhnikova Y.V., Shikhovtsev M.Yu., Netsvetaeva O.G., Obolkin V.A., Khodzhe T.V.

ФГБУ «Лимнологический институт СО РАН»
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. Цель работы – определить основные факторы, влияющие на формирование ионного состава атмосферных осадков, на побережье Южного Байкала за 2017-2021 гг.

В связи с чрезвычайно высокой пространственно-временной изменчивостью метеорологических условий для мониторинга процессов распространения и выпадения антропогенных примесей в центральной экологической зоне (ЦЭЗ) Байкала был предложен метод наблюдения за атмосферными осадками. С помощью статистических методов обработки данных определены группы источников, оказывающие влияние на состав атмосферных выпадений. Для проведения расчетов все пробы были разделены на две группы: атмосферные осадки станции «Листвянка» и атмосферные осадки станции «Байкальская». Выявлено, что основными источниками, влияющими на состав атмосферных выпадений, является природный фон – растительность и почвенный покров. Также на химический состав атмосферных осадков оказывали влияние антропогенные источники и лесные пожары.

Ключевые слова: Химический состав атмосферных осадков, Байкальская Природная Территория, источники атмосферного аэрозоля.

Abstract. The aim of a study is to determine the main factors influencing the formation of the ionic composition of atmospheric precipitation on the coast of Southern Baikal in 2017-2021. Due to the extremely high spatial and temporal variability of meteorological conditions, a method for monitoring the processes of the spread and deposition of anthropogenic impurities in the central ecological zone (CEZ) of Lake Baikal was proposed. With the help of statistical methods of data processing, groups of sources that influence the composition of atmospheric precipitation are determined. To carry out calculations, all samples were divided into two groups: atmospheric precipitation of the Listvyanka station and atmospheric precipitation of the Baikalskaya station. It was revealed that the main sources influencing the composition of atmospheric precipitation are the natural background – vegetation and soil cover. Also, the chemical composition of atmospheric precipitation was influenced by anthropogenic sources and forest fires.

Key words: Chemical composition of atmospheric precipitation, Baikal Natural Territory, atmospheric aerosol sources.

Атмосферные осадки являются одной из наиболее важных климатических характеристик. Осадки эффективно выводят из атмосферного воздуха газовые и аэрозольные примеси, таким образом, очищая атмосферу. Долгосрочные измерения химического состава атмосферных осадков являются важным информационным элементом контроля окружающей среды. В частности, в Байкальском регионе они формируют речной сток большинства рек Южного Прибайкалья, являющихся одним из главных источников поступления растворенных веществ в приходную часть химического баланса Байкала. Доля атмосферной составляющей в поступлении растворенных веществ в воду Байкала по данным до 2005 г. составляла от 2 до 6% (Ходжер и др., 2007). Для определения основных факторов, влияющие на формирование

ионного состава атмосферных осадков, проведены наблюдения на территории Южного Прибайкалья.

Атмосферные осадки отбирались на западном (станции «Листвянка» (51,8467°N, 104,8930°E)) и восточном (станции «Байкальская» (51.6439625°N, 105.5236816°E)) побережье Южного Байкала. Станции отбора проб расположены по направлению основного переноса от крупных антропогенных источников Иркутской области и республики Бурятия. Станция «Байкальская» находится в северных предгорьях хребта Хамар-Дабан на берегу озера Байкал недалеко от устья р. Мишиха. Станция «Листвянка», расположена на вершине прибрежного холма высотой около 200 м над уровнем озера, 670 метров над уровнем моря. Такое расположение станции позволяет избегать влияния местных источников загрязнения атмосферы (поселка Листвянка) и отслеживать региональные и глобальные переносы загрязнений, в том числе распространяющиеся на высотах в пограничном слое атмосферы.

Атмосферные осадки отбирались в пластиковые емкости. В пробах определяли концентрации ионов, величину рН и удельную электропроводимость. Химические анализы выполнены в аккредитованной лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического Института СО РАН по методикам, рекомендованным в сетях мониторинга атмосферы международных программ – ЕМЕП (ЕМЕР, 1995), EANET (Technical manual..., 2010). Анализы выполнялись на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы Carl Zeiss Jena (Германия), ионной системе ICS-3000 (Dionex, США), фотометре КФК-3-1 (Россия), рН-метре "рН-Эксперт" (Россия), кондуктометре DS-12 (Horiba, Япония). Применение современных методов анализа и оборудования позволило обеспечить получение результатов измерения при доверительной вероятности $P=0,95$ с точностью до 4%.

Определение природных и антропогенных групп источников, оказывающих влияние на химический состав атмосферных выпадений, проведен при помощи методов статистической обработки данных и траекторной модели HYSPLIT. Для проведения расчетов все пробы были разделены на две группы: атмосферные осадки станции «Листвянка» и атмосферные осадки станции «Байкальская». Для всех групп проведены расчеты факторной нагрузки концентраций макро-компонентов. Для наибольшей статистической достоверности анализировались пробы за весь период наблюдения (2017-2021 гг.). Чтобы выявить влияния метеорологических факторов и переноса воздушных масс, на изменение химического состава атмосферных осадков по архивным метеорологическим данным 2017-2021 гг. для каждого дня с осадками были построены обратные траектории движения воздушных масс. Для выявления роли лесных пожаров в формировании химического состава атмосферных осадков, были использованы карты количества очагов возгорания, сгенерированные Global Forest Watch (<http://fires.globalforestwatch.org/home>). В результате факторного анализа было выделено 4

фактора. На рис. 39 представлена оценка факторных нагрузок «маркерных веществ» по ионам. Для каждого фактора показана нагрузка, определяющая интенсивность связи между фактором и компонентами (ось у).

На рис. 39а представлена оценка факторных нагрузок по ионному составу в атмосферных осадках в теплый период года, отобранных на станции «Листвянка». Первым был выделен фактор, включающий в себя ионы SO_4 , NO_3 , Ca , Mg . Поскольку одним из основных источников поступления в атмосферу SO_4 , является сжигание органического топлива объектами теплоэнергетики, то можно отнести первый фактор к антропогенным. Второй фактор состоит из иона NH_4 и в меньшей степени Cl , что можно связать с влиянием местного природного фона. Третий фактор – почвенный, так как преобладают ионы HCO_3 . Четвертый по значимости фактор выделился ион K , трассер горения биомассы. Этот трассер может указывать, как на сжигание дров, так и влияние лесных пожаров (Duan et al., 2004). Поскольку за рассматриваемый период в регионе отмечены крупнейшие лесные пожары, что и отразилось на составе атмосферных выпадений на станции.

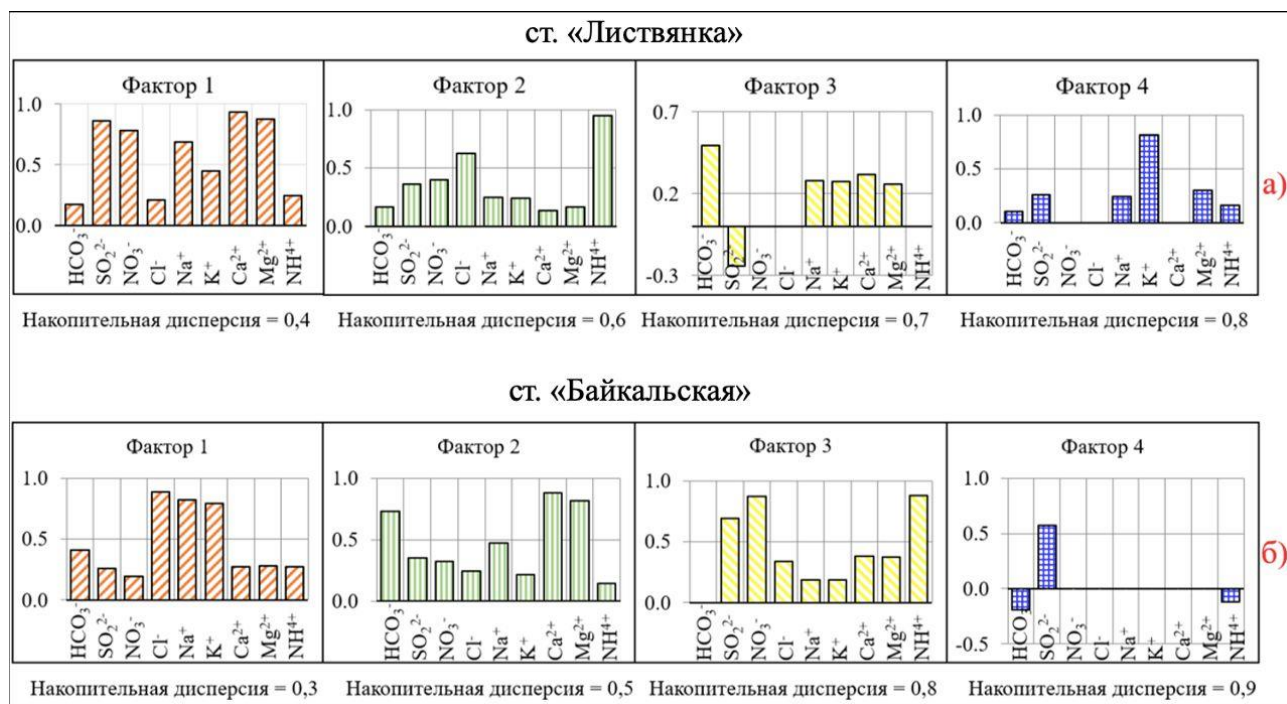


Рисунок 39. Факторные нагрузки, рассчитанные для атмосферных осадков, отобранных а) ст. Листвянка; б) ст. Байкальская 2017-2021 гг.

На рис. 39б представлена оценка факторных нагрузок по ионному составу в атмосферных осадках в теплый период года, отобранных на станции «Байкальская». Так, наиболее значимым фактором (первым), влияющим на состав атмосферных осадков, был выделен местный фон. Об этом свидетельствует следующий перечень ионов: Cl , K , Na . Также K является трассером горения биомассы и лесных пожаров, которые в значительной степени

оказывают влияние на состав атмосферных осадков в регионе летом. Второй фактор связан с влиянием почвенной составляющей – Ca, Mg, HCO₃. Третий фактор характеризует воздействие внешних антропогенных источников – NO₃, NH₄, SO₄. Поскольку рядом отсутствуют источники сжигания органического топлива, а летом ТЭЦ значительно снижают свои выбросы в атмосферу, их влияние на состав атмосферных выпадений восточного побережья уменьшается.

Коллектив авторов выражает благодарность за помощь в проведении химического анализа проб снега коллективу лаборатории гидрохимии и химии атмосферы ЛИИ СО РАН. Работа выполнена по теме государственного задания ЛИИ СО РАН № 0279-2021-0014 “Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна озера Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы”.

Список литературы

Ходжер Т.В., Сороковикова Л.М. (2007) Оценка поступления растворимых веществ из атмосферы и с речным стоком в озеро Байкал, *География и природные ресурсы*, № 3, с. 185-191.

EMEP manual for sampling and chemical analysis (1995) Kjeller, 303 p.

Technical manual for wet deposition monitoring in East Asia (2010) Niigata, 113 p.

Draxler R.R., Hess G.D. (1997) *Description of the HYSPLIT4 modeling system*, NOAA Technical Memorandum ERL ARL-224, NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, 24 p.

Duan F., Liu X., Yu T., Cachier H. (2004) Identification and estimate of biomass burning contribution to the urban aerosol organic carbon concentrations in Beijing, *Atmos. Environ.*, vol. 9, pp. 1275-1282.

**ЗАДАЧИ МОНИТОРИНГА АТМОСФЕРНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ПАРНИКОВЫХ
ГАЗОВ И ПРОБЛЕМА СОПОСТАВИМОСТИ ДАННЫХ**
**TASKS OF MONITORING GREENHOUSE GAS CONCENTRATIONS IN THE
ATMOSPHERE AND THE PROBLEM OF DATA COMPARABILITY**

Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М., Зинченко А.В.

Paramonova N.N., Privalov V.I., Ivakhov V.M., Zinchenko A.V.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова
Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

Аннотация. В настоящее время в России интенсивно развиваются программы мониторинга парниковых газов. Одной из важных компонент системы является мониторинг концентрации парниковых газов (ПГ) в атмосфере, которая является определяющим фактором изменения климата планеты. Работа обращает внимание на необходимость обеспечения сопоставимости данных наблюдений на станциях, которые выполняют или начинают выполнять мониторинг ПГ в Российской Федерации. Высокоточные измерения концентрации дают возможность получить характеристики изменчивости глобального поля концентрации ПГ, оценить влияние источников природного и антропогенного происхождения, выполнить проверку оценок эмиссии ПГ, полученных путем инвентаризации, а также объединить разрозненные локальные данные об эмиссии ПГ в цельная замкнутая систему. В работе изложены требования на сопоставимость данных, обусловленные поставленными задачами, способы ее достижения, представлены примеры достигнутой сопоставимости данных и показаны результаты, полученные на основе высокоточных сопоставимых данных.

Ключевые слова: парниковые газы, мониторинг, сопоставимость данных.

Abstract. Currently, greenhouse gas monitoring programs are being intensively developed in Russia. One of the important components of the system is monitoring of greenhouse gas (GHG) concentrations in the atmosphere, which is a determinant of the planet's climate change. The paper draws attention to the need to ensure comparability of observation data at the stations that conduct or start to conduct GHG monitoring in the Russian Federation. High-precision concentration measurements make it possible to characterize the variability of the global GHG concentration field, to assess the influence of natural and anthropogenic sources, to verify GHG emission estimates obtained by inventory, as well as to combine disparate local data on GHG emissions into a unified integrated system. The paper outlines the requirements for data comparability due to the set tasks, ways to achieve it, presents examples of achieved data comparability and shows the results obtained on the basis of highly accurate comparable data.

Keywords: greenhouse gases, monitoring, data comparability.

Первоначально данные наблюдений ПГ использовались для оценки глобальных тенденций изменения концентрации ПГ в атмосфере, но в настоящее время они активно используют для оценки баланса ПГ. Атмосферные данные, собранные в небольших региональных масштабах, трудно интерпретировать без глобального охвата, который обеспечивает граничные условия, а также понимание влияний за пределами региона. Пример использования данных, полученных на 28 станциях Европы для уточнения эмиссии метана территорией Европы представлен в (Bergamaschi et al., 2018). Обеспечение сопоставимости необходимо для того, чтобы избежать искусственных градиентов между станциями, которые могут привести к ошибкам в оценках потоков при использовании методов обратного моделирования. Masarie et al. (2011) показали, что отклонение в 1 млн^{-1} на измерительной башне в Висконсине привело к изменению потока на 68 ТгС/год при использовании модели CarbonTracker (Peters et al., 2007). Этот поток составляет примерно 10% предполагаемого годового поглощения Северной Америки наземными экосистемами.

Для того чтобы данные наблюдений с разных станций можно было использовать для совместного анализа разработаны целевые показатели сетевой совместимости измерений (см. табл. 24).

Таблица 24. Рекомендуемая сетевая совместимость измерений в рамках ВМО/ГСА

Газовая компонента	Рекомендация на сопоставимость	Расширенная рекомендация на сопоставимость	Диапазон для фоновых условий	Диапазон, покрываемый шкалой ВМО
CO ₂ , млн ⁻¹	0,1 (с.п.); 0,05 (ю.п.)	0,2	380-450	250-800
CH ₄ , млрд ⁻¹	2	5	1750-2100	300-5900

Достижение требуемой сопоставимости данных обеспечивается за счет выполнения двух основных принципов:

1) Привязка шкалы измерений к единому газовому эталону, держателем которого является Центральная калибровочная лаборатория ВМО. Подробное описание эталонной базы представлено на сайте центральной калибровочной лаборатории ВМО <https://gml.noaa.gov/ccl/airstandard.html>. Использование национальных газовых стандартов пока не дает возможности получить требуемую сопоставимость, поскольку, как показывают сличения (CCQM-K82, CCQM-K120), согласие шкал институтов стандартизации выходит за пределы требуемой сопоставимости для атмосферных измерений концентрации парниковых газов. Следует отметить, что постепенно согласованность шкал улучшается и на повестку дня встает вопрос о распространении шкалы ВМО по парниковым газам с помощью национальных институтов стандартизации.

2) Выполнение измерений в режиме компарирования, в результате которого сигнал от измеряемой пробы сравнивается с сигналом от стандартной газовой смеси, концентрация парниковых газов в которой определена с высокой точностью. Количество используемых газовых смесей и частота их регистрации, т.е. калибровки аппаратуры, зависит от характеристик аппаратуры. Так, калибровка газовых хроматографов осуществляется после каждого измерения пробы (РД 52.04.875-2019. «Молярная доля метана и диоксида углерода в пробах атмосферного воздуха. Методика измерений методом газовой хроматографии»), калибровка современных приборов фирмы Picarro Inc., основанных на измерении затухания лазерного излучения в многоходовой оптической кювете, проводится раз в 7-10 дней (Andrews, 2014).

Участие ГГО в шестом раунде официальных сравнений ВМО по парниковым газам убедительно показало высокую точность измерений, выполняемых ГГО. По результатам

сравнений концентрации CO_2 , лаборатория ГГО попала в числе 22 лабораторий (из 39 участвующих), показавших наилучшие результаты – отклонения от приписанного значения находятся в пределах $0,05 \text{ млн}^{-1}$, и в число 25 лабораторий из 35 участвующих, попавших в диапазон требуемых отклонений по концентрации CH_4 (https://gml.noaa.gov/ccgg/wmorr/wmorr_results.php?rr=rr6¶m=ch4).

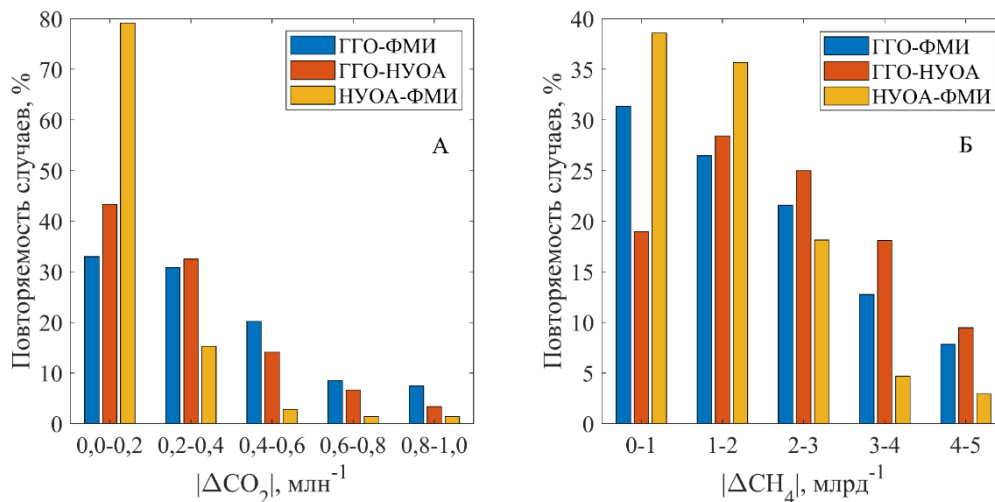


Рисунок 40. Распределение модуля разности концентраций CO_2 и CH_4

В программе наблюдений на гидрометеорологической обсерватории «Тикси» в период с 2011 по 2018 гг. сложилась уникальная для России ситуация, когда на одной станции одновременно проводились измерения атмосферной концентрации парниковых газов в рамках ГСА ВМО тремя разными организациями: Главной геофизической обсерваторией, Финским метеорологическим институтом (ФМИ) и Лабораторией глобального мониторинга Национального управления по вопросам океана и атмосферы (НУОА). Программа ГГО и НУОА состояла из еженедельного парного отбора проб воздуха в стеклянные 2-х литровые колбы и их последующего анализа в лабораториях (в Воейково и в Боулдере), а ФМИ выполнял непрерывные наблюдения с помощью газоаналитической установки на основе лазерного спектрометра, расположенной в здании станции. Результаты сравнений представлены на рис. 40.

Следует отметить, что при сравнении данных, полученных в натуральных условиях, сказывается не только точность выполнения измерений, но и естественные колебания концентрации в атмосфере, особенно при разных способах осреднения данных, как при сравнении фляжечных и непрерывных измерений.

Данные измерений на арктических станциях (Териберка, Тикси, Новый Порт) ежегодно представляются в аналитических обзорах Росгидромета. Сопоставимость получаемых данных

позволяет не только оценить скорость роста концентрации и межгодовую изменчивость, но и получить представление об интенсивности региональных источников и стоков парниковых газов. Так повышенные значения концентрации метана и CO_2 над фоновым уровнем на станции Новый Порт примерно на 4% и 1% соответственно (Парамонова и др., 2023) обусловлены наличием как техногенных (газовые и нефтяные месторождения) так и естественных (увлажненные территории) источников. Интенсивность источников эмиссии ПГ, расположенных в окрестностях места измерений была оценена с использованием соответствующего моделирования распространения примеси (Решетников и др., 2009; Зинченко и др., 2008).

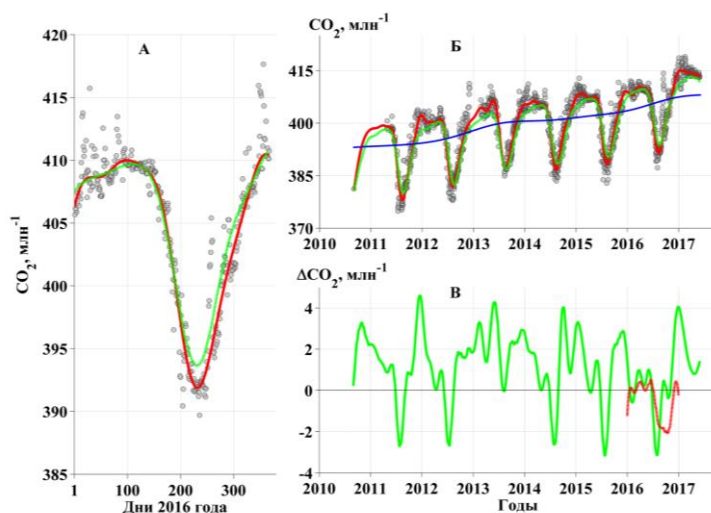


Рисунок 41. Атмосферная концентрация CO_2 в Тикси и на Мысе Баранова
(А) - Мыс Баранова. Кружки - среднесуточные значения CO_2 , красная кривая - сезонный ход; зеленая кривая - MBL; (Б) - Тикси. Среднесуточные значения CO_2 , красная кривая - сезонный ход, зеленая кривая – MBL, синяя кривая - тренд; (В) - Разница между сезонным ходом и MBL в Тикси (зеленый цвет) и на мысе Баранова (красный цвет)

Анализ непрерывных измерений CO_2 на станции Тикси с привлечением годового цикла измерений на станции мыс Баранова позволил сравнить влияние континентальных источников и стоков на указанных станциях (см. рис. 41). Сравнение с фоновым уровнем над морской поверхностью – MBL (<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/mbl/mbl.html>) показало наличие континентальных источников в зимний период на станции Тикси (превышение над фоновым уровнем составило $1,3 \pm 0,8 \text{ млн}^{-1}$), в то время, как на станции мыс Баранова их нет. В летний период на станции Тикси наблюдается более сильный сток CO_2 (разность с фоновым уровнем равна $-2,5 \pm 0,6 \text{ млн}^{-1}$), чем на станции мыс Баранова.

В работе (Макарова et al., 2021) представлены результаты оценки эмиссии метана с территории Санкт Петербурга на основе сопоставимых данных о концентрации метана, полученных на станциях Воейково и Санкт-Петербург. Выполнено их сравнение с оценками на основе как экспериментальных данных, так и инвентаризации.

Работы по мониторингу парниковых газов выполнены в рамках тем Плана НИТР Росгидромета №№ 4.1.1 и 3.2.

Список литературы

Зинченко А.В., Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Решетников А.И., Титов В.С. (2008) Оценка источников метана на основе измерений его концентрации в районе добычи газа на севере Западной Сибири, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 51-64.

Ивахов В.М., Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Зинченко А.В., Лоскутова М.А., Макштас А.П., Кустов В.Ю., Лаурила Т., Аурела М., Асми Э. (2019) Атмосферная концентрация диоксида углерода на станциях Тикси и Мыс Баранова в 2010-2017 гг., *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 110-121.

Парамонова Н.Н., Привалов В.И., Ивахов В.М. (2023) *Содержание CO₂ и CH₄ в атмосфере. Раздел 2.2.2 в “Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 г.”*, Росгидромет, с. 29-31.

Решетников А.И., Зинченко А.В., Яговкина С.В., Кароль И.Л., Лагун В.Е., Парамонова Н.Н. (2009) Исследования эмиссии метана на севере Западной Сибири, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 52-64.

Andrews A.E., Kofler J.D., Trudeau M.E., Williams J.C., Neff D.H., Masarie K.A., Chao D.Y., Kitzis D.R., Novelli P.C., Zhao C.L., Dlugokencky E.J., Lang P.M., Crotwell M.J., Fischer M.L., Parker M.J., Lee J.T., Baumann D.D., Desai A.R., Stanier C.O., De Wekker S.F.J., Wolfe D.E., Munger J.W., Tans P.P. (2014) CO₂, CO, and CH₄ measurements from tall towers in the NOAA Earth System Research Laboratory’s Global Greenhouse Gas Reference Network: instrumentation, uncertainty analysis, and recommendations for future high-accuracy greenhouse gas monitoring efforts, *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 7, no. 2, pp. 647-687.

Bergamaschi P., Karstens U., Manning A. J., Saunio M., Tsuruta A., Berchet A., Vermeulen A.T., Arnold T., Janssens-Maenhout G., Hammer S., Levin I., Schmidt M., Ramonet M., Lopez M., Lavric J., Aalto T., Chen H., Feist D. G., Gerbig C., Haszpra L., Hermansen O., Manca G., Moncrieff J., Meinhardt F., Necki J., Galkowski M., O’Doherty S., Paramonova N., Scheeren H. A., Steinbacher M., Dlugokencky E. (2018) Inverse modelling of European CH₄ emissions during 2006-2012 using different inverse models and reassessed atmospheric observations, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 18, no. 2, pp. 901-920.

Makarova M.V., Alberti C., Ionov D.V., Hase F., Foka S.C., Blumenstock T., Warneke T., Virolainen Y.A., Kostsov V.S., Frey M., Poberovskii A.V., Timofeyev Y.M., Paramonova N.N., Volkova K.A., Zaitsev N.A., Biryukov E.Y., Osipov S.I., Makarov B.K., Polyakov A.V., Ivakhov V.M., Imhasin H.K., Mikhailov E.F. (2021) Emission Monitoring Mobile Experiment (EMME): An Overview and First Results of the St. Petersburg Megacity Campaign 2019, *Atmospheric Measurement Techniques*, vol. 14 (2), pp. 1047-1073.

Masarie K.A., Pétron G., Andrews A., Bruhwiler L., Conway T. J., Jacobson A. R., Miller J.B., Tans P.P., Worthy D.E., Peters W. (2011) Impact of CO₂ measurement bias on CarbonTracker surface flux estimates, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, vol. 116, no. D17.

Peters W., Jacobson A.R., Sweeney C., Andrews A.E., Conway T.J., Masarie K., Miller J.B., Bruhwiler L.M.P., Pétron G., Hirsch A.I., Worthy D.E.J., Werf G.R. van der, Randerson J.T., Wennberg P.O., Krol M.C., Tans P.P. (2007) An atmospheric perspective on North American carbon dioxide exchange: CarbonTracker, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 104, no. 48, pp. 18925-18930.

РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА СОДЕРЖАНИЯ ^{131}I В ПРИЗЕМНОЙ АТМОСФЕРЕ

Г. ОБНИНСКА

MONITORING RESULTS OF ^{131}I IN THE SURFACE AIR OF OBNINSK

Полянская О.Н., Каткова М.Н.

Polyanskaya O.N., Katkova M.N.

ФГБУ «НПО «Тайфун»

Россия, 249038, г. Обнинск Калужской обл., ул. Победы, 4

Аннотация. Обобщены данные многолетних наблюдений содержания ^{131}I в приземном слое атмосферы Обнинска, расположенного вблизи АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» за 2013-2022 года. Проанализированы метеорологические условия в дни регистрации повышенных значений объемной активности ^{131}I , оценено соотношение молекулярной и аэрозольной фракций ^{131}I . Получен коэффициент корреляции между годовыми выбросами НИФХИ и регистрируемой в Обнинске среднегодовой объемной активностью ^{131}I . Среднегодовая объемная активность ^{131}I в рассматриваемых период изменялась от $2,5 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ до $8,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Зафиксированные максимальные значения объемной активности ^{131}I не превышали установленных нормативов для населения.

Ключевые слова: йод-131, радиационный мониторинг, радиоактивные аэрозоли.

Abstract. Monitoring results of ^{131}I in the surface air of Obninsk located near the Karpov Institute of Physical Chemistry (NIFKhI) for 2013-2022 were generalized. The meteorological conditions on the days of registration of increased activity of ^{131}I were analyzed, and the ratio of molecular and aerosol fractions of ^{131}I was estimated. A correlation coefficient between the annual emissions of NIFKhI and the average annual activity of ^{131}I in Obninsk was obtained. The average annual activity of ^{131}I in the period under review varied from $2,5 \cdot 10^{-5}$ Bq/m³ to $8,8 \cdot 10^{-4}$ Bq/m³. Maximum activity of ^{131}I did not exceed the established standards for the population.

Keywords: iodine-131, radiation monitoring, radioactive aerosols.

Поступление радиоактивного йода в приземную атмосферу происходит как при радиационных инцидентах, например, авариях на Чернобыльской АЭС и АЭС «Фукусима», так и при штатной работе предприятий ядерно-топливного цикла (Василенко, Василенко, 2003). К югу от Обнинска расположен АО «НИФХИ им. Л.Я. Карпова» (далее НИФХИ), занимающийся производством генераторов $^{99\text{m}}\text{Tc}$, радиофармпрепаратов на основе ^{131}I и других изотопов медицинского назначения и в газоаэрозольных выбросах которого содержится радиоактивные изотопы йода.

ФГБУ «НПО «Тайфун» проводит многолетний мониторинг за содержанием ^{131}I в приземной атмосфере Обнинска. На метеорологической площадке института, расположенной в центре города установлено воздухофильтрующее устройство типа УВФ-2 для непрерывного ежесуточного отбора проб (РД 52.18.826). В качестве фильтров для улавливания аэрозольной фракции $^{131}\text{I}_a$ применяется фильтроткань ФПП-15-1,5, для улавливания молекулярной фракции $^{131}\text{I}_m$ фильтры СФМ-2И-ПС. После экспонирования фильтры передаются на гамма-спектрометрический анализ в лабораторию. В докладе рассматривается период регистрации ^{131}I с 2013 по 2022 гг.

В табл. 25 приведено фактическое количество случаев регистрации $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ ($^{131}\text{I}_{\text{сум}} = ^{131}\text{I}_m + ^{131}\text{I}_a$) и количество случаев наблюдения ^{131}I в молекулярной и аэрозольной формах в 2013-2022 гг. Общее количество случаев регистрации молекулярной и аэрозольной фракций

^{131}I не совпадает с фактическим количеством регистрации $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$, поскольку в некоторых случаях присутствует и молекулярная и аэрозольная фракции. Молекулярная фракция присутствует практически во всех случаях, а $^{131}\text{I}_a$ намного реже, но чаще чем за период 2007-2012 гг. (Агеева и др., 2015). Отношение количества случаев обнаружения $^{131}\text{I}_m/^{131}\text{I}_a$ изменялось в широких пределах от 1,5 до 2,5 при среднем значении 2,0.

Таблица 25. Количество случаев регистрации молекулярной и аэрозольной фракций ^{131}I в атмосфере Обнинска с 2013-2022 гг.

Год	$^{131}\text{I}_m$	$^{131}\text{I}_a$	Количество случаев регистрации ^{131}I
2013	48	19	51
2014	50	21	50
2015	90	42	93
2016	111	46	111
2017	126	56	126
2018	129	70	130
2019	118	69	118
2020	100	56	100
2021	109	73	109
2022	108	63	108

Среднегодовая объемная активность $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ в период с 2013 г. по 2022 г. изменялась с $2,5 \cdot 10^{-5}$ Бк/м³ до $8,8 \cdot 10^{-4}$ Бк/м³. Увеличение среднегодовой объемной активности йода на порядок произошло в 2015 г. В этом же году увеличилось практически в два раза количество случаев регистрации йода. В табл. 26 представлены данные о регистрации максимального значения объемной активности ^{131}I по аэрозольной и молекулярной форме с 2013 по 2022 гг.

В дни регистрации максимальной объемной активности $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ в Обнинске преобладало южное, юго-восточное, либо юго-западное направление ветра, соответствующее направлению ветра со стороны НИФХИ. С 2013 г. шло постепенное увеличение выбросов ^{131}I предприятием и годовой выброс в 2015 г. вырос в 5 раз по сравнению с 2014 г., а с 2016 г. выброс ^{131}I увеличился на порядок (Радиационная обстановка на территории..., 2017). В 2017-2021 годах уровень выбросов сохранялся на уровне 2016 г. и составлял $(1,1-2,2) \cdot 10^{12}$ Бк/год. Объемная активность $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ в воздухе в 2013-2022 г. хорошо коррелирует с годовыми выбросами НИФХИ с коэффициентом корреляции равным 0,87. Поэтому, повышение среднегодовой объемной активности $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ и возросшим количеством случаев его регистрации, вероятно, связано с наращиванием производства радиофармпрепаратов на местном предприятии.

Таблица 26. Данные по объемной активности ^{131}I в атмосфере Обнинска с 2013-2022 гг.

Год	$(^{131}\text{I}_{\text{сум}})_{\text{среднегодовая}}$, Бк/м ³	^{131}I , Бк/м ³		
		$(^{131}\text{I}_{\text{сум}})_{\text{max}}$	$^{131}\text{I}_{\text{м}}$	$^{131}\text{I}_{\text{а}}$
2013	$7,3 \cdot 10^{-5}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
2014	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$6,7 \cdot 10^{-3}$
2015	$4,8 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
2016	$3,1 \cdot 10^{-4}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$
2017	$4,1 \cdot 10^{-4}$	$2,8 \cdot 10^{-2}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$2,6 \cdot 10^{-3}$
2018	$8,8 \cdot 10^{-4}$	$9,3 \cdot 10^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-1}$	$5,4 \cdot 10^{-1}$
2019	$5,8 \cdot 10^{-4}$	$6,3 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$1,1 \cdot 10^{-2}$
2020	$3,9 \cdot 10^{-4}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$3,4 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$
2021	$4,0 \cdot 10^{-4}$	$2,9 \cdot 10^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2}$	$6,6 \cdot 10^{-3}$
2022	$2,4 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-2}$	$1,6 \cdot 10^{-2}$	$6,2 \cdot 10^{-4}$

Зафиксированные максимальные значения объемной активности $^{131}\text{I}_{\text{сум}}$ в период с 2013 г. по 2022 г. были на один-два порядка ниже допустимой среднегодовой объемной активности для населения в соответствии с НРБ-99/2009 (СанПиН 2.6.1.2523-09).

Список литературы

Василенко И.Я., Василенко О.И. (2003) Радиоактивный йод, *Энергия: экономика, техника, экология*, по. 5, с. 57-62.

РД 52.18.826. (2015) *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Выпуск 12. Наблюдения за радиоактивным загрязнением природной среды и выполнение радиометрических работ*, Обнинск.

Агеева Н.В., Ким В.М., Васильева К.И., Каткова М.Н., Волокитин А.А., Полянская О.Н. (2015) Многолетние наблюдения за содержанием ^{131}I в приземном слое атмосферы г. Обнинска Калужской области, *Радиация и риск*, т. 24, № 1, с. 96-107.

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2016 г. Ежегодник (2017) Под ред. Шершакова В.М., Булгакова В.Г., Вакуловского С.М. и др., Нижний Новгород: типография «Кириллица», 399 с.

СанПиН 2.6.1.2523-09 (2009) *Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы*, М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 100 с.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА МИКРОЧАСТИЦАМИ ИСКУССТВЕННЫХ ПОЛИМЕРОВ НА СЕВЕРЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

POLLUTION OF THE SNOW COVER WITH SYNTHETIC POLYMER MICROPARTICLES IN THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

Редникин А.Р., Рахматуллина С.Н., Воробьев Д.С., Франк Ю.А.

Rednikin A.R., Rakhmatullina S.N., Vorobyev D.S., Frank Yu.A.,

Национальный исследовательский Томский государственный университет
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

Аннотация. В ходе исследования нами были изучены образцы снега, собранные в Ханты-Мансийском и Ямало-Ненецком автономных округах для количественной оценки содержания микропластика. Пробы были отобраны и исследованы из семи сайтов, расположенных как вблизи населенных пунктов, так и на незаселенных территориях. Вблизи городов Муравленко и Нижневартовск большую часть обнаруженных в снегу синтетических частиц составляли частицы автомобильных шин, в остальных сайтах преобладали иные типы полимеров. Также часто встречались микроволокна вискозы, которую считают индикатором антропогенного загрязнения. Среднее содержание пластиковых частиц в снегу варьировало от 99 шт. (Ханты-Мансийск) до 1345 шт. на 1 м² (Когалым). Среднее количество частиц шин достигало 1019 шт. на 1 м² вблизи Когалыма. В ходе данного исследования не было выявлено корреляции между содержанием микропластика в природных пробах и численностью населения. Наиболее вероятно, на атмосферное распространение частиц микропластика в данных регионах со сравнительно низкой плотностью населения влияют в большей степени метеорологические факторы.

Ключевые слова: микропластик, атмосфера, Западная Сибирь, снег.

Abstract. Snow samples collected in the Khanty-Mansiysk and Yamalo-Nenets Autonomous Regions were analyzed to quantify microplastics (MPs). Samples were collected from seven sites located both near populated and remote areas. Near the cities of Muravlenko and Nizhnevartovsk, most of the synthetic particles found in snow were tire wear particles, while other types of microplastics predominated in the rest sites. Rayon microfibers, which are also considered as indicator of anthropogenic pollution, were frequently detected. The average content of MPs in snow ranged from 99 (Khanty-Mansiysk) to 1345 particles per 1 m² (Kogalym). The maximum average number of tire wear fragments reached 1019 particles per 1 m² near Kogalym. No correlation between MP content in snow samples and population size was found. The distribution and atmospheric transfer of MP particles in these regions with a relatively low population density is probably influenced to a greater extent by meteorological factors.

Keywords: microplastic, atmosphere, Western Siberia, snow.

На сегодняшний день загрязнение окружающей среды микропластиком является одной из самых актуальных глобальных экологических проблем. Частицы синтетических полимеров обнаружены во всех сферах Земли и на данный момент отсутствуют технологии для радикального избавления природных сред от микропластика, в результате чего, такое загрязнение ещё называют «пластисферой» (Ramkumar et al., 2021). Загрязнение синтетическими полимерами служит маркером антропогенного воздействия на окружающую среду, что будет проявляться в будущих геологических эпохах (Shao et al., 2022). Уже сейчас существуют доказательства отрицательного влияния микропластика на биоту, связанного с различными негативным физиологическими эффектами вплоть до гибели живых организмов в результате механического закупоривания кишечника, токсических реакций, окислительного повреждения ДНК и других факторов (Fu et al., 2020; Li et al., 2023). Публикуются исследования, подтверждающие попадание частиц пластика в организм человека и

накопление его во внутренних органах, например, в тканях сердца (Yang et al., 2023). В дальнейшем это может привести к увеличению риска развития различных заболеваний.

Атмосфера – одна из экологических матриц, способная переносить под воздействием метеорологических факторов частицы синтетических полимеров на тысячи километров. В основном, осаждение атмосферного микропластика (АМП) происходит под воздействием атмосферных осадков (дождь, снег), при этом выпадение снега является наиболее эффективным фактором осаждения частиц на поверхность, так как скорость полёта снежинки меньше скорости падения капли дождя, а её площадь поверхности больше площади капли (Bergmann et al., 2019). Механизмы распространения микропластика по воздуху ещё не до конца ясны, но опубликованы результаты исследований, подтверждающих корреляцию между плотностью населения и АМП. В нашей работе представлены данные о содержании микроразмерных частиц синтетических полимеров в снежном покрове на относительно незаселённых территориях Ханты-Мансийского и Ямало-Ненецкого автономного округа.

Образцы снега были отобраны в период с 19 февраля по 25 февраля 2021 г. в 7 точках, 6 из которых были вблизи населённых пунктов Нижневартовск, Сургут, Когалым, Муравленко, Тарко-Сале, Ханты-Мансийск, и один пункт отбора проб был вдали от каких-либо поселений на линии полярного круга. Расстояние до ближайшей автодороги с твёрдым покрытием варьировалось от 50 до 285 м. Отбор проб проводился с помощью металлического пробоотборника с площадью поперечного сечения 78,5 см², фиксировалась глубина отбора и объем собранного снега. В каждой точке было отобрано по три повторности образцов снега, которые затем были транспортированы в лабораторию.

Лабораторные исследования проводили в несколько этапов. На первом этапе талый снег насыщали химически чистой солью NaCl для сепарации частиц синтетических полимеров и минеральных частиц по плотности и отстаивали раствор в течение суток. На втором этапе верхнюю фазу обрабатывали перекисью водорода для окисления органического вещества в пробе. Третий этап включал в себя фильтрацию полученного раствора через стекловолоконные фильтры с диаметром пор 1 мкм с помощью вакуумного насоса. Далее проводилось микроскопическое исследование фильтров с для учета и категоризации частиц. Для того, чтобы отличить синтетические полимеры от органических или минеральных частиц, нами был использован метод горячей иглы (Hidalgo-Ruz et al., 2012), при котором, частицы пластика оплавливались. Для выявления контаминации проб во время обработки материалов были использованы контрольные пробы, где вместо талого снега использовалась дистиллированная вода, прошедшая все этапы пробоподготовки. Завершающим этапом лабораторных исследований является определение типа обнаруженных искусственных

полимеров с помощью микроскопии, совмещенной со спектроскопией комбинационного рассеяния (микро-Рамановская спектроскопия).

Частицы микропластика были обнаружены во всех образцах снега. Среднее суммарное количество микрочастиц синтетических полимеров от 99 шт. на м² снежного покрова вблизи Ханты-Мансийска до 2364 шт. на м² в районе Когалыма. В двух точках – Нижневартовск и Муравленко – среди найденных синтетических частиц преобладают частицы автомобильных шин, в остальных сайтах чаще встречаются иные типы полимеров. Максимальное количество микрофрагментов шин обнаружено в точке вблизи Когалыма – 1019 шт. на м². Процентное соотношение содержания частиц микропластика и автомобильных шин в снежном покрове в исследуемых пунктах представлено на рис. 42.

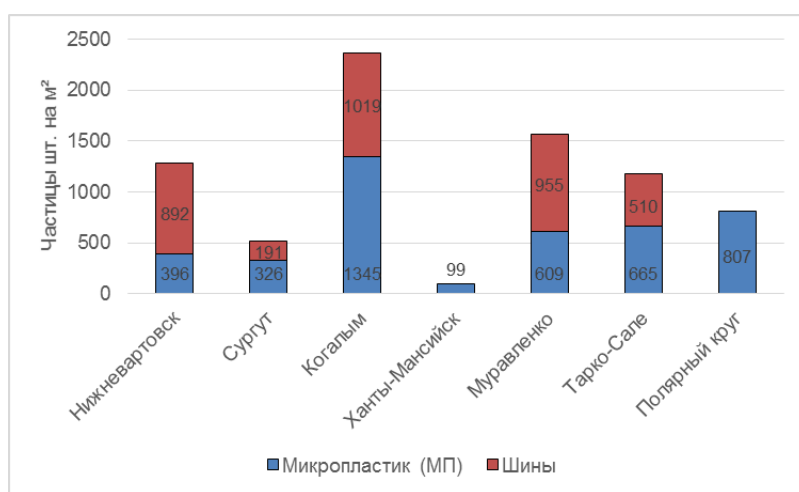


Рисунок 42. Концентрации микрочастиц синтетических полимеров в снежном покрове

Преобладающим морфотипом микропластика являются волокна, лишь в двух точках – Нижневартовске и на Полярном круге – были обнаружены фрагменты пластика, их доля не превышает 11% от общего числа обнаруженных частиц. Средняя длина волокон варьируется от 365 (Муравленко) до 2047 мкм (Полярный круг), а средний размер частиц шин от 37 мкм (Сургут) до 118 мкм (Тарко-Сале).

Использование микро-Рамановской спектроскопии помогло определить полимерный состав обнаруженных частиц. Преобладающими типами являются вискоза или *Rayon* (продукт обработки натуральной целлюлозы), смеси на основе полисульфонов (*Polysulfone*), волокна нейлона (*Nylon*) и полиэтилентерефталата (*PET*). Соотношение типов обнаруженных в снегу синтетических полимеров для каждой точки представлена на рис. 43.

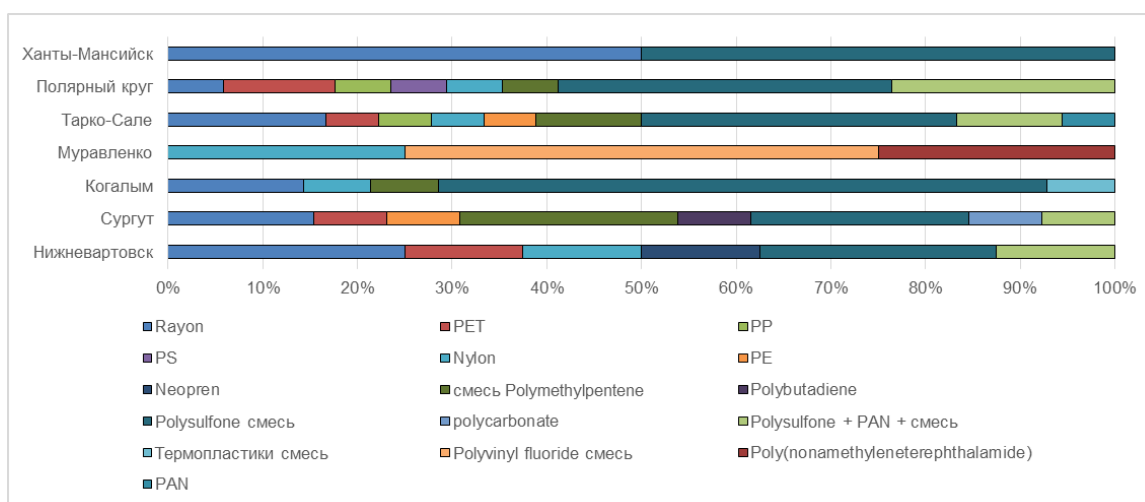


Рисунок 43. Процентное соотношение разных типов синтетических полимеров, найденных в исследуемых образцах

Для того, чтобы количественно оценить корреляцию между концентрациями частиц синтетических полимеров в снежном покрове и численностью населения в ближайших пунктах, были взяты данные Росстата о численности населения за 2021 г. в муниципальных образованиях ХМАО и ЯНАО (табл. 27).

Таблица 27. Численность постоянного населения в городах ХМАО и ЯНАО в 2021 г. (Численность населения России..., 2021)

Город	Численность, человек
Нижневартовск	278 725
Сургут	387 235
Когалым	68 700
Ханты-Мансийск	103 117
Муравленко	31 445
Тарко-Сале	21 664
Полярный круг	0

Путем парного корреляционного анализа выявлено, что на территории ХМАО и ЯНАО отсутствует прямая взаимосвязь между численностью населения и концентрациями частиц синтетических полимеров $r = -0,29$). Наиболее вероятно, атмосферное распространение микропластика и фрагментов шин происходит в основном в результате воздействия метеорологических факторов (скорость и направление ветра, осадки и др.). Благодаря анализу морфотипов обнаруженных частиц, а также их полимерного состава можно сделать предположение, что наибольший вклад в распространение АМП и загрязнение снежного покрова вносят текстиль, автотранспорт и топливно-энергетическая промышленность. Так, волокна вискозы, РЕТ и нейлона являются материалами для тёплой верхней одежды, а смеси на основе полисульфонов применяется в качестве инженерного термопластика (Alfredo Campo, 2008).

В дальнейшем полученные данные возможно использовать для построения моделей распространения АМП. Мониторинг загрязнения снежного покрова синтетическими

полимерами важен с точки зрения формирования речного стока. Наличие микропластика на таких малозаселённых территориях говорит о высоком антропогенном воздействии на окружающую среду, именно поэтому уже сейчас необходимо сокращать производство и потребление пластиковой продукции, синтетического текстиля, а также грамотно управлять отходами производства и потребления.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030).

Список литературы

Численность населения России по муниципальным образованиям на 1 января 2021 года (2021) Федеральная служба государственной статистики (Росстат), Москва, 532 с.

Alfredo Campo E. (2008) *Selection of Polymeric Materials*, William Andrew Publishing, 350 p.

Bergmann M. et al. (2019) White and wonderful? Microplastics prevail in snow from the Alps to the Arctic, *Science Advances*, vol. 5 (8), eaax1157, URL: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aax1157>.

Fu D. et al. (2020) Occurrences and distribution of microplastic pollution and the control measures in China, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 153, 110963, URL: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110963>.

Hidalgo-Ruz V. et al. (2012) Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification, *Environmental Science and Technology*, vol. 46, pp. 3060-3075, URL: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es2031505>.

Li Y. et al. (2023) Review of research on migration, distribution, biological effects, and analytical methods of microfibers in the environment, *Science of the Total Environment*, vol. 855, 158922, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158922>.

Ramkumar Mu. et al. (2021) The Plastisphere: a morphometric genetic classification of plastic pollutants in the natural environment, *Gondwana Research*, vol. 118, pp. 4-12, URL: <https://doi.org/10.1016/j.gr.2021.07.004>.

Shao L. et al. (2022) Airborne microplastics: A review of current perspectives and environmental implications, *Journal of Cleaner Production*, vol. 347, 131048, URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131048>.

Yang Yu. et al. (2023) Detection of Various Microplastics in Patients Undergoing Cardiac Surgery, *Environmental Science & Technology*, vol. 57 (30), pp. 10911-10918, URL: <https://doi.org/10.1021/acs.est.2c07179>.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАССОВОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ САЖИ ФОТОМЕТРИЧЕСКИМ
МЕТОДОМ НА СТАНЦИИ ЕМЕП ДАНКИ**
**DETERMINATION OF SOOT MASS CONCENTRATION BY PHOTOMETRIC METHOD
AT THE EMEP DANKI STATION**

Рябов А.В., Безденежных В.А.

Ryabov A.V., Bezdenezhnykh V.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии им. Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель работы – определение массовой концентрации сажи в пробах атмосферных осадков и атмосферного воздуха на территории Приокско-Террасного природного биосферного заповедника. Оценка методики определения сажи на фоновой территории, оценка скоростей отбора проб.

Ключевые слова: сажа, черный углерод, мониторинг, атмосферные осадки, атмосферные аэрозоли.

Abstract. The purpose of the work is to determine the mass concentration of soot in atmospheric precipitation and atmospheric air samples on the territory of the Prioksko-Terrasny natural biosphere reserve. Assessment of the methodology for determining soot in the background area. Assessment of sampling rates.

Keywords: soot, black carbon, monitoring, precipitation, atmospheric aerosols.

Несмотря на оказываемое влияние на изменение климата, черный углерод (сажа) по-прежнему не является в России обязательным показателем, подлежащем измерению на станциях фоновых мониторинга. В этой связи, могут возникнуть затруднения при прогнозировании долгосрочного воздействия черного углерода на климат.

Черный углерод (ЧУ) представляет собой твердые частицы, размером 2,5 мкм и менее, состоящие преимущественно из чистого углерода, образующиеся в результате неполного сгорания ископаемого топлива, биотоплива и биомассы и характеризующиеся воздействием на климатическую систему за счет высокого коэффициента поглощения солнечной радиации как в атмосфере, так и за счет изменения альбедо снега и льда.

На основании Директивы Европейского союза о качестве воздуха государства-члены ЕС должны регулировать процедуры отбора и анализа проб мелких твердых частиц (PM_{2.5}). Для станций в сельской местности необходимо также сообщать, какое количество частиц черного углерода содержится в проанализированных пробах, поскольку измерения содержания черного углерода в воздухе включены в качестве обязательных в программу наблюдений ЕМЕП (Status of black carbon..., 2013).

В России отбор проб атмосферного воздуха проводится на станции ЕМЕП Данки в рамках работ по обеспечению российского участия в деятельности группы Арктического совета по черному углероду (саже) и метану.

В настоящее время продолжается серия экспериментов по отбору проб воздуха для определения массовой концентрации сажи. В ходе экспериментов изучается влияние изменения скорости отбора проб, продолжительности отбора проб, используемого

оборудования и т.д. Кроме того, в рамках эксперимента оцениваются возможности применения сертифицированных в России методов определения массовой концентрации сажи для анализа проб, полученных с исследуемых фоновых территорий.

Поскольку в России в настоящее время не существует стандартной методики определения черного углерода, массовую концентрацию углеродсодержащего аэрозоля в пробах атмосферного воздуха измеряли в соответствии с РД 52.04.831-2015 «Массовая концентрация углеродсодержащего аэрозоля в пробах атмосферного воздуха» (РД 52.04.831-2015). Методика предполагает разовый отбор пробы воздуха на перхлорвиниловый фильтр типа АФА-ХП, закрепленный в открытом (или закрытом) фильтродержателе с расходом 20 дм³/мин в течение 30 минут, однако, в случаях низкой концентрации допустим отбор четырех разовых проб на один фильтр в течение суток с равными интервалами времени.

В нашей работе использован непрерывный, т.е. без разделения на временные отрезки. В 2022 году с февраля по октябрь на площадке ЕМЕП в Данки отбирались еженедельные и ежесуточные пробы атмосферного воздуха на ацетилцеллюлозные фильтры (АФА-ХП-10) со скоростью отбора проб 1 л/мин. В период с февраля по декабрь также проводился еженедельный и ежесуточный отбор проб атмосферного воздуха при скорости отбора 160 л/мин на аэрозольные фильтры ФПП-15-1,5.

Анализ, в соответствии с методикой, основан на растворении фильтра, через который аспирировали воздух, в ДМСО и последующем определении содержания сажи в полученной пробе фотометрическим методом при длине волны 400 нм в кювете с расстоянием между гранями 10 мм.

В случае недостаточной растворимости фильтров в ДМСО, авторами методики рекомендуется использовать смеси растворителей, например ДМСО-толуол, или ДМСО-ксилол (в объемном соотношении 3:1, соответственно). При наличии фильтров с худшей растворимостью рекомендуется использовать смеси растворителей ДМСО-толуол или ДМСО-ксилол в объемном соотношении 2:1 или 1:1, соответственно (в случае ксилола может быть использован любой из трех его изомеров – мета-, орто- или пара-ксилол) (РД 52.04.831-2015). Для подбора оптимального растворителя для подготовки проб атмосферного воздуха к последующему анализу нами применялась термодинамическая модель, основанная на теории регулярных растворов (Lei et al., 1983). Показано, что для оптимального растворения ацетилцеллюлозных и перхлорвиниловых фильтров следует использовать смесь толуола и ДМСО в соотношении 1:1. Соотношение регулируется близостью к значениям материалов фильтров.

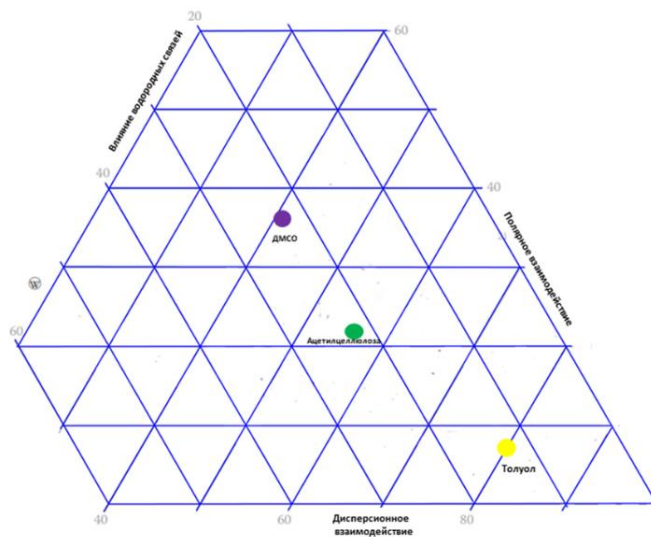


Рисунок 44. Треугольник растворимости для системы ДМСО - толуол

Поскольку в качестве стандарта авторы методики рекомендуют использовать технический углерод марки П-514, перед проведением измерений снимали ИК-спектр технического углерода для уточнения спектрального диапазона измерений.

На сегодняшний день, в период с марта по июль 2022 года были получены и проанализированы 20 проб при скорости отбора 1 л/мин и 27 пробы со скоростью отбора 160 л/мин соответственно. По полученным данным фотометрического анализа видно, что на протяжении всего периода отбора при скорости 1 л/мин, за исключением ноября и декабря, значения концентрации сажи многократно превышает значения при скорости 160 л/мин. Это может быть связано с большим размером пор фильтра ФПП и высокой скоростью отбора, вследствие чего частицы сажи не осаждаются на материале фильтра.

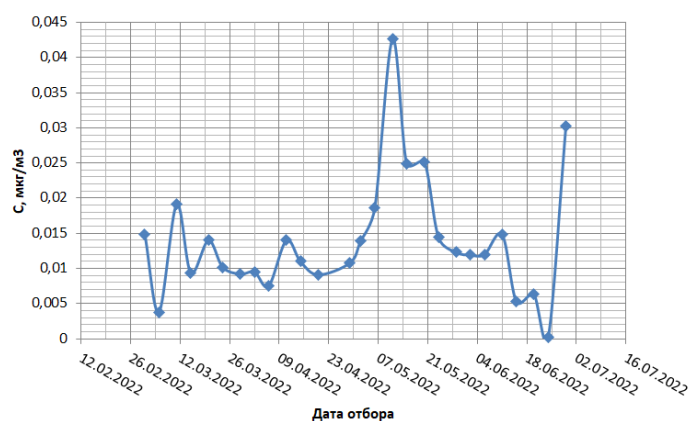


Рисунок 45. Массовая концентрация сажи в пробах атмосферного воздуха при скорости отбора 160 л/мин

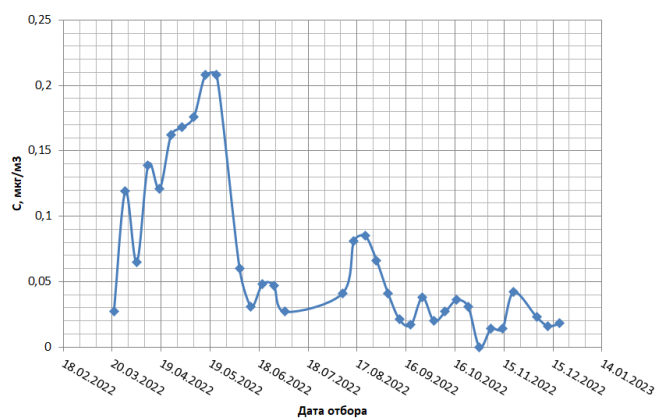


Рисунок 46. Массовая концентрация сажи в пробах атмосферного воздуха при скорости отбора 1 л/мин

Резкое падение значений массовой концентрации в середине мая для обеих скоростей отбора можно объяснить началом летнего периода.

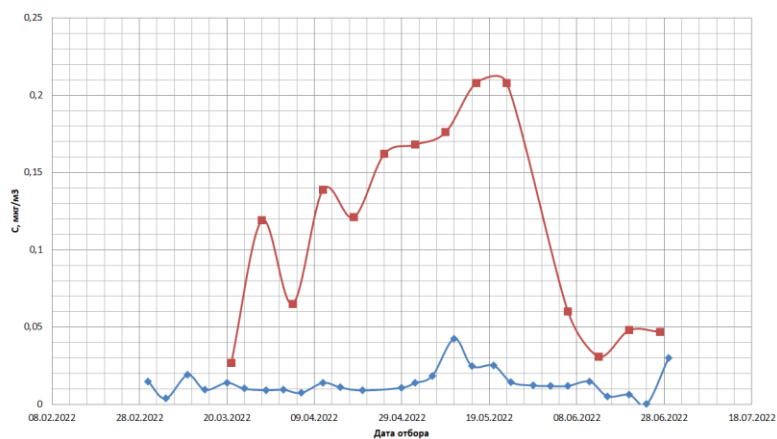


Рисунок 47. Массовая концентрация сажи в пробах атмосферного воздуха при разных скоростях отбора
Красная линия – 1 л/мин. Синяя линия – 160 л/мин

Опираясь на полученные результаты, можно сделать вывод, что скорость отбора 160 л/мин является не подходящей для мониторинга сажи на фоновой территории.

В 2022 г. на территории ПТБЗ были отобраны 20 проб атмосферных осадков (пробы отбирались каждые 2 недели). Каждая проба поступала в лабораторию в запечатанных парафином бутылках объемом 250 мл. Поскольку в настоящее время не существует действующей методики по определению массовой концентрации черного углерода (сажи) в атмосферных осадках, пробы для анализа готовили путем фильтрации осадков через фильтр типа АФА-ХП. После фильтрации фильтры с отобранными пробами высушивали в эксикаторе над безводным хлоридом кальция в течение 3 часов. Дальнейший анализ проб проводился в соответствии с РД 52.04.831-2015.

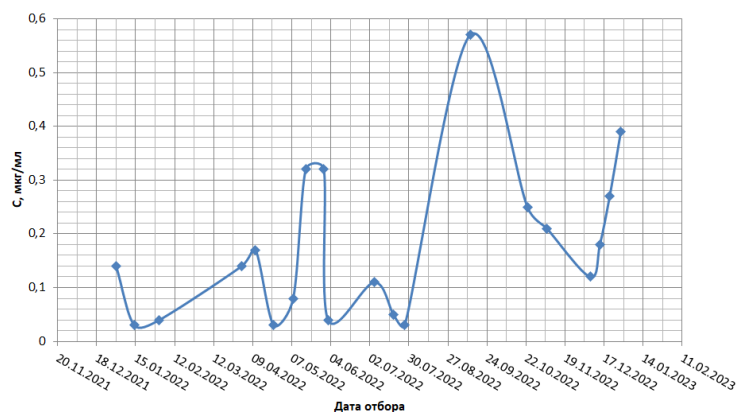


Рисунок 48. Массовая концентрация сажи в пробах атмосферных осадков

Определение черного углерода в атмосферных осадках имеет свою важность и целесообразность, особенно с точки зрения оценки загрязнения окружающей среды и его воздействия на здоровье человека и экосистемы. Определение черного углерода в атмосферных осадках имеет свою важность и целесообразность, особенно с точки зрения оценки загрязнения окружающей среды и его воздействия на здоровье человека и экосистемы. Фотометрический метод не всегда специфичен для черного углерода и может реагировать на другие частицы, которые могут присутствовать в атмосферных осадках. Также не стоит недооценивать возможность проскока частиц сажи во время вакуумной фильтрации на фильтр АФА-ХП. Именно поэтому данная методика является не пригодной для определения сажи (ЧУ) в атмосферных осадках на фоновых территориях. В будущем рассматривается возможность определения черного углерода (сажи) в пробах снежного покрова.

Работа выполняется в рамках оперативно-производственных работ Росгидромета. Тема 8.23 «Обеспечение российского участия в деятельности группы Арктического совета по черному углероду (саже) и метану».

Список литературы

- РД 52.04.831-2015 «Массовая концентрация углеродсодержащего аэрозоля в пробах атмосферного воздуха».
- Barton A.F.M. (1983) *Handbook of solubility parameters and other cohesion parameters*, Boca Raton: CRC Press, 768 p.
- Lei Z., Chen., Li Ch., Liu H. (2008) Predictive Molecular Thermodynamic Models for Liquid Solvents, Solid Salts, Polymers, and Ionic Liquids, *Chem. Reviews*, vol. 108, no. 4, pp. 1419-1455.
- Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe* (2013) European Environment Agency, p. 48.

ЖИДКИЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ ТОПЛИВА В РФ: КОМПОНЕНТНЫЙ ПУЛ ПО МЕРЕ МОДЕРНИЗАЦИИ ОТРАСЛИ И УЖЕСТОЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ

LIQUID HYDROCARBON FUELS IN RUSSIA: COMPONENT POOL AS THE INDUSTRY MODERNIZES AND ENVIRONMENTAL REQUIREMENTS BECOME STRICTER

Савеленко В.Д.^{1), 2)}, Старостин А.А.^{1), 2)}, Ершов М.А.^{1), 2)}

Savelenko V.D.^{1), 2)}, Starostin A.A.^{1), 2)}, Ershov M.A.^{1), 2)}

¹⁾ ООО «Центр мониторинга новых технологий»

Россия, 121205, г. Москва, тер Сколково Инновационного Центра, Большой б-р, 42, стр. 1

²⁾ РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина

Россия, 119991, г. Москва, проспект Ленинский, 65, корп. 1

Аннотация. В 2011 по 2016 в РФ был выполнен переход от выпуска и использования топлив экологического класса К2 до К5. Данный переход стал возможен благодаря комплексной и глубокой модернизации нефтеперерабатывающих заводов, которая оказала значительное влияние на компонентный состав и свойства жидких углеводородных топлив, в том числе на групповой и элементный состав. Анализ тенденций на горизонте 2010–2021 г. посвящена настоящая работа.

Ключевые слова: жидкие топлива, углеродный след, углекислый газ, теплота сгорания, автомобильный бензин, реактивное топливо, дизельное топливо, судовое топливо, топочный мазут.

Abstract. In 2011-2016, the Russian Federation made the transition from the production and use of fuels of environmental class K2 to K5. This transition became possible due to a comprehensive and deep modernization of oil refineries, which had a significant impact on the component composition and properties of liquid hydrocarbon fuels, including group and elemental composition. The present work is devoted to analyzing these trends on the horizon of 2010-2021.

Key words: liquid fuels, carbon footprint, carbon dioxide, heat of combustion, motor gasoline, jet fuel, diesel fuel, marine fuel, fuel oil, heating oil.

Оценка свойств и состава анализируемых видов жидких топлив была проведена с помощью разработанных математических моделей, которые позволяют рассчитать примерный компонентный пул топлив для отдельных НПЗ по мощностям процессов первичной и вторичной переработки, освоенных на данном заводе, и по полученному содержанию различных компонентов в топливе с учетом статистических данных по эксплуатационным и физико-химическим показателям каждого компонента определить результирующие свойства товарных топлив.

В качестве основного источника данных для разработки модели предсказания компонентного состава пула производства выбранных видов жидких топлив была взята информация из ежегодных статистических сборников ЦДУ ТЭК – филиала ФГБУ «РЭА» Минэнерго России. Принципиальная схема работы модели приведена на рис. 49.

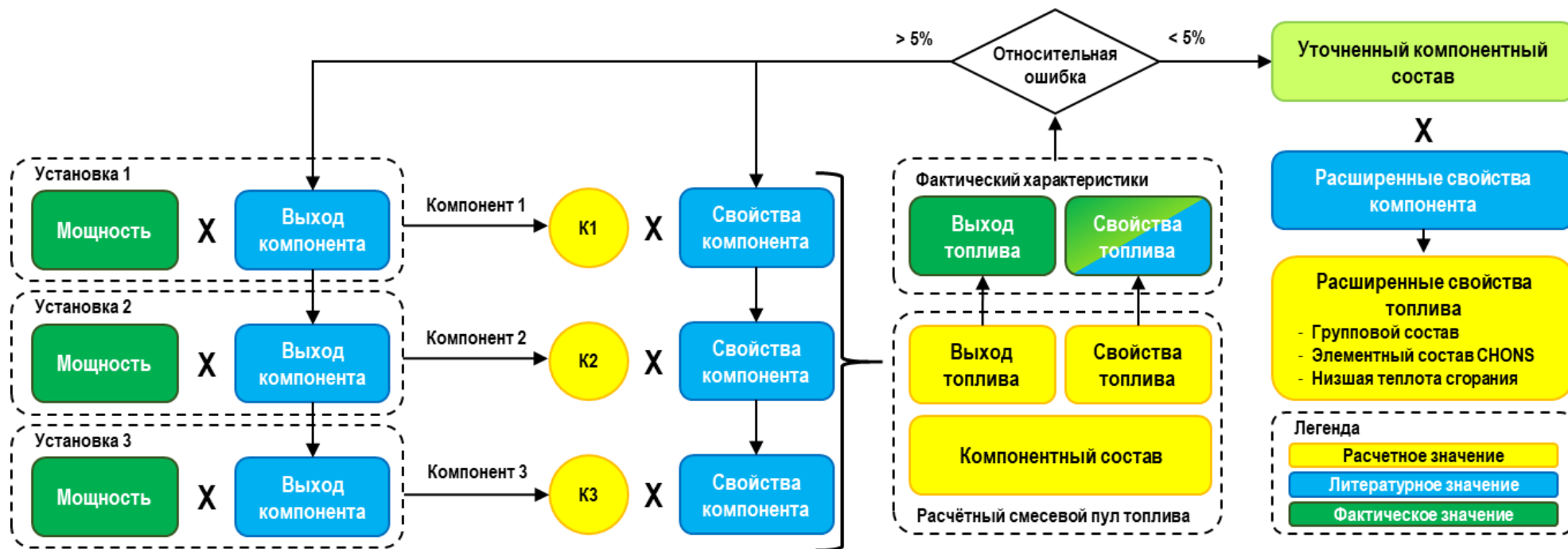


Рисунок 49. Принципиальная схема функционирования расчетной модели

Помимо данных о загрузке установок важнейшим элементом модели является набор коэффициентов, отражающий выход компонентов топлив на данных установках, а также базовые свойства, используемые для подбора компонентного состава (например, октановое число и содержание ароматики для автобензинов или содержание серы для судовых топлив). Данный набор коэффициентов в первом приближении основывался на литературных данных о типичных показателях процессов и характеристиках компонентов. Далее происходило уточнение коэффициентов в индивидуальном порядке для каждого НПЗ с целью снижения величины расхождения расчетных параметров топливных пулов и фактических данных ЦДУ ТЭК.

В результате работы был получен массив данных, отражающих динамику изменения компонентного пула жидких топлив на промежутке 2010-2021 гг. Усредненный компонентный пул бензинов приведен на рис. 50.

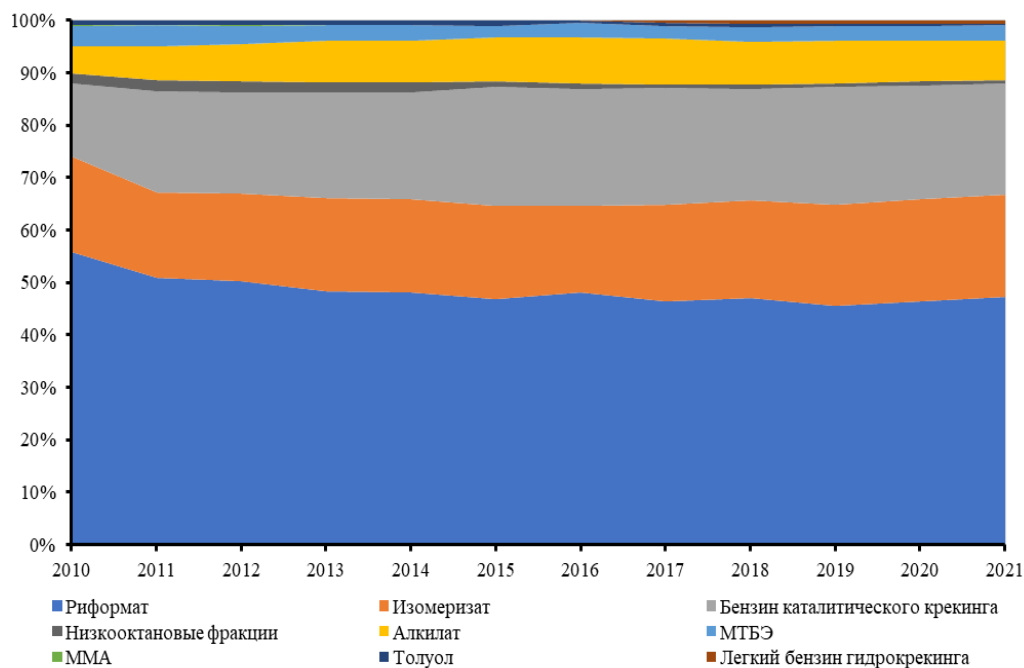


Рисунок 50. Компонентный пул бензинов, % масс

Состав бензинов в большей степени стабилен на всем исследованном промежутке, что объясняется достаточно сложными и устоявшимися во времени рецептурами данного вида топлива. Наибольшую долю в пуле занимает риформат. Доля бензина каталитического крекинга ниже, что объясняется не очень высокой детонационной стойкостью данного компонента, в особенности полученного на старых установках. Содержание изомеризата достаточно стабильно в исследованном промежутке. Доля низкооктановых фракций мала – в

среднем 1,3%. Часть бензина КК и низкооктановых компонентов была замещена алкилатом, МТБЭ и толуолом, чьи средние доли вовлечения равны 7,7%, 3,0% и 0,7% соответственно.

Компонентный пул дизельных топлив отражен на рис. 51.

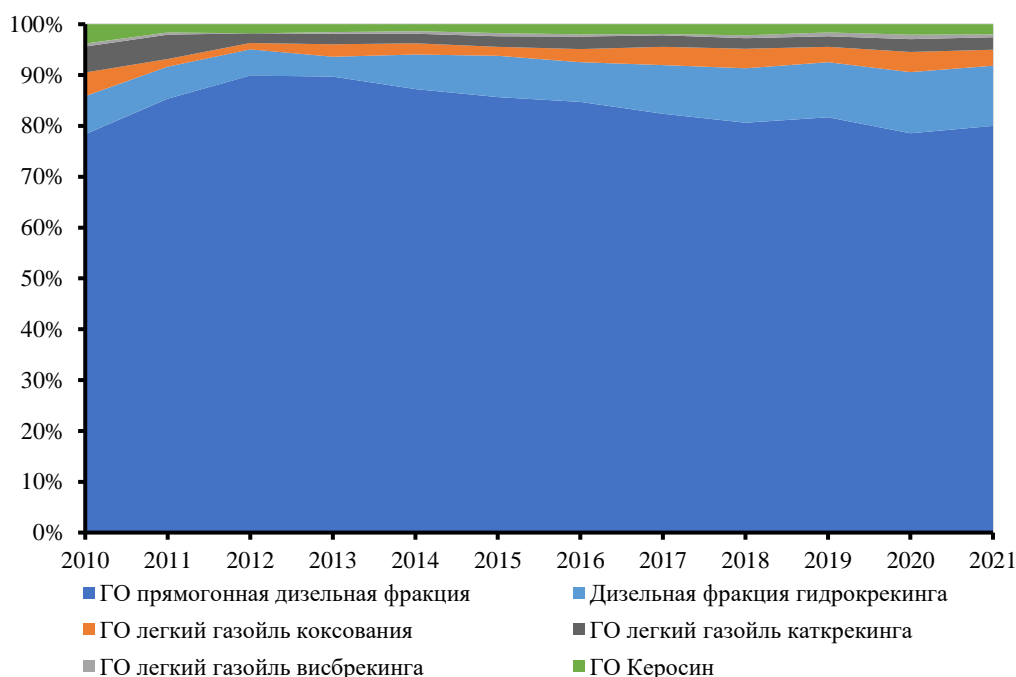


Рисунок 51. Компонентный пул дизельных топлив, % масс

На всем исследуемом промежутке состав дизельных топлив принципиально не менялся. Около 80% составляет гидроочищенное прямогонное дизельное топливо, а доля вторичных дистиллятов до 2013 года снижается, а далее растет, что связано с вводом мощной установки гидрокрекинга на АО «Танеко» в 2014 г. и дальнейшим бурным развитием гидропроцессов. Очевидно, что основным процессом, обеспечивающим долю дистиллятов вторичных процессов в составе дизельного топлива, является гидрокрекинг.

Результаты анализа компонентного состава судовых остаточных топлив показаны на рис. 52.

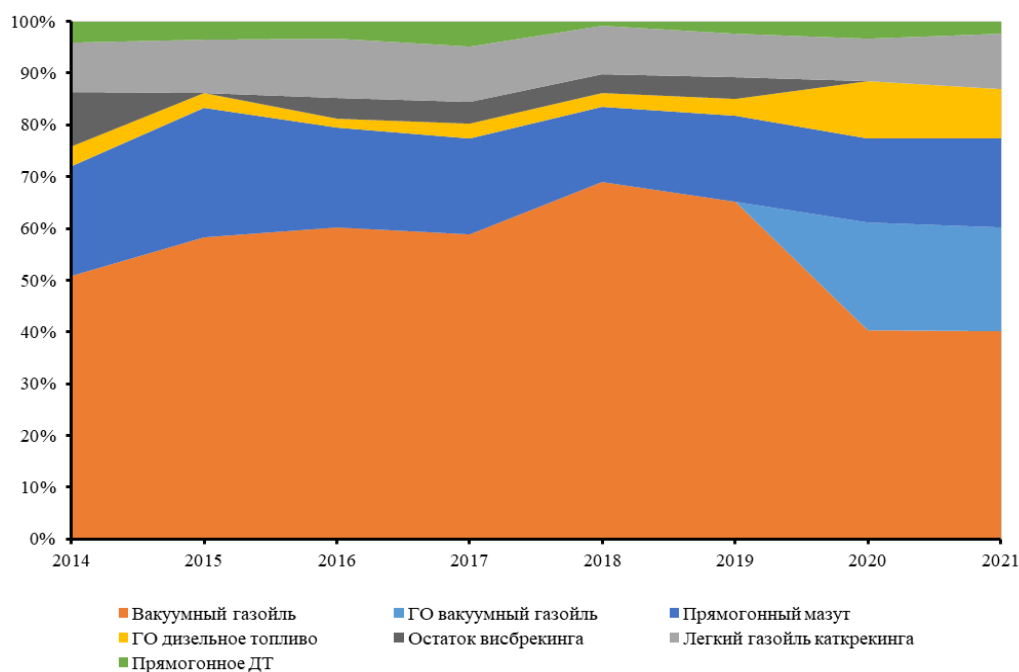


Рисунок 52. Компонентный пул судовых остаточных топлив, % масс

Исходя из полученных данных, можем заключить, что основой судовых остаточных топлив, производимых на российских НПЗ, является вакуумный газойль. В последние два года наблюдений (2020, 2021) резко возрастает доля гидроочищенного дизельного топлива и гидроочищенного вакуумного газойля в топливах и может достигать 40% и 100% соответственно. На втором месте по количеству вовлечения стоит прямогонный мазут, однако его содержание ограничено возможной потерей стабильности системы и последующим выпадением в осадок твердых асфальтенов.

Специалистами ООО «ЦМНТ» проведен анализ компонентного состава выбранных видов жидких топлив: автомобильных бензинов, дизельных топлив и судовых остаточных топлив. В результате были выявлены основные тенденции развития процессов получения исследуемых нефтепродуктов.

Список литературы

- Капустин В.М., Гуреев А.А. (2015) *Технология переработки нефти. В 4-х частях. Часть вторая. Физико-химические процессы*, М., Химия, 400 с.
- Зуев В.Е., Креков Г.М. (1986) *Оптические модели атмосферы, Серия: Современные проблемы атмосферной оптики, т. 2*, Л., Гидрометеиздат, 256 с.
- Производство судового топлива в России – 2019 год*, FUELS Digest.
- Сорокина А.С. (2021) *Новый подход к прогнозированию эксплуатационных свойств топливных композиций на примере дизельных топлив разного углеводородного состава*, Дисс. канд. техн. наук, М., РГУ нефти и газа им. Губкина, 139 с.
- Технический регламент Таможенного союза «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» (ТР ТС 013/2011), утвержденный Решением комиссии таможенного союза от 18 октября 2011 г. № 826.

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ В АЭРОЗОЛЬНОМ СОСТАВЕ ТРОПОСФЕРЫ И НИЖНЕЙ СТРАТОСФЕРЫ С ПОМОЩЬЮ БАЛОННОГО ЗОНДА ОБРАТНОГО РАССЕЯНИЯ

MONITORING CHANGES IN AEROSOL COMPOSITION TROPOSPHERE AND LOWER STRATOSPHERE USING BALLON BACKSCATTER SOUND

Фомин Б.А.^{1),2)}, Балугин Н.В.^{1),2)}, Гинзбург В.А.¹⁾, Зеленова М.С.¹⁾, Кострыкин С.В.^{1),3)},

Кухта Б.А.¹⁾, Ревокатова А.Р.^{1),4)}, Юшков В.А.²⁾

Fomin B.A.^{1),2)}, Balugin N.V.^{1),2)}, Ginzburg V.A.¹⁾, Zelenova M.S.¹⁾, Kostrikin S.V.^{1),3)},

Kukhta B.A.¹⁾, Revokatova A.P.^{1),4)}, Ushkov V.A.²⁾

¹⁾Институт глобального климата и экологии им. Ю. А. Израэля
Россия, 107058, Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБУ «Центральная Аэрологическая Обсерватория»
Россия, 141707, Московская область, г. Долгопрудный, ул. Первомайская, 3

³⁾ Институт Вычислительной Математики РАН
Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, 8

⁴⁾ ФГБУ ГИДРОМЕТЦЕНТР России
Россия, 123242, Москва, Большой Предтеченский пер., 11-13

Аннотация. В докладе рассматривается возможность оперативного мониторинга изменений в аэрозольном составе атмосферы, вплоть до высот ~ 30 км, с помощью экономичного баллонного Аэрозольного Зонда Обратного Рассеяния (АЗОР). С помощью АЗОР надёжно регистрируются не только изменения в плотности аэрозоля, но и в его составе. В ряде случаев может определяться и тип аэрозоля. Следует отметить мобильность применения АЗОР. С его помощью может быть проведён мониторинг практически в любой точке России. АЗОР особенно полезен для мониторинга изменения в аэрозольном составе атмосфере из-за извержений вулканов, техногенных катастроф и военных конфликтов.

Ключевые слова: атмосфера, аэрозоль, мониторинг, аэрологический зонд.

Abstract. The report discusses the possibility of operational monitoring of changes in the aerosol composition of the atmosphere, up to altitudes of ~ 30 km, using an economical balloon aerosol backscattering sound (ABS). ABS reliably registers not only changes in aerosol density, but also in its composition. In some cases, the type of aerosol can also be determined. It should be noted the mobility of the use of AZOR. It can be used to monitor almost anywhere in Russia. ABS is especially useful for monitoring changes in the aerosol composition of the atmosphere due to volcanic eruptions, man-made disasters, and military conflicts.

Keywords: atmosphere, aerosol, monitoring, aerological sound.

В ряде случаев актуальность мониторинга изменения аэрозольного состава атмосферы может резко возрастать. Например, в интересах авиации может потребоваться оперативно определять границу распространения вулканического пепла в верхней тропосфере и нижней стратосфере из-за извержения вулкана. Также может потребоваться определять границу распространения экологически вредного аэрозоля (например, радиоактивной пыли) из-за военного конфликта или техногенной катастрофы. При этом интересующая точка мониторинга может быть заранее неизвестна и даже меняться от обстоятельств. В принципе такой мониторинг может осуществляться с помощью наземных и спутниковых лидаров. Но лидарный мониторинг имеет некоторые ограничения. Так мониторинг наземными и спутниковыми лидарами ограничивается областью лидар-граница облаков. Поэтому целью данной работы является рассмотрение возможности осуществления «оперативного»

мониторинга с помощью экономичного баллонного Аэрозольного Зонда Обратного Рассеяния (АЗОР). Отметим, что АЗОР надёжно регистрирует не только изменения в плотности аэрозоля, но и в его составе. В ряде случаев может определяться и тип аэрозоля. Мониторинг осуществляется в ночной время и не ограничивается облачностью. Следует особо отметить мобильность применения АЗОР – с его помощью может быть проведён мониторинг практически в любой точке России.

Конструкция АЗОР подробно описана в работе (Балугин и др., 2022). Здесь приведем краткое описание его работы. Схема зонда представлена на рис. 53.

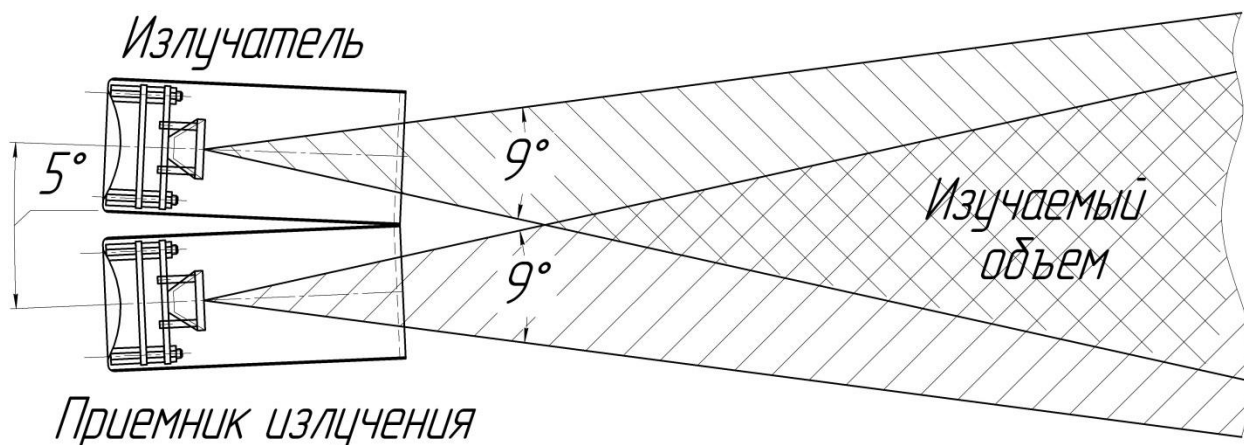


Рисунок 53. Оптическая схема аэрозольного зонда обратного рассеяния (АЗОР)
 Для упрощения на рисунке изображен только один излучатель. Второй излучатель располагается симметрично относительно приемника излучения

Зонд (весом ~ 1 кг) прикрепляется к аэрологическому баллону, поднимающего его до высот порядка 30 км. В качестве излучателей используются два светодиода, излучающих в атмосферу лучи с длиной волны 470 нм (обычно) и 940 нм. Благодаря рассеянию на молекулах воздуха и аэрозольных частицах часть излучения рассеивается назад и попадает в приёмники. Зонд также измеряет в полёте температуру и давление, что позволяет рассчитать молекулярное рассеяние и вычесть его вклад из регистрируемого сигнала. Аэрозольная часть сигнала определяется коэффициентом обратного рассеяния аэрозоля в данной точке траектории полёта зонда. Важно отметить, что отношение обратных коэффициентов, измеренных в двух каналах прибора, не зависит от плотности аэрозольных частиц, но зависит от состава аэрозоля. Это отношение называется цветовым индексом (ЦИ). Для набора вероятных атмосферных аэрозолей ЦИ также рассчитывается заранее. Сравнение измеренных ЦИ с рассчитанными даёт указание на тип аэрозоля в данном случае. Например, для рассчитанных «стандартных» аэрозолей – стратосферного (H_2SO_4) и сажевого (soot), ЦИ равны 2,6 и 3,7, соответственно (Балугин и др., 2022). Затем можно оценить и плотность аэрозольных частиц.

Такой анализ требует априорных знаний об аэрозоле, которые не всегда достаточно надежны. Но изменение в цветовом индексе однозначно указывает на изменения в составе аэрозоля. Что в первую очередь и важно для мониторинга в вышеуказанных случаях. На рис. 54 приведён пример, поясняющий сказанное. Здесь представлены данные двух запусков АЗОР 20 и 21 февраля 2023 г. в городе Салехарде. На рисунке хорошо видна стабильность аэрозольного состава тропопаузы на высотах 11-16 км. И видимые изменения в слое 17-19 км происшедшие всего за сутки. (По-видимому, это слой сажи (индекс ~ 4). Но для большей определённости требуются более дорогие самолётные измерения.)

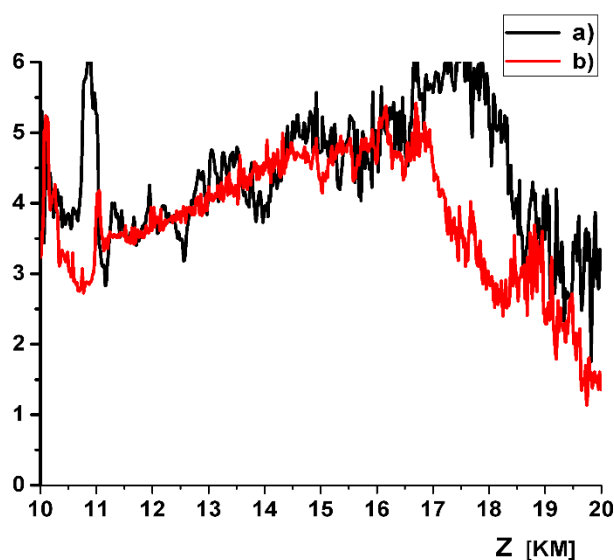


Рисунок 54. Цветовые индексы по измерениям в Салехарде 20 и 21 февраля 2023г.: кривые а) и б), соответственно

Таким образом, недорогой и мобильный АЗОР является регистратором изменений в атмосфере, полезным, в частности, для оценки целесообразности исследования аэрозольного состава атмосферы более сложными методами (например, самолётными).

Исследование выполнено в рамках научных тем Росгидромета (ФГБУ «ИГКЭ») АААА-А20-120020590066-5 «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга», АААА-А20-120021090098-8 «Развитие методов и технологий расчетного мониторинга антропогенных выбросов и абсорбции поглотителями парниковых газов и короткоживущих климатически-активных веществ», Плана ОПР 8.23. Обеспечение российского участия в деятельности группы Арктического совета по черному углероду (саже) и метану.

Список литературы

Балугин Н.В., Фомин Б.А., Юшков В.А. (2022) Оптический зонд обратного рассеяния для баллонных аэрологических измерений, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 58, с. 1-8.

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ НЕДОРОГИХ
ДАТЧИКОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА АЭРОЗОЛЬНЫХ ПРИМЕСЕЙ В АТМОСФЕРЕ
ЮЖНОГО БАЙКАЛА**

**THE FIRST RESULTS OF THE USE OF MODERN INEXPENSIVE SENSORS FOR
MONITORING AEROSOL IMPURITIES IN THE ATMOSPHERE OF SOUTHERN
BAIKAL**

Шиховцев М.Ю., Моложникова Е.В.

Shikhovtsev M.Yu., Molozhnikova Ye.V.

Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. В последние годы проблема загрязнения атмосферы становится все более актуальной. Следствием увеличения интереса к проблеме стало появление и развитие недорогих датчиков мониторинга качества воздуха. Однако надежность результатов, получаемых с помощью этих устройств, подвергается сомнению. Целью этой работы было сравнение результатов с счетчика частиц WoMaster ES-104 и эталонного прибора Lighthouse 3060, в ходе эксперимента поставленного летом 2023 г. на оз. Байкал. Проведенный анализ показал, что результаты измерений с обоих приборов хорошо согласуются между собой как во временной изменчивости, так и в абсолютных значениях.

Ключевые слова: Южный Байкал, твердые частицы (PM), недорогие сенсоры, загрязнение атмосферы.

Abstract. In recent years, the problem of air pollution has become more and more urgent. The increased interest in this problem has resulted in the emergence and development of inexpensive air quality control sensors. However, the reliability of the results obtained using these devices is questionable. The purpose of this work was to compare the results obtained using the WoMaster ES-104 particle counter and the Lighthouse 3060 reference instrument during an experiment conducted in the summer of 2023 on the lake. Baikal. The analysis showed that the results of measurements with the help of both devices are in good agreement with each other both in time variability and in absolute values.

Keywords: Southern Baikal, particulate matter (PM), low-cost sensor, air pollution.

Связь между экономическим развитием и экологическими проблемами является одной из важных проблем современности. Прогресс развития сопровождается ростом спроса на энергию. Это в свою очередь приводит к большому объему поступления твердых частиц (PM) в атмосферу. Устойчивый интерес к изучению загрязнения атмосферы твердыми частицами определяется их влиянием как на биотическую (Awokola et al., 2022; Reid et al., 2016), так и на абиотическую среду (Gharibzadeh et al., 2021). В последние десятилетия активно ведутся исследования, посвященные состоянию атмосферы над озером Байкал. Как правило, проводимые исследования охватывают обширную географию (Zhamsueva et al., 2022; Khodzher et al., 2019), но проводятся в сжатые временные сроки (до двух недель). Анализ работ, охватывающих большие временные масштабы (Шиховцев и др., 2023 г.), показал, что среднемесячные концентрации PM₁₀ в атмосфере на станции «Листвянка» (Южный Байкал) изменяются в пределах от 9 до 36 мкг/м³, а концентрации PM₁₀ во время корабельной экспедиции осенью 2021 г. варьировались от 1 до 5 мкг/м³, при среднем равным 3 мкг/м³ (Marinaite et al., 2021). Подобная разница объясняется расположением станции на пути

основного переноса воздушных масс от крупных антропогенных источников РМ (Obolkin et al., 2021). Так, возникает необходимость дополнения и расширения сети мониторинга.

В настоящее время, ввиду внедрения и удешевления ряда технологий, произошло появление на рынке множества недорогих датчиков для определения содержания газовых и аэрозольных примесей в атмосфере. Проведенные исследования по сравнению результатов измерений малобюджетных счетчиков и эталонных приборов показали, что наилучшая сходимость результатов отмечена при измерении концентрации твердых частиц (McFarlane et al., 2021; Masri et al., 2022).

В период с 17 по 28 июля 2023 г. на ст. «Большие Коты» был поставлен эксперимент по сравнению результатов станции Womaster ES104 и прибора Lighthouse 3016 (рис. 55). Станция «Большие Коты» расположена на западном побережье Южного Байкала, в 700 метрах к юго-западу от одноименного поселка (51,8998, 105,0634). В качестве эталонного прибора был использован лазерный счетчик аэрозольных частиц Handheld 3016-IAQ. В работе (Porovicheva et al., 2021) сделано предположение о том, что плотность аэрозоля в воздушном бассейне оз. Байкал в летний период составляет примерно $1,6 \text{ г/см}^3$. Из-за сходства места и периода проведения эксперимента нами, дальнейшего сравнительного анализа так же была принята данная плотность аэрозоля.



Рисунок 55. Фото счетчик частиц WoMaster ES-104 (слева) и «Lighthouse 3016» (справа)

На рис. 56 представлены концентрации аэрозольных частиц РМ_{2.5} и РМ₁₀ с усреднением по времени 1 час. Средние концентрации, измеренные эталонным прибором, варьировались от 0,5 до 4 мкг/м³ (РМ_{2.5}) и от 0,8 до 5,7 мкг/м³ (РМ₁₀). Эти значения в пределах концентрациям РМ₁₀ для чистой атмосфере оз. Байкал, полученных в ходе корабельных экспедиций 2021 г. (Porovicheva et al., 2021) и 2022 г. (Marinaite et al., 2022).

Как видно из графика, значения, зафиксированные счетчиком WoMaster хорошо сравниваются для частиц с размерами до 2,5 мкм, несмотря на малые величины. Коэффициент

корреляции составил 0,94. При сравнении результатов измерения PM10 отмечается разница между приборами. Как показывают измерения проводимые 27 и 28 июля отличия могут быть весьма существенными. Несмотря на различия в абсолютных значениях, результаты измерения хорошо согласуются между собой во временном ходе, и коэффициент корреляции между концентрациями PM10 составляет 0,78.

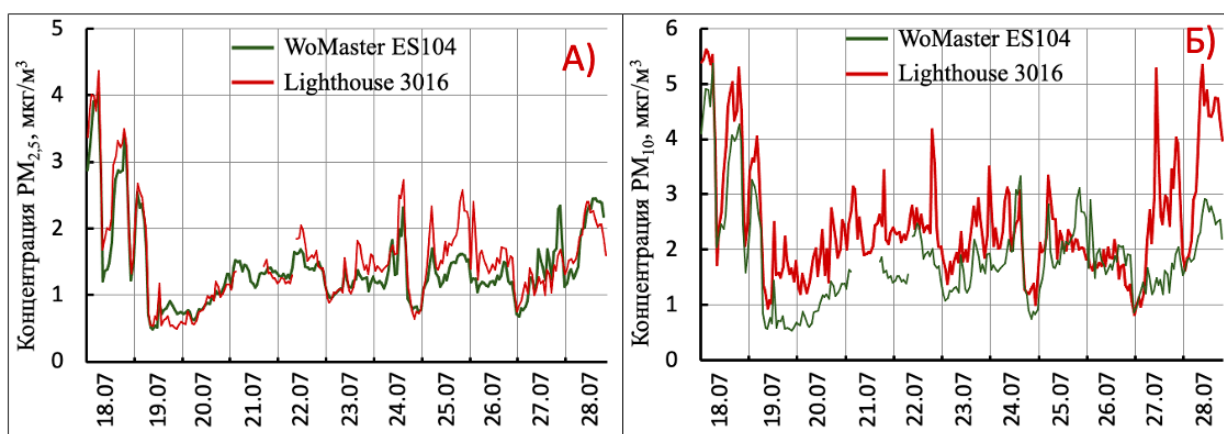


Рисунок 56. Концентрация PM2.5 (А); PM10 (Б) измеренная на станции «Большие Коты» за период с 18 по 28 июля 2023 г.

Работа выполнена по теме государственного задания ЛИН СО РАН No 0279-2021-0014, «Исследование роли атмосферных выпадений на водные и наземные экосистемы бассейна оз. Байкал, идентификация источников загрязнения атмосферы».

Список литературы

- Шиховцев М.Ю., Оболкин В.А., Ходжер Т.В., Моложникова Е.В. (2023) Изменчивость приземной концентрации твердых частиц PM1-PM10 в воздушном бассейне южного Прибайкалья, *Оптика атмосферы и океана*, т. 36, № 6, с. 448-455.
- Awokola B., Okello G., Johnson O., Dobson R., Ouédraogo A.R., Dibba B., Ngahane M., Ndukwu C., Agunwa C., Marangu D. (2022) Longitudinal Ambient PM2.5 Measurement at Fifteen Locations in Eight Sub-Saharan African Countries Using Low-Cost Sensors, *Atmosphere*, vol. 13, pp. 1593-1609.
- Gharibzadeh M., Bidokhti A. A., Alam K. (2021) The interaction of ozone and aerosol in a semi-arid region in the Middle East: Ozone formation and radiative forcing implications, *Atmospheric Environment*, vol. 245, pp. 118015-118031.
- Khodzher T.V., Zhamsueva G.S., Zayakhanov A.S., Dementeva A.L., Tsydypov V.V., Balin Y.S., Potemkin V.L. (2019) Ship-based studies of aerosol-gas admixtures over Lake Baikal basin in summer 2018, *Atmospheric and oceanic optics*, vol. 32, pp. 434-441.
- McFarlane C., Isevlambire P. K., Lumbuenamo R. S., Ndinga A. M. E., Dhammapala R., Jin X., Westervelt D. M. (2021) First measurements of ambient PM2.5 in Kinshasa, Democratic Republic of Congo and Brazzaville, Republic of Congo using field-calibrated low-cost sensors, *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 21(7), pp. 200619-200635.
- Marinaite I.I., Potyomkin V.L., Molozhnikova E.V., Penner I.E., Shikhovtsev M.Yu., Izosimova O.N., Khodzher T.V. (2021) Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and PM10 solid particles above the water area of Lake Baikal in the summer of 2020, *Proceedings of SPIE*, vol. 11916, pp. 1-7.

Marinaite I.I., Khodzher T.V., Molozhnikova E.V., Shikhovtsev M.Yu., Kustova O.V., Potyomkin V.L. (2022) Studies of spatiotemporal distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons and sub-10 μm particulate matter above the water area of Lake Baikal in the autumn of 2021, *Proceedings of SPIE*, vol. 12341, pp. 1-6.

Masri S., Rea J., Wu J. (2022) Use of Low-Cost Sensors to Characterize Occupational Exposure to PM_{2.5} Concentrations Inside an Industrial Facility in Santa Ana, CA: Results from a Worker-and Community-Led Pilot Study, *Atmosphere*, vol. 13, no. 5, pp. 722-741.

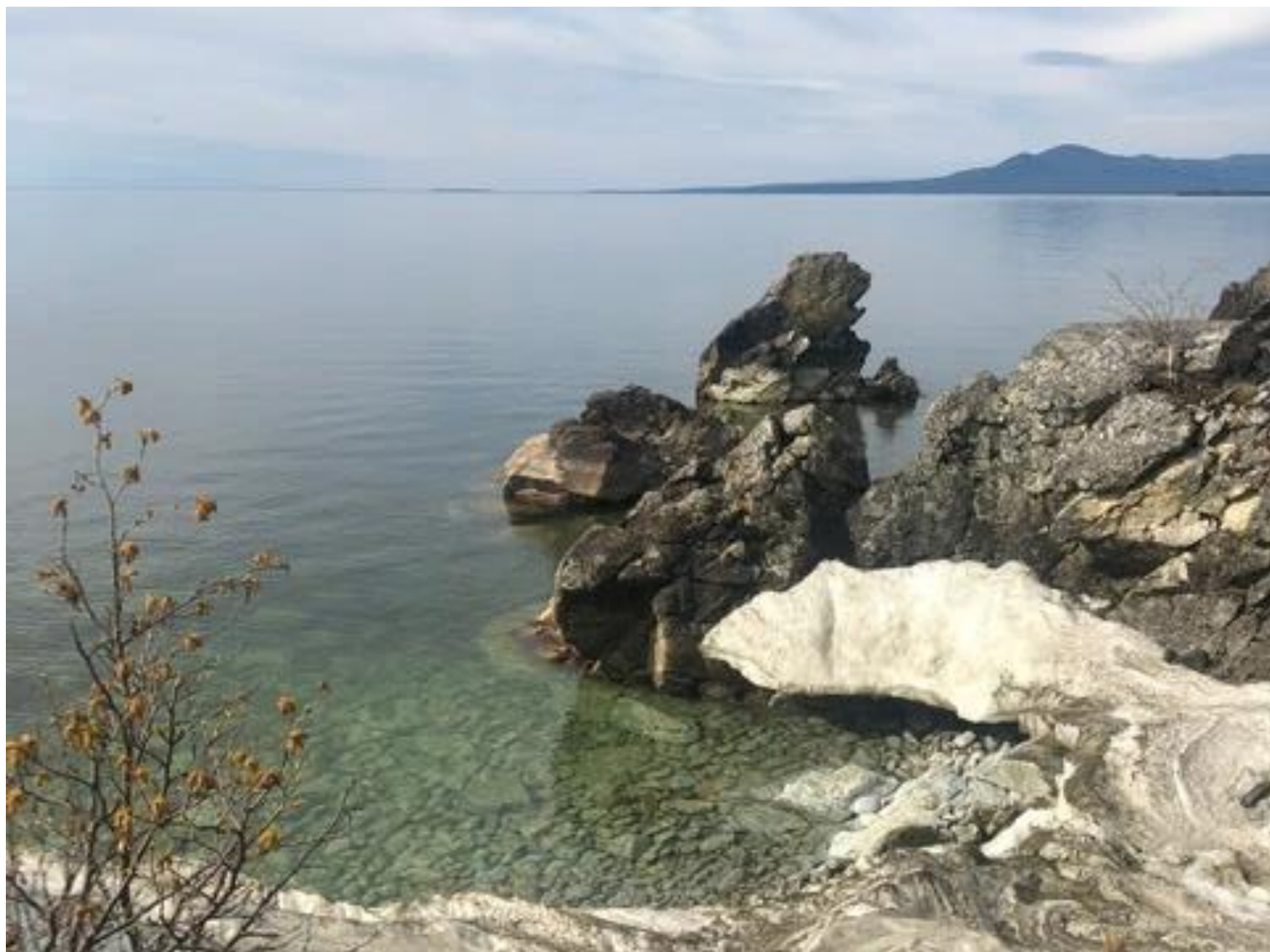
Obolkin V., Molozhnikova E., Shikhovtsev M., Netsvetaeva O., Khodzher T. (2021) Sulfur and Nitrogen Oxides in the Atmosphere of Lake Baikal: Sources, Automatic Monitoring, and Environmental Risks, *Atmosphere*, vol. 12, no. 10, pp. 1-10.

Popovicheva O., Molozhnikova E., Nasonov S., Potemkin V., Penner I., Klemasheva M., Khodzher T. (2021) Industrial and wildfire aerosol pollution over world heritage Lake Baikal, *Journal of Environmental Sciences*, vol. 107, pp. 49-64.

Reid C.E., Brauer M., Johnston F.H., Jerrett M., Balmes J.R., Elliott C.T. (2016) Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure, *Environmental health perspectives*, vol. 124(9), pp.1334-1343.

Zhamsueva G., Zayakhanov A., Khodzher T., Tcydypov V., Balzhanov T., Dementeva A. (2022) Studies of the dispersed composition of atmospheric aerosol and its relationship with small gas impurities in the near-water layer of Lake Baikal based on the results of ship measurements in the summer of 2020, *Atmosphere*, vol. 13(1), pp. 139-155.

СЕКЦИЯ
«ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ»



**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДВУХ МОДЕЛЬНЫХ ТЕСТ СИСТЕМ ПРИ ГЕНЕТИЧЕСКОМ
МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРЕСНОВОДНОЙ ГИДРОЭКОСИСТЕМЫ
USING TWO MODEL TEST SYSTEMS FOR GENETIC MONITORING OF
FRESHWATER HYDROECOSYSTEM POLLUTION**

*Азарян Н.Г.²⁾, Авалян Р.Э.¹⁾, Атоянц А.Л.¹⁾, Агаджанян Э.А.¹⁾
Azaryan N.G.²⁾, Avalyan R.E.¹⁾, Atoyants A.L.¹⁾, Aghajanyan E.A.¹⁾*

¹⁾Ереванский госуниверситет, НИИ «Биология»

²⁾Кафедра генетики и цитологии, ЕГУ

Армения, 0025, г. Ереван, ул. Чаренца, 8, Ереванский госуниверситет, биологический факультет

Аннотация. Изучена генотоксическая и мутагенная активности 4 проб воды бассейна оз. Севан с применением теста тычиночных волосков (Трад-ВТН) традесканции клона 02 и теста Эймса. Выявлено достоверное увеличение частоты соматических точковых мутаций (розовые клетки), а также бактерицидной и мутагенной активности в исследованных пробах воды Карчахбюр и Личк.

Ключевые слова: генетический мониторинг, биотестирование, традесканция (клон 02), биотест Трад-ВТН, тест Эймса, загрязнение воды.

Abstract. The level of genotoxic and mutagenic activity of 4 water samples of the Lake Sevan basin was studied using the test of stamen hairs (Trad-SHM) of Tradescantia (clone 02) and the Ames test. A significant increase in the frequency of somatic point mutations (pink cells – PC), as well as bactericidal and mutagenic activity in the studied water samples of Karchaghbyur and Lichk was revealed.

Keywords: genetical monitoring, biotesting, Tradescantia (clone 02), Trad-SHM bioassay, Ames test, water pollution.

При проведении экологического мониторинга состояния природных водных ресурсов важнейшим этапом является биотестирование потенциально токсического действия факторов среды на живые организмы. Озеро Севан является одним из крупнейших высокогорных озер мира и представляет собой уникальный пресноводный водоем, играющий важную роль в народном хозяйстве Армении. На сегодняшний день проблема нерационального использования и загрязнения экосистемы бассейна Севана является актуальной, и поэтому её решение крайне необходимо для улучшения экологической ситуации в регионе (Матишов и др., 2016). В связи с этим, наряду с идентификацией химических загрязнителей и контролем за их содержанием, также крайне необходима экотоксикологическая оценка качества воды с использованием чувствительных тест систем для выявления и оценки мутагенного потенциала. В системе экогенетического мониторинга оценка индукции генных мутаций является обязательным этапом в определении генетической активности любой среды, поскольку именно генные (точковые) мутации накапливаются в организме и представляют потенциальную генетическую опасность (Campos, Morelli, 2019).

Среди растительных тест-объектов особое место занимает гетерозиготный по окраске цветков клон 02 традесканции (голубой цвет – доминантный, розовый – рецессивный). Данный клон используется в генетическом мониторинге *in situ* как для выявления рецессивных соматических мутаций в волосках тычиночных нитей (тест Трад-ВТН-

генотоксический эффект), так и – для обнаружения нарушений процесса микроспорогенеза в тетрадах микроспор с образованием микроядер (тест Трад-МЯ – кластогенный эффект) (Majer, 2005; Mizik et al., 2011; Агаджанян, Авалян и др., 2020).

Общепризнанная в мире тест-система Эймса является необходимым и зачастую достаточным методическим инструментом в общей системе мониторинга для оценки мутагенной активности загрязнителей окружающей среды (Errol Zeiger, 2019). Этот тест проводится в соответствии с Руководством 471 Организации экономического сотрудничества и развития (ОЭСР) по тестированию химических веществ – тест на бактериальную обратную мутацию (ОЭСР – Руководство по тестированию химических веществ, 1997).

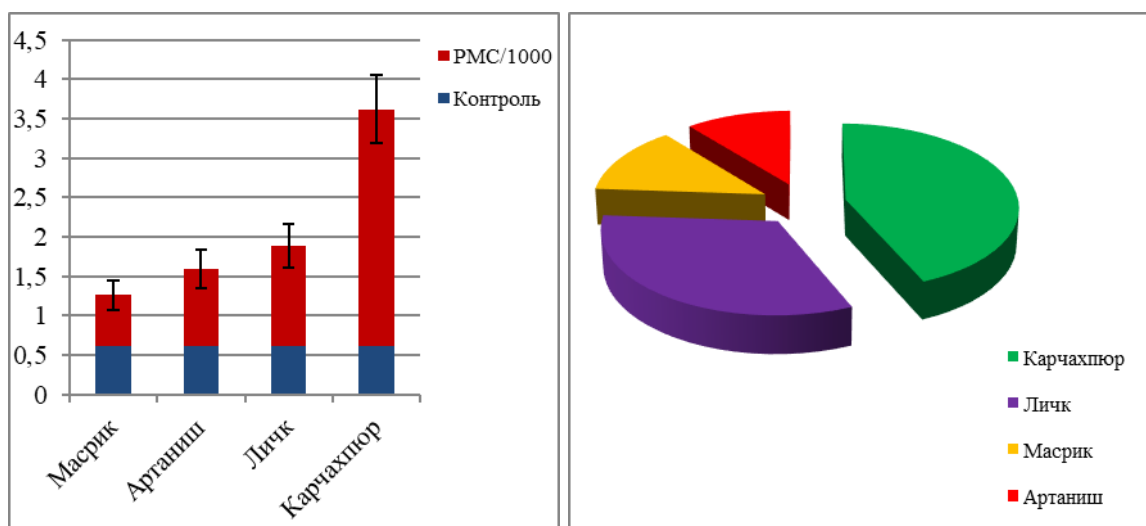
Целью настоящего исследования являлось проведение генетического мониторинга и оценка генотоксичности проб воды из разных пунктов бассейна оз. Севан с применением биотеста волосков тычиночных нитей клона 02 традесканции (Trad-VTH), а также – бактерицидной и мутагенной активности тех же водных образцов с помощью теста Эймса.

Пробы воды были отобраны в четырех (4) водосборных пунктах вблизи бассейна озера Севан: Артаниш, Карчахпюр, Личк и Масрик. В исследуемых водных образцах определялась концентрация химических компонентов (Na, Ca, K, Al, Mg, Mn, Ni, Zn, As, Cu, Fe, Cr, Co, Mo, Ag, Cd, Sn, Sb, Pb). В качестве контрольного (условно фонового образца) использовалась водопроводная вода. Все полученные результаты были статистически обработаны с использованием t-критерия Стьюдента и корреляционного критерия Пирсона с помощью компьютерной программы *Statgraphics Centurion 16.2* (StatPoint Technologies, Inc. USA; Warrenton, VA).

При проведении теста Трад-VTH основным маркерным критерием, в качестве индикатора генотоксического эффекта, является регистрация рецессивных точковых мутаций (розовых клеток) в волосках тычиночных нитей традесканции. Кроме того, в качестве дополнительного визуального теста на выживаемость соматических клеток фиксируются морфологические изменения тычиночных волосков – особенно, невыживших (низкорослых) волосков, как индикаторов тератогенного действия. В каждом образце просматривали от 8000 до 14000 тычиночных волосков. Количество мутаций в образцах рассчитывали на 1000 волосков в соответствии со стандартным протоколом (Ma et al., 1994).

С помощью теста Эймса определяли мутагенность и уровень бактерицидного действия исследуемых проб воды на бактериальные клетки двух тест-штаммов *Salmonella typhimurium* LT-2 – TA98 и TA100, ауксотрофных по гистидину. Реверсии к прототрофии у обоих тест-штаммов свидетельствуют о наличии в образце мутагенной активности, о степени которой судят по частоте реверсий к прототрофии. В эксперименте использовали стандартный пластинчатый тест (Mortelmans, Zeiger, 2000).

По результатам тестирования с использованием теста Трад-ВТН было показано достоверное повышение уровня рецессивных мутаций – частоты розовых клеток в пробах воды из пунктов Личк, Карчахпюр по сравнению с контролем и другими пробами. Минимальный уровень мутационных событий отмечен у вариантов – Артаниш и Масрик (рис. 57а). Выявлена высокая положительная корреляция между частотой РМС и содержанием Cu, Zn, Ag, Cd, V и Pb ($p < 0,01$; $p < 0,001$) в исследованных пробах воды.



а)

б)

Рисунок 57. Индукция генотоксических эффектов в водных образцах оз. Севан
а) – результаты теста Трад-ВТН; б) – результаты теста Эймса

Изучение бактерицидной и мутагенной активности исследованных проб воды бассейна оз. Севан с помощью теста Эймса показало, что все пробы воды снижают жизнеспособность двух тест-штаммов *Salmonella typhimurium* LT-2 TA98 и TA100. Образец Карчахпюр проявил наибольшую бактерицидную активность (рис. 57б). Все образцы выявили различный уровень мутагенной активности, которая снижается в следующей последовательности: Карчахпюр – Личк – Масрик – Артаниш. Следует отметить, что образец Личк индуцировал в основном мутации типа сдвига рамки считывания (штамм TA98), тогда как частота возникновения реверсий типа замены оснований (штамм TA100) приближалась к частоте спонтанных мутаций.

По результатам обоих тестов наблюдались однозначные результаты по уровню соматических точечных мутаций (тест Трад-SHM) и общей мутагенности (обратные мутации) у тест-штаммов *S-typhimurium* в исследованных пробах воды рек Карчахпюр и Личк. На основании вышеизложенного подтверждается целесообразность использования теста Трад-SHM традесканции (клон 02) и теста Эймса в качестве индикаторных тест-систем для биотестирования природных водных ресурсов Армении.

Список литературы

Матишов Г.Г., Селютин В. В., Месропян К.Э., Булышева Н.И., Шевердяев И.В., Арутюнян Р.М., Габриелян Б.К. (2016) Современное состояние и проблемы изучения озера Севан, *Вестник Южного научного центра*, т. 12, № 2, с. 43-52.

Misík M., Ma T.H., Nersesyan A., Monarca S., Kim J.K., Knasmueller S. (2011) Micronucleus assays with *Tradescantia* pollen tetrads: an update, *Mutagenesis*, 26 (1), pp. 215-221.

Campos C.F., Morelli S., De Campos Júnior E.O., Santos V.S.V., De Morais C.R., Cunha M.C., Souto H.N., Pavanin L.A., Bonetti A.M., Pereira B.B. (2019) Assessment of the genotoxic potential of water courses impacted by wastewater treatment effluents using micronucleus assay in plants from the species *Tradescantia*, *J. Toxicol Environ Health A.*, vol. 82(13), pp. 752-759.

Aghajanyan E., Avalyan R., Atoyants A., Khosrovyan A., Aroutiounian R. (2020) Assessing a Fresh water Ecosystem Using *Tradescantia* Model Test Object, *Water, Air, & Soil Pollution*, vol. 231, pp. 231-240, doi:org/10.1007/s11270-020-4407-3.

Method 471: OECD Guideline for testing of Chemicals, Bacterial Reverse mutation Test (1997) OECD, Paris.

Ma T.H., Cabrera G.L., Cebulska-Wasilevska A., Chen R., Loarca F., Vandenberg A.L., Salamone M.F. (1994) *Tradescantia* stamen hair mutation bioassay, *Mutation Research*, vol. 310, no. 2, pp. 211-220, doi: 0027-5107(94)00104-D.

Mortelmans K., Zeiger E. (2000) The Ames Salmonella/Microsome Mutagenicity assay, *Mutation Research/Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis*, vol. 455 (1-2), pp. 29-60, doi.org/10.1016/S0027-5107(00)00064-6.

**ВАРИАЦИИ СОДЕРЖАНИЯ НЕФТЯНЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ
В ПРЕДЕЛАХ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ БАССЕЙНОВ НА КОЛЬСКОМ ШЕЛЬФЕ
(КОЛЬСКИЙ ЗАЛИВ БАРЕНЦЕВА МОРЯ)**

**VARIATIONS IN THE CONTENT OF PETROLEUM HYDROCARBONS
WITHIN OIL AND GAS BASINS AND FIELDS ON THE KOLA SHELF
(KOLA BAY OF THE BARENTS SEA)**

*Александрова А.Г.¹⁾, Чекменева Н.А.²⁾, Александрова Д.В.³⁾, Долгова А.О.²⁾
*Aleksandrova A.G.¹⁾, Chekmeneva N.A.²⁾, Alexandrova D.V.³⁾, Dolgova A.O.²⁾**

¹⁾Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН (ИО РАН),
Россия, 117218, г. Москва, Нахимовский пр-т, д. 36

²⁾ФГБУ «Государственный океанографический институт имени Н.Н. Зубова»
Россия, 119034, Москва, Кропоткинский пер., 6 стр. 1

³⁾ФГАОУ ВО «РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина»,
Россия, 119991, г. Москва, пр-т Ленинский, д. 65, корп. 1.

Аннотация. Цель работы – изучить изменчивость содержания нефтяных углеводородов в районах хозяйственной деятельности, в частности, в пределах Кольско-Канинской моноклинали, по данным многолетнего мониторинга и исследовать особенности их распределения в том числе с учетом дополнительных факторов. Полученные по результатам анализа многолетних данных характеристики изменчивости содержания нефтяных углеводородов позволяют оценить общие тенденции. На основе анализа данных по содержанию газовой компоненты в обстановках трех лицензионных участков выполнена оценка статистических параметров распределения содержаний метана, предельных и непредельных углеводородов, указывающая на присутствие взаимосвязи (унаследованности) распределений газов в осадках и придонной воде.

Ключевые слова: Кольский залив, углеводороды, предельно допустимые концентрации, осадочный бассейн, газонасыщенность, многолетняя динамика содержания, Баренцевоморский шельф.

Abstract. The purpose of the work is to study the volatility of the content of petroleum hydrocarbons in the areas of economic activity, in particular, within the Kola Kanin Monocline, according to long-term monitoring data and to investigate the features of their distribution, taking into consideration additional factors. The characteristics of the volatility of the content of petroleum hydrocarbons obtained from the analysis of long-term data allow us to assess general trends.

In the settings of three license areas based on gas content data analysis statistical parameters indicating the relationship (inheritance) of gas distributions in the bottom sediments and in the near-bottom water layer were calculated.

Keywords: Kola Bay, hydrocarbons, maximum permissible concentrations, sedimentary basin, gas content, long-term dynamics, Barents Sea shelf.

В середине 90-х годов существенно повысился интерес к геологоразведочным работам на Кольском шельфе, в связи с близостью этого района к Мурманску и прогнозируемыми высокими перспективами в нефтегазоносном отношении. Кольский залив Баренцева моря является важным стратегическим объектом России. Его акватория не замерзает и хорошо защищена от сильных ветров. Кольский залив располагается в северной части Кольского п-ова и сообщается с Баренцевым морем. Общая протяженность залива по створам составляет около 55 км, ширина – 1-7 км. На берегах залива находятся такие крупные города как Мурманск, Североморск, Кола, Полярный. Северной границей залива можно считать точку с координатами 69°20' с. ш. и 33°30' в. д., устьем залива – 68°58' с. ш. и 33°00' в. д.

Сравнительный анализ показал, что современные донные отложения Кольского залива характеризуются наиболее высокой на Северо-Западе Российской Федерации концентрацией химических элементов (Система Баренцева моря, 2021).

Определение нефтяных углеводородов и выполнение химических анализов на биогенные и другие загрязняющие вещества проводит лаборатория мониторинга загрязнения поверхностных и морских вод (ЛМВ) Центра мониторинга загрязнения окружающей среды (ЦМС) ФГБУ «Мурманское УГМС», при этом наличие нефтяных углеводородов в торговом порту Мурманска на станции ВПМ наблюдается постоянно. Отбор проб осуществляется на станциях государственной службы наблюдения и контроля загрязнения объектов природной среды – станции ГСН I и II категории наблюдений. Станция водпоста в торговом порту г. Мурманска (ВПМ) – единичная контрольная станция I категории, которая предназначена для оперативного контроля уровня загрязнения моря. В период 2011-2021 гг. значения выше ПДК были фиксировались каждый год. Начиная с 2014 г. наблюдается заметная тенденция уменьшения как максимальных, так и среднегодовых значений содержания НУ. В период 2016-2018 гг. отмечено уменьшение среднегодовых значений до близкого к ПДК уровню – 0,05 мг/дм³ (Об утверждении нормативов качества воды..., 2016). В 2019 г. был зафиксирован существенный рост среднегодовой (0,09 мг/дм³) и максимальной (0,26 мг/дм³) концентрации НУ. А в 2020 и 2021 гг. их содержание опять значительно снизилось и вернулось к предыдущим значениям. Анализ многолетней динамики показывает, что в 2020 г. впервые средняя концентрация была на уровне значения ПДК (0,05 мг/дм³), а в 2021 г. ниже уровня ПДК – 0,03 мг/дм³. В 2022 г. среднее значение снова осталось на уровне ПДК (0,051 мг/дм³), а максимальное составило 1,3 ПДК (0,065 мг/дм³) (Качество морских вод..., 2021).

Отмечается, что на станции ВПМ присутствие растворённых НУ в морской воде связывается с антропогенной нагрузкой, так как данная станция расположена в районе интенсивного судоходства и вблизи торгового порта, вместе с тем, в последние годы наблюдается существенное уменьшения сброса и поступления загрязняющих веществ от предприятий. В перспективе для связи присутствия растворённых форм НУ в морской воде с геохимическим происхождением и природным поступлением из морских донных осадков и нижележащих толщ стоит провести анализ многолетней динамики концентрации НУ также на других станциях системы государственного мониторинга, расположенных по всей акватории Кольского залива. Это станции II категории в Южном, Среднем и Северном «коленах», и они относятся к единичным станциям или разрезам и служат для получения систематической информации о загрязнении морских и устьевых вод, а также для исследования сезонной и межгодовой изменчивости контролируемых параметров. Однако, исследования на них проводились до 2014 г. включительно, и данных за последние годы нет.

По данным прошлых лет на станциях в акватории Кольского залива фиксировались значения НУ и ежегодно присутствовали значения выше ПДК. Так, в июне 2013 г. исследования проводились в Среднем и Северном «коленах». Нефтяные углеводороды были зафиксированы только на ст. 11, концентрация составила 0,113 мг/дм³ (2,7 ПДК), на остальных станциях их значения не превышали предела обнаружения. В 2014 г. были исследованы Южное и Среднее «колени». В Среднем колене были зафиксированы значения выше ПДК на трёх станциях из четырёх (рис. 58).

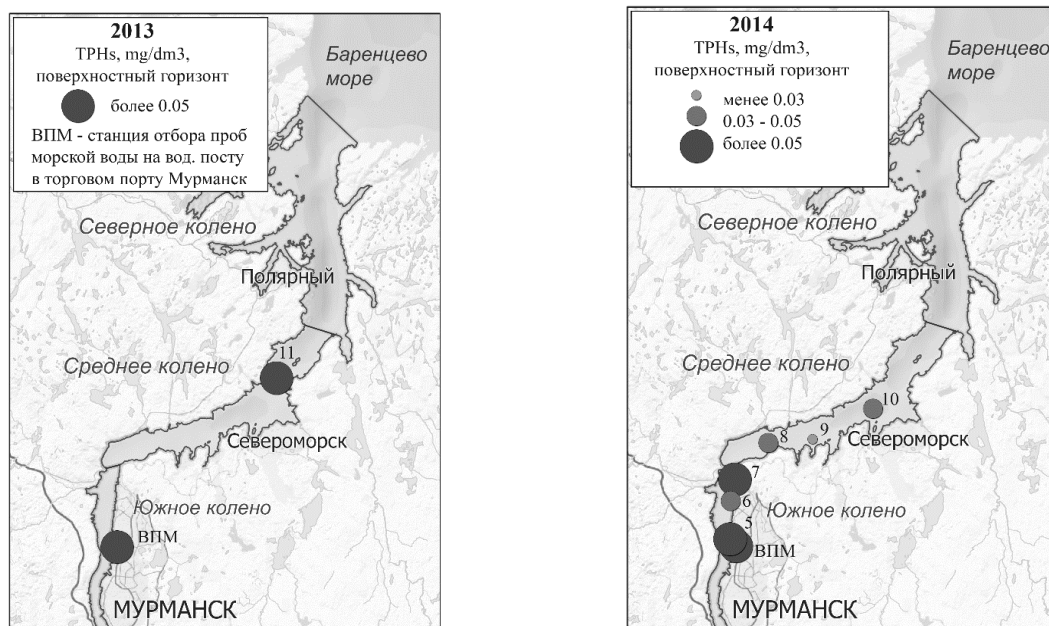


Рисунок 58. Картосхемы содержания НУ в акватории Кольского залива на станции ГСН в Южном и Среднем «коленах» (мг/дм³)

Углеводороды нефтяного ряда являются важнейшими источниками информации при геохимических исследованиях, направленных на решение многих проблем нефтегазопроисводческой геологии. Характер их распределения может также диагностировать участие эпигенетических процессов в формировании ОВ осадков.

Трудно предположить в изучаемом районе непосредственное высачивание нефти или их широкомасштабное техногенное поступление. Следовательно, должен существовать дополнительный фактор, определяющий специфику их углеводородного состава.

Таким фактором может являться газовая эманация из нижележащих толщ. Согласно механизму сипинговой миграции (England, 1987), УВ могут двигаться как отдельная фаза по порам осадочных пород и оставлять геохимический след в поверхностных осадках благодаря аккумуляции, особенно в местах газовой разгрузки. Совершенно не исключено поступление в придонные воды веществ, обладающих достаточной растворимостью, в том числе бензолов, фенолов при наличии повышенного содержания ароматических соединений в придонных водах изучаемого района.

Высокая газонасыщенность осадков изученного района четко фиксируются по данным газовой съемки. Так, в период с 25 октября по 13 ноября 2005 г. в ходе экспедиционных работ на НИС «Иван Петров» были отобраны пробы газа, которые были дегазированы непосредственно в рейсе и консервировались для дальнейшего анализа в стационарной лаборатории ФГБУ «ВНИИОкеангеология».

В пределах сводной выборки из придонно-пограничного слоя водной толщи в обстановках указанных участков по содержанию метана выделяются шесть совокупностей (рис. 59), а по содержанию метана в газовой фазе донных осадков выделяются восемь совокупностей (рис. 60). На рис. 58, 59 отмечается резкое возрастание метана и суммы гомологов, что отражает эпигенетическую составляющую в накоплении метана и суммы гомологов и может свидетельствовать о возможном наличии скоплений углеводородов нефтяного типа в разрезе осадочного чехла.

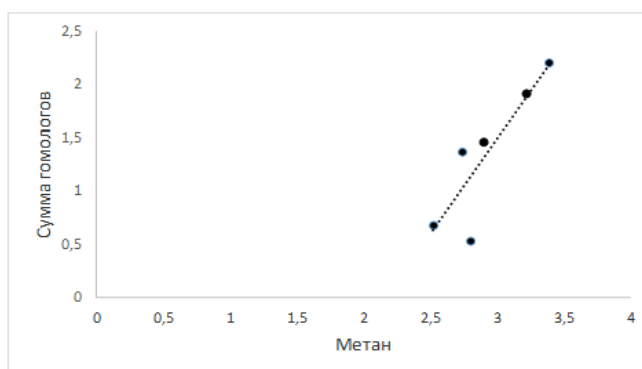


Рисунок 59. Соотношение содержания метана и суммы его гомологов в газовой фазе из придонно-пограничного слоя водной толщи (выборка номер 3 из шести совокупностей)

Примечание: коэффициент корреляции ($r = +0,87$) – значим при 0,01 уровне значимости

Результаты по оценке изменчивости геохимических параметров углеводородных газов (метана и его гомологов) показали, что в целом для всех структур наблюдается унаследованность распределений газов в осадках и придонной воде.

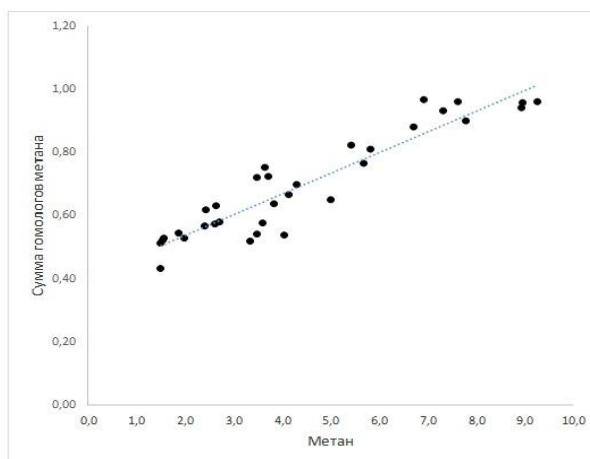


Рисунок 60. Соотношение содержания метана и суммы его гомологов в газовой фазе донных осадков (выборка номер 3 из восьми совокупностей)

Примечание: $r = + 0,92$ – значим при $0,01$ уровне значимости

Однако, следует отметить некоторое смещение газовых аномалий в придонной воде вдоль профиля относительно газовых аномалий в осадках. При анализе газовой компоненты отмечаются максимальные содержания газов в морской воде, что еще раз подчеркивает наличие повышенных содержаний газообразных углеводородов в разрезе осадочного чехла, что подтверждается и рассчитанными коэффициентами корреляции.

Исследования, проведенные на станциях ГСН в Южном, Среднем и Северном «коленах» Кольского залива, а также на станции в торговом порту г. Мурманск, показали разные значения нефтяных углеводородов в разные годы. Вопрос взаимосвязи содержания растворённых форм НУ в морской воде с газовой эманацией из осадочных пород в Кольском заливе и акватории Баренцева моря требует дальнейшего изучения.

Список литературы

Система Баренцева моря (2021) Под ред. академика А.П. Лисицына, М., ГЕОС, 672 с., ISBN 978-5-6045110-0-8.

Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2020 (2021) Под ред. Коршенко А.Н., Москва, «Наука», 230 с.

ПДК (2016) «*Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения*», Приказ министра сельского хозяйства Российской Федерации А.Н. Ткачева от 13 декабря 2016 г., № 552, 156 с.

England W.A., MacKenzie A.S.D.M. Mann, Quigley T.M. (1987) The movement and entrapment of petroleum fluids in the subsurface, *Journal of the Geological Society*, vol. 144, pp. 327-347.

СОДЕРЖАНИЕ СВИНЦА, КАДМИЯ И МЕДИ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ НА ТЕРРИТОРИЯХ БИОСФЕРНЫХ ЗАПОВЕДНИКОВ В БАССЕЙНАХ РЕК ВОЛГА И ДОН

THE CONTENT OF LEAD, CADMIUM AND COPPER IN SURFACE WATER ON THE TERRITORIES OF BIOSPHERE RESERVES IN THE VOLGA AND DON RIVERS BASINS

Алехина М.А.

Alekhina M.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Представлены результаты анализа данных мониторинга содержания микроэлементов в водах р. Волги на территории Астраханского биосферного заповедника, расположенного в её дельте, и Волжско-Камского заповедника, расположенный на левобережных террасах Волги на территории Зеленодольского района республики Татарстан, а также в водотоке реки Дон на территории Воронежского биосферного заповедника. Рассмотрена межэлементная и пространственная изменчивость концентраций кадмия, свинца, и меди в летний период.

Объектами наблюдений были: в Астраханском БЗ – протока Обжора и култук Лотосный (система рукава Бузан), в Волжско-Камском БЗ – р. Волга, в Воронежском БЗ – р. Усмань (водоток реки Дон). Средние многолетние оценки концентраций микроэлементов в поверхностных водах рассматриваемых водных объектов лежат пределах от 0,38 мкг/дм³ до 2,12 мкг/дм³ свинца, от 0,026 мкг/дм³ до 0,86 мкг/дм³ кадмия, от 1,21 мкг/дм³ до 3,1 мкг/дм³ меди.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, поверхностные воды, Астраханский биосферный заповедник, Воронежский биосферный заповедник, комплексный фоновый мониторинг, концентрации.

Abstract. The results of the analysis of data from monitoring the content of microelements in the waters of the river are presented. Volga in the territory of the Astrakhan Biosphere Reserve, located in its delta, and the Volzhsky-Kama Reserve, located on the left bank terraces of the Volga in the Zelenodolsk region of the Republic of Tatarstan, as well as in the watercourse of the Don River in the territory of the Voronezh Biosphere Reserve. The interelement and spatial variability of the concentrations of cadmium, lead, and copper in the summer is considered.

The objects of observation were: in the Astrakhan Biosphere Reserve – the Obzhora channel and the Lotosny kultuk (Buzan branch system), in the Volga-Kama Biosphere Reserve – the river. Volga, in the Voronezh Biosphere Reserve – r. Usman (watercourse of the Don River). Average long-term estimates of the concentrations of trace elements in the surface waters of the considered water bodies range from 0.38 µg/dm³ to 2.12 µg/dm³ of lead, from 0.026 µg/dm³ to 0.86 µg/dm³ of cadmium, from 1.21 µg/dm³ up to 3.1 µg/dm³ copper.

Keywords: heavy metals, surface waters, Astrakhan Biosphere Reserve, Voronezh Biosphere Reserve, integrated background monitoring, concentrations.

На особо охраняемых природных территориях (ООПТ), куда загрязняющие вещества поступают от урбанизированных территорий в результате дальнего атмосферного переноса, проводится мониторинг загрязнения объектов природных сред, в перечень которых входят поверхностные воды. На Европейской части России (ЕЧР) работает четыре станции комплексного фонового мониторинга (КФМ), располагающихся в биосферных заповедниках (БЗ). В рамках программы «КФМ» в поверхностных водах определяется содержание кадмия, свинца и меди –микроэлементов, относящихся к первому классу токсичности (Бурцева, Конькова, 2020). Пробы воды отбираются ежегодно в основные фазы гидрологического режима водного объекта. На территории Воронежского БЗ и Астраханского БЗ располагаются станции КФМ. На территории Волжского-Камского заповедника планируется открытие

станции КФМ, так как эта территория является одной из перспективных. Рекогносцировочные измерения в БЗ, проводятся в основном в летний период.

Астраханский биосферный заповедник находится в низовьях дельты Волги. На восточном участке БЗ наблюдения проводятся на протоке Обжора и култук Лотосном – водотоки системы рукава Бузан, одного из пяти основных рукавов дельты Волги. Протока имеет активный гидродинамический режим, култук – мелководный, узкий водоток с замедленным течением, впадающий в Каспийское море. Водотоки удалены от мест сброса сточных вод, большая часть русел проходит по территории АБЗ. Питание водотоков дельты Волги составляет транзитный поток, талые, грунтовые и дождевые воды.

В Волжско-Камском заповеднике протекает река Волга. Для территории, на которой расположен Волжско-Камский заповедник характерен умеренно континентальный климат с резкими колебаниями температур и выпадением осадков. Характер течения умеренный, даже медленный, так как протекает большей частью по равнинной местности. Питание преимущественно снеговое (около 60% годового стока), на долю подземного питания приходится 25%, дождевого – 15% стока. Река обладает восточноевропейским типом водного режима. В период половодья (март – июнь) проходит более 60% годового стока воды, летом и осенью – около 30%, зимой – 10%.

Воронежский биосферный заповедник расположен в лесостепной зоне ЕЧР. Здесь преобладает умеренно континентальный с резкими колебаниями температур и выпадением осадков климат. Объектом наблюдения является р. Усмань - водоток, впадающий в реку Воронеж приток р. Дон (Качество поверхностных вод..., 2022).

Усмань – река с медленным умеренным течением, протекающая по большей степени на равнинных участках с севера на юг, а затем поворачивающая на запад, северо-запад. Питание реки Усмань преимущественно снеговое. Основное питание река получает за счёт весеннего таяния снега и льда – на это отводится около 75% от общего объёма, в весенний период уровень воды достигает своего максимального подъёма. Сильное промерзание почвы способствует зимнему снегонакоплению, которое при таянии обеспечивает обильную отдачу воды. Благодаря этим условиям происходит высокое и продолжительное весеннее половодье. Со слабым промерзанием почвы и малым снегонакоплением во время зимы значительно снижает уровень воды в реке и продолжительность половодья. На грунтовое питание отводится до 20%, а на дождевое около 3-10%. Исходя из этого можно сказать, что у водотоков реки Дон питание схожее с рекой Волга (География России, 1998).

Стоит обратить внимание, что все реки с умеренным, даже медленным течением, аналогичным питанием и протекают в одном типе климата – умеренно континентальном.

В работе приведена пространственная изменчивость концентраций тяжёлых металлов в поверхностных водах трёх фоновых районов в летний период, расположенных на европейской равнине. Важно обратить внимание на то, что во время анализа данных за летний период гидрологической фазы учитывались пробы, отобранные во время межени, когда течение реки уже устоявшееся. Межень – это гидрологическая фаза водного режима реки, которая повторяется в один и тот же сезон из года в год, характеризующаяся малым количеством содержания воды в реке, длительным стоянием низкого уровня воды; возникает вследствие уменьшения водного питания реки.

Пространственная изменчивость концентраций микроэлементов представлена на рис. 61, из которого следует, что концентрации меди во всех реках стабильны и незначительно превышают 1 мкг/дм³ ПДК рыбохозяйственного значения.

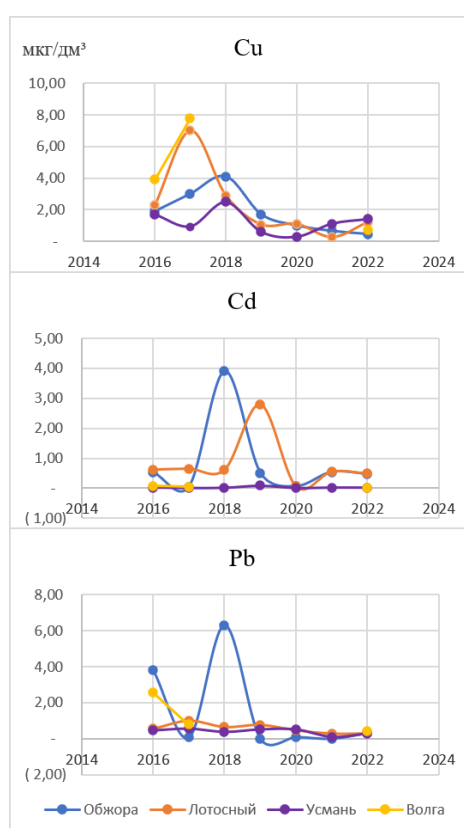


Рисунок 61. Межгодовая изменчивость концентраций в ЕЧР

Среднемноголетняя концентрация меди в летний период в реке Усмань составила 1,21 мкг/дм³, в реке Волга этот показатель равен 3,1 мкг/дм³, протока Обжора 1,83 мкг/дм³, култук Лотосный 2,26 мкг/дм³. Наименьшие концентрации кадмия отмечаются в р. Усмань и р. Волга, где среднемноголетние значения не превышают 0,13 мкг/дм³. В р. Бузан на двух участках концентрации кадмия чуть выше, но они не превышают 5 мкг/дм³ ПДК. Концентрации свинца не превышают ПДК рыбохозяйственного значения (Министерство сельского хозяйства...,

2016), наибольший показатель содержания свинца был зафиксирован в 2018 году, однако это единственное выпадающее значение, которое незначительно выше ПДК.

Анализ данных мониторинга микроэлементного состава водотоков Волги и водотоков Дон показали, что уровни концентраций рассматриваемых элементов во всех реках значительно ниже ПДК рыбохозяйственного значения, а значит, их можно квалифицировать, как «фоновые» – по свинцу и кадмию для всей Европейской равнины. По меди же во всех реках есть незначительные превышения ПДК.

Список литературы

Бурцева Л.В., Конькова Е.С. (2020) Оценка загрязнения атмосферы медью в фоновых районах Европы, *Проблемы экологического мониторинга и моделирование экосистем*, т. XXXI, № 1-2, с. 14-33.

Качество поверхностных вод Российской Федерации. Ежегодник (2021) под ред. М. М. Трофимчука, Ростов н/Д., Росгидромет, ФГБУ «Гидрохимический институт», 561 с.

Министерство сельского хозяйства российской федерации. Приказ от 13 декабря 2016 года № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения».

География России: энц. (1998) Под ред. А.П. Горкина., Большая Российская Энциклопедия, М., 799 с.

**ПОДХОДЫ К СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ МЕТОДОЛОГИИ АЛЬГОИНДИКАЦИИ
КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД СУШИ**
**APPROACHES TO IMPROVING THE METHODOLOGY OF ALGOINDICATION OF
LAND SURFACE WATER QUALITY**

Бакаева Е.Н.^{1),2)}, Аль-Гиззи М.А.Б.³⁾

Bakaeva, E. N.^{1),2)}, Al-Gizzi M.A.B.³⁾

¹⁾ФГБУ «Гидрохимический институт» Россия, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

²⁾Институт водных проблем РАН, Гидрохимический отдел Россия, 344090, Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

³⁾Колледж наук, Университет Ти-Кар, Ирак, Ти-Кар

Аннотация. Расширены возможности гидробиологического мониторинга качества вод. Усовершенствована методология альгоиндикации качества поверхностных вод суши. В основу положен мультиметрический индекс биотической целостности фитопланктона P-IBI. Разработана шкала качества вод для нижнего участка реки Дон. Выделено 5 классов. По данным исследований 20019-2020 годов качество воды нижнего участка р.Дон по P-IBI было равномерным по течению реки. Особенно «плохое» - в летний сезон, в каждый сезон - ниже водосбросов городов Ростов-на-Дону, Азов, ниже впадения р. Темерник. Применение метода P-IBI позволит рационально использовать имеющуюся обширную базу фитопланктона по водным объектам России и получать более адекватную гидробиологическую информацию о качестве вод.

Ключевые слова: альгоиндикация, фитопланктон, альгоценозы, качество воды, мультиметрический индекс биотической ценности фитопланктона P-IBI.

Abstract. The possibilities of hydrobiological monitoring of water quality have been expanded. The methodology of algoindication of terrestrial surface water quality has been improved. It is based on the multimetric phytoplankton biotic integrity index P-IBI. A water quality scale for the lower section of the Don River was developed. Five classes were identified. Water quality of the lower section of the Don River according to P-IBI was uniform along the river. Especially "bad" - in the summer season, below the spillways of the cities of Rostov-on-Don, Azov, below the confluence of the Temernik River. The use of the P-IBI method will make it possible to rationally use the existing extensive phytoplankton database on Russian water bodies and obtain more adequate hydrobiological information about water quality.

Keywords: algoindication, phytoplankton, algalocenoses, water quality, multimetric index of biotic value of phytoplankton P-IBI.

При оценивании качества поверхностных вод важно знать, в первую очередь, потенциал возможностей самовосстановления водных экосистем. Максимально достоверную информацию о качестве водной среды позволяет получить только структурно-видовой состав ценозов водных экосистем, получаемый соответствующими гидробиологическими методами. Биологический контроль, основанный на системе биоиндикации по фитопланктону, позволяющий оценивать состояние водных объектов с использованием свойств и прямых измерений естественных альгоценозов данной экосистемы – альгоиндикация.

К настоящему времени разработано достаточно много индексов по данным гидробиоценозов, основанных, как правило, на количестве видов и численности: биоразнообразия Шеннона-Уивера (H), выравненности по Пиелу (E), доминирования по Симпсону (C), богатства Маргалефа (D), сапробности (S), коэффициенту таксономического сходства Сёренсена (K_s). Наиболее широкое применение нашёл индекс сапробности, по которому проводят итоговую оценку качества вод (Руководство, 1992). Однако в этом случае оценивается только воздействие разлагающегося органического вещества.

В практике мониторинга качества вод по гидробиологическим показателям, к сожалению, отсутствует оценка по мультиметрическим индексам биотической целостности (IBI), основанных на ряде показателей ценозов, а не только по обнаруженным видам-индикаторам сапробности. В практике западных стран мультиметрические индексы все чаще встречаются в качестве инструментов управления ресурсами и экосистемами и часто являются более надежными, чем показатели их компонентов (Lacouture et al., 2006).

Впервые разработанный нами мультиметрический индекс биотической целостности фитопланктона P-IBI для устьевого участка реки Дон включает ряд показателей альгоценозов: плотность, биомассу индекс богатства Маргалефа *D* и относительную численность (RA) отделов Bacillariophyta, Chlorophyta, Cyanophyta, Euglenophyta. Данные для индекса P-IBI получены в ходе исследований 17-ти створов реки Дон в течение весны, лета и осени 2019-2020 г.г. Индекс P-IBI рассчитывали по формуле (Kane, 2004). Значения показателей были преобразованы в баллы в соответствии со шкалой 3, 5 и 10 (Astin, 2007). Расчёт P-IBI для нашего района исследования проводили на основе ретроспективных данных «Ежегодников качества вод по гидробиологическим показателям» 1985-1987 годов и профессионального анализа согласно ЕРА (2006). Степени качества воды по значениям P-IBI, рассчитанные нами для р. Дон представлены в табл. 28 (Bakaeva, Al-Gizzi, 2020).

Таблица 28. Степени качества воды по значениям индекса биотической целостности фитопланктона P-IBI, рассчитанные для р. Дон

Степень качества воды	Значения P-IBI
Отличное (Excellent)	<82
Хорошее (Good)	72-82
Удовлетворительное (Fair)	56-72
Плохое (Poor)	56-30
Очень плохое (Very poor)	>30

Изучение качества воды проведены в нижнем течении реки Дон в пределах городов Ростов-на-Дону и Азов в 2019-2020 гг. в разные сезоны в 17 створах, используемых в системе наблюдений Росгидромета. Оценка качества воды по P-IBI проводили согласно рассчитанным для р. Дон значениям (табл. 28). За восемь месяцев исследований в 2019 г. по значениям индекса P-IBI качество воды было в пределах удовлетворительной и плохой оценки практически в каждом створе, кроме глубокого горизонта ниже х. Колузаево и поверхностного горизонта ниже азовского водосброса. Вода в этих двух створах была плохого качества за весь период наблюдений.

Створов с водой удовлетворительного качества по P-IBI за восемь месяцев исследований в 2019 г. было незначительно. В те или иные месяцы удовлетворительное качество воды было зафиксировано в 15-ти створах. Так, в створах выше и в районе ростовского водозабора, обоих

горизонтах после впадения р. Темерник вода характеризовалась удовлетворительным качеством в весенние месяцы и в начале лета. Осенью в створах после ростовского водосброса в сентябре и октябре, а в глубоком горизонте в ноябре отмечена вода удовлетворительного качества. Вода глубокого горизонта после впадения р. Темерник была удовлетворительного качества и весной, и осенью. В створах после азовского водосброса, ниже х. Колузаево в октябре и в районе азовского водозабора в ноябре вода также была удовлетворительного качества. Исключительно плохое качество воды за весь период исследований отмечено в глубоком горизонте ниже х. Колузаево и поверхностном горизонте ниже водосброса г. Азов.

В 2020 г. качество воды по Р-ІВІ было более равномерным и по створам, и по месяцам. За пятимесячный период исследований оценивалось как плохое практически во всех створах. Только на уровне ростовского и азовского водозаборов, в глубоком горизонте выше х. Дугино вода характеризовалась удовлетворительной оценкой.

Важно отметить, что удовлетворительное качество воды по Р-ІВІ выявлено в районе водозабора г. Ростов-на-Дону в весенние месяцы (апрель, май) 2019 года. На ниже расположенных створах (глубокий горизонт после впадения реки Темерник, створы после водосброса) удовлетворительное качество воды было выявлено в сентябре. В октябре уже на более продолжительном участке р. Дон от створов после впадения р. Темерник до створа ниже х. Колузаево качество воды характеризовалось как удовлетворительное. По низким значениям Р-ІВІ у городов Ростов-на-Дону и Азов вода оценивалась как плохая. Но у г. Ростов-на-Дону большее количество проб соответствовало удовлетворительной оценке. Таким образом, качество воды нижнего течения р. Дон по Р-ІВІ было практически равномерным по течению. Оценивалось преимущественно как плохое в оба года исследований в летний сезон, четко выраженное в обоих горизонтах створа после впадения р. Темерник, ниже водосбросов у городов Ростов-на-Дону и Азов.

Удовлетворительное качество воды отмечено мозаично, как по створам, так и по времени исследований. В 2019 г. только 7,2% проб воды было с удовлетворительным качеством, в 2020 г. – всего 5,1%. Но к осени значения Р-ІВІ возрастали, однако качество воды оставалось плохим. Ухудшение качества воды в летние месяцы может быть связано с увеличением количества сине-зеленых водорослей, доля которых составляла от 7,14 до 87,75%. Кроме того, плохое качество воды, вероятно, связано с общим загрязнением, поступающим в р. Дон в его нижнем течении с верховьев.

Качество воды нижнего течения р. Дон по Р-ІВІ было практически равномерным по течению. Оценивалось преимущественно как плохое в оба года исследований для всех участков нижнего течения р. Дон в летний сезон, четко выраженное в обоих горизонтах створа после впадения р. Темерник, ниже водосбросов у городов Ростов-на-Дону и Азов.

Одновременно проведенный сапробиологический анализ по фитопланктону выявил высокий уровень загрязнённости воды IV класса качества (грязная, полисапробная) только в осенний сезон. Больше количество створов с IV классом качества воды обнаружено у г. Ростов-на-Дону и в створах после водосбросов. Больше всего створов (пять) с IV классом качества по сапробности воды выявлено у г. Ростов-на-Дону. На участке х. Колузаево - х. Дугино обнаружено три, у г. Азов – всего один. Наиболее загрязнена органикой вода осенью и на участке у г. Ростов-на-Дону.

Таким образом, мультиметрический индекс целостности фитопланктона P-IBI дает более детальную и адекватную картину качества воды во все сезоны, чем индекс сапробности S, поскольку основан на большом количестве показателей состояния фитопланктона, а не только на видах-индикаторах сапробности, отражающих загрязнение воды исключительно разлагающимся органическим веществом.

Предложенный подход позволит получать более полноценную и адекватную гидробиологическую информацию о качестве воды и конструктивно использовать накопленную обширную базу данных фитопланктона.

Список литературы

Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем (1992) Под ред. В.А. Абакумова, СПб, Гидрометеиздат, 318 с.

Astin L.E. (2007) Developing Biological Indicators from Diverse Data: the Potomac Basin-Wild index of Benthic Integrity (B-IBI), *Ecological Indicators*, vol. 7, no. 4, pp. 895-908.

Bakaeva E.N., Al-Gizzi M.A.B., Aljanabi Z.Z. (2021) Using of index Biological Integrity of Phytoplankton (P-IBI) in the assessment of water quality in Don River section, *Baghdad Science Journal*, vol. 18, no. 1, pp. 87-96, doi: 10.21123/bsj.2021.18.1.0087.

Kane D.D. (2004) *The Development of Planktonic Index of Biotic Integrity for Lake Erie*, Ph. D. Dissertation, Ohio State University, 277 p.

Lacouture R., Johnson J., Buchanan C., Marshall H. (2006) Phytoplankton index of biotic integrity for Chesapeake Bay and its tidal tributaries, *Estuaries and Coasts*, vol. 29, pp. 598-616.

**О ПРОБЛЕМАХ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ВОДНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИИ
ON PROBLEMS OF STRATEGIC DEVELOPMENT OF WATER ECONOMY IN RUSSIA**

Болгов М.В.

Bolgov M.V.

ФГБУН Институт водных проблем РАН
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Аннотация. Рассматриваются основные проблемы и задачи стратегического управления развитием водохозяйственного комплекса Российской Федерации. Обсуждается необходимость создания Генеральной Схемы водного хозяйства РФ.

Ключевые слова: Водная Стратегия, водохозяйственный комплекс, управление, нормативно-правовое регулирование, программно-целевой подход, Генеральная схема.

Abstract. The main problems and tasks of strategic management of the development of the water management complex of the Russian Federation are considered. The necessity of creating the General Scheme of the RF Water Management is discussed.

Keywords: Water Strategy, water management complex, management, legal regulation, program-target approach, General scheme.

Документы стратегического планирования (Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года, ФЦП «Развитие водохозяйственного комплекса РФ», госпрограммы субъектов РФ), регулировавшие вопросы использования водных ресурсов и снижения негативного воздействия вод, являлись основой планирования и функционирования водохозяйственного комплекса, однако последующий анализ показал, что в этих документах не в полной мере были взаимосвязаны показатели, мероприятия и ожидаемые результаты, что не способствовало определению четких ориентиров и механизмов достижения стратегических целей и задач.

Изменяющиеся условия нормативно-правового регулирования и государственного управления в стране в целом, обуславливают необходимость переработки документов, определяющих задачи стратегического планирования отрасли и разработки новых форм, обеспечивающих программную реализацию поставленных задач, таких, например, как Генеральная Схема использования водных ресурсов РФ, содержащую Программу развития ВХК РФ на перспективу от 10 до 50 лет.

Современная Стратегия развития ВХК РФ должна разрабатываться на основе законодательных актов, определяющих стратегическое развитие РФ, результатов анализа Стратегий развития отраслей экономики РФ, использующих и потребляющих водные ресурсы, схем территориального развития страны, имеющихся плановых оценок в Схемах комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО), программ работы ведомств, осуществляющих надзор в сфере водопользования, мониторинг и прогноз состояния водной среды.

В целом разработка обновленной Водной стратегии должна основываться на возможностях прогнозирования развития экономики РФ с учетом роли водных ресурсов, как ведущего регионального ресурсного фактора, либо сдерживающего развитие производительных сил региона, либо обеспечивающего региональное (территориальное) развитие. Таким образом, статус Водной стратегии РФ должен быть определен как основной рамочный документ, определяющий направления развития Водохозяйственного комплекса, содержащий предложения по комплексу финансово-экономических, организационно – структурных, нормативно-правовых и научно-технических мероприятий, направленных на сохранение водных ресурсов, снижение негативного воздействия вод, гарантированное водообеспечение отраслей экономики. Основным способом работы является системный подход, декларирующий и обеспечивающий разработку документов стратегического развития отрасли, обеспечивающих согласование процессов функционирования ВХК на уровне стратегического управления отраслью с процессами на уровне структур управления водными ресурсами.

Рассмотрим тезисно основные проблемные вопросы, на которые необходимо ответить при актуализации Водной Стратегии РФ в соответствии с новыми подходами к созданию подобного рода документов.

1. Прежде всего, необходимо определение статуса Водной стратегии как рамочного документа межотраслевого согласования подходов к решению водных проблем. Основной вопрос – какова роль водного хозяйства: является ли водное хозяйство самостоятельной отраслью экономики, имеющей свои цели развития, или занимается «обслуживанием» интересов других отраслей, потребляющих водные ресурсы.

2. Основная задача (основной этап) программно-целевого подхода – это определение целей. Иерархия целей на разных уровнях управления позволяет разрабатывать программы. Необходимо прописать дерево целей и выполнить анализ существующих и предлагаемых целевых показателей разных уровней на предмет соответствия целям управления отраслью (достижимость, чрезмерная обобщенность, недостаточная чувствительность).

3. Экономика водопользования должна явиться источником новых возможностей развития механизмов управления отраслью. В существенной мере прогресс водохозяйственной деятельности будет определяться вводом платного водопользования для всех, созданием целевых водных фондов, введением рентных платежей и пр.

Как сделать более привлекательными инвестиции в водной отрасли?

4. В качестве обоснования использования водных ресурсов сегодня используются норматив допустимого воздействия (НДВ) и норматив допустимого сброса (НДС), основывающиеся на предельно допустимых концентрациях загрязняющих веществ в водных

объектах (ПДК). Необходимы оценки так называемого «экологического» стока, а также в целом принципы экологического управления водно-ресурсными системами.

5. Системы мониторинга состояния водной среды являются необходимым источником информации при принятии решений в области управления водными ресурсами. Сегодня система сбора данных о состоянии водных объектов распределена между различными ведомствами и характеризуется недостаточной открытостью. Собираемые показатели, по составу, часто недостаточны для понимания и оценки последствий принимаемых управленческих решений, надежность поступающих данных не всегда достаточна для целей оценивания состояния водного объекта и прогнозирования с требуемой для эффективного управления заблаговременностью. Непрерывно сокращается наблюдательная сеть Росгидромета, являющаяся основным источником сведений о состоянии водных ресурсов РФ. Вывод о недостаточности информационного обеспечения решения водохозяйственных задач не нов, но существенного прогресса в области его совершенствования в последние годы не наблюдается. Развитие систем сбора, передачи и хранения гидрометеорологической и водохозяйственной информации является необходимым условием развития отрасли.

6. В настоящее время основным документом стратегического управления в водной отрасли являются Схемы комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО). Однако статус этих схем не определен в той мере, в которой можно говорить о финансово-ресурсном обеспечении заявленных в них мероприятий. Они (схемы) являются, по сути, полезным источником информации о существовавших на момент их разработки проблемах и возможных решениях. Необходим документ стратегического планирования, основывающийся на понимании доступных ресурсов (природных, финансовых, организационно-управленческих, кадровых и др.) и имеющий статус более высокого уровня стратегического планирования, чем СКИОВО, и позволяющий согласовывать проблемы и интересы не только ближайших регионов. В качестве такого документа может выступать Генеральная Схема РФ как **проектная составляющая** Водной стратегии РФ.

7. Управление водохозяйственным комплексом РФ в условиях наблюдаемых и вероятных изменений климата требует адаптации методов управления и самой структуры ВХК. Какова стратегия адаптации: пересматриваем методы и подходы к управлению и пересчитываем все Правила управления водными ресурсами для всех водохранилищ с учетом климатических изменений, или ограничиваемся мероприятиями по обеспечению безопасности сооружений с учетом больших ошибок долгосрочного прогнозирования?

Механизмы адаптации должны разрабатываться и для потребителей водных ресурсов!

8. Оценка современного состояния водных ресурсов РФ выполняется на основе данных, поступающих с наблюдательной сети (мониторинга). При этом необходима оценка состояния

самой системы гидрологического мониторинга и ее развитие в свете новых задач, важнейшей из которых является выявление происходящих изменений и вероятностный прогноз стока на обозримое будущее. Важнейшей задачей является актуализация имеющегося справочного материала (Ресурсы поверхностных вод, гидрологические ежегодники, материалы балансовых исследований) для практических нужд.

Статья подготовлена на основе результатов, полученных в рамках Государственного задания ИВП РАН. Шифр темы: FMWZ-2022-0001.

**ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ УДЕЛЬНОГО ПОТОКА И ОЦЕНКИ ЭМИССИИ
МЕТАНА С ПОВЕРХНОСТИ ВОДОХРАНИЛИЩ
PROBLEMS OF MEASUREMENT OF METHANE SPECIFIC FLUX AND
ESTIMATION OF EMISSION FROM THE SURFACE OF RESERVOIRS**

Гречушникова М.Г.¹⁾, Казанцев В.С.²⁾

Grechushnikova M.G.¹⁾, Kazantsev V.S.²⁾

¹⁾ ФГБОУ «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»

Россия, 119991, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ имени М.В.Ломоносова, Географический факультет

²⁾ ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова Россия, 109017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

Аннотация. В работе рассмотрены методические вопросы определения пространственно-временной изменчивости содержания и удельного потока метана с поверхности разнотипных водохранилищ. Предложен способ оценки эмиссии метана для неизученных водохранилищ РФ по материалам фактических наблюдений.

Ключевые слова: метан, водохранилища, донные отложения, температура воды, макрофиты, трофический статус, кислород.

Abstract. The paper deals with methodological issues of determining the spatial and temporal variability of methane content and specific methane flux from the surface of different types of reservoirs. The method of methane emission estimation for unstudied reservoirs of the Russian Federation based on actual observations is proposed.

Keywords: methane, reservoirs, bottom sediments, water temperature, macrophytes, trophic status, oxygen.

Искусственные водоемы являются не только источниками воды для водоснабжения, выработки электроэнергии, хранилищами органического и неорганического вещества автохтонного и аллохтонного происхождения, но значимыми и источниками метана. Одна из современных обобщающих работ по оценке внутригодовой изменчивости удельного потока метана с водохранилищ различных природных зон (Johnson et al., 2021) содержит сведения о характерных среднемесячных значениях удельного потока (УП) метана (его диффузионной и пузырьковой составляющей) на основе обобщения проведенных ранее полевых измерений. Первичные данные использованных полевых измерений имеют значительный разброс. Зависимости УП метана от определяющих его факторов (температура поверхности донных отложений, температура воды, воздуха, содержание кислорода в поверхностном слое) имеют низкий коэффициент корреляции из-за многофакторности процесса. Многолетние исследования в центральном районе Можайского водохранилища (рис. 62) показали, что, несмотря на общую тенденцию увеличения УП метана в летний период из-за прогревания придонного слоя, увеличения поступления детрита, аноксии, снижения уровня в водохранилища, там не менее его величина сильно зависит от гидрологической структуры водоема в каждом конкретном году, которую определяют погодные условия и режим сработки воды.

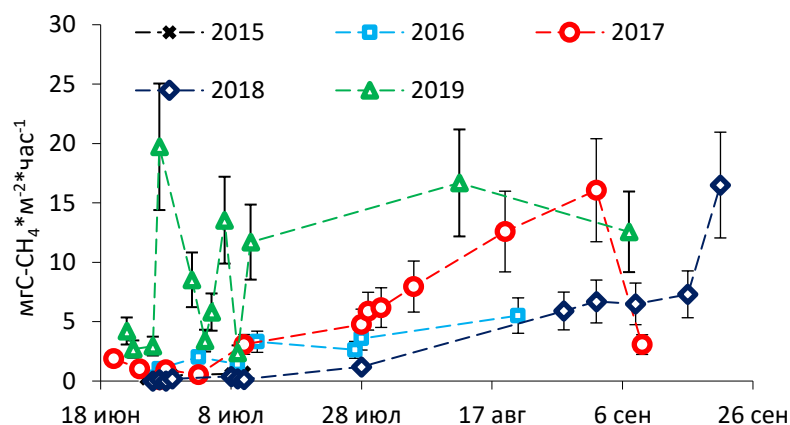


Рисунок 62. Удельный поток метана в атмосферу в центральном районе Можайского водохранилища по данным измерений «плавающими камерами»

Помимо временной изменчивости для водохранилищ характерны значительные пространственные изменения УП метана, связанные с особенностями строения их котловин и различиями накопления и состава донных отложений. Вопросы метаногенеза в донных отложениях и выделения метана в воду исследованы для водохранилищ Волго-Камского каскада, результат опубликованы в трудах А.Н. Дзюбана (Дзюбан, 2010). Наименьшая скорость метаногенеза характерна для песков и глинистых грунтов речных участков, бедных органическим веществом, а максимальная – для осадков загрязняемых зон. Подход к интегральной оценке эмиссии метана, предложенный в (Johnson et al., 2021), не учитывает пространственную дифференциацию донных отложений в водоемах, а также их проточность. Проведенное сравнение измеренных авторами значений УП метана на различных водохранилищах умеренной зоны РФ, показало значительные отличия фактических значений от теоретических обобщенных (Гречушникова, Кравчук, 2022). Между тем большинство искусственных водоемов РФ относится именно к умеренной зоне. Следует отметить, что внутрисуточные изменения УП метана (Siczko et al., 2020), а также УП с зарослей макрофитов сравнительно мало изучены. Причем по данным исследований макрофиты могут, как увеличивать, так и уменьшать величину удельного потока (Fonseca et al., 2017).

На основе данных собственных измерений УП метана в разные фазы гидрологического режима на разнотипных водохранилищах РФ авторы предложили подход для его параметризации. Основная идея состоит в определении максимальных значений УП для групп водохранилищ, разделенных по признаку глубоководности. Глубина водоема и его морфологических частей оказывает значительное влияние на термический, кислородный и, в итоге, гидроэкологический режим. Горные водохранилища обычно глубоководны (с максимальными глубинами более 30 м), олиготрофны или мезотрофны, хорошо аэрированы,

что также определяет режим УП метана с их поверхности. Равнинные водохранилища обычно мелководны, их глубина не превышает 30-35 м, у крупнейших обычно меньше. Это обуславливает прогревание придонных слоев (Готлиб, 1976) и более активный метаногенез. Водосборы равнинных водохранилищ более освоены и подвержены загрязнению (промышленность, сельское хозяйство, урбанизация), поэтому эти водоемы чаще имеют мезотрофный или евтрофный статус (Эдельштейн, 1998). Горные и равнинные водохранилища различаются и по составу донных отложений. Для вторичных грунтов водоемов равнинных территорий характерно большее содержание органического вещества (ОВ) (Садчиков, Кудряшов, 2004) в илах из-за большей трофности и большего притока ОВ с водосбора. Локальные исключения для водоемов горных территорий могут иметь место при затоплении заболоченных участков или притока воды в водоем с заболоченных территорий. Столь значимый фактор, как водообмен при обобщении полученных результатов, имеет второстепенную роль, поскольку в водохранилищах сезонного регулирования в периоды с жаркой погодой удельный поток метана сопоставим с малопроточными водохранилищами (Bastviken et al., 2010).

Измерения УП потока метана производились авторами на всех водоемах, материалы которых использованы для работы, по единой методике. Определение концентрации метана в пробах воды производилось методом «headspace» (Bastviken et al., 2010). Измерение УП метана в атмосферу производилось методом плавучих камер (Bastviken et al., 2004). Содержание метана в отобранных пробах определялось в ЛПГ ИФА РАН на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором Хроматэк-Кристалл 5000.2, согласно (Руководящий документ, 2015).

Полученные данные сгруппированы в соответствии с характерными для водоемов горными или равнинными условиями. Для оценки максимальных значений УП метана с глубоководных (горных) (рис. 63) и мелководных (равнинных) (рис. 64) водохранилищ использованы огибающие, которые описываются степенной или экспоненциальной зависимостью.

В группе глубоководных водохранилищ значения максимального УА метана в период наличия стратификации и ее отсутствия различаются незначительно, а в группе мелководных водохранилищ эти значения различаются на порядок. Это означает, что ошибка определения средней годовой величины эмиссии метана в этой более многочисленной для РФ группе водоемов может быть больше. На рис. 64 видно, что для мелководных водохранилищ имеет место неопределенность значений УП для интервала глубин менее 10 м. Это связано с разнонаправленным действием факторов его формирования. Во-первых, чем меньше глубина, тем больше вероятность перемешивания водной толщи до дна, окисления метана и снижения

его потока. Во-вторых, мелководные участки могут зарастать, и в период стратификации литораль может давать довольно значительный вклад в эмиссию. В-третьих, в водоемах с большой амплитудой колебаний уровня воды или активной абразией берегов участки с песчаными отложениями или заиленным песком могут занимать значительную площадь периферии. Поэтому для точной оценки эмиссии с водоема необходимо иметь представление о состоянии его мелководий и о распределении типов донных отложений. При отсутствии данных грунтовой съемки можно воспользоваться методом аналогии и принять распределение грунта в соответствии с морфологией затопленной долины, считая, что наибольшее содержание ОВ характерно для илов русловой ложбины, в зоне выше УМО и в зоне переменного подпора или на участках с большой проточностью преобладают заиленные пески, а затопленная пойма имеет промежуточные значения ОВ.

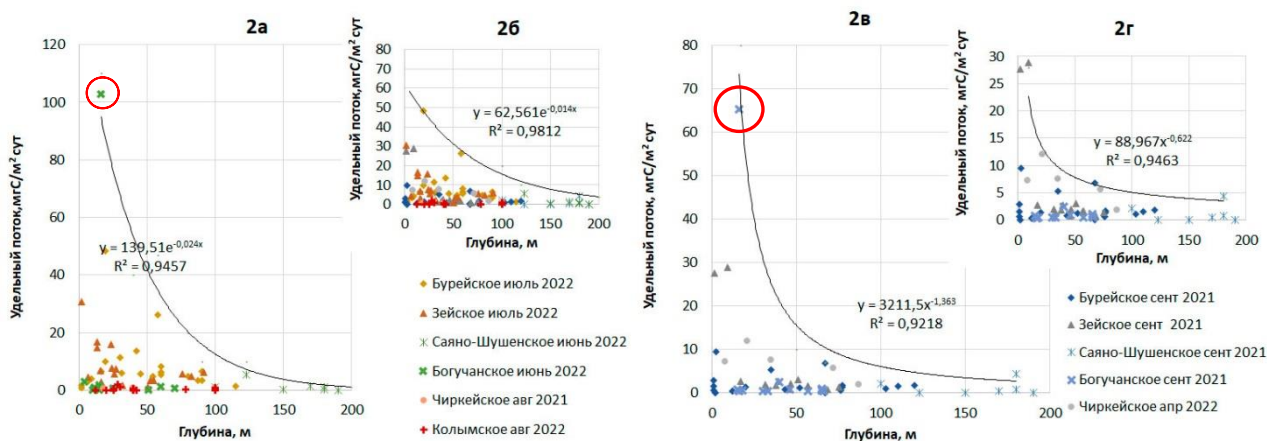


Рисунок 63. Зависимость УП метана от глубины с районов глубоководных водохранилищ а – в периоды стратификации, в – при отсутствии стратификации, б и г – без учета локального максимума в Ковинском плесе Богучанского водохранилища (затопленное болото)

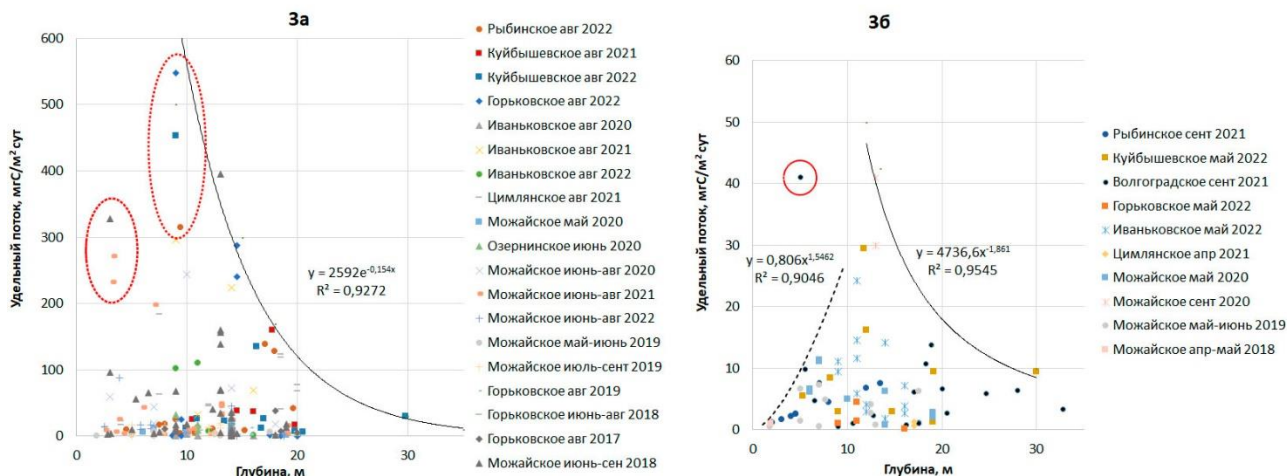


Рисунок 64. Зависимость УП метана с районов мелководных водохранилищ разной глубины а – в периоды стратификации, б – при отсутствии стратификации (промаркировано значение УП в Камышинском заливе Волгоградского вдхр., связанное с загрязнением)

Глубина может косвенно характеризовать условия осадконакопления в центральных и приплотинных районах долинных водохранилищ. Речные участки чаще имеют песчаные

отложения с минимальным значением удельного потока. Поэтому для детальной оценки эмиссии водоем необходимо районировать. Для грубых оценок достаточно воспользоваться зависимостью УП от средней глубины водоема. Для мелководных водохранилищ для интервала глубин более 10 м в период стратификации и при ее отсутствии предлагается использовать огибающие для оценки максимальных значений УП. Для периода стратификации при глубине менее 10 м для интервалов 0-5 м и 5-10 м использовать средние или максимальные значения УП для обведенных полей точек на рис. 64а.

Работа выполнена в рамках темы АААА-А16-116032810054-3 «Гидрологический режим водных объектов суши в условиях изменения климата и антропогенного воздействия». Полевые работы на водохранилищах ПАО Русгидро выполнены при поддержке проекта 1010-416-2021 от 26.04.2021.

Авторы благодарят коллег – сотрудников Географического факультета МГУ, НИВЦ МГУ, ФГБУ ГОИН, ИФА РАН, ИВП РАН, проводивших полевые работы: Репину И.А., Ломова В.А., Фролову Н.Л., Агафонову С.Н., Горина С.Л., Терского П.Н., Степаненко В.М., Василенко А.Н., Григорьева В.Ю., Лисину А.А., Ломова В.А., Мишина Д.В., Сазонова А.А., Соколова Д.И., Тимошенко А.А., Ломову Д.В.

Список литературы

Готлиб Я.Л. (1976) *Тепловой режим водохранилищ гидроэлектростанций*, Л., Гидрометеиздат, 203 с.

Гречушников М.Г., Кравчук М.В. (2022) Сравнение результатов натуральных измерений эмиссии метана с разнотипных водохранилищ РФ с данными Global Maps of Methane Emissions, *Всероссийская конференция, посвященная памяти академика А.М.Обухова "Турбулентность, динамика атмосферы и климата"...*, с. 118.

Гречушников М.Г. и др. (2023) Пространственно-временные различия гидроэкологических характеристик Ивановского водохранилища в годы с различными погодными условиями, *Водные ресурсы*, т. 50, № 1, с. 81-89.

Дзюбан А.Н. (2010) *Деструкция органического вещества и цикл метана в донных отложениях внутренних водоемов*, Ярославль, Принтхаус, 174 с.

Руководящий документ (2015) *Массовая концентрация метана и диоксида углерода в приземном слое атмосферного воздуха. Методика измерений методом газовой хроматографии*, РД 52.44.816-2015.

Садчиков А.П., Кудряшов М.А. (2004) *Экология прибрежно-водной растительности*, М.: Изд-во НИИ-Природа, РЭФИИ, 220 с.

Эдельштейн К.К. (1998) *Водохранилища России: экологические проблемы, пути их решения*, М., ГЕОС, 277 с.

Bastviken D., Santoro A., Marotta H. (2010) Methane emissions from Pantanal, South America, during the low water season: toward more comprehensive sampling, *Environmental Science and Technology*, 44(14), pp. 5450-5455.

Bastviken D. et al. (2004) Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate, *Global Biogeochemical Cycles*, 18, doi:10.1029/2004GB002238.

Fonseca A.L. dos S., Marinho C.C., Esteves F. de A. (2017) Floating Aquatic Macrophytes decrease the methane concentration in the water column of a tropical coastal lagoon: implications for methane oxidation and emission, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 60, URL: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-2017160381>.

Johnson M.S., Matthews E., Bastviken D. et al. (2021) Spatiotemporal methane emission from global reservoirs, *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, vol. 126(8), pp. 1-19.

Sieczko A.K., Duc N.T., Schenk J., Pajala G., Rudberg D., Sawakuchi H. (2020) Diel variability of methane emissions from lakes, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, pp. 21488-21494.

ДИНАМИКА БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ЛИТОРАЛЬНОЙ ЗОНЕ ОЗЕРА

БАЙКАЛ

DYNAMICS OF BIOGENIC ELEMENTS IN THE LITTORAL ZONE OF LAKE BAIKAL

Домышева В.М., Сакирко М.В.

Domysheva V.M., Sakirko M.V.

Федеральное государственное учреждение науки Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033 г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. На основе многолетних регулярных наблюдений определена суточная, сезонная динамика концентрации кремния, минерального и общего азота и фосфора, проведена оценка их межгодовых изменений в литорали озера Байкал за последние 20 лет. Показано, что в суточном ходе минерального азота и фосфора устойчиво проявляются ночной максимум и послеобеденный минимум концентрации, а для сезонной динамики характерно снижение концентрации в периоды подледного развития фитопланктона в марте-апреле и летней вегетации водорослей в августе-сентябре. Анализ межгодовых вариаций выявил значительный тренд снижения концентрации кремния и разнонаправленные незначительные тенденции изменения содержания фосфатов и нитратов.

Ключевые слова: Байкал, литораль, фосфор, нитраты, кремний, суточная, сезонная, межгодовая динамика.

Abstract. On the basis of long-term regular observations, the daily and seasonal dynamics of silicon, mineral and total nitrogen and phosphorus concentrations were determined and their interannual changes in the littoral of Lake Baikal for the last 20 years were evaluated. It is shown that the daily course of mineral nitrogen and phosphorus has stable nighttime maximum and afternoon minimum concentrations, and the seasonal dynamics is characterized by a decrease in concentration during the periods of phytoplankton subglacial development in March-April and summer vegetation of algae in August-September. Analysis of interannual variations revealed a significant trend of silicon concentration decrease and multidirectional insignificant trends of phosphate and nitrate content change.

Keywords: Baikal, littoral, phosphorus, nitrates, silicon, daily, seasonal, interannual dynamics.

Прибрежная зона по существу является экологическим барьером между водоразделом и основной акваторией озера и выполняет преобразующую функцию, существенно влияющую на функционирование всей экосистемы водоема. Литораль оз. Байкал занимает около 7 % акватории (Фиалков, 1977а), здесь формируется своеобразный гидрологический режим. Волны и колебания уровня в прибрежной зоне оказывают гораздо большее влияние, чем в пелагиали, а суточные и сезонные изменения температуры воды более контрастны (Фиалков, 1977б; Шимараев, Куимова, 1977). Литораль отличается большим биоразнообразием, и, несмотря на меньшую площадь, ее первичная продукция вносит ощутимый вклад в общую продукцию озера (Бондаренко, Логачева, 2016). Воздействие антропогенных факторов, в виде поступления биогенных и органических веществ, негативно сказывается не только на качестве вод байкальской литорали (Томберг и др., 2012), но и приводит к локальным изменениям биотопов (Kravtsova, et al., 2021).

Исследования проведены на западном берегу южной котловины оз. Байкал в районе поселка Большие Коты. Для определения суточной динамики биогенных элементов измерения осуществлялись с интервалом 3-4 часа циклами в 10-14 дней в разные сезоны 2003-2023 гг. (ежегодно по 3-4 цикла), пробы воды отбирались на расстоянии 30 м от уреза воды, глубина в месте отбора 2,5-3 м. В 2020 г. проведен ежедневный отбор проб с июня по октябрь, в ноябре

и декабре с интервалом 2-7 дней, в 2021 году - с конца мая по ноябрь с интервалом 2-3 дня в 60 м от уреза воды, глубина в месте отбора около 5 м. Определения биогенных элементов выполнено по общепринятым в гидрохимии методам анализа (ГОСТ 18309-2014 (А, Г), ГОСТ 33045-2014 (Д), РД 52.24.381-2017, РД 52.24.383-2018, РД 52.24.433-2018, РД 52.24.532-2016).

Исследования в литорали Южного Байкала показали, что концентрация биогенных элементов низкая. Средние значения суточного хода минерального азота и фосфора представлены на рис. 165. Как видим, практически в каждом сезоне наблюдается ночной максимум и послеобеденный минимум концентраций. Значительные суточные изменения концентрации этих компонентов наблюдались в июне. В августе, когда активно развивалась водная растительность, четкого суточного хода биогенных элементов из-за их низких концентраций не отмечено. В зимний период (декабрь, февраль) суточные вариации содержания биогенных элементов небольшие вследствие слабого развития фитопланктона в это время. Следует отметить, что во время всех измерений содержание нитритного и аммонийного азота в большинстве случаев была ниже предела их определения.

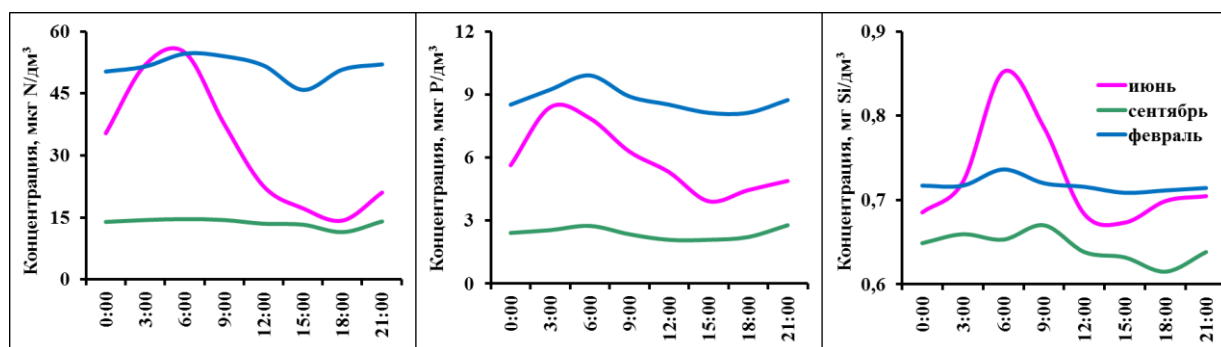


Рисунок 65. Суточный ход концентрации кремния, минерального азота и фосфора в литорали Байкала, 2010 г.

Сезонные изменения концентрации биогенных элементов наиболее ярко выражены для минерального азота и фосфора (рис. 66) и характеризуются минимумом в фазы подледной (март-апрель) и летней (август-сентябрь) вегетации водорослей.

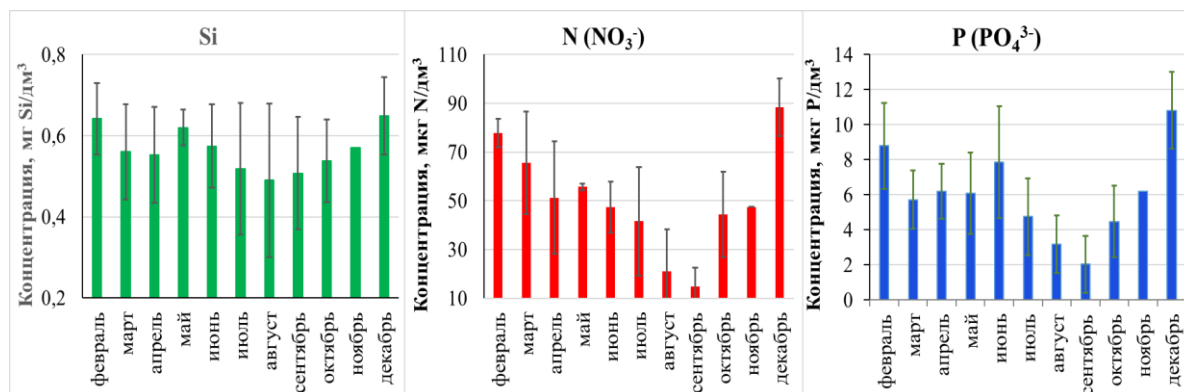


Рисунок 66. Сезонные изменения концентрации кремния, минерального азота и фосфора (средние значения и СКО) в литорали Байкала, 2003-2023 гг.

Во время интенсивного развития фитопланктона доля минеральных форм азота и фосфора в их общем содержании минимальна (0-35%), в остальное время составляет 60-80% (рис. 67). Поступление воды с пелагиали во время штормов приводило к заметному увеличению общего азота и фосфора, в основном, за счет их минеральных форм.

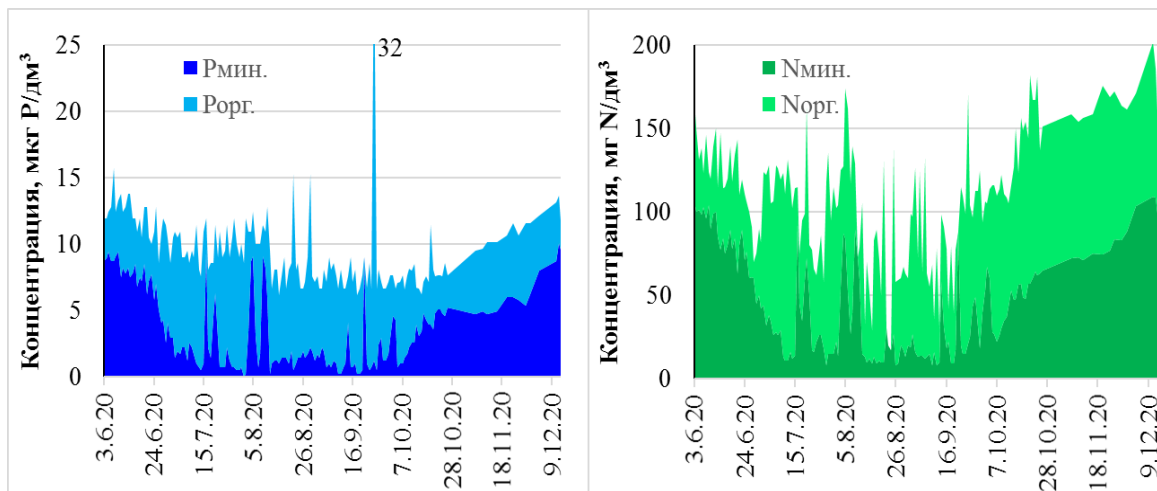


Рисунок 67. Концентрации минеральных и органических форм азота и фосфора в прибрежной зоне оз. Байкал в 2020 г.

Для оценки возможных долговременных изменений, которые регулируются сложным комплексом процессов и в определенной степени изменениями регионального климата, а в прибрежной зоне и возможными антропогенными воздействиями, на рис. 68 представлены средние значения концентраций в каждом цикле измерений 2003-2023 гг. Обратим внимание на значительный тренд падения концентрации кремния. Причиной такого снижения послужило как уменьшение годового стока реки Селенги (Синюкович, Чернышов, 2017), несмотря на высокие концентрации кремния в притоке (Sorokovikova et al., 2019), так и высокая продуктивность диатомового фитопланктона в 2014 г.

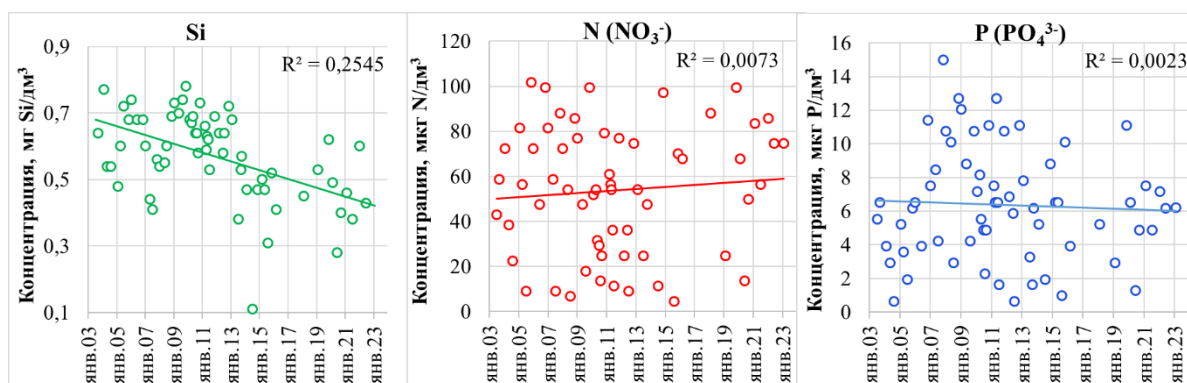


Рисунок 68. Многолетняя динамика концентрации кремния, минерального азота и фосфора в литорали Байкала, 2003-2023 гг.

сплошная линия – величина достоверности аппроксимации

Выявленные разнонаправленные незначительные тренды изменения концентрации минерального азота и фосфора, несомненно, требуют продолжения детальных регулярных исследований. В тоже время, можно предполагать, что на фоне большой амплитуды межгодовых вариаций отмеченные тенденции, по-видимому, могут свидетельствовать об отсутствии в экосистеме Байкала каких-либо заметных процессов, которые могли бы быть связаны с наблюдающимся в настоящее время глобальными изменениями.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ЛИН СО РАН (№121032300199-9 и 121032300224-8).

Список литературы

Бондаренко Н.А., Логачева Н.Ф. (2016) Структурные изменения в фитопланктоне прибрежной зоны озера Байкал, *Гидробиологический журнал*, т. 52, № 6, с. 17-26.

Синюкович В.Н., Чернышов М.С. (2017) О трансформации расчетных характеристик годового и максимального стока главных притоков оз. Байкал, *Водные ресурсы*, т. 44, № 3, с. 256-263, doi: 10.7868/S0321059617030178.

Томберг И.В., Сакирко М.В., Домышева В.М., Сезько Н.П., Лопатина И.Н., Башенхаева Н.В., Филевич Е.А., Куликова Н.Н., Попова О.В., Мальник В.В., Лухнев А.Г., Зайцева Е.П., Потапская Н.В., Зверева Ю.М., Тимошкин О.А. (2012) Первые сведения о химическом составе интерстициальных вод заплесковой зоны озера Байкал, *Известия ИГУ. Биология. Экология*, т. 5, № 3, с. 64-74.

Фиалков В.В. (1977б) Колебания уровня и гидрологический режим мелководных районов, *Лимнология прибрежно-соровой зоны Байкала*, Новосибирск, Наука, с. 66-82.

Фиалков В.В. (1977а) Особенности течений в мелководной части района, *Течения в Байкале*, Новосибирск, Наука, с. 108-116.

Шимараев М.А., Куимова Л.Н. (1977) Особенности температурного режима заливов и соров, *Лимнология прибрежно-соровой зоны Байкала*, Новосибирск, Наука, с. 82-90.

Kravtsova L.S., Vorobyeva S.S., Naumova E.A., Izhboldina L.A., Mincheva E.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Onicshuk N.A., Sakirko M.V. (2021) Response of aquatic organism's communities to global climate changes and anthropogenic impact: Evidence from Listvennichny bay of Lake Baikal, *Biology*, vol. 10, no. 9, pp. 1-22, doi.org/10.3390/biology10090904.

Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Sinyukovich V.N., Molozhnikova E.V., Khodzher T.V. (2019) Low water level in the Selenga River and reduction of silica input to Lake Baikal, *Inland Waters*, vol. 9, no. 4, pp. 464-470, doi: 10.1080/20442041.2019.1580078.

**МОРСКИЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РОСГИДРОМЕТА В АРКТИЧЕСКИХ
МОРЯХ В РАЙОНАХ ШТАТНОГО И АВАРИЙНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ
РАДИАЦИОННО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ
MARINE SCIENTIFIC RESEARCH BY ROSHYDROMET IN THE ARCTIC SEAS
IN THE REGIONS OF REGULAR AND EMERGENCY FLOODING OF RADIATION
HAZARDOUS OBJECTS**

Епифанов А.О., Артемьев Г.Б., Каткова М.Н., Уваров А.Д., Карцева А.И., Тарасенко А.О. ¹⁾,

В.А. Реклайдис, Цветкова В.С., Соломатов А.С., Ершова А.С. ²⁾

Erifanov A.O., Artemev G.B., Katkova M.N., Uvarov A.D., Kartseva A.I., Tarasenko A.O. ¹⁾,

V.A. Reklaidis, Tsvetkova V.S., Solomatov A.S., Ershova A.S. ²⁾

¹⁾ ФГБУ «НПО «Тайфун»

Россия, 249038, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Победы, 4

²⁾ ФГБУ «Северное УГМС»

Россия, 163020, г. Архангельск, ул. Маяковского, 2

Аннотация. Цель работы – в работе представлен обзор результатов морских научных исследований, которые ведут специалисты Росгидромета в рамках одного из направлений государственной программы РФ "Охрана окружающей среды", которое предусматривает проведение мониторинга радиоактивного загрязнения окружающей среды Арктической зоны РФ в местах затопленных и затонувших атомных подводных лодок (АПЛ), а так же других объектов с отработавшим ядерным топливом (ОЯТ) и радиоактивными отходами (РАО). На основе лабораторного анализа образцов, полученных в ходе экспедиций, идёт формирование базы данных и карт-схем современной радиоэкологической обстановки исследуемых районов.

Ключевые слова: радиационный мониторинг, Арктика, радиоактивные отходы, затонувшие АПЛ, Северный морской путь.

Abstract. The purpose of the work is to present an overview of the results of marine scientific research conducted by Roshydromet specialists as part of one of the directions of the state program of the Russian Federation "Environmental Protection", which provides for monitoring of radioactive contamination of the environment of the Arctic zone of the Russian Federation in places of sunken and sunken nuclear submarines (NPS), as well as other facilities with spent nuclear fuel (SNF) and radioactive waste (RW). On the basis of laboratory analysis of samples obtained during the expeditions, a database and maps of the current radioecological situation in the studied areas are being formed.

Keywords: radiation monitoring, Arctic, radioactive waste, sunken nuclear submarines, Northern Sea Route.

Для выполнения задач по мониторингу радиоактивного загрязнения окружающей среды Арктической зоны РФ в местах затопленных и затонувших АПЛ, а так же других объектов с ОЯТ и РАО, Росгидромет силами ФГБУ «НПО «Тайфун» и ФГБУ «Северное УГМС» в период с 2020 по 2023 год провёл четыре морские научные экспедиции в районы Баренцева, Карского и Норвежского морей, где находятся такие РОО, как АПЛ К-159, АПЛ К-27 и АПЛ «Комсомолец» (см. рис. 69). Основными задачами экспедиций был сбор информации для изучения уровней техногенных радионуклидов в исследуемых районах, в том числе Cs-137, Sr-90, Pu-239+240, в морской воде, донных отложениях и биоте. Воду также анализировали на содержание Н-3.

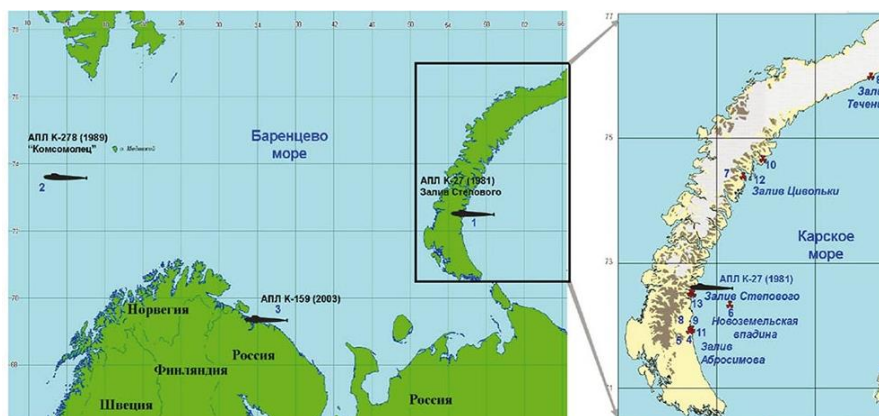


Рисунок 69. Основные районы с РОО в Баренцевом, Карском и Норвежском морях (Саркисов и др., 2015)

В 2020 году состоялась экспедиция на НИС «Иван Петров» по радиационному мониторингу залива Степового и Литке на архипелаге Новая Земля, а также района п. Амдерма на побережье Карского моря. В заливе Степового были затоплены АПЛ К-27, а также контейнеры, содержащие радиоактивные отходы (Саркисов и др., 2015). Работы в Карском море также были продолжены и в 2021 году и были ориентированы на оценку фоновых уровней загрязнений в открытом море. В целом результаты анализа донных отложений и морской воды в районе залива Степового соответствовали ранее полученным данным.

Задачей проводимых исследований также является формирование базы данных и карт-схем современной радиозэкологической обстановки исследуемых районов. Примеры оформления карт-схем для уровней загрязнения Cs-137 в поверхностном слое донных отложений, полученные по данным исследований 2020-2021 года с помощью программного средства AutoGrid, разработанного в ФГБУ «НПО «Тайфун», представлены на рис. 70. Характерные значения неопределённостей измерений удельной активности Cs-137 в донных отложениях были в диапазоне от 15 до 40% (для $P=0,95$). Более подробная информация по организации и результатам этих экспедиций представлена в (Артемьев и др., 2022).

Экспедиция в район гибели АПЛ «Комсомолец» в Норвежском море проходила с 18 мая по 5 июня 2021 года. Основной целью был сбор данных о состоянии морской среды для оценки возможных последствий ее загрязнения радиоактивными продуктами, находящимися на борту АПЛ «Комсомолец». При планировании учитывались как российские данные (Саркисов и др., 2015), так и данные норвежской экспедиции 2019 года по обследованию непосредственно АПЛ «Комсомолец» (Hilde et al., 2019).

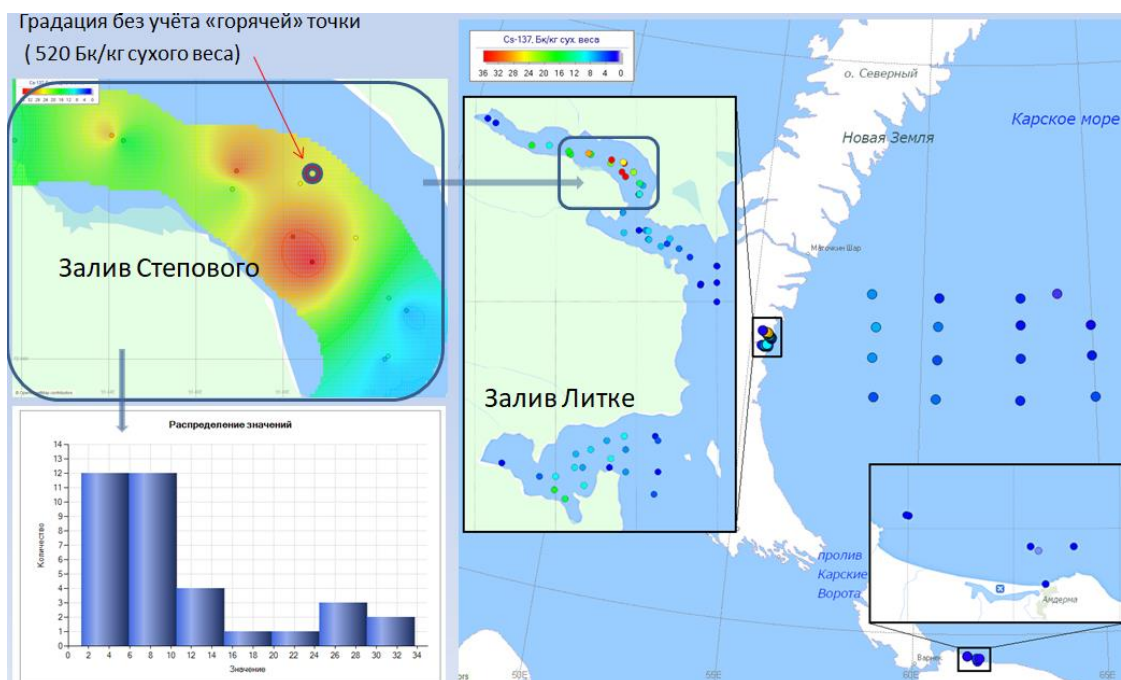


Рисунок 70. Карта-схема уровней загрязнений Cs-137 в поверхностном слое донных отложений, полученная по данным исследований 2020-2021 гг.

Результаты лабораторного анализа морской воды указывают, что основная часть Cs-137 содержалась в фильтрате, значения незначительно отличались для различных горизонтов и составили от 0,2 до 0,8 Бк/м³. Значения Sr-90 в фильтрате составили от 0,8 до 1,6 Бк/м³. В поверхностных донных отложениях содержание Cs-137 и Sr-90 в пробах составило от 0,1 до 1,9 и от 0,2 до 1,0 Бк/кг соответственно. В целом, указанные результаты согласуются с данными, полученными ранее как для района обследования, так и для более широкой области Норвежского моря (Justin et al., 2018). Более подробная информация по организации и результатам экспедиции представлена в (Карцева и др., 2022).

Заключительная экспедиция в рамках выполнения программы проходила весной 2023 года в районе западнее о. Кильдин, где в ходе транспортировки к месту утилизации затонула АПЛ К-159 (Б-159) (Саркисов и др., 2020). Дополнительно в качестве фоновых районов были обследованы районы населённых пунктов Дальние Зеленцы и Териберка.

В экспедиции проводились работы по отбору проб поверхностной воды, воды с горизонта 60 метров, придонной воды, и разделение их на растворимые и взвешенные составляющие. Выполнен отбор проб поверхностного слоя донных отложений, а также отобраны послойные пробы. Были организованы две высадки на материке напротив о. Кильдин и в п.Териберка для отбора проб биоты. Также выполнялись работы по STD-зондированию воды, дозиметрическому контролю отобранных образцов и гамма-спектрометрическому экспресс-анализу выборочных проб, с применением портативного полупроводникового гамма-спектрометра высокого энергетического разрешения TransSPEC.

Измерения мощности амбиентного эквивалента дозы от образцов, а также пробоотборного оборудования, не выявили значений, превышающих величину радиационного фона, в районе выполнения работ (не более 0,10 мкЗв/ч). Гамма-спектрометрический экспресс-анализ обеспечивал значение минимально детектируемой активности от 5 Бк/кг по Cs-137 и не выявил значений удельной активности в пробах выше указанной. Образцы были направлены в ФГБУ «НПО «Тайфун» для дальнейшего анализа в условиях лаборатории.

На текущий момент, по экспертным оценкам, АПЛ К-159 требует принятия безотлагательных мер, так как лежит на дне у входа в Кольский залив, в самом начале Северного морского пути, на пересечении оживленных судоходных маршрутов и содержит в себе примерно треть всей радиоактивности, затопленной в Баренцевом и Карском морях. Кроме того, эта АПЛ не была подготовлена к затоплению, а затонула на глубине свыше 250 м в результате аварии при транспортировке, ударившись о дно, что повышает риск разгерметизации защитных барьеров (Саркисов и др., 2020). Будет ли организован подъём АПЛ К-159, либо, с учётом сложившихся условий, разумнее оставить её на месте затопления, по мнению экспертов станет понятно в ближайшие 2-3 года. Однако и в том и другом случае населению, проживающему в близлежащих районах, государственным органам, научным институтам будет необходима информация для оценки воздействия загрязнений, которые потенциально будут поступать при различных вариантах обращения с АПЛ К-159, на окружающую среду.

Здесь, можно отметить, что с 2006 по 2021 г. район Териберки ежегодно обследовался специалистами ФГБУ «НПО «Тайфун», который являлся ведущим институтом со стороны России в рамках совместной российско-норвежской программы сотрудничества по радиационному мониторингу северных территорий. Пробы морской среды (вода, донные отложения, водоросли, рыба) из района Териберки являлись, в том числе, одним из «маркеров» состояния АПЛ К-159. Дополнительно в программе также был предусмотрен ежегодный отбор проб поверхностной воды и донных отложений в районе затопления АПЛ К-159, который выполняли специалисты «ПИНРО» им. Н.М. Книповича в ходе своих морских исследований. Результаты работ представлены в (Jensen et al., 2020). Более подробно предложения по организации планового прибрежного радиационного мониторинга в районах населённых пунктов Териберка и Дальние Зеленцы были представлены в 2023 г. как идея в направлении «Национальная экологическая инициатива» на интернет площадке форума «Сильные идеи для нового времени».

На данный момент результаты измерений на наличие техногенных радионуклидов в указанных выше районах, как при измерениях на месте работ, так и при анализе образцов, отобранных в 2020-2021 году в Карском и Норвежском морях, в условиях лаборатории не

указывают на значительные поступления от затопленных и затонувших объектов. Тем не менее для анализа динамики радиационной обстановки в подобных районах необходим регулярный мониторинг. Правильно выбранная периодичность и организация работ по мониторингу в таких районах позволит предоставлять актуальную информацию о радиоэкологической обстановке населению, органам власти и другим заинтересованным сторонам что может быть особенно важно с учётом обсуждения планов по подъёму АПЛ К-27 и АПЛ К-159 со дна Карского и Баренцева морей.

Список литературы

Артемьев Г.Б., Епифанов А.О., Каткова М.Н., и др. (2022) Мониторинг радиационной обстановки заливов Степового, Литке и прибрежной зоны в районе п. Амдерма в 2020-2021 г., *Материалы международной конференции «Будущее атомной энергетики – Atom Future 2022., XVIII Международная научно-практическая конференция, Обнинск, 28-29 ноября 2022 г.*, Обнинск, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 164 с.

Карцева А.И., Артемьев Г.Б., Епифанов А.О., и др. (2022) Мониторинг радиационной обстановки заливов в районе затопления АПЛ «Комсомолец» в 2021 году, *Материалы международной конференции «Будущее атомной энергетики – Atom Future 2022, XVIII Международная научно-практическая конференция, Обнинск, 28-29 ноября 2022 г.*, Обнинск, ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 193 с.

Саркисов А.А., Антипов С.В., Высоцкий В.Л. и др. (2020) Реабилитация арктической акватории от затопленных ядерно и радиационно опасных объектов – актуальная задача развития Арктики, *Морской вестник*, № 1 (14), с. 116-120.

Саркисов А.А., Сивинцев Ю.В., Высоцкий В.Л. и др. (2015) Атомное наследие холодной войны на дне Арктики, *Радиоэкологические и технико-экономические проблемы радиационной реабилитации морей*, ИБРАЭ РАН, М., 699 с.

Hilde Elise Heldal, Justin Gwynn, Hans-Christian Teien et al. (2019) *Cruise report: Investigation of the marine environment around the nuclear submarine “Komsomolets” 6-10 July 2019*, URL: https://www.hi.no/resources/Toktrapport-Komsomolets-ver_FINAL.pdf.

Gwynn Justin P., Heldal Hilde Elise, Flo Janita K. et al. (2018) Norwegian monitoring (1990-2015) of the marine environment around the sunken nuclear submarine Komsomolets, *Journal of Environmental Radioactivity*, vol. 182, pp. 52-62.

Jensen Louise K., Heldal Hilde Elise, Katkova Margarita et al. (2020) Radioactive contamination, *ICES, 2020, Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR)*, Vol. 2, Issue 30, pp. 193-206.

ОПАСНЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ НА РЕКАХ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ КРЫМА

Ефимова М.А.

Efimova M.A.

ФГБУ «Государственный гидрологический институт»
Россия, 199053, Санкт-Петербург, В.О., 2 линия, д. 23

Аннотация. Цель работы - анализ и оценка произошедших опасных гидрологических явлений на реках Черноморского побережья Крыма.

Ключевые слова: опасные гидрологические явления, высшие уровни воды, низшие уровни воды, наводнение, маловодье.

Abstract. The purpose of the work is to analyze and evaluate past dangerous hydrological phenomena on the rivers of the Black Sea coast of Crimea.

Keywords: dangerous hydrological phenomena, higher water levels, lower water levels, flood, water shortage.

Обеспечение защищенности прибрежных территорий и населения от негативного воздействия вод, является одной из приоритетных стратегических целей, определённых Водной стратегией Российской Федерации (Водная стратегия..., 2009). В рамках достижения указанной цели система предупреждения и оповещения об опасных гидрологических явлениях (ОГЯ), действующая в Росгидромете, направлена на уменьшение потерь отраслям экономики и жизнедеятельности населения. Критерии ОГЯ устанавливаются межрегиональными территориальными управлениями по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (УГМС) по согласованию с местными органами государственной власти, заинтересованными ведомствами и организациями на основе анализа данных многолетних гидрологических наблюдений с учётом местных природно-климатических условий и особенностей размещения населённых пунктов, объектов экономики и инфраструктуры, водозаборных сооружений, а также произошедших ранее негативных последствий (РД 52.04.563-202, 2018). При достижении этих отметок, такие явления, как наводнение или маловодье становятся опасными и возникает угроза безопасности людей, а также объектам экономики.

На Черноморском побережье Крыма основными опасными гидрологическими явлениями являются наводнение и маловодье.

В качестве исходных данных были использованы материалы наблюдений по высшим и низшим уровням воды на 27 гидрологических постах, расположенных на реках Черноморского побережья Крыма, на 27 из которых установлены отметки критического уровня воды для наводнений и на 3 для маловодий.

Наводнения. Опасность повышения уровня воды в реках определяется не только высотой подъема, но и расположением населенных пунктов, объектов экономики и инфраструктуры на прибрежных территориях в районе гидрологического поста, на котором производятся

наблюдения за водным режимом. Оценка категории опасности производилась с учетом сведений, представленных в (СП 115.13330.2016, 2018; СП 482.1325800.2020, 2018). Выделено 4 категории опасных наводнений в зависимости от обеспеченности высшего уровня воды в период наводнения и его превышения критической отметки.

Ниже на примере р. Отуз – пгт Щебетовка рассмотрен использованный в расчетах методический подход. На рис. 71 представлен хронологический график высших в году уровней воды за период 1937-2020 гг., в течение которого уровни, соответствующие критерию ОГЯ, были превышены 21 раз. Высший уровень воды, который составил 380 см, наблюдался в 1948 году во время паводка. Вероятность превышения этого уровня составила 2.3%. По кривой обеспеченности высших в году уровней воды была определена обеспеченность отметки критического уровня ОГЯ, которая составила 20.5%.



Рисунок 71. Хронологический график хода высших уровней воды на р. Отуз - пгт Щебетовка за 1937-2020 гг.

В период с 1970 по 2020 гг., когда большинство гидрологических постов уже работали, было зафиксировано 51 наводнение с превышением отметки ОГЯ. На рис. 72 приведены данные о ежегодном количестве гидрологических постов, на которых наблюдалось превышение критических уровней.

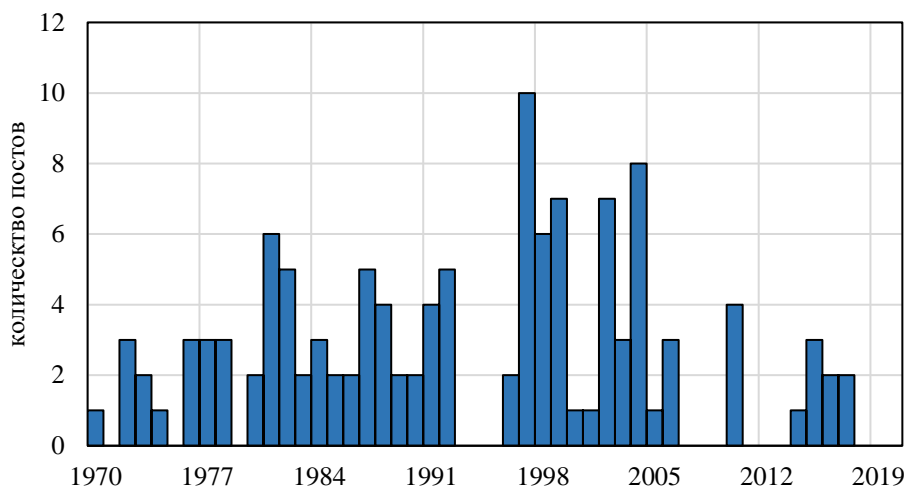


Рисунок 72. Ежегодное количество гидрологических постов на реках Черноморского побережья Крыма, на которых наблюдалось превышение уровней воды, соответствующих критериям опасного гидрологического явления

Из рис. 72 видно, что за рассматриваемый период наблюдений выделяются годы, когда превышение отметки ОГЯ не наблюдались, а в последние десятилетия количество наводнений уменьшилось. Выполненные исследования позволили выделить гидрологические посты с наиболее высокой повторяемостью превышения отметки ОГЯ, представленные в табл. 29.

Таблица 29. Гидрологические посты с высокой повторяемостью превышения отметки опасного гидрологического явления

код	река-пост	Период наблюдений, годы	Н, см	П, %
81580	р. Кача - с. Баштановка	1970-2020	32	18%
81581	р. Кача - с. Суворово	1936-2020	22	17%
81593	р. Бельбек - с. Фруктовое	1963-2020	156	19%
81693	р. Таракташ - г. Судак	1981-2020	19	42%
81694	р. Отуз - пгт Щебетовка	1937-2020	83	23%
81697	руч. Кизилташский - пгт Щебетовка	1970-2020	209	53%
81717	р. Су-Индол - с. Тополёвка	1970-2020	178	25%
81745	р. Бурульча - с. Межгорье	1964-2020	166	20%
81757	р. Кучук-Карасу - с. Богатое	1969-2020	248	19%
81767	р. Тонас - г. Белогорск	1945-2020	149	43%

Примечание. П - повторяемость лет с превышением критерия ОГЯ; Н - превышение уровня над отметкой ОГЯ

Повторяемость лет с превышением отметки ОГЯ для этих постов составляет 17-53%. Так на руч. Кизилташский – пгт Щебетовка превышение отметки ОГЯ происходит в среднем раз в два года.

Маловодье. Критерием опасных маловодий является низкий уровень воды и пересыхание рек, при котором нарушается работа водозаборных сооружений. В результате анализа исходных рядов, были выделены годы, когда уровень воды был ниже критической отметки ОГЯ, рассчитаны обеспеченные значения низших наблюдаемых уровней, рассчитаны

обеспеченные значения критерия ОГЯ, определена обеспеченность низшего уровня воды за период наблюдений и категория его опасности.

На рис. 73 представлен хронологический график низших в году уровней воды на р. Салгир – с. Пионерское за период 1955-2020 гг., в течение которого понижение уровня воды соответствующему критерию ОГЯ, наблюдалось 43 раза. Низший уровень воды, который наблюдался в 1957 г. составил 68 см, его обеспеченность составила 93,8%. С использованием кривой обеспеченности низших уровней воды определено, что обеспеченность уровня ОГЯ составила 20%.



Рисунок 73. Хронологический график хода низших уровней воды на р. Салгир – с. Пионерское за 1955-2020 гг.

В течение последних 50 лет понижение уровня ниже критического значения наблюдается на всех рассматриваемых гидрологических постах. Наибольшее количество лет с опасными гидрологическими явлениями наблюдается на р. Альма – выше вдхр. Партизанское и р. Салгир – с. Пионерское.

По категории опасности маловодья по показаниям повторяемости лет понижения уровней ниже критического значения, к категории весьма опасных относится р. Альма – выше вдхр. Партизанское, умеренно опасных – р. Салгир - с. Пионерское и опасных – р. Черная – с. Родниковское.

Список литературы

Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 года (2009) Утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 27.08.2009 № 1235-р.

РД 52.04.563-202 (2018) *Инструкция. Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения*, СПб, Гидрометиздат, 27 с.

СП 115.13330.2016 (2018) *«Геофизика опасных природных воздействий»*, М., Стандартинформ, 43 с.

СП 482.1325800.2020 (2018) *Инженерно-гидрометеорологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ*, М., Стандартинформ, 46 с.

ОЦЕНКА РЕЧНОГО СТОКА ОСНОВНЫХ ИОНОВ С ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК В РАЙОНАХ МОНИТОРИНГА EANET В РОССИИ

EVALUATION OF MAJOR IONS RUNOFF FROM SMALL WATERSHEDS OF EANET INLAND AQUATIC MONITORING IN RUSSIA

Жигачева Е.С.¹⁾, Громов С.А.¹⁾²⁾

Zhigacheva E.S.¹⁾, Gromov S.A.¹⁾²⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

Аннотация. На территории России по программе Сети кислотных выпадений в Восточной Азии (EANET) ведется мониторинг химического состава поверхностных вод двух рек: Переемная и Комаровка в разных регионах. Отбор гидрохимических проб проводится четыре или пять раз в год в соответствии с основными фазами гидрологических режимов. Для Комаровки по данным речного стока и концентраций веществ были рассчитаны сезонные и годовые выносы основных ионов, соединений серы и азота. Для расчётов были использованы два вида аппроксимации, результаты сопоставления которых представлены в работе. Для реки Переемной из-за отсутствия гидрологических наблюдений были рассмотрены варианты использования данных об объемах речного стока рек-аналогов этого региона.

Ключевые слова: русловой сток, поверхностные воды, малые водосборы.

Abstract: Under the program of the Acid Deposition Network in East Asia (EANET) the chemical ionic composition of surface waters of two rivers has been monitored in different regions of Russia: the Pereemnaya River and the Komarovka River. Hydrochemical sampling at river sites is carried out four or five times a year in accordance with the main phases of hydrological regimes. For Komarovka, using the data of stream water runoff discharge and concentrations of components, seasonal and annual discharge of the major ions, sulfur and nitrogen compounds were calculated. For the calculations, two types of approximation were used, the results of which are compared in the work. For PRM, due to the lack of hydrological observations, possibilities of using data on the volumes of river runoff discharge from analogue rivers from the same region were considered.

Key words: stream water discharge, surface water, small watersheds.

Ряд исследований показывает, что в последнее время вынос с речным стоком закисляющих соединений может превышать объемы их поступления с сухими и влажными выпадениями из атмосферы на площадь водосборов. Например, для соединений серы (сульфаты и диоксид серы) такая ситуация показана в публикациях из Европы, Северной Америки, Японии (Vuorenmaa et al., 2017; Mitchell et al., 2013; Sase et al., 2019), а также в России (Zhigacheva et al., 2022). Обычно такое расхождение наблюдается для экосистем водосборов, находящихся в процессе восстановления после предыдущего этапа избыточных кислотных выпадений, когда закисляющие компоненты мобилизуются из внутренних источников водосбора (почва, горные породы, растительность и пр.) и выносятся с речным стоком.

Как результат избыточного выноса, поверхностные воды оказываются подвергнутыми процессу дополнительного закисления даже в условиях снижения уровней выбросов и выпадений закисляющих веществ на территории. Процессам мобилизации и выщелачивания

также может подвергаться азот. Для территорий Восточной Азии азот (особенно в форме нитратов) играет даже более важную роль, чем сульфаты. При этом соединения азота могут не снижать рН поверхностных вод, но приводить к еще одному последствию кислотных выпадений – эвтрофикации водоемов.

В Азиатской части России, по программе Сети кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ) ведется мониторинг химического состояния двух рек, находящихся в разных географических и климатических условиях: реки Переемная (ПРМ), притока озера Байкал в Восточной Сибири и реки Комаровки (КМР) в Приморском крае Дальнего Востока.

Отбор проб для химического анализа проводится четыре (ПРМ) или пять (КМР) раз в год в соответствии с основными фазами гидрологических режимов. Для каждого из случаев отборов, в лабораториях Лимнологического института РАН, г. Иркутск и Приморского Центра мониторинга загрязнения окружающей среды, г. Владивосток проводят химические анализы на рН, электропроводность, концентрацию основных ионов и ряд сопутствующих параметров.

Чтобы определить, насколько поверхностные воды отражают загрязнение сухих и влажных выпадений, а какая часть загрязняющих веществ была вымыта с водосбора, необходимо проводить сравнение объемов входящих и выходящих потоков (т.н. материальный баланс веществ). Одним из составляющих компонентов данного баланса является русловой сток загрязняющих веществ. Вынос веществ с поверхностными водами рассчитывается как (1):

$$F = Q * C * t, (1)$$

где F – поток выноса вещества; Q – расход поверхностных вол; C – концентрация изучаемого вещества; t – период расчета.

Одним из стандартных методов решения вопроса заполнения данных между периодами пробоотборов является т. н. метод интерполяции (или интервал-репрезентативный метод), когда значения выносов и концентраций веществ принимаются как средние между периодами отбора (Likens, Vormann, 1995). Но данный метод будет вносить тем большую ошибку, чем больше времени проходит между пробоотборами. В случае р. Комаровка и р. Переемная, где отборы проб проводятся 5 и 4 раза в год, соответственно, ошибка определения будет особо заметна.

Другой возможный метод – построение графика и уравнений зависимости концентраций веществ от значений расходов воды и дальнейшее их применения на ежедневные данные расходов, представленный в литературе как L-Q метод (Ide et al, 2007).

L-Q метод для расчетов по КМР был использован для годов, для которых имелись данные по ежедневным расходам, полученные с гидропоста «Центральный» (Приморский край), расположенного в нескольких метрах ниже по течению от точки отбора.

Уравнение, полученное из данных наблюдений, для расчета выносов для веществ имеет форму (2) (Ide et al., 2007):

$$L = aQ^b \quad (2)$$

где L – поток выноса; Q – значение дневного расхода воды; a , b – рассчитанные коэффициенты (при помощи экспоненциальной регрессии в MS Excel).

При расчетах для Комаровки значимой разницы между рядами значений, полученных двумя методами, не получено. Тем не менее, значения, получаемые при применении L-Q метода, для большинства лет были ниже, чем для метода интерполяции (рис. 74).

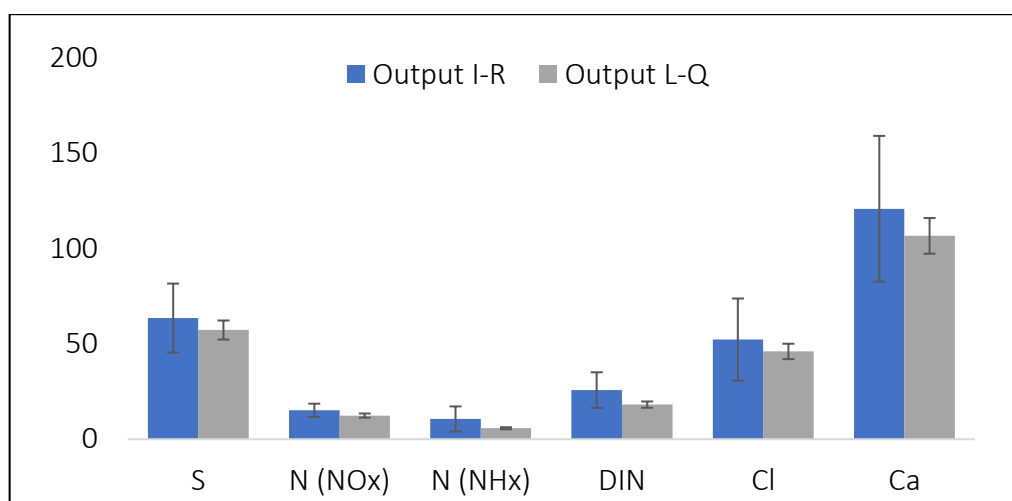


Рисунок 74. Сравнение руслового стока веществ по расчетам интерполяционным методом (output I-R) и L-Q методом (Output L-Q) за период 2010–2020, кмоль км² год⁻¹

Для ПРМ расчет руслового стока осложняется отсутствием данных о расходах воды даже при пробоотборах. Для возможности применения любого из описанных ранее методов было предложено использовать данные одной из рек-аналогов, протекающих в том же регионе. Среди них наиболее подходящей представляется река Выдриная (рис. 75), являющаяся смежным с ПРМ бассейном с сопоставимой площадью водосбора, длиной и высотными отметками. На основе данных, полученных для Выдриной, и концентраций, измеренных для ПРМ за 2020 год, были рассчитаны возможные значения для выносов основных ионов (табл. 30).

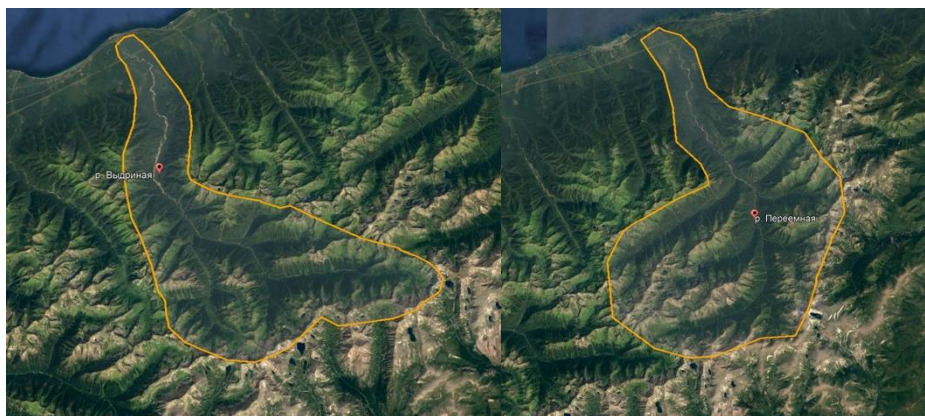


Рисунок 75. Водосборы рек Выдриная и Переемная

Таблица 30. Рассчитанные значения выносов основных ионов за 2020 г., кмоль км⁻² год⁻¹

	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Вынос с ПВ
Переемная, 2020 г.	162,51	11,40	0,159	148,13	11,1
Переемная (средн.)	151,70	10,64	0,148	138,27	10,4
Переемная (макс.)	194,72	13,66	0,190	177,48	7,7
Переемная (мин.)	112,00	7,86	0,109	102,09	13,3

По результатам расчетов значений руслового стока было проведено сравнение между КМР и ПРМ (рис. 76). Несмотря на то, что концентрации основных ионов в поверхностных водах для КМР обычно превышают значения для ПРМ, рассчитанные значения руслового стока для сульфатов и кальция для КМР были заметно ниже.

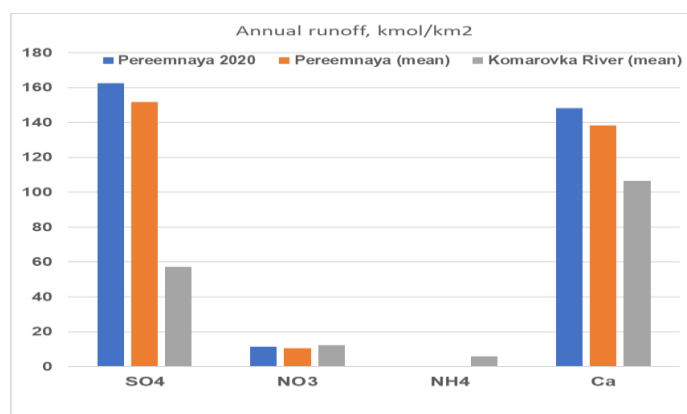


Рисунок 76. Сравнение русловых стоков веществ для рек Переемная и Комаровка

В дальнейшем, для получения более точных результатов необходимо вводить в расчетные уравнения данные за большее число лет. Также, на основе имеющихся параметров расходов и концентраций загрязняющих веществ можно делать ежегодную корректировку значений выносов веществ. Увеличения числа пробоотборов также может снизить вероятность ошибок в расчетах руслового стока. Кроме того, проведение измерений расходов воды непосредственно на ПРМ поможет получать более точные результаты.

Исследование выполнено в рамках темы НИОКТР АААА-А20-120013190049–4 «Развитие методов и технологий мониторинга загрязнения природной среды вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ) и кислотных выпадений в Восточной Азии (ЕАНЕТ)». Обработка информации и часть данных были подготовлены в работах по государственному заданию Института географии РАН АААА-А19-119022190168-8 (FMGE-2019-0010)".

Список литературы

Ide, J., Nagafuchi, O., Chiwa, M., Kume, A., Otsuki, K., Ogawa, S. (2007). Effects of discharge level on the load of dissolved and particulate components of stream nitrogen and phosphorus from a small afforested watershed of Japanese cypress (*Chamaecyparis obtusa*). *Journal of Forest Research*, 12(1), pp. 45–56.

Likens, G. E., & Bormann, F. H. (1995). Chemistry. In G. E. Likens & F. H. Bormann (Eds.), *Biogeochemistry of a Forested Ecosystem* pp. 31–72.

Mitchell, M. J., Driscoll, C. T., McHale, P. J., Roy, K. M., & Dong, Z. (2013). Lake/watershed sulfur budgets and their response to decreases in atmospheric sulfur deposition: Watershed and climate controls: regulation of sulfur budgets of forested lake/watersheds. *Hydrological Processes*, 27(5), pp.710–720.

Sase, H., Takahashi, M., Matsuda, K., Sato, K., Tanikawa, T., Yamashita, N., Ohizumi, T., Ishida, T., Kamisako, M., Kobayashi, R., Uchiyama, S., Saito, T., Morohashi, M., Fukuhara, H., Kaneko, S., Inoue, T., Yamada, T., Takenaka, C., Tayasu, I., Ohta, S. (2019). Response of river water chemistry to changing atmospheric environment and sulfur dynamics in a forested catchment in central Japan. *Biogeochemistry*, 142(3), pp. 357–374.

Zhigacheva, E. S., Sase, H., Nakata, M., Ohizumi, T., Gromov, S. A., & Takahashi, M. (2022). Stream water acidification in the Far East of Russia under changing atmospheric deposition and precipitation patterns. *Limnology*.

Vuorenmaa, J., Augustaitis, A., Beudert, B., Clarke, N., Wit, H. A. de, Dirnböck, T., Frey, J., Forsius, M., Indrikson, I., Kleemola, S., Kobler, J., Krám, P., Lindroos, A.-J., Lundin, L., Ruoho-Airola, T., Ukonmaanaho, L., & Váňa, M. (2017). Long-term sulphate and inorganic nitrogen mass balance budgets in European ICP Integrated Monitoring catchments (1990–2012). *Ecological Indicators*, 76, pp. 15–29.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В Р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ В РАЙОНЕ
Г. КАМЕНСК-ШАХТИНСКИЙ
DETERMINATION OF HEAVY METALS IN THE SEVERSKY DONETS RIVER IN THE
REGION OF THE CITY OF KAMENSK-SHAKHTINSKY**

Князева Т.В., Котова В.Е., Тамбиева Н.С.

Knyazeva T.V., Kotova V.E., Tambieva N.S.

ФГБУ «Гидрохимический институт»
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

Аннотация. Цель работы – изучение загрязнённости р. Северский Донец тяжёлыми металлами V, Fe, Cu, Mn и Zn в районе промышленного г. Каменск-Шахтинский, установления их форм миграции (растворённых и взвешенных) в зависимости от минерализации и взвешенных веществ.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, формы миграции, Северский Донец.

Abstract. The aim of a study is to study the heavy metal (V, Fe, Cu, Mn, Zn) contamination of the Seversky Donets river in the region of industrial city Kamensk-Shakhtinsky, to establish their migration forms (solved and suspended) depending on mineralization and suspended solids.

Keywords: heavy metals, migration forms, the Seversky Donets river.

Северский Донец – правый (наибольший) приток р. Дон – является одним из основных источников водоснабжения крупных городов Харьков, Донецк, Луганск и Ростовской области, а также используется в промышленных целях и при разработке полезных ископаемых. О высоких концентрациях загрязняющих веществ, в том числе и тяжёлых металлов (ТМ), в водах реки известно давно (Петина, Новикова, 2014). На данный момент большую опасность наряду с промышленными стоками для вод реки представляет миграция ТМ через почву из затопленных водой заброшенных шахт. Значительный интерес вызывает изучение экологического состояния р. Северский Донец в районе г. Каменск-Шахтинский, находящегося в непосредственной близости к границе с Луганской Народной Республикой, ниже пересечения рекой Донецкого кряжа.

ТМ являются консервативными загрязняющими веществами, которые не разлагаются в воде, а только изменяют форму своего существования. Сохраняясь в течение длительного времени, они мигрируют по звеньям трофической цепи в водоеме и в конечном итоге аккумулируются в её завершающих звеньях – рыбах, водных млекопитающих и растениях, нарушая клеточный метаболизм в результате блокирования биохимических реакций путём связывания функциональных групп и вытеснения биологически активных микроэлементов из белков, ферментов, липидов и других биологически активных макромолекул (Мухаметшин, 2005; Давыдова и др., 2014).

Ввиду высокой опасности и токсичности содержание тяжёлых металлов в объектах окружающей среды нормируют, предельно-допустимые концентрации (ПДК) для вод рыбохозяйственного значения для растворённых форм ТМ составляют (Приказ МСХ РФ

№ 552, 2016): для ванадия (V) и меди (Cu) – 1 мкг/л, марганца (Mn) и цинка (Zn) – 10 мкг/л, железа (Fe) – 100 мкг/л.

Цель данной работы – определение концентраций валовых, взвешенных и растворённых форм ванадия, железа меди, марганца и цинка в пробах воды р. Северский Донец и установление закономерностей их распределения.

В качестве объектов исследования использовали пробы речной воды р. Северский Донец, отобранные в мае 2022 г. в г. Каменск-Шахтинский и его окрестностях: от х. Малая Каменка, находящегося выше г. Каменск-Шахтинский в 20 км от границы с Луганской Народной Республикой, до х. Богданов (около 40 км от границы). Отбор проб воды проводили с берега. Вода характеризовалась присутствием значительной взвеси ила, песка и фитопланктона, а также остатков высших растений. В период наблюдений на реке отмечено волнение. В рамках данного исследования определяли валовое содержание (из нефильтрованной пробы) и концентрации растворённых форм (из фильтрованной пробы) V, Fe, Cu, Mn и Zn атомно-абсорбционным методом. Содержание взвешенных форм каждого металла находили расчётным способом как разность между валовым содержанием металлов и концентрациями их растворённых форм (РД 52.24.377, 2021). Дополнительно в каждой пробе воды проводили измерение концентраций взвешенного вещества (ВВ) и сухого остатка (СО) как косвенного показателя минерализации гравиметрическим методом (РД 52.24.468, 2019). В табл. 31 представлены обобщенные результаты исследования.

Таблица 31. Результаты определения концентраций растворённых и взвешенных форм ТМ; сухого остатка и взвешенных веществ в пробах речной воды

Место отбора		Форма миграции	Концентрация ТМ, мкг/дм ³					СО, мг/л	ВВ, мг/л
			Cu	V	Zn	Mn	Fe		
1	ниже х. Малая Каменка	растворённая	1.3	20	2.0	56	151	1079	44
		взвешенная	3.2	7	1.3	23	87		
2	г. Каменск-Шахтинский, ниже комбината «Россия»	растворённая	1.9	20	2.0	40	80	1079	35
		взвешенная	1.0	5	13	22	136		
3	г. Каменск-Шахтинский, набережная	растворённая	1.4	20	3.8	42	19	1092	242
		взвешенная	0.8	5	5.7	86	341		
4	г. Каменск-Шахтинский, ниже моста трассы М-4	растворённая	1.0	19	2.3	52	140	1080	53
		взвешенная	0.3	7	1.1	31	257		
5	урочище Хоботок	растворённая	2.3	24	4.0	42	200	1092	564
		взвешенная	2.1	3	14	52	1780		
6	ниже х. Богданов	растворённая	1.1*	23	2.0	48	62	1105	20
		взвешенная	0.2	1	6.0	33	57		

*полужирным шрифтом выделены концентрации ТМ, превышающие ПДК

Все перечисленные выше ТМ были идентифицированы в изученных пробах воды р. Северский Донец. Превышения ПДК зафиксированы для Cu (1-2,3 ПДК), V (19-24 ПДК),

Mn (4,2-5,6 ПДК) на всём рассматриваемом участке реки, Fe (1,4-2 ПДК) лишь в трёх районах; только концентрации Zn были ниже ПДК и в среднем составили 2,7 мкг/л. Наиболее загрязнённым ТМ районом реки является урочище Хоботок.

Концентрации растворённых форм Cu, V, Mn и Zn изменялись достаточно равномерно в исследованных пробах воды, что не характерно для Fe в данной работе, концентрации его растворённых форм составили от 19 до 200 мкг/л. В целом, изучаемый район реки характеризуется высоким содержанием растворённых форм ТМ, их доли в 2/3 проб воды превышали 50%, а максимальная достигла 96% (V). Незначительно изменялись концентрации СО (в среднем 1088 мкг/л), зависимость между концентрациями растворённых форм ТМ и минерализацией не выявлена.

Наиболее высокими концентрациями взвешенных форм характеризовались Fe (доля от валового содержания достигала 95%), Zn (86%), Mn (67%). Для районов с их высоким содержанием (от набережной г. Каменск-Шахтинский до урочища Хоботок) отмечены максимальные значения ВВ. По данным (Пучков и др., 2013), Fe, Cu, Mn и Zn способны наиболее интенсивно накапливаться в высшей водной растительности (на поверхности и внутри), что связано с их участием в процессах метаболизма, так как эти элементы входят в состав пигментов, витаминов, ферментов. Этот факт подтверждается высокими концентрациями взвешенных веществ и их составом – заиленный песок с включениями остатков высших растений (небольших частей стеблей и листьев) и присутствием фитопланктона. В целом концентрации взвешенных форм ТМ и ВВ не имеют корреляции, за исключением некоторой зависимости Fe и Mn.

Причиной высоких концентраций V может быть попадание его за счёт эмиссии выхлопных газов транспорта, а также наличия нефти и продуктов её переработки в воде (Vouk, River, 1983). Однако, если брать в расчёт то, что пробы воды были отобраны в местах с различной антропогенной (в том числе и транспортной нагрузкой), а концентрации V (всех его форм) изменяются незначительно, можно предположить, что этот металл имеет другой источник поступления. Авторами (Хорошевская, Алёшина, 2012; Хорошевская, 2022) показано, что ряд металлов (в том числе и V) не обнаружены как в р. Северский Донец (г. Изюм, Украина), так и в воде р. Дон выше впадения р. Северский Донец. Водосбор последней расположен в районе Донецкого угольного бассейна со сложным геологическим рельефом, где расположены как затопленные, так и действующие угольные шахты, что не исключает воздействия шахтных вод на формирование элементного состава воды реки.

Из работы (Давыдова и др., 2014) известно, что Fe в пресных водах в основном переносится в составе взвесей (до 98%), а Cu и Zn в поверхностных водах мигрируют, главным образом, в растворённом состоянии (84-95%). Низкое содержание этих тяжёлых металлов во

взвешенных частицах обусловлено невысоким содержанием их в почвообразующих породах в почвенном покрове. Таким образом, исходя из полученных концентраций (табл. 31) можно косвенно судить о количествах тяжёлых металлов, способных мигрировать из изученного участка реки.

Установлено, что исследованные участки р. Северский Донец в пределах промышленного г. Каменск-Шахтинский и его окрестностей, показывают достаточно равномерный и стабильный уровень загрязнённости вод изученными металлами, за исключением отчетливого увеличения содержания взвешенных форм Fe и Mn в районе набережной города и урочища Хоботок, что коррелирует с высокими значениями ВВ.

Стабильное, незначительно меняющееся высокое содержание растворённых форм V (19-24 ПДК) по всему изученному участку реки подтверждает наше предположение о воздействии шахтных вод на формирование элементного состава воды.

Список литературы

Петина М.А., Новикова Ю.И. (2014) Оценка качества воды в трансграничном створе реки Северский Донец, *Современные проблемы науки и образования*, № 1. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12258>.

Мухаметшин А.М. (2005) Оценка содержания металлов в тканях и органах рыб Куйбышевского водохранилища, *Вестник Татарстанского отделения Российской Экологической Академии*, № 4, с. 41-45.

Давыдова О.А., Климов Е.С., Ваганова Е.С., Ваганов А.С. (2014) *Влияние физико-химических факторов на содержание тяжёлых металлов в водных экосистемах*, Ульяновск, УлГТУ, 167 с.

Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (2017) М., ВНИРО, 214 с.

РД 52.24.377-2021 (2021) *Массовая концентрация алюминия, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, молибдена, никеля, свинца, серебра, хрома и цинка в водах. Методика измерений атомно-абсорбционным методом с электротермической атомизацией проб*, Ростов-на-Дону, 43 с.

РД 52.24.468-2019 (2019) *Массовая концентрация взвешенных веществ и сухого остатка в водах. Методика измерений гравиметрическим методом*, Ростов-на-Дону, 29 с.

Пучков М.Ю., Зволинский В.П., Новиков В.В., Кочеткова А.И., Локтионова Е.Г. (2013) Особенности накопления тяжёлых металлов высшей водной растительностью Волгоградского водохранилища, *Фундаментальные исследования*, № 6-2, с. 392-396.

Vouk V.B., Piver W.T. (1983) Metallic elements in fossil fuel combustion products: amounts and form of emissions and evaluation of carcinogenicity and mutagenicity, *Environmental Health Perspectives*, vol. 47, pp. 201-225.

Хорошевская В.О., Алёшина Е.Г. (2012) Распределение содержания ванадия и никеля в воде рек Дон, Северский Донец, Миус и в Таганрогском заливе, *Российский Академический Журнал*, № 3, т. 21, с. 17-19.

Хорошевская В.О. (2022) Сравнительная характеристика микроэлементного состава речных вод, дренирующих Донецкий и Кузбасский угольные бассейны, *Международный научно-исследовательский журнал*, № 5, т. 119, ч. 1, с. 124-134.

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ СТЕПЕНИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ РЕЧНЫХ ВОД И СОСТОЯНИЯ
ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМ В БАССЕЙНЕ Р. ОБЬ**
**VARIABILITY OF WATER POLLUTION DEGREE AND AQUATIC ECOSYSTEMS
CONDITION IN THE OB RIVER BASIN**

Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С.

Kondakova M.Yu., Danilenko A.O., Kosmenko L.S.

ФГБУ «Гидрохимический институт»
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

Аннотация. Западная Сибирь – уникальный природно-ресурсный и промышленный регион Российской Федерации. Активное освоение ее территории сопровождается интенсивным антропогенным воздействием на водные объекты. Река Обь относится к числу крупнейших рек Западной Сибири и является ее важнейшей водной артерией. Большая часть водосборного бассейна Оби приходится на крупный Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, где происходит интенсивная нефте- и газодобыча. Поэтому оценка изменчивости степени загрязненности воды и состояния водных экосистем (по гидрохимическим показателям) по длине р. Обь и основных ее притоков весьма актуальна. Основой для исследований послужила гидрохимическая информация государственной службы наблюдений (ГСН) за 2000-2022 гг. Обнаруженные тенденции изменчивости степени загрязненности воды свидетельствуют об улучшении качества воды в пунктах наблюдений на р. Обь, особенно в нижнем течении. Состояние водных экосистем в верхнем и среднем течении реки оценивается в основном как напряженное, а в нижнем течении – как напряженное и критическое.

Ключевые слова: бассейн р. Обь, реки, степень загрязненности воды, состояние водных экосистем.

Abstract. Western Siberia is an unique natural resource and industrial region of the Russian Federation. Active development of its territory is accompanied by intense anthropogenic impact on water bodies. The Ob River is one of the largest rivers in Western Siberia and its most important waterway. Most of the Ob drainage basin falls within the large West Siberian oil and gas basin, where intensive oil and gas production takes place. Therefore, the assessment of the variability of water pollution degree and aquatic ecosystems condition (according to hydrochemical indicators) along the Ob river length and its main tributaries are very relevant. The basis for the research was the hydrochemical information of the State Observation Service for 2000-2022. The revealed trends in the water pollution degree variability indicate an improvement in water quality at observation points on the Ob river, especially in the lower reaches. Aquatic ecosystems condition in the upper and middle reaches of the river is assessed mainly as tense, and in the lower reaches as tense and critical.

Keywords: Ob river basin, rivers, water pollution degree, aquatic ecosystems condition.

Западная Сибирь – уникальный природно-ресурсный и промышленный регион Российской Федерации. Одним из основных факторов, определяющих перспективы развития данной территории, ее место в российской экономике, является огромный ресурсный потенциал. Это и минеральные, и гидроэнергетические ресурсы, и биологические ресурсы. В Сибири развиты такие отрасли промышленности, как топливная, энергетическая, черная и цветная металлургия, машиностроение и металлообработка, лесная и деревообрабатывающая промышленность и т.д. (Стратегия социально-экономического развития, 2023). Активное освоение Западной Сибири сопровождается интенсивным антропогенным воздействием на водные объекты.

Река Обь относится к числу крупнейших рек Западной Сибири, является ее важнейшей водной артерией. Большая часть водосборного бассейна Оби приходится на крупный Западно-Сибирский нефтегазоносный бассейн, где происходит интенсивная нефте- и газодобыча.

Поэтому оценка изменчивости степени загрязненности воды и состояния водных экосистем (по гидрохимическим показателям) р. Обь и основных ее притоков весьма актуальна.

Основой для исследований послужила гидрохимическая информация государственной службы наблюдений (ГСН) за 2000-2022 гг. для 17 пунктов наблюдений по длине р. Обь и 21 пункта наблюдений – на ее притоках в верхнем, среднем и нижнем течении реки (рис. 77). Статистическая обработка данных проводилась с использованием программного пакета Statistica v6.1 и программы для работы с электронными таблицами Microsoft Excel.

Одной из распространенных в РФ систем оценки качества поверхностных вод по гидрохимическим показателям (и основной – в Росгидромете) является оценка качества вод по РД 52.24.643-2002 (РД 52.24.643-2002, 2003). Для оценки пространственной и временной изменчивости степени загрязненности воды рек бассейна р. Обь использовались данные о величинах УКИЗВ и наличии критических показателей загрязненности (КПЗ) за каждый год с 2000 по 2022 гг. Статистически значимые тренды изменчивости УКИЗВ выявлялись с помощью рангового коэффициента корреляции Кендалла, характеризующего меру линейной связи между годом и значением УКИЗВ за данный год.

На рис. 77 представлена пространственная изменчивость степени загрязненности речных вод в бассейне р. Обь. В верхнем течении реки, вода как большинства притоков, так и основного русла характеризуется как «очень загрязненная». Исключение составляет участок водотока в районе с. Фоминское, в месте слияния рр. Бия и Катунь, где р. Обь берёт своё начало, и участок водотока в районе г. Камень-на-Оби. Здесь речная вода характеризуется как «загрязненная». В среднем течении р. Обь, степень загрязненности воды большинства притоков также «очень загрязненная» (исключение составляют рр. Тымь (с. Напас), Васюган (с. Средний Васюган), Большой Юган (с. Угут), где речная вода характеризуется как «грязная»), тогда как вода основного русла реки для большинства пунктов наблюдений оценивается как «грязная» (исключение составляют участки водотока в районе г. Колпашево и г. Сургут; здесь речная вода характеризуется как «очень загрязненная»). В нижнем течении реки, вода как основного русла водотока, так и притоков, впадающих в него, характеризуется как «грязная».

Результаты оценки временной изменчивости степени загрязненности воды рек бассейна р. Обь, проведенной на основе корреляционного анализа, показали отсутствие статистически значимых трендов УКИЗВ для большинства притоков р. Обь, за исключением рр. Шегарка (с. Бабарыкино), Иртыш (г. Ханты-Мансийск), Северная Сосьва (пос. Сосьва), где выявленные убывающие тренды значений УКИЗВ свидетельствуют о снижении степени загрязненности речной воды (и, соответственно, улучшении качества воды), и р. Вах (с. Большетархово), где

возрастающий тренд значений УКИЗВ говорит об увеличении степени загрязненности (и, соответственно, ухудшении качества воды).

Для основного русла р. Обь все обнаруженные тенденции изменчивости степени загрязненности воды (убывающий тренд) свидетельствуют об улучшении качества воды в верхнем течении в пунктах наблюдений с. Фоминское, г. Барнаул; в среднем течении – г. Нефтеюганск, с. Сытомино; в нижнем течении на участке реки от с. Белогорье до г. Салехард.

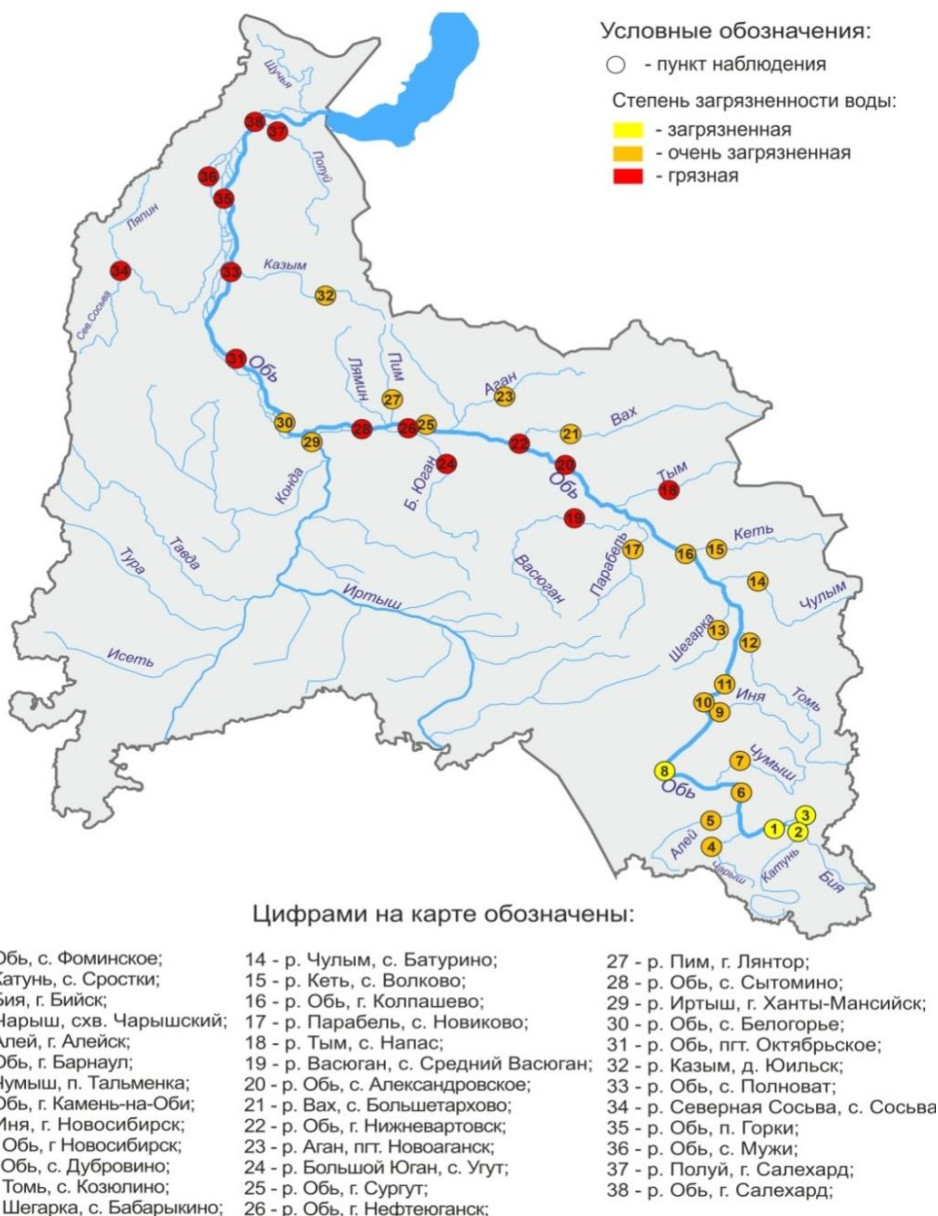


Рисунок 77. Пространственная изменчивость степени загрязненности речных вод в бассейне р. Обь

Оценка состояния водных экосистем (по интегральным гидрохимическим показателям БПК₅ и концентрациям азота аммонийного) с учетом минерализации воды в бассейне р. Обь проводилась в соответствии с методическими подходами, изложенными в (Решетняк и др., 2023). Классификатор представлен в табл. 32. Так как результаты оценки состояния по

каждому из показателей равнозначны, итоговое заключение о состоянии водной экосистемы принималось на основе «худшего» результата.

Таблица 32. Классификатор состояния водных экосистем по интегральным гидрохимическим показателям с учетом минерализации воды (Решетняк и др., 2023)

Состояние экосистемы	Балл	Минерализация воды, мг/дм ³			
		<200 (малая)	200-500 (средняя)	501-1000 (повышенная)	>1000 (высокая)
по показателю БПК ₅					
Естественное	0	до 0,9	до 1,50	до 2,10	до 2,20
Равновесное	1	0,91-2,00	1,51-2,50	2,11-3,00	2,21-3,50
Напряженное	2	2,01-3,50	2,51-4,00	3,01-4,50	3,51-5,00
Критическое	3	3,51-5,00	4,01-6,50	4,51-7,00	5,01-7,50
Катастрофическое	4	более 5,01	более 6,51	более 7,01	более 7,50
по содержанию азота аммонийного					
Естественное	0	до 0,05	до 0,20		
Равновесное	1	0,06-0,10	0,21-0,45		
Напряженное	2	0,11-0,50	0,46-0,90		
Критическое	3	0,51-1,50	0,91-2,50		
Катастрофическое	4	более 1,51	более 2,51		

Установлено, что в верхнем течении р. Обь участки водотоков находятся в основном в напряженном состоянии. Исключение составляют р. Обь (г. Камень-на-Оби), где состояние оценивается как равновесное, и р. Чумыш (п. Тальменка), где состояние – критическое. В среднем и нижнем течении р. Обь преобладают притоки, где состояние водных экосистем оценено как критическое. Что касается основного русла р. Обь, то для пунктов наблюдений, расположенных в среднем течении, состояние водных экосистем оценено как напряженное. В нижнем течении реки отмечается ухудшение состояния от напряженного (на участке от с. Белогорье до с. Полноват) до критического (на участке от п. Горки до г. Салехард (рис. 78).

Таким образом, в бассейне р. Обь выявлено увеличение степени загрязненности воды и ухудшение состояния водных экосистем в меридиональном направлении от истока к устью. Наиболее «благополучным» можно считать верхнее течение реки, где степень загрязненности воды, как основного русла, так и притоков в основном характеризуется как «загрязненная» и «очень загрязненная», а состояние водных экосистем оценивается как напряженное. Тогда как в нижнем течении реки степень загрязненности воды участков рек в основном «грязная», а состояние водных экосистем – напряженное и критическое. Вместе с тем, обнаруженные тенденции изменчивости степени загрязненности воды могут свидетельствовать об улучшении качества воды в пунктах наблюдений на р. Обь и ее притоках во временном аспекте, особенно в нижнем течении.



- | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|-------------------------------------|
| 1 - р. Обь, с. Фоминское; | 14 - р. Чулым, с. Батурино; | 27 - р. Пим, г. Лянтор; |
| 2 - р. Катунь, с. Сростки; | 15 - р. Кеть, с. Волково; | 28 - р. Обь, с. Сытомино; |
| 3 - р. Бия, г. Бийск; | 16 - р. Обь, г. Колпашево; | 29 - р. Иртыш, г. Ханты-Мансийск; |
| 4 - р. Чарыш, схв. Чарышский; | 17 - р. Парабель, с. Новиково; | 30 - р. Обь, с. Белогорье; |
| 5 - р. Алей, г. Алейск; | 18 - р. Тым, с. Напас; | 31 - р. Обь, пгт. Октябрьское; |
| 6 - р. Обь, г. Барнаул; | 19 - р. Васюган, с. Средний Васюган; | 32 - р. Казым, д. Юильск; |
| 7 - р. Чумыш, п. Тальменка; | 20 - р. Обь, с. Александровское; | 33 - р. Обь, с. Полноват; |
| 8 - р. Обь, г. Камень-на-Оби; | 21 - р. Вах, с. Большетархово; | 34 - р. Северная Сосьва, с. Сосьва; |
| 9 - р. Иня, г. Новосибирск; | 22 - р. Обь, г. Нижневартовск; | 35 - р. Обь, п. Горки; |
| 10 - р. Обь, г. Новосибирск; | 23 - р. Аган, пгт. Новоаганск; | 36 - р. Обь, с. Мужы; |
| 11 - р. Обь, с. Дубровино; | 24 - р. Большой Юган, с. Угут; | 37 - р. Полуй, г. Салехард; |
| 12 - р. Томь, с. Козюлино; | 25 - р. Обь, г. Сургут; | 38 - р. Обь, г. Салехард; |
| 13 - р. Шегарка, с. Бабарыкино; | 26 - р. Обь, г. Нефтеюганск; | |

Рисунок 78. Пространственная изменчивость состояния водных экосистем в бассейне р. Обь

Список литературы

РД 52.24.643-2002 (2003) *Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод суши по гидрохимическим показателям*, СПб., Гидрометеиздат, 49 с.

Решетняк О.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю., Косменко Л.С. (2023) Оценка состояния водных экосистем по интегральным гидрохимическим показателям в государственном мониторинге состояния и загрязнения окружающей среды, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 53-63.

Стратегия социально-экономического развития Сибирского федерального округа до 2035 года (2023) URL: <http://static.government.ru/media/files/drWrVydZYzvipBV3mBNArxTlxlgtuAM.pdf>.

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕННОСТИ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ВОДЫ Р. ДОН

ASSESSMENT OF WATER CONTAMINATION WITH PETROLEUM COMPONENTS IN THE DON RIVER

Котова В.Е., Андреев Ю.А., Рязанцева И.А., Дергачев К.Ю.

Kotova V.E., Andreev Yu.A., Ryazantseva I.A., Dergachev K.Yu.

ФГБУ «Гидрохимический институт»
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

Аннотация. Цель работы – изучить загрязненность нефтепродуктами и их углеводородными компонентами (алифатическими и полициклическими ароматическими углеводородами) воды р. Дон в весенний период 2023 г., выявить возможные источники происхождения углеводородов.

Ключевые слова: нефтепродукты, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), алифатические углеводороды, источники происхождения, р. Дон.

Abstract. The aim of a study is to study the petroleum component and related hydrocarbon group (aliphatic and polycyclic aromatic hydrocarbons) contamination of the Don river water in the spring of 2023 and to identify possible hydrocarbon sources.

Keywords: petroleum components, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH), aliphatic hydrocarbons, source, the Don.

Нефтепродукты (НП) представляют собой сложную смесь веществ различных классов, основную группу составляют углеводороды: алифатические (АУ), нафтеновые, ароматические, в том числе, полициклические ароматические углеводороды – ПАУ, обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами (Никаноров, Страдомская, 2008). Ввиду высокой опасности НП и некоторых компонентов, их содержание в воде нормируется: 10 нг/л для бензо[а]пирена в воде подземных и поверхностных водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования; 4 мкг/л для нафталина и 0,05 мг/л для НП в воде водных объектов рыбохозяйственного значения (СанПиН 1.2.3685-21; Приказ Минсельхоза России № 552..., 2017).

Дон – крупнейшая река на юге России, именно поэтому она активно используется в процессе производства различных видов промышленной продукции; для орошения при выращивании сельскохозяйственных культур; в рыбном промысле; в судоходстве; для выработки электроэнергии и для коммунальных нужд. Такая масштабная водохозяйственная деятельность людей негативно влияет на экологическое состояние реки.

Объектом исследования является участок р. Дон от г. Аксай до г. Азов (в скобках приведено расстояние до устья): 1) выше г. Аксай (62 км); 2) г. Ростов-на-Дону, на уровне нового водозабора (52 км); 3) г. Ростов-на-Дону, ниже впадения р. Темерник (43 км); 4) ниже сброса сточных вод ПУ «Водоканал» г. Ростов-на-Дону (34,5 км); 5) ниже устья р. Койсуг и пристани х. Колузаево (32,5 км); 6) рук. Большая Каланча, выше х. Дугино; 7) рук. Старый Дон (р. Дон), у водозабора г. Азов (18 км); 8) рук. Старый Дон (р. Дон), ниже выпуска горканализации г. Азов (15 км). Отбор проб воды проводили при непосредственном участии

сотрудников ГХИ с научно-исследовательского судна «Росгидромет-10» батометром из поверхностного горизонта (0,3 м) в апреле и мае 2023 г.

Для определения загрязненности воды р. Дон определяли концентрации НП ИК-фотометрическим (ИК) (РД 52.24.476-2022) и флуориметрическим (ФЛ) методами (ПНД Ф 14.1:2:4.128-98), ПАУ (15 приоритетных соединений: нафталин (Naph), аценафтен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен (Flu), пирен (Py), бензо[а]антрацен (B[a]A), хризен (Chry), бензо[б]флуорантен, бензо[к]флуорантен, бензо[а]пирен (B[a]P), дибензо[а,h]антрацен, бензо[g,h,i]перилен (B[g,h,i]P), индено[1,2,3-cd]пирен (In[cd]P)) и АУ (C₁₀H₂₂-C₄₀H₈₂ – далее C₁₀-C₄₀) при помощи хроматографических методов (Пат. 2646402... 2018.; РД 52.24.537-2019). Для всех углеводородов находили концентрации индивидуальных соединений и суммарные концентрации. Идентификацию возможных источников происхождения компонентов проводили по индексам, рассчитанным на основе концентраций индивидуальных углеводородов: Flu/(Flu+Py), B[a]A/(B[a]A+Chry), In[cd]P/(In[cd]P+B[g,h,i]P), Flu/Py (Magi et al. 2002) и CPI, TAR, Alkterr (Yu et al., 2016). В табл. 33 представлены обобщенные результаты работы.

Таблица 33. Результаты определения концентраций НП, АУ и ПАУ

Показатель	Месяц	Значение показателя для точки отбора							
		1	2	3	4	5	6	7	8
НП-ИК, мг/л	Апрель	0,13	0,14	0,09	0,10	0,09	0,18	0,07	0,11
	Май	0,07	0,11	0,11	0,05	0,09	0,07	0,08	0,08
НП-ФЛ, мг/л	Апрель	0,007	0,008	0,011	0,017	0,008	0,008	0,006	0,010
	Май	0,31	0,12	0,12	0,16	0,13	0,11	0,17	0,11
АУ, мкг/л	Апрель	11	11	2,5	4,5	4,7	1,2	5,6	5,2
	Май	16	4,9	4,2	11	19	7,2	17	1,6
ПАУ, нг/л	Апрель	25	21	29	26	27	24	25	35
	Май	21	18	19	25	20	20	31	19
Naph	Апрель	4,0	3,2	4,1	2,7	4,6	3,6	2,0	5,0
	Май	1,8	4,5	0,8	6,9	2,2	5,3	9,3	4,1
B[a]P	Апрель	1,1	1,3	1,4	1,7	1,3	1,5	1,5	1,8
	Май	0,7	0,7	1,1	0,9	0,9	0,8	1,2	1,0

Концентрации НП, измеренные ИК-способом, превышали ПДК во все время за весь период исследования: 1,4-3,6 ПДК в апреле и 1-2,2 ПДК в мае. Однако, очевидно уменьшение концентраций практически в каждом изученном районе реки в мае по сравнению с апрелем в 1,3-2,6 раза. С другой стороны, значения НП при флуориметрическом определении увеличились на всем протяжении реки со временем в 10-45 раз. И если в апреле все значения НП-ФЛ ниже ПДК, то в мае они превосходят установленный норматив в 2,2-6,2 раз. Причина такого несовпадения значений концентраций кроется в том, что эти способы регистрируют разные группы компонентов НП. ИК-спектрометрический способ позволяет определить сумму алифатических, алициклических и др. углеводородов, кроме ароматических.

Флуориметрический способ определения характеризуется высокой чувствительностью к ароматическим и непредельным соединениям. Газохроматографическое исследование (рис. 79а) наглядно демонстрирует причину столь высоких концентраций НП-ФЛ в мае по сравнению с апрелем. Наличие горба на хроматограммах связано с присутствием неразделенной нафтеново-ароматической фракции в экстрактах проб воды, а изменение его интенсивности объясняет увеличение количества веществ, способных флуоресцировать.

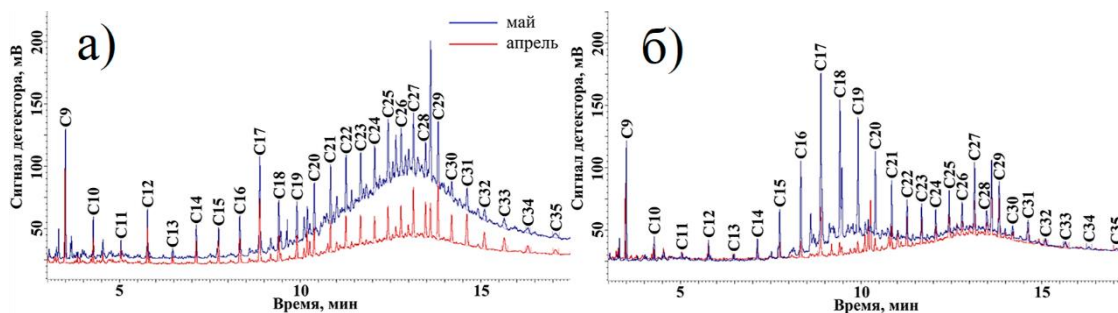


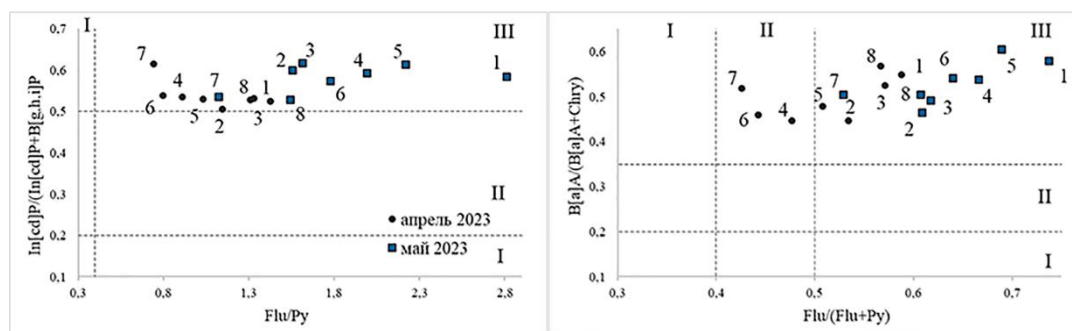
Рисунок 79. Объединенная хроматограмма фракций алифатических углеводородов проб воды, отобранных выше г. Аксай (а) и рук. Старый Дон (б)

Суммарные концентрации АУ (С₉-С₄₀) в целом увеличились в мае (в среднем 10 мкг/л) по сравнению с апрелем (в среднем 5,5 мкг/л). Если говорить об индивидуальных соединениях, то доминирующие углеводороды в обоих месяцах одни и те же (С₉, С₁₇, С₂₇ и С₂₉), однако в мае возросла доля С₁₇. Суммарные концентрации ПАУ в апреле распределялись более равномерно и изменялись незначительно (от 21 до 35 нг/л, в среднем 31 нг/л), в мае же они были в целом ниже (от 18 до 31 нг/л, в среднем 22 нг/л).

На рис. 79 представлены обобщенные хроматограммы фракции АУ для проб, отобранных в апреле и мае. Присутствие на них пиков близкой интенсивности всего гомологического ряда АУ свидетельствует о наличии свежего нефтяного загрязнения, а горба неразделенной нафтеново-ароматической фракции в высокомолекулярной области – о некотором хроническом нефтяном загрязнении. Доминирование пиков нечетных АУ говорит о весомом вкладе углеводородов, обусловленных развитием фитопланктона и входящих в состав их липидных фракций (С₁₇) и выделившихся из наземных растений (С₂₇, С₂₉) (Никаноров, Страдомская, 2008). Однако на рис. 79а следует отметить значительное увеличение горба неразделенной нафтеново-ароматической фракции и интенсивности всего ряда пиков в мае по сравнению с апрелем. Эти факты свидетельствуют о наличии свежего и высокого хронического нефтяного загрязнения. На рис. 79б наблюдается интенсивный рост пиков легких АУ (С₁₅-С₂₁) и горба в низкомолекулярной области. Это можно объяснить присутствием продуктов бактериальной трансформации органического вещества (С₁₆, С₁₈, С₂₀), обусловленных его дополнительным поступлением с хозяйственно-бытовыми стоками, и

увеличением количества АУ (C₁₅, C₁₇, C₁₉), связанных с интенсивным развитием фитопланктона при повышенных температурах.

Все 15 приоритетных ПАУ идентифицированы в изученных пробах воды за приведенный период, максимальными по содержанию являлись нафталин и более тяжелые представители ряда: бензо[а]антрацен, фенантрен, бензо[б]флуорантен. Концентрации бензо[а]пирена и нафталина не превышали установленных ПДК, однако содержание первого уменьшилось в мае по сравнению с апрелем. Уменьшение концентраций углеводородов в целом можно связать с активно протекающими процессами деградации (фото- и биохимического окисления) при более высокой температуре воды в мае. На основании результатов, полученных в рамках данного этапа исследований, установлено, что наиболее загрязненными являются участок р. Дон выше г. Аксай и рук. Старый Дон.



Области источников: I – петрогенный; II – смешанный; III – пирогенный.

Рисунок 80. Результаты идентификации источников поступления углеводородов по фракции ПАУ

Значения индексов CPI (1,5-2,3), TAR (1,1-2,0), превышающие 1, и Alkterr (0,22-0,30), превышающие 0,2, все указывающие на присутствие биогенных аллохтонных углеводородов, рассчитаны для проб воды, отобранных в апреле. В мае же все значения CPI (1,5-2,4) были выше 1, а вот для критериев TAR (0,5-1,6) и Alkterr (0,16-0,30) найдены по 2 значения ниже реперного, соответствующие автохтонному (из водных растений/ водорослей) происхождению в пробах воды р. Дон выше г. Аксай и рук. Старый Дон.

Результаты идентификации источников поступления веществ по фракции ПАУ представлены в виде графиков взаимной зависимости (рис. 80). Как видно из рис. 80, в целом углеводороды всех изученных проб воды в апреле характеризуются преобладающим пирогенным и смешанным источниками поступления. При рассмотрении графиков взаимной зависимости, относящихся к пробам воды, отобранным в мае, можно отметить резкий переход в область пирогенного источника. Это свидетельствует о подавляющем количестве веществ, образованных при процессах горения (от сжигания мусора, травы, древесины до выхлопных

газов различных видов транспорта) и попавших в реку со смывами с автодорог, непосредственно из выхлопных газов водного транспорта, и увеличении влияния этих источников со временем.

В результате исследования выявлены участки нижнего течения р. Дон с наибольшим содержанием нефтепродуктов и их составляющих, объяснены закономерности изменения концентраций исследуемых веществ в изучаемый период, выявлены основные возможные источники поступления углеводородов, также показана необходимость применения комплекса различных методов при оценке загрязненности такими многокомпонентными показателями, как нефтепродукты.

Список литературы

Никаноров А.М., Страдомская А.Г. (2008) *Проблемы нефтяного загрязнения пресноводных экосистем: монография*, Ростов-на-Дону, НОК, 222 с.

Пат. 2646402 Россия, МПКG01N 1/28 (2018) *Способ подготовки проб для определения алифатических и полициклических ароматических углеводородов в донных отложениях*, Котова В.Е., Андреев Ю.А., заявитель и патентообладатель ФГБУ «Гидрохимический институт», № 2017106715. заявл. от 28.02.2017, опубл. 05.03.2018.

ПНД Ф 14.1:2:4.128-98 (2012) *Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в пробах природных, питьевых и сточных вод флуориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02»*, Москва, 25 с.

Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (2017) М., ВНИРО, 214 с.

РД 52.24.476-2022 (2022) *Массовая концентрация нефтепродуктов в водах. Методика выполнения измерений ИК-фотометрическим методом*, Ростов-на-Дону, 38 с.

РД 52.24.537-2019 (2019) *Массовая доля полициклических ароматических углеводородов в донных отложениях. Методика измерения методом высокоэффективной жидкостной хроматографии со спектрофлуориметрическим детектированием*, Ростов-на-Дону, 47 с.

СанПиН 1.2.3685-21 (2021) *Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания*, Зарегистрировано в Минюсте РФ 29.01.2021 г. № 62296.

Magi E., Bianco R., Ianni C., Di Carro M. (2002) Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the sediments of the Adriatic Sea, *Environ. Pollut*, vol. 119, pp. 91-98.

Yu Y., Li Y., Guo Z., Zou H. (2016) Distribution and sources of n-alkanes in surface sediments of Taihu Lake, China, *Archives of Environmental Protection*, vol. 42, no. 1, pp. 49-55.

**О НЕКОТОРЫХ НЕСБЫВШИХСЯ ПРОГНОЗАХ, ПЛАНАХ И ПРОЕКТАХ
ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ**
**ABOUT SOME UNFULFILLED FORECASTS, PLANS AND PROJECTS OF IMPACT ON
WATER RESOURCES**

Коронкевич Н.И.¹⁾, Черногаева Г.М.^{1, 2)}, Барабанова Е.А.¹⁾, Зайцева И.С.¹⁾

Koronkevich N.I.¹⁾, Chernogaeva G.M.^{1, 2)}, Barabanova E.A.¹⁾, Zaitseva I.S.¹⁾

¹⁾ ФГБУН Институт географии РАН

Россия, 109017, г. Москва, Старомонетный пер., 29

²⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»

Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Рассматриваются несбывшиеся прогнозы, планы, проекты воздействия на водные ресурсы, разрабатывавшиеся во второй половине XX и начале XXI века.

Ключевые слова: прогнозы, планы, проекты, водные ресурсы.

Abstract. Unfulfilled forecasts, plans, projects of impact on water resources developed in the second half of the XX and the beginning of the XXI century are considered.

Keywords: forecasts, plans, projects, water resources.

Сбывшихся прогнозов, осуществленных планов и проектов использования и состояния водных ресурсов в мире и в России очень много. Но немало и тех прогнозов, которые не сбылись (отличаясь в прогнозируемых величинах на десятки процентов от фактических), а также планов и проектов, которые не осуществились вообще, или не осуществились к запланированному сроку, или же осуществились в неполном объеме, с ошибками, приведшими к чрезвычайным или аварийным ситуациям. Рассмотреть все не представляется возможным. Поэтому остановимся лишь на некоторых, достаточно известных несбывшихся, в основном долгосрочных, прогнозах, неосуществленных планах и проектах, разрабатывавшихся во второй половине XX и начале XXI века. Представляется целесообразным рассмотреть их по следующим разделам: прогнозы и планы использования и состояния водных ресурсов и гидротехнические проекты. Цель данной статьи – выполнить некоторое обобщение по данной проблеме.

В основу статьи положен обзор в основном литературных источников, рассматривающих как результаты прогнозов, планов и проектов, так и их обсуждение на стадии разработки.

Чем больше срок прогнозирования, тем сложнее предвидеть будущую гидрологическую, водохозяйственную ситуацию, тем больше вероятность ошибки в расчетах. Это относится и к тем долгосрочным прогнозам, которые дают самые высококвалифицированные специалисты. Долгосрочные прогнозы водопотребления и состояния водных ресурсов получили широкое распространения со второй половины XX столетия в связи с начавшейся научно-технической революцией и резко возросшим антропогенным воздействием на окружающую среду и ее

водную составляющую, сопровождавшимся нехваткой воды во многих районах мира для быстро растущего населения и различных отраслей хозяйства. Очень часто они были приурочены к круглой дате – 2000 г. Значительная часть их была выполнена в СССР, что не удивительно в связи с тем, что советская гидрология заняла в это время ведущие позиции в мире. Так, Г.П. Калинин (1968) полагал, что на уровне 2000 г. полное водопотребление (водозабор) достигнет в мире 9300 км³/год, в том числе безвозвратное водопотребление (уменьшение речного стока) 5070 км³/год. Для СССР итоговое водопотребление должно было составить 1100 км³/год, а безвозвратный расход – 458 км³/год.

М.И. Львович (1974) в одном из вариантов мирового использования водных ресурсов мира на уровень 2000 г. полагал, что полное водопотребление достигнет 10570 км³, а безвозвратное – 4190 км³/год. В другом варианте, предполагающем полное прекращение сброса сточных вод в реки и водоемы, названном им «идеальным», соответственно, 5165 км³/год и 4075 км³/год.

Прогноз водопотребления в СССР, данный им совместно с одним из авторов данной статьи (Львович, Коронкевич, 1971), предполагал, что суммарное водопотребление может составить от 438 до 1068 км³/год при безвозвратном расходе от 350 до 465 км³/год.

В табл. 34 приведены результаты прогноза использования водных ресурсов в США, СССР и в мире, содержащиеся в монографии «Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли» (1974). При этом прогноз по США дан с учетом расчетов, выполненных в монографии Г.Г. Ландсберга и др. «Ресурсы США в будущем» (1965).

Таблица 34. Прогноз водопотребления на 2000 г. (км³/год)

Водопотребитель	США		СССР		Мир	
	полное	безвозвратное	полное	безвозвратное	полное	безвозвратное
Коммунальное хозяйство	70	23	42	4	410	65
Промышленность	810	23	220	12	1900	70
Сельское хозяйство	220	130	420	238	3400	2600
Водоохранилища*	25	25	22	22	240	240
Всего (с округлением)	1120	200	700	280	6000	3000

*дополнительное испарение с акватории водохранилищ

То, что получилось в действительности представлено в табл. 35, в которой приведено фактическое водопотребление в США и в мире по данным монографии «Водные ресурсы России и их использование» (2008). Но, если различия достигают десятков процентов, полагаем, что прогноз не оправдался.

Таблица 35. Фактическое водопотребление на уровне 2000 г. (км³/год)

Водопотребитель	США		Мир	
	полное	безвозвратное	полное	безвозвратное
Коммунальное хозяйство	59	8,6	384	52,8
Промышленность	221	12,9	776	87,9
Сельское хозяйство	210	122	2605	1834
Водохранилища	24,8	24,8	208	208
Всего (с округлением)	515	169	3973	2182

По ряду показателей фактическое водопотребление оказалось значительно ниже, чем прогнозируемое, хотя по некоторым статьям водопотребления прогнозируемые величины довольно близки к фактическим.

Для оценки современного водопотребления на уровне 2000 г. на территории бывшего СССР использованы данные ФАО по водопотреблению в республиках, входивших в состав СССР. Суммируя их полное водопотребление, получаем величину 238 км³/год, которая значительно ниже прогнозирувавшейся для территории СССР. Такое существенное различие прогнозируемых и фактических величин объясняется, конечно, не предполагаемым никем распадом СССР, сопровождавшимся глубоким экономическим кризисом и кризисом водного хозяйства практически во всех республиках бывшего СССР.

Для мира в целом различия прогнозируемого и фактического водопотребления объясняются в основном тем, что развитие мировой экономики шло в целом более медленными темпами, чем это предполагали в 60-70-х годах XX столетия. В то же время более эффективными оказались меры по экономии воды, особенно в наиболее развитых странах. Конечно, в прогнозе на три и более десятилетия трудно учесть все аспекты развития общества и научно-технического прогресса. Это не значит, что долгосрочные прогнозы не нужны, поскольку они заблаговременно предсказывают возможность возникновения самых нежелательных ситуаций, но их периодически нужно обновлять.

Важную роль в улучшении состояния Волги должно было сыграть Постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР 1972 г. «О мерах по предотвращению загрязнения бассейнов рек Волги и Урала неочищенными сточными водами». Но полностью решить указанные проблемы не удалось. Не решены они были и после распада СССР и связанного с ним экономического кризиса, приведшего к закрытию большого числа предприятий, сточные воды которых загрязняли Волгу и ее притоки, так как одновременно снизилась эффективность работы очистных сооружений и никак не очищались загрязнения, поступающие с водосборов.

Не принесла должного эффекта и Программа “Возрождение Волги”, разработанная в конце 1990-х годов.

Согласно Водной стратегии Российской Федерации, до 2020 г., разработанной в начале XXI столетия, предполагалось, что прогнозный объем изъятия водных ресурсов в РФ превысит 100 км³/год. Фактически же оно составило почти в полтора раза меньше. Доля загрязненных вод в общем объеме сточных вод должна была составить немногим более 10%. На самом деле она была близка к 30%.

Проект “Оздоровление Волги на период 2018-2024 гг.” пока не выполняется в запланированном объеме из-за значительно меньшего, чем планировалось, финансирования, недостаточного обновления очистных сооружений и, как следствие, невысокой во многих случаях эффективности их работы, а также из-за того, что, по-существу, ничего не было предусмотрено по борьбе с диффузным загрязнением.

В числе самых крупных неосуществленных гидротехнических проектов: НАВАПА, предполагающий переброску части стока северных рек Канады и Аляски в южные районы США и Мексику (130 км³/год), межзональная переброска части стока северных рек в бассейн Волги и части стока Оби и Иртыша в бассейн Аральского моря (19 и 27 км³/год, соответственно), создание Нижнеобского водохранилища (площадью по разным вариантам от 40,8 и 55,5 тыс. км²), создание Эвенкийской (Туруханской) ГЭС с водохранилищем площадью более 9400 км². Чебоксарский и Нижнекамский гидроузлы сооружены, но работают не на проектных отметках.

В числе главных причин неосуществленных проектов – конфликт экономических и экологических интересов, в том числе в районах изъятия и использования водных ресурсов.

Плюсы и минусы указанных гидротехнических объектов содержатся в работах (Межзональное..., 1980; Воропаев, Бостанджогло, 1984; Егоров, 2020; Kelly et al., 1966 и др.).

Финансирование. Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН FMGE-2019-0007 (AAAA-A19-119021990093-8).

Список литературы

Водные ресурсы России и их использование (2008) Под ред. И.А. Шикломанова, СПб., Государственный гидрологический институт, 600 с.

Воропаев Г.В., Бостанджогло А.А. (1984) *Проблема изъятия, переброски и распределения части стока сибирских рек для районов Западной Сибири, Урала, Средней Азии и Казахстана*, М., ИВП АН СССР, 375 с.

Егоров С.П. (2020) *Чебоксарская гидростанция. Отдельные страницы из истории строительства 1968-1981*, Новочебоксарск, 83 с.

Калинин Г.П. (1968) *Проблемы глобальной гидрологии*, Л., Гидрометеиздат, 378 с.

Ландсберг Г.Г., Фишман Л.Л., Фишер Д.Л. (1965) *Ресурсы США в будущем*, т. 1, пер. с англ., М., Прогресс, 564 с.

Львович М.И. (1974) *Мировые водные ресурсы и их будущее*, М., Мысль, 448 с.

Львович М.И., Коронкевич Н.И. (1971) Ориентировочный прогноз использования и охраны водных ресурсов СССР на уровне 2000 г., *Изв. АН СССР, сер. географ.*, № 2, с. 35-47.

Межзональное перераспределение водных ресурсов (1980) Под ред. А.А. Соколова и И.А. Шикломанова, Л., Гидрометеиздат, 376 с.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли (1974) Л., Гидрометеиздат, 639 с.

Kelly R.P. (1966) North American Water and Power Alliance, *Water production using nuclear energy*, Tucson, The University of Arizona Press, pp. 29-37.

ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ОЗЕРА В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ В АРКТИКЕ

THERMOKARST LAKES IN PERMAFROST MONITORING SYSTEM IN THE ARCTIC

Куликова М.А., Соромотин А.В.

Kulikova M.A., Soromotin A.V.

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6

Аннотация. Термокарстовые озера могут быть использованы в качестве объектов мониторинга природных ландшафтов арктических регионов при деградации вечной мерзлоты в условиях климатических изменений. Мониторинг организуется в приграничной полосе перехода зоны распространения сплошной мерзлоты в прерывистую по двум направлениям: дистанционные наблюдения за динамикой количества и площадей водной поверхности термокарстовых озер и геохимические исследования по минеральному составу вод, балансу автохтонного и аллохтонного органического вещества с учетом динамического характера термокарстовых озер.

Ключевые слова: термокарстовые озера, климатический мониторинг, вечная мерзлота, Арктика

Abstract. Thermokarst lakes can be used as objects for the Arctic natural landscapes monitoring under permafrost degradation in response to climate change. Monitoring is organized in transition zone from continuous to discontinuous permafrost in two directions: thermokarst lakes number and surface areas dynamics remote observations as long as mineral composition and balance between autochthonous and allochthonous organic matter geochemical studies with consideration to thermokarst lakes dynamic nature.

Key words: thermokarst lakes, climate monitoring, permafrost, Arctic

В Арктике в последние десятилетия изменение климата, прежде всего его потепление, происходит значительно быстрее, чем на остальной части Земного шара (Катцов, Порфирьев, 2012). Особую озабоченность вызывают данные об изменениях в гидрологии суши, которые играют важную роль практически во всех аспектах арктической системы (Peterson et al., 2012).

Наиболее распространёнными поверхностными водными объектами в Арктике являются озера различного генезиса. В зоне распространения многолетнемерзлых пород наиболее представлены термокарстовые озера, формирующие специфику тундровых и лесотундровых ландшафтов (Кравцова, 2009). Эти озера, образующиеся в результате оседания поверхности грунта при оттаивании вечной мерзлоты, могут являться своеобразными центрами ускорения процессов мобилизации углерода из многолетнемерзлых пород, интенсивность которых быть более значительной, чем в почвах (Pokrovsky et al., 2011).

Термокарстовые озера надежно дешифрируются на космических снимках, что позволяет не только четко выделять районы распространения термокарстового рельефа, но и анализировать стадии его развития (Книжников и др., 2004). Сравнение спутниковых снимков, полученных на части территории Сибири площадью 515 000 км² в начале 1970-х годов со спутниковыми данными 1997-2004 гг. для более чем 10 тыс. крупных озер, показало сокращение численности и общей площади озер в зонах прерывистой, спорадической и изолированной мерзлоты, несмотря на незначительное увеличение количества осадков. При этом выявлена тенденция роста количества озер в сплошной мерзлоте (Smith et al., 2005).

Начальное потепление мерзлоты приводит к развитию термокарста и расширению озер, а затем к их осушению по мере дальнейшей деградации мерзлоты, что позволяет предположить наличие "фронта" осушения термокарстовых озер, на котором сплошная вечная мерзлота впервые подвергается широкомасштабной деградации.

Анализ динамики площадей термокарстовых озер с использованием инструментов дешифрирования, в том числе на основе машинного обучения, позволяет исследовать изменение площадей крупных термокарстовых озер. Исследование изменений рельефа в районах распространения многолетнемерзлых пород может осуществляться с применением воздушного лазерного сканирования с беспилотных летательных аппаратов. Данные лидарной съемки также могут быть использованы для повышения точности исходных данных об особенностях рельефа водосборов в моделировании и, следовательно, результатов прогнозирования пространственного распределения термокарстовых озер.

Таким образом, дистанционные мониторинговые наблюдения за параметрами термокарстовых озер в приграничной полосе зоны распространения сплошной мерзлоты в прерывистую могут наглядно показать продвижения «фронта» деградации многолетнемерзлых грунтов на значительных территориях Арктики.

Прогнозируемое смещение границы мерзлоты к северу и смена ее типов из сплошной в прерывистую, прерывистой в спорадическую/изолированную отразится на качественном составе озерных вод, в частности, запасах растворенного органического углерода, концентрациях основных ионов, макро- и микроэлементов (Manasypov et al., 2018). Мониторинг гидрохимических показателей термокарстовых озер, в частности на границе вечной мерзлоты и в переходных зонах, позволит отследить изменения в состоянии вечной мерзлоты.

Воды термокарстовых озер, наиболее подверженных влиянию деградации многолетнемерзлых пород, характеризуются значительным смещением баланса между автохтонным и аллохтонным растворенным органическим веществом в сторону увеличения доли последнего, что, вероятно, приведет к развитию более гетеротрофных условий в водоемах и увеличению эмиссии парниковых газов. Изучение пулов растворенного органического углерода с использованием спектральных (CDOM) и изотопных ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^2\text{H}$) методов анализа, а также химико-биологических параметров вод (общий азот, общий фосфор, DOC, Chl *a*) позволяет выявить эффект деградации мерзлых пород на озера (Wauthy et al., 2018). Кроме того, следует учитывать, что по мере деградации мерзлоты и стабилизации экосистемы термокарстового озера при переходе от просадок в результате оттаивания высокольдистых пород к зрелому и дренированному озеру наблюдается снижение концентрации растворенных органического углерода и микроэлементов за счет био- и

фотодеградации, что также сопровождается увеличением доли автохтонного органического вещества (Pokrovsky et al., 2011).

Таким образом, мониторинг за термокарстовыми озерами в переходной зоне от сплошного распространения вечной мерзлоты к прерывистому позволит косвенно оценить состояние многолетнемерзлых грунтов на основании анализа данных дистанционного зондирования по динамике численности и площадей озер, а также по структуре растворенного органического вещества и неорганических компонентов в озерных водах.

Список литературы

Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. 2012. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики. – *Арктика: экология и экономика*, №2(6). – С. 66-79.

Книжников Ю.Ф., Кравцова В.И., Тутубалина О.В. 2004. *Аэрокосмические методы географических исследований*: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений. — М., Издательский центр «Академия», 336 с.

Кравцова В. И. 2009. Распространение термокарстовых озер в России в пределах зоны современной мерзлоты. – *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, №. 3. – С. 33-42.

Manasyrov R. M., Lim A. G., Krickov I. V., Shirokova L. S., Vorobyev S. N., Kirpotin S. N., Pokrovsky O. S. 2020. Spatial and seasonal variations of C, nutrient, and metal concentration in thermokarst lakes of Western Siberia across a permafrost gradient. – *Water*, 12(6), 1830.

Peterson B. J., McClelland J., Curry R., Holmes R. M., Walsh J. E., Aagaard K. 2006. Trajectory shifts in the Arctic and subarctic freshwater cycle. – *Science*, 313(5790). – С. 1061-1066.

Pokrovsky O. S., Shirokova L. S., Kirpotin S. N., Audry S., Viers J., Dupré B. 2011. Effect of permafrost thawing on organic carbon and trace element colloidal speciation in the thermokarst lakes of western Siberia. – *Biogeosciences*, 8(3). – С. 565-583.

Smith L. C., Sheng Y., MacDonald G. M., Hinzman L. D. 2005. Disappearing arctic lakes. – *Science*, 308(5727). – С. 1429-1429.

Wauthy M., Rautio M., Christoffersen K. S., Forsström L., Laurion I., Mariash H. L., Peura S., Vincent W. F. 2018. Increasing dominance of terrigenous organic matter in circumpolar freshwaters due to permafrost thaw. – *Limnology and Oceanography Letters*, 3(3). – С. 186-198.

**СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЛЕДНИКАХ И РЕЧНЫХ ВОДАХ
БАССЕЙНА РЕКИ ЧЕРЕК БЕЗЕНГИЙСКИЙ (КАБАРДИНО-БАЛКАРСКАЯ
РЕСПУБЛИКА)**

**HEAVY METALS CONTENT IN GLACIERS AND RIVER WATERS OF THE
CHEREK BEZENGIYSKY RIVER BASIN (KABARDINO-BALKAR REPUBLIC)**

Курашева О.А.

Kurasheva O.A.

ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Россия, 360030, КБР, г. Нальчик, пр. Ленина, 2

Аннотация. Ледники в горных районах являются аккумуляторами атмосферной влаги и одновременно одним из основных источников питания главных рек Кавказа, а также перспективными источниками пресной воды. Особенно это относится к рекам бассейна крупнейшего узла оледенения – Безенгийского. Но кроме дефицита пресной воды существует и другая проблема: её качество. Цель работы: дать пространственно-временную характеристику распределения концентрации тяжелых металлов (ТМ) в ледниках Безенги и Мижирги, а также в р. Черек Безенгийский в период с начала XXI века.

Ключевые слова: ледник Безенги, р. Черек Безенгийский, Северный Кавказ, тяжелые металлы.

Abstract. Glaciers in mountainous areas are accumulators of atmospheric moisture and at the same time one of the main sources of feeding the main rivers of the Caucasus, as well as promising sources of fresh water. This is especially true for the rivers of the basin of the largest glaciation junction, the Bezenghi. But besides fresh water deficit there is another problem: its quality. Purpose of the work: to give a spatial and temporal characterization of the distribution of heavy metal (HM) concentrations in the glaciers Bezenghi and Mizhirgi, as well as in the river Cherek Bezenghiysky in the period from the beginning of the XXI century

Keywords: Bezenghi glacier, r. Cherek Bezenghi, North Caucasus, heavy metals.

Химический состав ледников формируется под влиянием климатических, вулканических, космических, почвенно-геологических, биологических, физических, антропогенных процессов (Котляков, 1984; Керимов, Курашева, 2020). Отбор проб производился, начиная с истока реки Черек Безенгийский, в периоды с разным гидрологическим режимом. Определены концентрации следующих ТМ, современных приоритетных загрязнителей окружающей природной среды: Cr, Ni, Mo, Mn, Pb, Zn, Ag, Cu, Cd (Керимов, Курашева, 2022). Определение концентрации тяжёлых металлов проводилось с использованием спектрометра «МГА-915М» в отделе физики облаков (ОФО) – лаборатории аналитической химии.

Результаты исследования выявили, что химический состав воды у истоков реки и на языке ледников более близки, чем в нижнем течении реки. Концентрация ТМ начала XXI века значительно превышают концентрации ТМ за последние годы (2018-2019 гг.). На рисунке 81 приводится карта-схема концентрации ТМ в пробах льда с ледников Безенги и Мижирги и речных водах в верховьях бассейна р. Черек Безенгийский. Карты составлены с помощью картографической программы «Google Earth Pro».

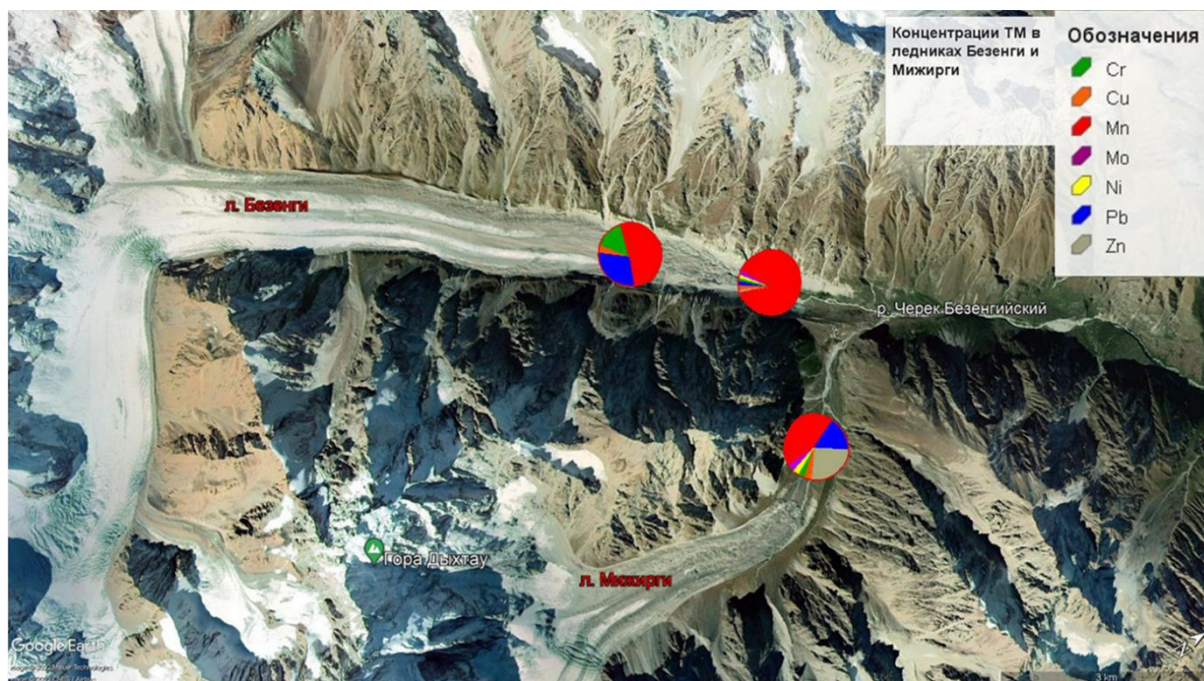


Рисунок 81. Карта-схема концентрации ТМ в пробах льда и речных вод в верховьях бассейна р. Черек Безенгийский (2018-2020 гг.)

Пробы из языков ледников Безенги, Мижирги и р. Черек Безенгийский, отличаются повышенным содержанием ТМ, что в основном объясняется режимом питания ледников (снежные лавины и ледяные обвалы). Для речных вод бассейна р. Черек Безенгийский и ледников Безенги и Мижирги в последней серии проб зимнего пробоотбора (2018-2019 гг.) наблюдается уменьшение концентрации ТМ. Связано это с тем, что содержание ТМ в пробах зимнего отбора близки к содержанию их в твердых осадках. А для других серий проб содержание ТМ определяется таянием сошедших лавин и обвалами льда со склонов, которые составляют значительную часть баланса ледников Безенги и Мижирги и способствуют повышению концентрации ТМ в талых водах.

Полученные результаты при сравнении с ПДК, определенных ТМ свидетельствуют, что талые ледниковые воды рассматриваемого бассейна могут быть использованы для культурно-бытового назначения.

Список литературы

Гляциологический словарь (1984) Под ред. В.М. Котлякова, Л., изд. Гидрометеоиздат, 526 с.

Керимов А.М. Курашева О.А. (2020) Особенности формирования химического состава рек ледникового питания Центрального Кавказа при интенсивной деградации оледенения, *Тезисы докладов XVII гляциологического симпозиума «Роль криосферы в прошлом, настоящем и будущем Земли»*, Санкт-Петербург, с. 66.

Керимов А.М., Курашева О.А. (2022) Тяжелые металлы в ледниках и речных водах бассейна реки Черек Безенгийский при интенсивной деградации оледенения, *Наука. Инновации. Технологии*, № 3, с. 97-118, ISSN 2308–4758.

**ДИНАМИКА ВЫПАДЕНИЙ СЕРЫ И АЗОТА НА ТЕРРИТОРИИ РФ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА
СНЕЖНОГО ПОКРОВА**

**TEMPORAL TRENDS OF SULFUR AND NITROGEN DEPOSITIONS ON THE
TERRITORY OF RUSSIAN FEDERATION ACCORDING TO MONITORING DATA FOR
CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER**

Манзон Д.А., Беспалов М.С.

Manzon D.A., Bepalov M.S.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Объектом исследования были временные тренды изменения показателей кислотности (рН) и интенсивности выпадения серы и азота (кг/км²-мес.) на территории Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова (ХССП) за период наблюдений 2013-2022 гг. По данным наблюдений в 2022 г. построены карты-схемы распределения рассматриваемых показателей на всей территории России.

Ключевые слова: мониторинг, снежный покров, пункты наблюдений, химический состав, сера, азот, закисление, атмосферные осадки.

Abstract. The study examined temporal trends of the acidity (pH) and intensity of sulfur and nitrogen depositions (kg/km²-month) on the territory of Russian Federation according to monitoring data for chemical composition of snow cover (CCSC) obtained in 2013-2022.

Distribution map-schemes of examined parameters over the Russia territory were developed using observations data for 2022.

Key words: monitoring, snow cover, observation sites, chemistry data, sulfur, nitrogen, acidification, winter precipitations.

В настоящее время основной задачей мониторинга ХССП является отбор и анализ проб снега и получение исходных данных для определения нагрузок атмосферных выпадений загрязняющих веществ на природную среду, составление карт – схем пространственного распределения нагрузок на территории России и определение кислотно – щелочных характеристик снежного покрова в период образования максимального влагозапаса перед наступлением периода весеннего снеготаяния.

По состоянию на 1 января 2023 г. сеть мониторинга ХССП в 23-х УГМС состояла из 546 снегомерных маршрутов на 523 ПН, расположенных в 68 субъектах РФ.

Анализ проб снежного покрова производился в сетевых и межрегиональных лабораториях УГМС, где определялись кислотность (водородный показатель рН) и концентрации основных ионов, из которых в данной работе представлены сульфат-ион, нитрат-ион, ион аммония (РД 52.04.186-89, 1991).

Интенсивность выпадений серы и азота, содержащихся в снежном покрове, рассчитывалась для каждого ПН как произведение концентрации иона и влагозапаса, делённое на время залегания устойчивого снежного покрова. Данная методология описана в (Ветров и

др., 2014) и является переработанным подходом, использовавшимся в работе сети мониторинга с 1985 г. (Василенко и др., 1985).

По данным, полученным на сети ХССП о рН снежного покрова и рассчитанным выпадениям серы и азота на территории РФ зимой 2021-2022 гг. были построены карты-схемы пространственного распределения этих параметров по регионам РФ. На рис. 82-84 представлены карты территории Российской Федерации по состоянию на 1 мая 2022 г. На картах не представлены значительные территории юга европейской части России (ЕЧР), где отсутствовал устойчивый снежный покров за период зимнего сезона 2021-2022 гг.

Обзор результатов позволяет сделать вывод, что интенсивность выпадения серы в зимний период 2021-2022 гг. на большей части территории страны была в пределах 20 кг/км²·мес., значения выше 40 кг/км²·мес. отмечались на ЕЧР на юге Урала: Курганская, Свердловская, Саратовская области и Республика Башкортостан. На севере ЕЧР максимальные значения отмечены в Мурманской области. В азиатской части России (АЧР) – в Кемеровской области, в Республиках Тыва и Хакасия. На Дальнем Востоке максимальные выпадения серы были отмечены в Сахалинской области. Максимальные значения интенсивности выпадения серы в РФ приходились на территорию Пермского края (84 кг/км²·мес.) (рис. 82).

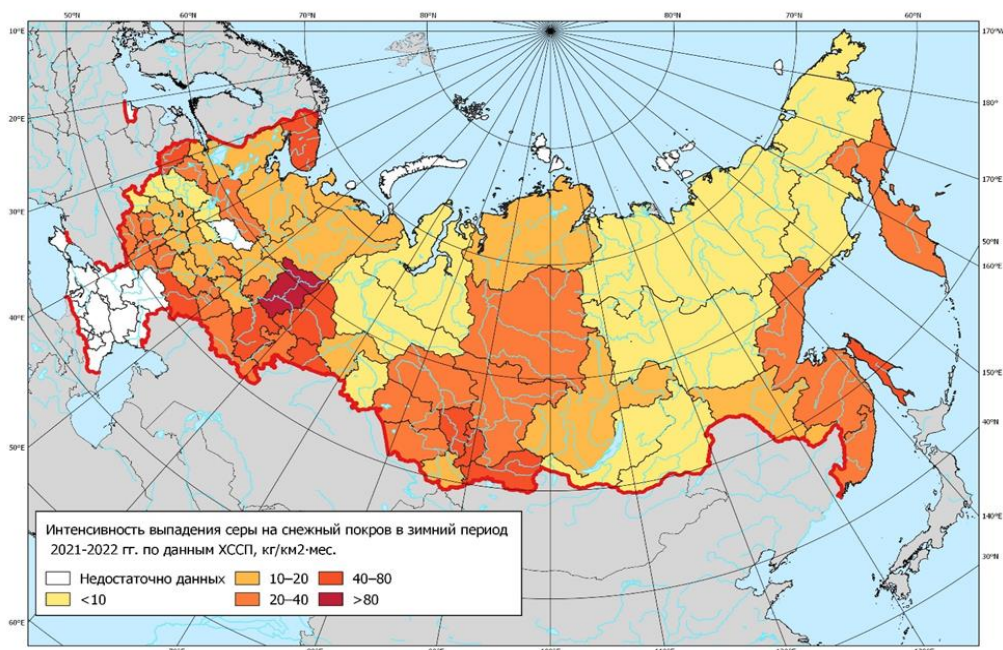


Рисунок 82. Интенсивность выпадения серы на снежный покров в зимний период 2021-2022 г.

Показатели интенсивности выпадения азота на снежный покров были рассчитаны для суммы ионов нитрата и аммония (рис. 83).

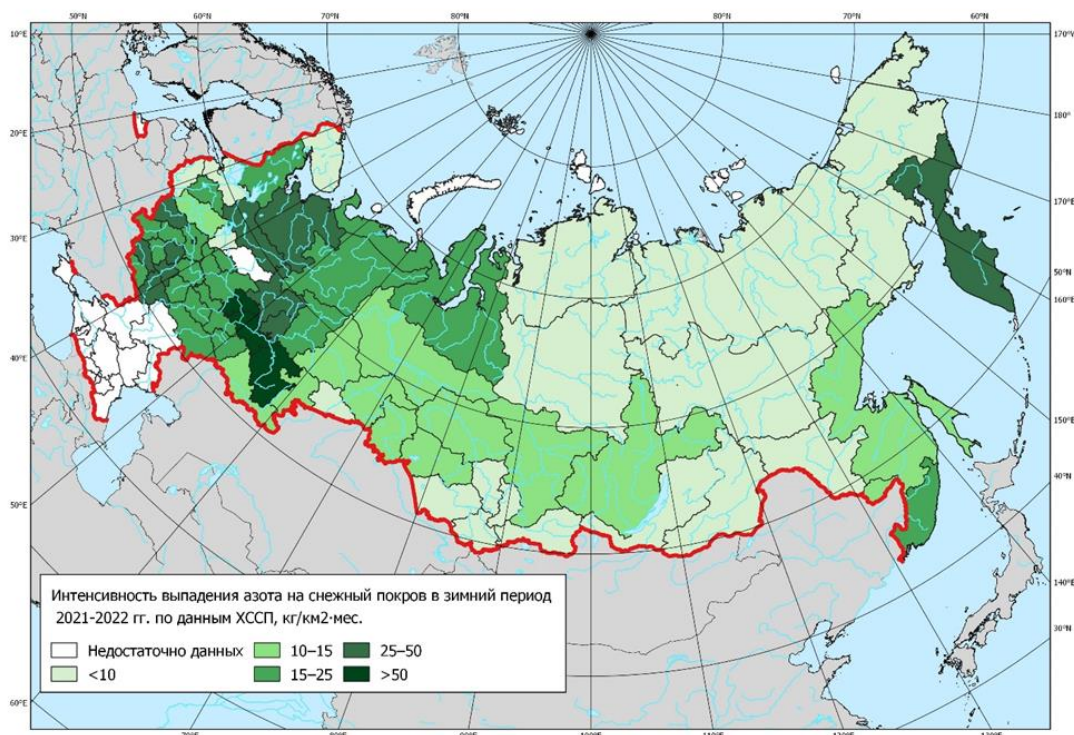


Рисунок 83. Интенсивность выпадения азота на снежный покров в зимний период 2021-2022 г.

Выпадение азота в пределах $25 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$ характерно для 60% территории РФ, в основном на АЧР и севере ЕЧР. Показатель интенсивности выпадения азота выше $25 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$. отмечен на ЕЧР в Архангельской, Тульской, Смоленской, Курской, Кировской, Липецкой, Воронежской, Вологодской областях и в Удмуртской Республике. На АЧР это Камчатский край. Максимальные значения интенсивности выпадения азота приходятся на территорию республик ЕЧР: Татарстан ($70 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$.), Марий Эл ($58 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$.), Чувашская ($52 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$.), Башкортостан ($134 \text{ кг/км}^2 \cdot \text{мес}$.). Регионы РФ с высокой интенсивностью выпадения азота в снежном покрове сосредоточены на территории ЕЧР, что обусловлено наличием на данных территориях относительно большого количества автомобильных дорог и промышленных комплексов.

Среднемесячный показатель рН по регионам в зимний период 2021-2022 гг. находился в значениях 5,5-6,5 единиц на более чем 70% территории РФ (рис. 84). Регионы с показателем рН 4,5-5,5 расположены как на АЧР, так и на ЕЧР. Это Ленинградская и Псковская области, Чувашская Республика, Республика Марий Эл, Ханты-Мансийский автономный округ – Югра и центр Красноярского края. Показатели рН 6,5-7,0 на ЕЧР были отмечены в Ненецком автономном округе, в Архангельской и Вологодской областях, в Республике Коми. На АЧР это Новосибирская, Кемеровская и Томская области, а на Дальнем Востоке – Чукотский автономный округ, что может объясняться близостью незамерзающего моря, обеспечивающего подщелачивание.

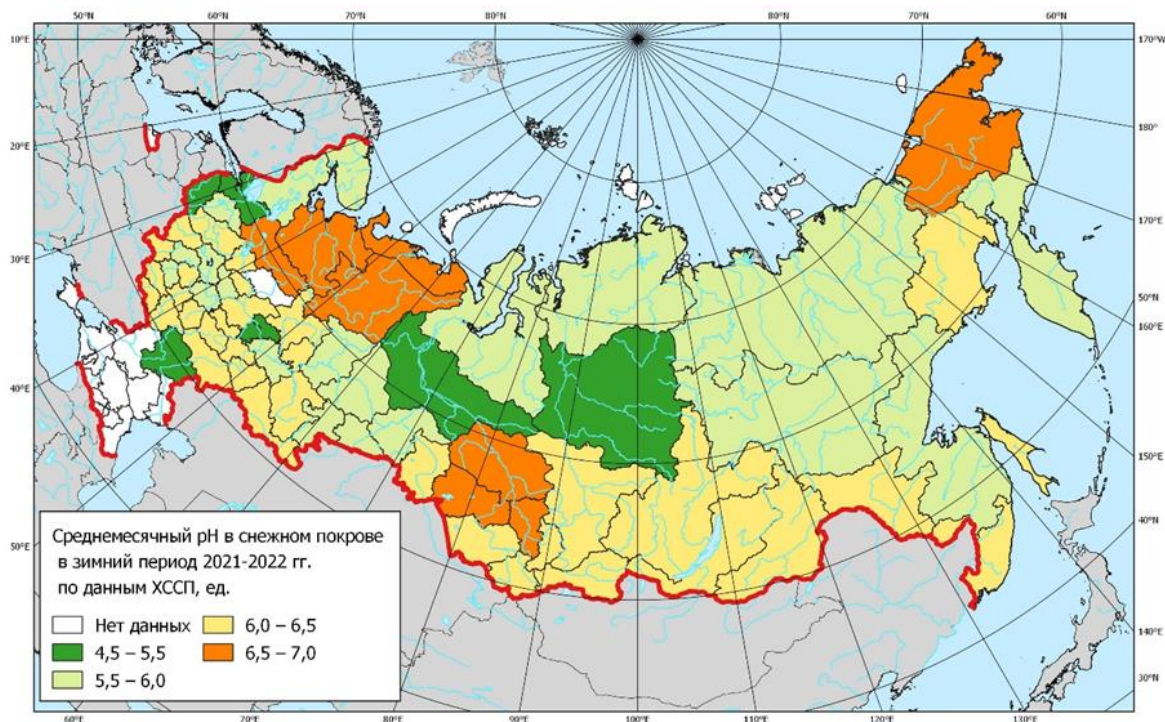


Рисунок 84. рН снежного покрова в зимний период 2021-2022 г.

Статистические характеристики выпадения серы, азота на снежный покров и значения рН в регионах Российской Федерации рассчитаны по данным мониторинга ХССП в 2013-2022 гг. При анализе использовались данные только тех субъектов, на территории которых проводились ряды наблюдений интенсивности выпадения серы, азота и определение рН не менее чем за 8 лет в период 2013-2022 гг.

За 10 лет в ряде субъектов РФ с выявленной тенденцией к изменению интенсивности выпадения серы, этот показатель увеличился в Тамбовской (с 19 до 40 кг/км²·мес.), Липецкой (с 11 до 27 кг/км²·мес.), Мурманской (с 17 до 48 кг/км²·мес.), на юге Республики Саха (с 4 до 7 кг/км²·мес.) и в Хабаровском крае (с 6 до 11 кг/км²·мес.).

Уменьшение интенсивности выпадения серы происходило в Псковской (с 31 до 4 кг/км²·мес.), Пензенской (с 37 до 15 кг/км²·мес.), Тюменской (с 12 до 11 кг/км²·мес.), Самарской (с 42 до 36 кг/км²·мес.), Омской (с 16 до 10 кг/км²·мес.), Курганской (с 195 до 50 кг/км²·мес.), Свердловской (с 114 до 54 кг/км²·мес.) областях, в Ханты-Мансийском автономном округе – Югра (с 11 до 9 кг/км²·мес.). Наибольшее уменьшение наблюдалось в Челябинской области (с 187 до 34 кг/км²·мес.).

Тренды к значительному увеличению показателя наблюдаются на территориях отдельных субъектов запада ЕЧР, а к уменьшению – в Уральском регионе.

Показатели интенсивности выпадения азота на снежный покров были рассчитаны для суммы ионов нитрата и аммония.

Тренды к увеличению интенсивности выпадения азота за 2013-2022 гг. наблюдались в Смоленской (с 7 до 31 кг/км²·мес.), Иркутской (с 10 до 15 кг/км²·мес.), Ивановской (с 5 до 19 кг/км²·мес.), Челябинской (с 12 до 10 кг/км²·мес.), Воронежской (с 13 до 42 кг/км²·мес.) областях. Значительное увеличение было отмечено в Липецкой области (с 9 до 37 кг/км²·мес.).

Уменьшение интенсивности выпадения азота происходило в Самарской (с 24 до 16 кг/км²·мес.), Сахалинской (с 27 до 13 кг/км²·мес.), Омской (с 32 до 13 кг/км²·мес.), Тюменской (с 24 до 15 кг/км²·мес.) областях, в Ханты-Мансийский автономный округ – Югра (с 34 до 15 кг/км²·мес.). Значительное уменьшение наблюдалось в Республике Бурятия (с 11 до 3 кг/км²·мес.).

В ряде субъектов РФ отмечается тренд к увеличению показателя рН: Белгородская, Липецкая, Томская, Кемеровская, Новосибирская области, Республика Алтай и Чукотский автономный округ. Снижение данного показателя наблюдается на АЧР на всей территории Красноярского края, в Магаданской и Свердловской областях.

При наличии в ряде субъектов РФ трендов как к увеличению, так и к уменьшению значения рН в снежном покрове, за исследуемый период не выявлено тенденции к закислению снежного покрова в РФ.

Таким образом, на большей части РФ за зимние периоды 2013-2022 гг. отсутствуют тренды к изменениям показателей интенсивности выпадения серы, азота на снежный покров и значения рН.

Список литературы

Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. (1985) *Мониторинг загрязнения снежного покрова*, Л., Гидрометеиздат, 180 с.

Ветров В.А., Кузовкин В.В., Манзон Д.А. (2014) Кислотность атмосферных осадков и атмосферные выпадения серы и азота в Арктической зоне Российской Федерации по данным мониторинга химического состава снежного покрова, *Арктика: экология и экономика*, № 3 (15), с. 46-51.

РД 52.04.186-89 (1991) *Руководство по контролю загрязнения атмосферы*, М., Госкомгидромет СССР, 693 с.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БАЙКАЛЬСКОЙ АТМОСФЕРНО-ЛИМНОЛОГИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГАЗООБМЕНА CO₂ И CH₄ В СИСТЕМЕ «ВОДА-АТМОСФЕРА»

HARDWARE AND SOFTWARE COMPLEX OF THE BAIKAL ATMOSPHERIC-LIMNOLOGICAL OBSERVATORY FOR INVESTIGATION OF CO₂ AND CH₄ GAS EXCHANGE IN THE WATER-ATMOSPHERE SYSTEM

*Пестунов Д.А.¹⁾, Шамрина А.М.¹⁾, Шмаргунов В.П.¹⁾, Панченко М.В.¹⁾, Домышева В.М.²⁾,
Сакирко М.В.²⁾*

Pestunov D.A.¹⁾, Shamrina A.M.¹⁾, Shmargunov V.P.¹⁾, Panchenko M.V.¹⁾, Domyшева V.M.²⁾, Sakirko M.V.²⁾

¹⁾Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН
Россия, 634055, г. Томск, площадь Академика Зуева, 1

²⁾Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. Описываемый аппаратно-программный комплекс предназначен для исследования процессов газообмена парниковыми газами (CO₂ и CH₄) в системе «водная поверхность-атмосфера» на озере Байкал. В настоящее время изготовлены и используются стационарное и мобильное исполнения комплекса. Стационарный комплекс смонтирован на Байкальской атмосферно-лимнологической обсерватории (БАЛО СО РАН), расположенной на пирсе Научно-исследовательского стационара Лимнологического Института СО РАН (п. Большие Коты, Южный Байкал). Мобильное исполнение комплекса адаптировано для оперативной инсталляции на борту некоторых типов НИС и предназначено для построения пространственной картины происходящих в поверхностном слое газообменных процессов. С помощью комплекса ведутся измерения концентрации парниковых газов в приводной атмосфере и в верхних слоях воды, а также их потоков между водой и атмосферой (камерный метод). Комплекс прошел многолетние испытания, были получены данные о внутрисуточной изменчивости содержания растворенных в воде CO₂ и CH₄, их потоков для различных гидрологических сезонов. Получена карта выявляющая ряд особенностей распределений растворенных газов по всей акватории Байкала.

Ключевые слова: измерительный комплекс, камерный метод, эквilibратор, газообмен «вода-атмосфера», углекислый газ, метан, суточный и сезонный ход, пространственное распределение, озеро Байкал.

Abstract. The hardware-software complex designed to study the process of greenhouse gas (CO₂ and CH₄) exchange between the water surface of Lake Baikal and the near-water atmosphere is considered. The complex is now used in the mobile and stationary versions. The stationary system is mounted at the Baikal atmospheric limnological observatory (BALO SB RAS) which is located on the pier of the Research Station of the Limnological Institute SB RAS (Bolshiye Koty, South Baikal). The mobile version is adapted for fast installation on board some types of R/V and is designed to draw a spatial pattern of gas exchange processes occurring in the upper water layer. The system is used to measure the concentrations of greenhouse gases in the near-water atmosphere and in the upper water layers, as well as gas fluxes between the water and the atmosphere (chamber method). The system has passed many years of testing. Data on the diurnal variability of the content and fluxes of CO₂ and CH₄ dissolved in water for different hydrological seasons were obtained. A map that reveals the features in the distribution of dissolved gases throughout the Baikal water area was drawn.

Keywords: measuring complex, chamber method, equilibrator, water-atmosphere gas exchange, carbon dioxide, methane, diurnal and seasonal patterns, spatial distribution, Lake Baikal.

В настоящее время для развития климатических моделей одной из проблем является нехватка хорошо обеспеченных данных инструментальных измерений концентраций в атмосфере парниковых газов (ПГ) и их потоков на региональном уровне. Экосистема озера Байкал, являясь природным объектом мирового значения, несомненно, представляет значительный интерес и необходимость всестороннего изучения в т.ч. в рамках исследования

этой проблемы. Не смотря на большую историю всестороннего изучения озера Байкал, до начала наших работ практически отсутствовали данные продолжительных, многолетних инструментальных наблюдений в разные сезоны года процессов газообмена CO_2 и CH_4 в системе «вода-атмосфера». Разработка аппаратуры и проведение измерений на Байкале были начаты нами в 2002 году на территории стационара ЛИН СО РАН в п. Б.Коты, где в 2006 году была организована Байкальская атмосферно-лимнологическая обсерватория (БАЛО СО РАН). К настоящему времени нами создан современный исследовательский комплекс для всестороннего изучения газообмена парниковых газов в системе «вода-атмосфера», накоплены многолетние данные о временном ходе (Panchenko, 2020) и пространственном распределении содержания растворенных газов в воде озера Байкал (Пестунов, 2015).

Для прямых измерений потока газа с водной поверхности в атмосферу мы применяем метод плавающей *проветриваемой камеры*. По скорости изменения парциального давления ПГ в закрытой камере после ее проветривания рассчитывается поток. Концентрация растворенных газов в водной среде измеряется с применением *проточных многокаскадных эквипраторов*, через герметичные камеры которых в течение всего периода наблюдений осуществляется прокачка воды с поверхности и придонной области. Воздушные пробы из эквипраторов, приводной атмосферы и камеры поочередно подаются на *газоанализатор* (ГА) через селектор каналов. Внутри основного цикла (как правило, часового) реализуются один или два подцикла проветривания камеры, в зависимости от интенсивности потока.

Всего было создано два комплекса стационарного и мобильного исполнения. Оба комплекса оснащены метеостанциями и рядом дополнительных датчиков, которые регистрируют состояние водной среды и метеорологических параметров. Мобильный комплекс дополнен системой навигации GPS/GLONASS.

Стационарный комплекс смонтирован на пирсе на удалении около 40 метров от береговой линии (рис.85, слева). Здесь, в отапливаемом помещении на стойках размещаются: газоанализатор Picarro G2301 (Picarro, Inc. США); блок селектора воздушных каналов (8-1) и пробоподготовки; платы управления вспомогательным оборудованием (термометры, расходомеры воды, релейно-пусковой узел); ПК с предустановленным ПО; коммуникационное оборудование; блоки бесперебойного питания (рис.85, справа).

В «мокрой» зоне помещения расположены 4 эквипратора и система подачи воды. Через распределительную систему, вода поступает на эквипраторы оснащенные измерителями-регуляторами потока воды и датчиками температуры, на флуориметр. Всего реализованы 4 водные магистрали. Поступающая в эквипраторы вода подвергается очистке от крупной взвеси. В нижней части «мокрой зоны» находится сливная система. Установка эквипраторов в теплом помещении и устройство свободного слива воды значительно

снижают аварийные ситуации «затопления» газовых магистралей, вызванные замерзанием воды или засором. В основе работы проточных эквипраторов лежит создание в его внутреннем объеме равновесия парциальных давлений между непрерывно подаваемой водой и воздухом, с последующим определением концентрации соответствующей воздушной компоненты в ГА. Благодаря изменениям, внесенным в конструкцию эквипратора, описанного в (Pestunov, 2015), а также введения определенного режима работы и соответствующего алгоритма обработки исходных данных удалось повысить быстродействие и уменьшить погрешность, вносимую искажениями из-за необходимости компенсации давления при отборе пробы на газоанализатор.



Рисунок 85. Помещение обсерватории на пирсе, камера на подвесе находится в режиме проветривания (слева); размещение оборудования внутри (справа)

Рядом с помещением базируются плавающая камера и такелажное оборудование для установки камеры на воду (рис. 85). Регулярный цикл «подъем–удержание–опускание», осуществляемый автоматически, обеспечивает как полное проветривание воздуха в камере, так и смену воды, которую камера «удерживает» во время экспозиции. Здесь же на палубе пирса установлены краны для выноса насосов в места пробоотбора воды. На высоте 6 м над поверхностью воды установлен метеоконкомплекс (температура, влажность, давление, освещенность), выведены воздушные магистрали атмосферной пробы и компенсирующими входами эквипраторов, оканчивающиеся воздухозаборниками. Работа стационарного комплекса автоматизирована. Но специфика работы с водной средой требует периодического контроля оператором, поскольку иногда случаются нештатные ситуации (шторм, нарушение подводящих воду шлангов и т.п.) Таким образом, чтобы минимизировать материальные и трудовые затраты, при этом обеспечить получение вполне репрезентативных данных эксплуатация стационарного комплекса проводится сериями продолжительностью 2-3 недели в разные гидрологические сезоны. Как правило, в этот период укладывается чередование

нескольких синоптических циклов, а температурный режим воды и состояние водной биоты не претерпевают больших изменений.

Состав и устройство узлов **мобильного комплекса** практически не отличаются от стационарного, однако есть некоторые отличия и особенности эксплуатации. Мобильный комплекс адаптирован для работы на борту судна и предназначен для измерения парциального давления растворенных газов в поверхностном слое воды. Непрерывная подача поверхностной воды в эквипратор осуществляется индивидуальной системой. Один канал эквипратора опрашивается продолжительное время, а другие два используются кратковременно, как опорные.

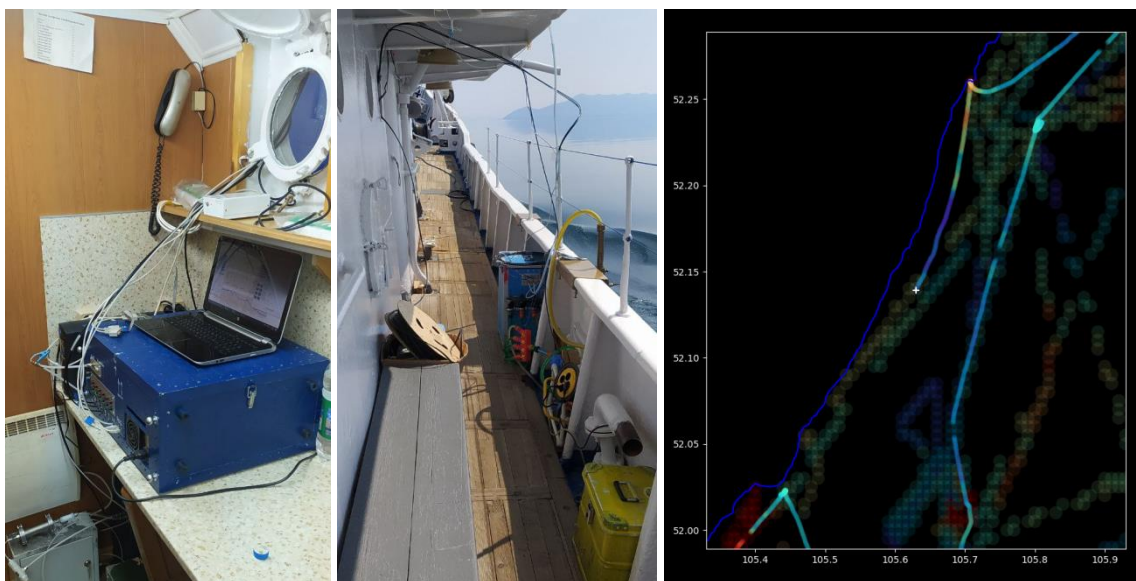


Рисунок 86. Размещение узлов мобильного комплекса на борту НИС «Верещагин» (слева и в центре); пример регистрации содержания растворенного метана во время движения судна (справа)

Кругобайкальская экспедиция, июнь 2023 г.

Прямые измерения потоков с помощью полупогружной камеры проводятся только во время стоянки судна. Проветривание осуществляется путем принудительной протяжки атмосферного воздуха через внутренний объем в автоматическом режиме, либо вручную, путем подъема и удержания до полного проветривания.

В мобильном комплексе применяется газоанализатор марки Picarro G4301 (Picarro, Inc. США). Селектор каналов, построенный по схеме 8 к 1 (6 к 1 в мобильном комплексе), обеспечивает контролируемую скорость подачи пробы воздуха с выбранной газовой магистрали на ГА. Каждый вход селектора оснащен детектором воды, СУ которого запирает входные клапаны и отключает побудители расхода в случае возникновения аварийных ситуаций в камере или эквипраторах.

Программное обеспечение. Комплект приборов, датчиков и исполнительные устройства оснащены сетевыми интерфейсами Ethernet/WiFi, объединенные в локальной сети

через коммутатор и WiFi-роутер. Ведется широкополосная трансляция пакетов с данными и сигналами управления. Специальное приложение, запущенное на одном из хостов сети управляет исполнительными устройствами (клапаны и насосы селектора каналов, пусковые реле) и задает программу измерений, ведет мониторинг состояния вспомогательных сенсоров, формирует сигнал тревоги в случае нештатных ситуаций. Приложение «логгер» анализирует и производит отбор сообщений с данными, соответствующие определенному формату, проводит их предобработку и сохраняет в базу данных. Отдельные скрипты проводят коррекцию значений для каждого отдельного сенсора в соответствии с калибровочной таблицей, реализуют алгоритмы расчета потока в проветриваемой камере и содержания растворенных в воде газов по показаниям ГА в эквивалентных каналах. Серверное ПО (Apache) запускает php-скрипты, формирующие HTML страницу, на которой в реальном времени отображаются текущие данные после предварительной обработки (рис. 8б, справа). При добавлении новых устройств их интерфейсы адаптируются к требованиям сети. Дополнительная функциональность комплекса достигается написанием дополнительных скриптов, не нарушающих работу уже работающих.

Работа выполнена в рамках государственных заданий ИОА № 121031500342-0 и ЛИИ СО РАН (№121032300199-9).

Список литературы

Пестунов Д.А., Домышева В.М., Иванов В.Г., Шамрин А.М., Панченко М.В. (2015) Пространственное распределение направления потоков CO₂ и CH₄ по акватории озера Байкал (кругобайкальская экспедиция, июнь 2013 г.), *Оптика атмосферы и океана*, т. 28, № 09, с. 792-799.

Panchenko M.V., Domysheva V.M., Pestunov D.A., Sakirko M.V., Shamrin A.M., Shmargunov V.P. (2020) Carbon dioxide in the atmosphere-water system and biogenic elements in the littoral zone of Lake Baikal during period 2004-2018, *J. Great Lakes Res.*, no. 46, pp. 85-94.

Pestunov D.A., Shamrin A.M., Shmargunov V.P., Panchenko M.V. (2015) "Gas-analytic measurement complexes of Baikal atmospheric-limnological observatory", *Proc. SPIE 9680, 21st International Symposium Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics, 96803Q (19 November 2015)*, URL: <https://doi.org/10.1117/12.2205538>.

**ЛЕД И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ФАУНЫ ДОННЫХ
БЕСПОЗВОНОЧНЫХ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ
ICE AND ITS INFLUENCE ON THE FORMATION OF THE FAUNA OF BENTHIC
INVERTEBRATES IN NORTHERN EURASIA**

Потютко О.М.

Potyutko O.M.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А.Израэля»,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б; *oleg.potyutko@gmail.com*

Анотация. Цель работы – выявить влияние покровных оледенений позднего плейстоцена на особенности распределения современного состава зообентоса по водным бассейнам Северной Евразии на основе собственных данных автора, а также данных сети гидробиологического мониторинга, проведенных в 2002-2023 гг. В результате проведенного анализа современных данных распространения видов зообентоса по современным гидрографическим районам и их совмещением с границами оледенения и расположение прилениковых озер, выявлено, что современная фауна зообентоса Северной Евразии является обедненной фауной бассейна р. Амур, обогащенной эвригалинной фауной Северного Ледовитого океана в период таяния Скандинавского щита и фауной Северной Атлантики.

Ключевые слова. Зообентос, Северная Евразия, поздний плейстоцен.

Abstract. The aim of studies is to identify the influence of late Pleistocene glaciations on the distribution of the modern composition of zoobenthos in the water basins of Northern Eurasia based on the author's own data, as well as data from a hydrobiological monitoring network conducted in 2002-2023. As a result of the analysis of modern data on the distribution of zoobenthos species in modern hydrographic areas and their combination with the boundaries of glaciation and the location of lakes near the lake, it was revealed that the modern zoobenthos fauna of Northern Eurasia is a depleted fauna of the river basin. Amur, enriched by the euryhaline fauna of the Arctic Ocean during the melting of the Scandinavian shield and the fauna of the North Atlantic

Keywords. Zoobenthos, Northern Eurasia, late Pleistocene.

В современных условиях климатических изменений, возрастающей антропогенной нагрузкой, меняющихся условий обитания, ожидаемо неизбежное изменений ареалов многих видов, в том числе и донных беспозвоночных. Появление чужеродных видов в водных объектах является неконтролируемым, однако и хозяйственная деятельность человека внесла в него значительный вклад. Так в заливы Балтийского моря и в Ладожское озеро были интродуцированы в рамках улучшения кормовой базы 6 видов ракообразных из нижнего течения р. Волга, а также суббайкальские эндемики из нижнего течения р. Ангары (Аристова, 1965; Березина, Панов, 2003; Гасюнас, 1959). Вместе с ними из указанных водотоков акклиматизировался и ряд сопутствующих видов. Кроме намеренной интродукции и аклиматизации видов, большинство известных чужеродных попали с балластными водами кораблей (Алимов и др., 2004).

Появление видов-вселенцев в различные акватории, как морские, так и пресноводные европейской части России описано сложно обозримым числом авторов (Olenin, 1987, Prokin, Potyutko, 2021). Так основу видовой разнообразия и количественных характеристик бентосных сообществ Финского залива формируют виды североамериканской, а также

беломорской фаун. В опресненных заливах Куршском и Вислинском – доминирующая группа видов также чужеродного происхождения – североамериканский двустворчатый моллюск *Rangia cuneata* и представители Понто-каспийской реликтовой группы, лиш на отдельных участках, остались сообщества аборигенных видов: *Unio tumidus*, *Anodonta cygnea*.

В связи с тем, что процесс расселения видов-вселенцев обрел глобальные масштабы, для понимания возможных последствий вселения чужеродных видов на функционирование водных экосистем, необходимо прежде всего иметь представление о происхождении фауны водного объекта-акцептора, а также о происхождении вида-вселенца.

Для европейских водных объектов, относящихся к хорошо обследованным в фаунистическом аспекте, выявление чужеродных видов не представляет сложностей, чего не скажешь о водных объектах азиатской части России, состояние изученности которых весьма удовлетворительно, по причине их малой доступности либо отсутствия специалистов. В большинстве случаев обнаружение видов-вселенцев в азиатских бассейнах маловероятно, поскольку определение фауны зообентоса если и имеется, то не всегда проводится на высоком таксономическом уровне.

Биогеографические исследования континентальных водных объектов до сих пор остаются малочисленными. Долгое время считалось, что распространение организмов, населяющих континентальные воды, подчинено тем же закономерностям, что и распространение животных суши, ориентируясь на совпадения некоторых зоогеографических границ. В настоящее время существует ряд попыток создания биогеографических схем для пресноводных животных. Большая их часть базируется на отдельных группах беспозвоночных. Так Мартынов построил схему для ручейников, Старобогатов (1970) основывал свои построения анализируя фауну моллюсков. Аналогично наземным животным для стрекоз, жуков и клопов большинство традиционных барьеров в распространении – легко преодолимы. Наиболее подробная схема распределения бентосных беспозвоночных по 6 отрядам насекомых, а также по Malacostraca и моллюскам была построена Чертопрудом (2010).

Исходя из приведенного выше описания следует сделать вывод, что биогеография зообентоса пресных вод, в том числе и Северной Евразии в пределах России находится в состоянии разработки и большинство вопросов связанных с расселением видов зообентоса остаются открытыми и по сей день. До сих пор остается не ясным, каким образом порядка 400 видов зообентоса – массовых для акваторий Евразии и составляющие от 30 до 50% фауны зообентоса каждого из исследованных бассейнов, в большинстве своем не способных к длительным перелетам, получили широкое распространение по всем изолированным друг от друга бассейнам от Куршского залива до Амурского бассейна.

Для уточнения современного состава фауны макрозообентоса и его распределения в континентальных водных объектов России, автором объединены и проанализированы результаты собственных исследований зообентоса и зооперифитона, полученные в рамках проектной деятельности – 85 водных объектов, а также данные, получаемые сетью гидробиологического мониторинга поверхностных вод Росгидромета. В общей сложности автором проанализированы уникальные данные по 179 водным объектам в 431 локации на территории России (около 15 тыс. качественных и количественных проб).

В составе макрозообентоса и зооперифитона водных объектов Российской Федерации зарегистрировано 1467 видов и групп видов донных беспозвоночных относятся к 42 таксономическим группам. Качественный состав зообентоса и зооперифитона на 83% определен до уровня вида на 17% до уровня групп видов. Основу качественного разнообразия 72% приходится на долю насекомых (Insecta). Среди таксонов не-насекомых наибольшим разнообразием отличаются: Mollusca (137), Oligochaeta (95), Crustacea (88), Hirudinea и Polychaeta (по 16).

В европейских водных объектах России зарегистрирован 741 вид, в азиатских – 1130 видов. Таким образом видовое разнообразие в азиатских водных объектах на 389 видов выше, чем в Европейских. Число общих видов для азиатских и европейских водных объектов составляет 404 вида (28% от всех найденных).

Причина широкого распространения видов по современным акваториям водных бассейнов кроется в геологическом прошлом земли – в приледниковых бассейнах, сформировавшиеся в результате преграждения рекам Сибири стока в Северный Ледовитый океан. По данным Атласа (Атласа..., 1997) на территории Северной Азии существовал единый водный бассейн, объединяющий современные бассейны рек от Калымы до верховьев реки Оби, осуществлявших сброс вод через р.Табол в Аральское море, а затем и в Каспий.

Широкое распространение малоподвижных моллюсков по современным акваториям таких видов как *Unio tumidus*, *U. pictorum*, *Anadonta cygnea*, *Margaritana margaritifera* не переносящих осолонения вод более 1‰, может говорить о том, что соленость Аральского и Каспийского морей не превышала в период позднего плейстоцена этого значения. Особенностью их жизненного цикла является наличие паразитической личиночной стадией – глохидий, паразитирующих на жаберных лепестках костистых рыб, и расселяющихся благодаря их активным миграциям внутри бассейна. Их обнаружение в бассейне Амура свидетельствует о том, что бассейны Енисея, Лены и Амура также были связаны по средствам покровного оледенения с возможностью миграции зараженных глохидиями рыб.

Сохранение видового разнообразия большинства крупных водотоков связано с периодическим вымыванием зообентоса паводковыми водами из пойменных водоемов.

Распространение фауны зообентоса от истока водотока к его устью осуществляется рядом механизмов: – полет имаго; – дрейф нимф по течению (Чебанова, 2008; Безматерных, 2007); – дрейф льда и постепенное вытаивание замороженного в него грунта, содержащего коконы с яйцами малощетинковых червей, а также зимующих коконов со взрослыми червями (Семерной, 1976).

В связи с этим, формирование фаун зообентоса пресноводного комплекса водных объектов Европейской территории, закрытых в позднем плейстоцене Скандинавским щитом, Западно-Сибирской и Среднесибирской (Карский щит), вероятнее всего происходило за счет фауны Дальневосточных рек, не подвергшихся покровному оледенению. О связи Амурского, Ленского и Енисейского бассейнов свидетельствует ряд видов Сино-Индийского происхождения, к которым относятся *Stylaria fossularis*, *Stenopsyche marmorata*. Связь Амурского бассейна и Каспийского моря может быть доказана обитанием в них близких по строению представителей сем. Viviparidae – *Amuropaludina pachya*, *Cipangopaludina sujfunensis* и *Viviparus viviparus* = *Paludina vivipara* (Linnaeus, 1758), а также произрастанием в пресноводных рукавах р. Волга орехоносного лотоса (*Nelumbo nucifera* Gaertn) и широкого распространения по водным объектам южной границы Российской Федерации водного ореха (*Trapa natans*, Linnaeus), который в свою очередь послужил транспортом для большинства мигрирующих видов.

О миграции видов зообентоса в результате таяния Скандинавского щита из Белого моря в Балтийское известно из работ Оленина (1987), проводивших изучение четвертичных отложений Балтийского моря, в результате которых было выявлено, что миграция происходила с заменой ведущего вида следующим образом: Литориновое озеро – Йольдиевое море – Мийевое море – после прорыва пролива Категат. По остаточной фауне озер Ладожского и Онежского озер известно, что именно через них происходило заселение Балтийского моря широко распространенными в настоящее время вдоль береговой линии Белого, Баренцева, Карского, Лапевых и Восточно-Сибирского морей *Monoporeia affinis* (Lindström, 1855), которая по средствам существующих водотоков заселила и воды Каспийского моря. Кроме раковин моллюсков, встреченных в позднечетвертичных отложениях, миграции в конце плейстоцена других групп видов не подтверждено в силу отсутствия в большинстве случаев структурных элементов, способных сохраниться в отложениях.

Список литературы

- Алимов А.Ф., Богуцкая Н.Г., Орлова М.И., Паевский М.А., Резник С.Я., Кравченко О.Ф., Гельтман Д.В. (2004) Антропогенное распространение видов животных и растений: процесс и результат, в книге: *Биологические инвазии в водных и наземных экосистемах*, М., с. 16-43.
- Аристова Г.И. (1965) Вертикальное распределение донных организмов в Куршском и Вислинском заливах, *Исследования в Куршском и Вислинском заливах*, сб. науч. тр., Атлант. НИИ рыб. Хозяйства и океанографии, Калининград, с. 50-54.
- Атлас снежно-ледниковых ресурсов мира* (1997) М, 392 с.
- Березина Н.А., Панов В.Е. (2003) Вселение байкальской амфиподы *Gmelinoides fasciatus* в Онежское озеро, *Зоологический журнал*, т. 82, № 6, с. 731-734.
- Безматерных Д.М. (2007) Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири, Новосибирск, Сиб. отд. РАН ИВЭП, вып.85, 87 с.
- Гасюнас И.И. (1959) Кормовой макрозообентос залива Куршю Марес, Куршю Марес, Вильнюс, АН Лит. ССР, с. 191-280.
- Старобогатов Я.И. (1970) Фауна моллюсков и зоогеографическое районирование континентальных водоемов земного шара, Л., Наука, 372 с.
- Чебанова В.В. (2008) Бентос лососевых рек Камчатки, автореф. дис. ... канд. биол. наук, М., 50 с.
- Чертопруд М.В. (2010) Биогеографическое районирование пресных вод Евразии по фауне макробентоса, *Журнал общей биологии*, т. 71, № 2, с. 144-162.
- Olenin S. (1987) Zoobenthos of the Curonian Lagoon: results of biological monitoring, 1980-1984, in: Simonov A. and Agarova I., *Chemistry and Biology of Seas*, М., Proc. State Oceanographic Institute, pp. 175-191.
- Prokin A.A., Potyutko O.M. (2021) The first record of alien species *Limnodrilus taimeensis* Brinkhurst et Cook, 1966 (Oligochaeta, Tubificidae) from Russia, *Российский журнал биологических инвазий*, т. 14, № 3, с. 65-66.

**ПРОБЛЕМАТИКА И ВОЗМОЖНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИЙ В ПОЗДНЕМ
ГОЛОЦЕНЕ ПО ДИАТОМОВЫМ КОМПЛЕКСАМ
PERSPECTIVES AND POSSIBILITIES OF RECONSTRUCTIONS IN THE LATE
HOLOCENE BY DIATOM COMPLEXES**

Разумовский Л.В.

Razumovskiy L.V.

ФГБУ «Институт водных проблем Российской академии наук»

Россия, 119333, Москва, ул. Губкина, д. 3, ИВП РАН;

Аннотация. В работе рассматриваются отличительные особенности новейших отложений и проблематика их анализа. Дается авторская трактовка понятия «новейшие отложения». Перечислены основные трудности при палеоэкологических и палеоклиматических реконструкциях. Приводится краткое изложение разработанных за последние десятилетия методологических приемов на основе диатомового анализа.

Ключевые слова: диатомовые водоросли, донные отложения, палеореконструкции.

Abstract. The paper discusses the latest deposits distinctive features and the problems of their analysis. The author's interpretation of the concept of «newest deposits» is given. The main difficulties in paleoecological and paleoclimatic reconstructions are listed. A summary of the methodological techniques developed over the past decades based on diatom analysis is given.

Keywords: diatoms, bottom sediments, paleoreconstructions.

Существует ряд объективных проблем при палеоэкологических и палеоклиматических реконструкциях, которые проводятся по такому объекту, как новейшие отложения. Под термином «новейшие отложения» следует, по мнению автора, понимать осадочные образования, сформировавшиеся за несколько последних столетий. Следовательно, формирование новейших отложений соответствует времени антропогенного воздействия, как отдельного, выраженного фактора, который идентифицируется и отличается от всех видов и форм естественных воздействий на природные биогеоценозы.

В последние десятилетия, изучение новейших изменений климата, протекавших в эпоху позднего голоцена, вышло на новый качественный уровень достоверности (Моисеенко и др., 2012; Соломина и др., 2013). Это было определено разработкой и внедрением новых, и совершенствованием известных методов изотопного датирования озерных отложений, а так же последовавшими за этим успехами в моделировании климата.

Отличительная особенность микрофоссилий в новейших отложениях является их хорошая сохранность, что в полной мере относится к диатомовым водорослям. Этот, исходно благоприятный факт, привел к разобщенности методик реконструкции по различным параметрам гидросреды, в которой происходило формирование осадков. В дальнейшем была предложена унификация этих методик (Разумовский, 2008; Моисеенко, Разумовский, 2009).

Другой проблемой применительно к новейшим отложениям стало выявление процессов переноса и переотложения при формировании осадков. Вследствие хорошей сохранности

створок диатомей и наличия однотипного видового состава распознать переотложенные комплексы было практически невозможно. Решающую роль сыграл разработанный метод графического анализа таксономических пропорций в диатомовых комплексах (Разумовский, Моисеенко, 2009).

Сортировка створок в переотложенном комплексе происходит по их размерам и массивности. Поскольку каждый вид имеет устойчивые среднестатистические параметры по этим признакам, то очертания графиков таксономических пропорций выравниваются, приобретая линейный характер (рис. 87).

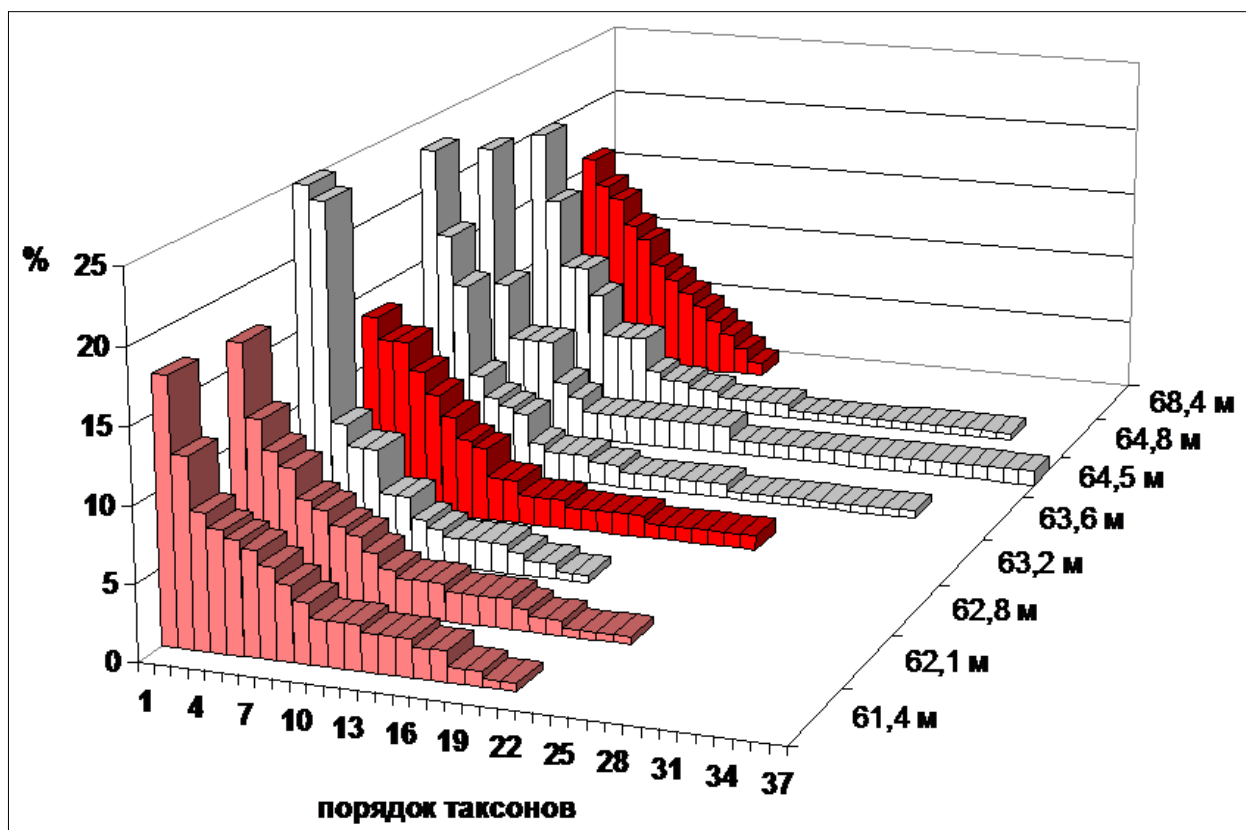


Рисунок 87. Таксономическая структура диатомовых комплексов в нижней части колонки донных отложений (ДО) из скважины Галич-2 (интервал 68,4-61,4 м)

Переотложенные диатомовые комплексы и диатомовые комплексы с элементами переотложения выделены красным и розовым цветом

Такая возможность распознавания процессов переотложения позволила значительно детализировать и переосмыслить историю развития и формирования озер Имандра и Галичского (Величко и др., 2001; Разумовский, 2021).

Позднее, переотложенные комплексы были достоверно идентифицированы в озере Каракель и Донгузорун, что было подтверждено данными геохимического анализа по тем же образцам из этих отложений (Разумовский, Разумовский, 2013; Разумовский, 2014).

Еще одной отличительной особенностью новейших отложений озерного генезиса является их литологическая однородность (Моисеенко, Разумовский, 2019). Поэтому расчленение изучаемых разрезов в возможно только по экозонам, которые выделяются по диатомовым комплексам (рис. 88). Следует отметить, что изменение экосистем водоемов не совпадает с темпами изменения экосистем обрамляющих ландшафтов, выделяемых спорово-пыльцевым методом (Соломина и др., 2013).

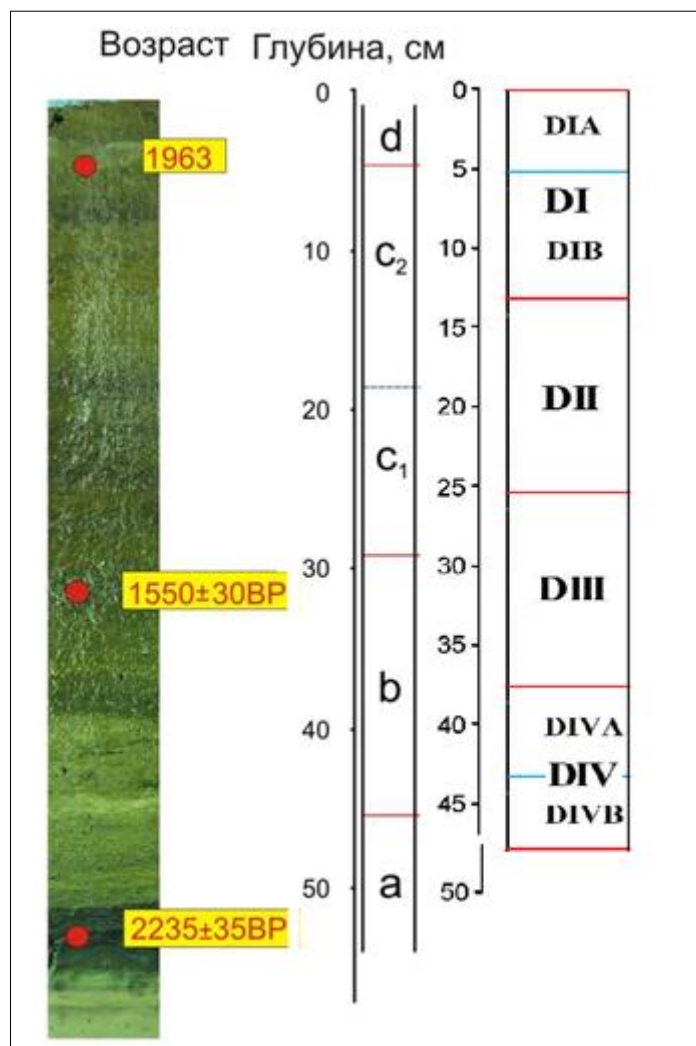


Рисунок 88. Экозоны выделенные по спорово-пыльцевым комплексам (a, b, c ...) и по диатомовым комплексам (DIV, DIII, DII...) из колонки ДО отобранной в оз. Каракель

При этом не существует единого сценария, по которому пресноводные экосистемы не «совпадают» в отклике на климатические изменения, по отношению к экосистемам обрамляющих их ландшафтов. Это может определяться ландшафтно-климатической зоной расположения, региональными показателями влажности и другими параметрами.

В любом случае очевидно, что несмотря на принадлежность к приоритетным биоиндикационным методам, диатомовый анализ обладает значительным неиспользованным информационным резервом.

Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0002 Государственного задания ИВП РАН. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов, требующего раскрытия в этой статье.

Список литературы

Величко А.А., Кременецкий К.В., Негеданк Й., Минграм Й., Борисова О.К., Грибченко Ю.Н., Зеликсон Э.М., Климанов В.А., Новенко Е.Ю., Пирумова Л.Г., Писарева В.В., Разумовский Л.В., Тимирева С.Н. (2001) Позднечетвертичная палеогеография северо-востока Европы (по данным комплексного изучения осадков Галичского озера), *Известия АН. Серия Географическая*, № 3, с. 42-54.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В. (2009) Новая методика реконструкции катионно-анионного баланса в озерах (диатомовый анализ), *Доклады академии наук. Общая биология*, т. 427, № 1, с. 132-135.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В. (2019) Реконструкции геоэкологических изменений в Западной Сибири по диатомовым комплексам из озёрных отложений, *Доклады Академии наук*, т. 487, № 2, с. 192-197.

Моисеенко Т.И., Разумовский Л.В., Гашкина Н.А., Шевченко А.В., Разумовский В.Л., Машуков А.С., Хорошавин В.Ю. (2012) Палеоэкологические исследования горных озер, *Водные ресурсы*, т. 39, № 5, с. 543-557.

Разумовский, В.Л. (2014) Оценка экологического состояния высокогорных озер Приэльбрусья по результатам диатомового анализа, *Водные ресурсы*, т. 41, № 2, с. 200-205.

Разумовский Л.В. (2008) Реконструкция температурных циклов и сукцессионных изменений по диатомовым комплексам из донных осадков на примере Галичского озера, *Водные ресурсы*, т. 35, № 6, с. 595-608.

Разумовский Л.В. (2021) Новая форма анализа диатомовых комплексов озера Имандра, *Известия русского географического общества*, т. 153, № 6, с. 65-72.

Разумовский Л.В., Моисеенко Т.И. (2009) Оценка пространственно-временных трансформаций озерных экосистем методом диатомового анализа, *Доклады академии наук. Общая биология*, т. 429, № 3, с. 274-277.

Разумовский Л.В., Разумовский В.Л. (2013) Регистрация новейших экосистемных событий в озере Каракель по переотложенным диатомовым комплексам, *Вестник Тюменского Государственного Университета*, № 12, Экология, с. 121-127.

Соломина О.Н., Калугин И.А., Александрин М.Ю., Бушуева И.С., Дарин А.В., Долгова Е.А., Жомелли В., Иванов М.Н., Мацковский В.В., Овчинников Д.В., Павлова И.О., Разумовский Л.В., Чепурная А.А. (2013) Бурение осадков оз. Каракель (долина р. Теберда) и перспективы реконструкции истории оледенения и климата голоцена на Кавказе, *Лёд и Снег*, № 2 (122), с. 102-111.

**ТЕНДЕНЦИИ МНОГОЛЕТНИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА В УСТЬЕВЫХ ОБЛАСТЯХ
РЕК СЕВЕРА ЕТР В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА
TRENDS OF LONG-TERM WATER FLOW CHANGES IN THE RIVERS' MOUTH
AREAS OF THE NORTH OF EUROPEAN RUSSIA UNDER CLIMATE CHANGES**

Ракчеева Е.А., Землянов И.В., Горелиц О.В.

Rakcheeva E.A., Zemlianov I.V., Gorelits O.V.

ФГБУ «ГОИН»

Россия, 119034, г. Москва, Кропоткинский пер., 6с1

Аннотация. Рассматриваются устьевые области крупных рек севера ЕТР – Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры. Изменение основных климатических характеристик на севере ЕТР привело к изменениям стока, поступающего в устьевые области рек. Выявлено, что многолетняя изменчивость годового стока связана в основном с изменениями годовых сумм осадков, а основным фактор, определяющий изменения внутригодового распределения стока, - увеличение температур воздуха.

Ключевые слова: устьевые области рек, Онега, Северная Двина, Мезень, Печора, климатические изменения, многолетняя изменчивость стока, внутригодовое распределение стока.

Abstract. Mouth areas of large rivers in the north of ETR Onega, Northern Dvina, Mezen and Pechora are considered. The change in the main climatic characteristics in the region has led to changes in the flow entering the mouth areas of the rivers. It was revealed that the long-term variability of the annual runoff is mainly associated with changes in annual precipitation, and the main factor determining changes in the intra-annual distribution of runoff is an increase in air temperatures.

Keywords: mouth areas, Onega, Northern Dvina, Mezen, Pechora, climate changes, annual runoff, intra-annual distribution of runoff.

В работе рассматриваются устьевые области крупных рек севера Европейской части России – Онега, Северная Двина, Мезень и Печора (рис. 89). Главная климатическая особенность региона – преобладание атлантических воздушных масс, влияние которых уменьшается с юго-запада на северо-восток. Кроме этого, западная часть региона подвержена влиянию морских воздушных масс, поступающих из районов преимущественно незамерзающих Баренцева и Балтийского морей, а восточная – влиянию континентальных арктических воздушных масс, поступающих из районов, примыкающих к Карскому морю, которое большую часть года покрыто льдом (Georgiadi, Groisman, 2022). Онега, Северная Двина, Мезень и Печора не зарегулированы искусственно, что позволяет проследить их реакцию на глобальные и региональные изменение климата в XX-XXI вв.

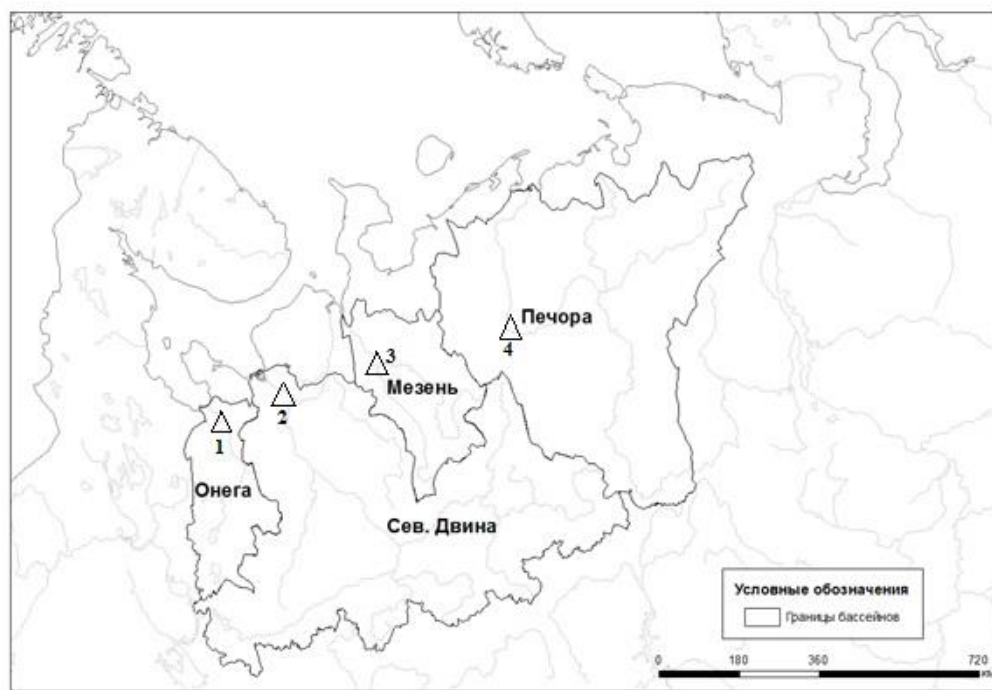


Рисунок 89. Бассейны Онеги, Северной Двины, Мезени и Печоры и расчетные гидрологические посты: Порог (1), Усть-Пинега (2), Малонисогорская (3), Усть-Цильма (4)

В качестве интегрального показателя изменчивости стока в устьевых областях рек использовались данные о расходах воды, измеренных на сети станций Росгидромета. Гидрологические данные были взяты из электронной базы данных в формате «Многолетних данных по морским устьям рек», созданной в ФГБУ «ГОИН» (Борщенко и др., 2021; Лебедева и др., 2022). Выбор конкретного гидрологического поста (ГП) обусловлен географическим положением в вершине устьевой области или максимально близко к ней; а также отсутствием длительных пропусков в наблюдениях или периодов с забракованными данными о стоке. Для Онеги был выбран ГП Порог, для Северной Двины – ГП Усть-Пинега, для Мезени – ГП Малонисогорская, для Печоры – ГП Усть-Цильма (рис. 89). По выбранным ГП использованы ряды средних месячных и годовых расходов воды с 1945 г., то есть с начала регулярных инструментальных наблюдений на всех постах (Лебедева и др., 2022).

В качестве основных показателей климатических изменений в пределах выбранных бассейнов рек использованы сведения о многолетних изменениях температуры и осадков. Они взяты из открытых массивов интерполированных сеточных данных *CRU TS* (<http://www.cru.uea.ac.uk/data>), созданных на основе данных наблюдений на сети метеостанций по всему миру. Были использованы данные о температуре воздуха и количестве осадков за период 1945-2020 гг. в ячейках полуградусной сетки, осредненные по бассейнам исследуемых рек.

Анализ многолетней изменчивости температур воздуха, выполненный на основе данных *CRU TS*, показал, что с начала 1980-х гг. на севере ЕТР повсеместно наблюдается повышение

средней годовой температуры воздуха (табл. 36), причем с начала 2000-х гг. темпы роста температуры возросли (на 1,0-1,1°C за период 2003-2020 гг.). В течение года температура воздуха изменялась неравномерно. С начала 2003 г. больше всего «потептели» май, ноябрь и декабрь: температура ноября и декабря выросла на 2,8-3,3°C, причем средняя температура ноября в бассейнах Онеги и Северной Двины приблизилась к 0°C. Средняя температура мая за тот же период увеличилась на 1,3-1,7°C.

Таблица 36. Средние годовые температуры воздуха и годовые суммы осадков по бассейнам

Период	Онега		Северная Двина		Мезень		Печора	
	T, °C	R, мм	T, °C	R, мм	T, °C	R, мм	T, °C	R, мм
1945-1980	1,9	620	1,0	601	-0,8	585	-3,5	526
1981-2002	2,4	623	1,5	611	-0,4	575	-3,0	546
2003-2020	3,4	645	2,5	622	0,7	598	-2,0	563

Годовые суммы осадков в исследуемых бассейнах в течение периода наблюдений имеют тенденцию к увеличению, причем темпы роста несколько возросли в последние годы (табл. 36).

Увеличение годовых сумм осадков сказалось на увеличении годового стока в расчетных гидрологических постах (табл. 37). В процентном соотношении увеличение средних годовых слоев стока Онеги, Мезени и Печоры за 2003-2020 гг. по сравнению с базовым периодом 1945-1980 гг. составило 5-11%, что совпадает с результатами, приведенными в (Научно-прикладной справочник..., 2021). В то же время средний годовой слой стока Северной Двины с начала 1980-х гг. практически не изменился.

Таблица 37. Средние годовые расходы воды и средние расходы воды за половодные месяцы в расчетных гидрологических постах

Период	Онега		Северная Двина		Мезень		Печора	
	Qгод, м³/с	Qпол, м³/с	Qгод, м³/с	Qпол, м³/с	Qгод, м³/с	Qпол, м³/с	Qгод, м³/с	Qпол, м³/с
1945-1980	488	1190	3170	7610	649	2110	3430	11200
1981-2002	517	1330	3320	7960	621	2010	3570	12000
2003-2020	536	1190	3300	7640	682	2100	3800	12800

Рост температуры воздуха привел к изменениям в сезонном распределении стока. Весной благодаря более ранним срокам половодья произошло изменение соотношения стока в половодные месяцы. Например, в Онеге и Северной Двине средние расходы воды апреля в 2003-2020 гг. увеличились на 53 и 59% в сравнении с базовым периодом, а расходы мая, наоборот, уменьшились на 11 и 2% соответственно. В Мезени и Печоре средние расходы мая увеличились на 14 и 21%.

При этом слой стока за половодные месяцы в целом (месяцы с наибольшими средними месячными расходами воды) для Онеги, Северной Двины и Мезени за период 2003-2020 гг. практически не изменился по сравнению с периодом 1945-1980 гг. (табл. 37). Однако доля стока за эти месяцы в общем стоке за год сократилась на 2-5%.

Это связано, главным образом, с увеличением стока в период зимней межени. Рост температуры воздуха и увеличение числа оттепелей в ноябре-декабре сказалось на увеличении средних месячных расходов воды за эти месяцы. Так средний расход ноября по сравнению с базовым периодом увеличился на 19-47%, декабря – на 8-87% (рис. 90).

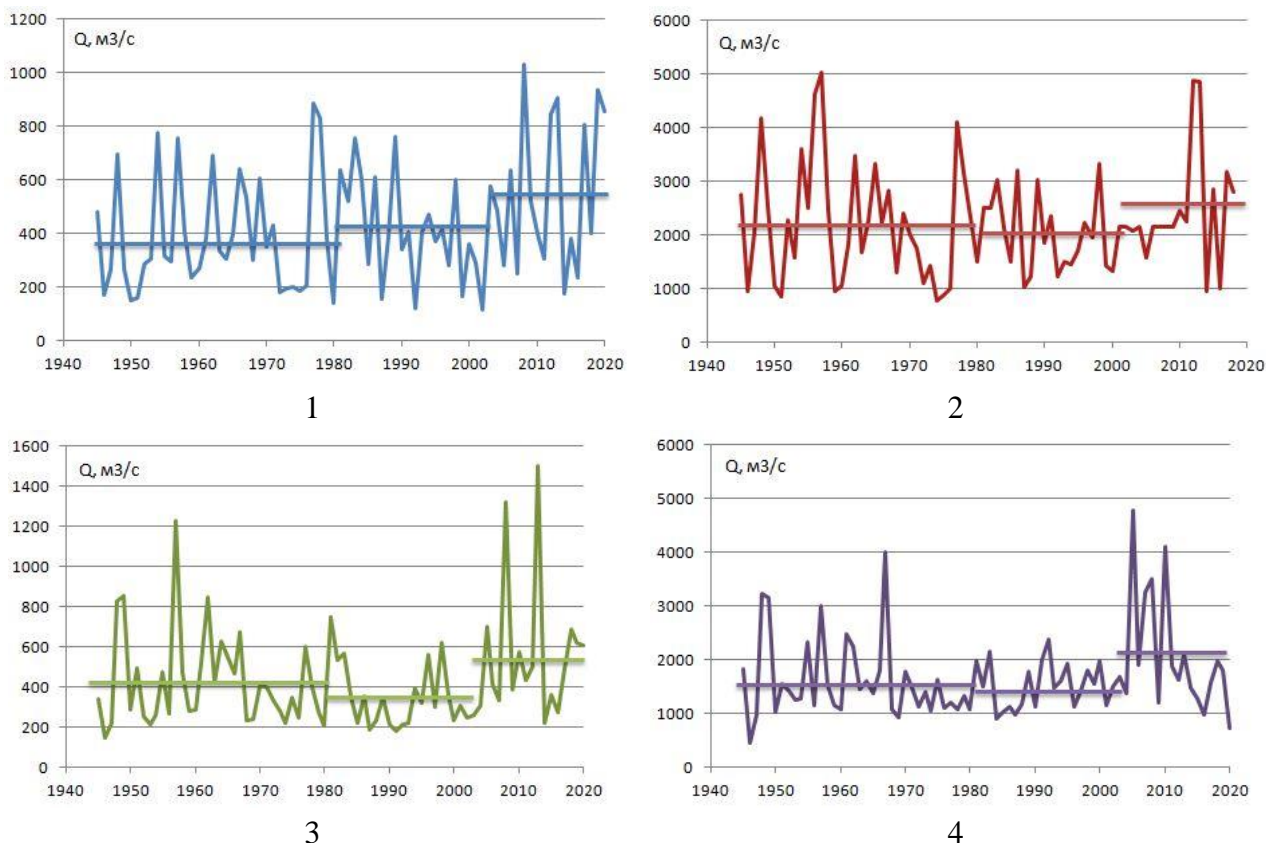


Рисунок 90. Средние месячные расходы воды в ноябре в Онеге (1), Северной Двине (2), Мезени (3), Печора (4)

На фоне роста количества оттепелей в весенний период и, как следствие, уменьшения дружности весеннего половодья, для рассматриваемых рек характерно уменьшение максимальных расходов воды (Научно-прикладной справочник..., 2021; Фролова и др., 2022; Лебедева, и др., 2022): за период 2003-2020 гг. они составили 85-93% от базового периода. Исключение составляет Печора, где максимальные расходы воды со временем равномерно увеличиваются.

Список литературы

Борщенко Е.В., Мишин Д.В., Ермакова Г.С. и др. (2021) *Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Печора*, под ред. Борщенко Е.В., Горелиц О.В., Москва-Иваново, ПресСто, 152 с.

Лебедева С.В., Ракчеева Е.А., Борщенко Е.В. и др. (2022) *Справочно-аналитический обзор гидрологического режима устьевой области реки Северная Двина*, под ред. Борщенко Е.В., Ракчевой Е.А., Горелиц О.В., Москва-Воронеж, ООО «ЮКОНЪ», 196 с.

Научно-прикладной справочник (2021) *Многолетние колебания и изменчивость водных ресурсов и основных характеристик стока рек Российской Федерации*, СПб., ООО «РИАЛ», 190 с.

Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Гельфан А.Н., Сазонов А.А., Шевченко А.И. (2022) Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: обзор публикаций. 1. Оценка изменений водного режима рек России по данным наблюдений, *Водные Ресурсы*, т. 49, № 3, с. 251-269.

Georgiadi A.G., Groisman P.Y. (2022) Long-term changes of water flow, water temperature and heat flux of two largest arctic rivers of European Russia, Northern Dvina and Pechora, *Environmental Research, Letter* 17, 14 p.

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ УЧЕТ МИКРОПЛАСТИКА В ЖКТ КАРПОВЫХ РЫБ В
ВОДОЕМАХ ВОЛОГОДСКОЙ ОБЛАСТИ**
**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF MICROPLASTICS IN THE GASTROINTESTINAL
TRACT OF CYPRINID FISH IN WATER BODIES OF THE VOLOGDA REGION**

Рахматуллина С.Н.¹⁾, Тропин Н. Ю.^{1),2)}, Воробьев Д.С.¹⁾, Франк Ю.А.¹⁾

Rakhmatullina S.N.¹⁾, Tropin N. Y^{1),2)}, Vorobyev D.S.¹⁾, Frank Yu.A.¹⁾

¹⁾ Томский государственный университет
Россия, 624050, г. Томск, пр. Ленина, 36

²⁾ Вологодский филиал Всероссийского научно-исследовательского
института рыбного хозяйства и океанографии
Россия, 160012, г. Вологда, ул. Левичева, 5

Аннотация. Впервые представлены результаты исследований по оценке содержания микропластика (МП) в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) карповых рыб в двух водных объектах Вологодской области. Частицы микропластика обнаружены у 31,5% из 20 исследованных экземпляров синца (*Ballerus ballerus* L.) и у 50% из 19 экземпляров чехони (*Pelecus cultratus* L.). Микропластик был представлен преимущественно волокнами (84 и 100%) и сферами (16%). Фрагментов и пленок в образцах не найдено. Заметное преобладание волокон может указывать на поступление полимерных частиц в водные объекты с бытовыми стоками и сбросами очистных сооружений, а также при использовании рыболовных снастей с их последующей фрагментацией.

Ключевые слова: микропластик, водоемы, рыбы, желудочно-кишечный тракт, *Ballerus ballerus* L., *Pelecus cultratus* L.

Abstract. The results of microplastic (MP) content assessment in the gastrointestinal tract (GIT) of cyprinid fish in two water bodies of the Vologda region are presented. MP particles were found in 31,5% of analyzed specimens of Blue bream (*Ballerus ballerus* L.) and 50% of specimens of Sabrefish (*Pelecus cultratus* L.). MP particles were mainly represented by fibers (84 and 100%) followed by spheres (16%). Fragments and films were not found in the samples. The predominant amount of fibers may indicate the entry of polymer particles into water bodies with domestic wastewater and wastewater treatment plants along with fragmented fishing gears.

Keywords: microplastics, water bodies, fish, gastrointestinal tract, *Ballerus ballerus* L., *Pelecus cultratus* L.

Микропластик интенсивно накапливается в морских и пресноводных объектах по всему миру. Процессы переноса полимеров в поверхностных водах зависят от гидрологических и метеорологических условий. Повышенная устойчивость микропластика к внешним факторам приводит к длительному периоду полураспада, что способствует поступлению и аккумуляции полимеров в организме рыб на разных трофических уровнях (Frias, Nash, 2019). Частицы микропластика в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) рыб характеризуются сравнительно низким потенциалом накопления, однако его аккумуляция приводит к изменению поведения, повреждению антиоксидантных систем организма, попаданию пластика в ткани, а также механическому закупориванию кишечника (Jovanovic, 2017).

Целью данного исследования является количественный анализ содержания микропластика в желудочно-кишечном тракте некоторых видов карповых рыб (чехонь и синец) в водоемах Вологодской области.

Сбор ихтиологического материала проводился в декабре 2022 года на озере Белое и апреле 2023 года на Рыбинском водохранилище, которые относятся к бассейну Верхней Волги

и расположены на территории Вологодской области. Площадь Белого озера составляет почти 1300 км² со средней глубиной около 4,1 м (Болотова, Коновалов, 2007). Характерными особенностями оз. Белое является значительная площадь водосбора (14 000 км²), ледниковое происхождение, а также округлая форма водоема. Рыбинское водохранилище расположено на реке Волге и ее притоках (р.р. Шексна и Молога), а общая площадь водной поверхности водоема составляет 4550 км² при средней глубине – 5,6 м.

Вылов рыбы осуществляли ставными жаберными сетями с шагом ячеи 30-65 мм с суточной экспозицией. Всего для исследования было отобрано 20 экз. чехони (*Pelecus cultratus* L.) из оз. Белое и 19 экз. синца (*Ballerus ballerus* L.) из Рыбинского водохранилища. Оба вида относятся к семейству карповых (Cyprinidae). Все отобранные экземпляры рыб подвергались биологическому анализу по общепринятым ихтиологическим методикам (Правдин, 1966). Для исследования содержания частиц микропластика из каждого экземпляра рыб изымался желудочно-кишечный тракт (ЖКТ), включая желудок, пищевод и кишечник, который помещался в чистую пробирку с фиксацией 70% раствором этилового спирта. В дальнейшем проводилась детекция содержания полимерных частиц в каждом отдельном образце ЖКТ. Гидролиз тканей проводили в 200 мл раствора КОН (10%) при температуре 55°C в течение 48 часов. После растворения тканей частицы микропластика извлекали путем разделения по плотности насыщенным раствором NaCl (~1.20 г/см³). Верхнюю фазу готового образца фильтровали при помощи вакуумного насоса через фильтры из стекловолокна с диаметром пор 1,0 мкм.

Содержание микропластика оценивали микроскопически по количеству частиц, обнаруженных в ЖКТ каждого экземпляра рыб. Частицы были отнесены к пластиковым на основании правил, установленных ранее (Hidalgo-Ruz et al., 2012). Для подтверждения искусственных полимеров использовали тест с использованием раскаленной иглы из нержавеющей стали – метод “hot needle test”. Также принимали во внимание однородность окраски частиц, а также устойчивость к механическому разрыву. Микропластик классифицировали по форме и размеру. По форме частицы делили на 4 группы: фрагменты, волокна, сферы и пленки. Размер частиц измеряли по наибольшей оси с разделением на соответствующие категории: 0,15-0,30 мм, 0,30-1,00 мм, 1,00-2,00 мм, 2,00-3,00 мм, 3,00-4,00 мм, 4,00-5,00 мм. Частицы измеряли и получали их микрофотографии с помощью камеры TourView USB 2.0 CMO S (Hangzhou TourTek Photonics Co., Ханчжоу, Китай) и программного обеспечения TourView 3.7.6273. Данные выражали в единицах (ед.) на особь и на кг массы тела.

Биологический анализ показал, что средняя длина тела исследованных экземпляров синца равнялась $26,89 \pm 2,10$ см с колебанием параметров от 24 до 30 см и $31,55 \pm 3,88$ см с

размахом колебаний от 24 до 36 см для чехони. Самцами являлись 12 из 19 экземпляров синца, а у чехони 17 из 20 экземпляров чехони – самками. Средняя масса тела исследованных экземпляров синца составляла $296,94 \pm 70,49$ г, а чехони – $345,3 \pm 122,77$ г.

Частицы микропластика зарегистрированы у 6 особей синца и 10 особей чехони, что составляет 31,5 и 50,0 % от исследованных выборок рыб, соответственно. Среднее количество в ЖКТ МП составило $0,32 \pm 0,07$ ед. на особь с разбросом значений от 0 до 2,0 для *B. ballerus*. и $0,59 \pm 0,07$ ед. на особь с разбросом значений от 0 до 4,1 для *P. cultratus* Среднее значение содержания МП в пересчете на 1 кг массы тела равнялось $1,16 \pm 0,26$ ед. для синца и $1,95 \pm 0,44$ ед. для чехони (табл. 38). Содержание микропластика в желудочно-кишечном тракте синца и чехони достоверно не отличались ($p > 0,05$). Статистически значимой корреляции между содержанием частиц микропластика, длиной и массой тела исследованных особей не обнаружено. Также не установлено достоверных различий между самками и самцами изученных рыб.

Таблица 38. Содержание частиц микропластика в карповых рыбах Вологодской области

Показатель	количество частиц микропластика на 1 экз. рыб		количество частиц микропластика на 1 кг массы рыб	
	синец	чехонь	синец	чехонь
Содержание частиц МП	$0,0 - 2,0$ $0,32 \pm 0,07^*$	$0,0 - 4,08$ $0,59 \pm 0,07^*$	$0,0 - 8,55$ $1,16 \pm 0,26^*$	$0,0 - 9,32$ $1,95 \pm 0,44^*$
σ	0,56	1,00	2,22	2,79
CV	1,76	1,91	1,69	1,42

Примечание: σ – стандартное отклонение, CV – коэффициент вариации, * – данные представлены как среднее арифметическое \pm ошибка среднего.

Частицы полимеров были представлены преимущественно волокнами – 84% для особей синца и 100% для особей чехони. Сферы встречены только в ЖКТ синца, а их доля составила 16% от всех обнаруженных частиц. Пластиковые микрофрагменты и микропенки в ходе исследования не обнаружены (рис. 91).

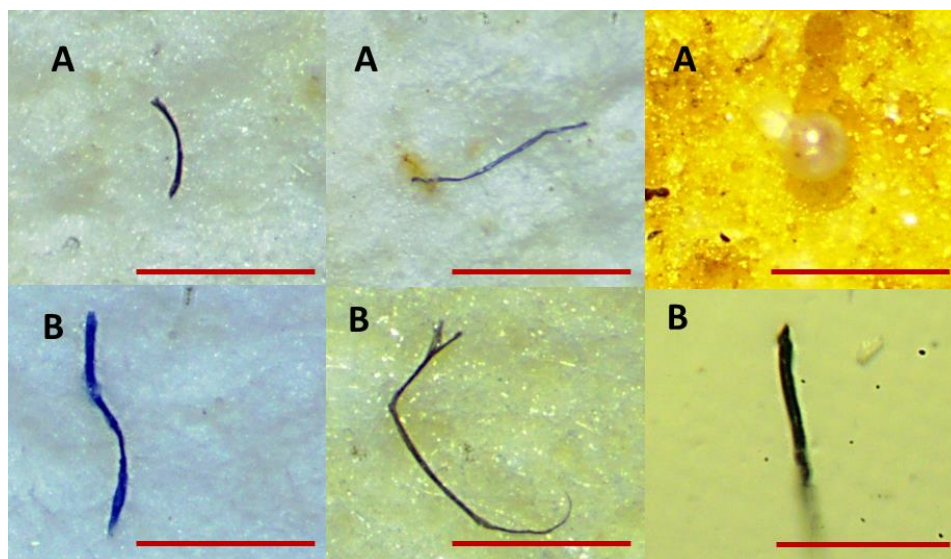


Рисунок 91. Частицы микропластика в желудочно-кишечном тракте *B. ballerus* (A) и *P. cultratus* (B).

Линейка = 0,5 мм

В размерном составе микроразмерного пластика в ЖКТ синца большая часть (49%) приходилась на частицы размером 150-300 мкм по наибольшей оси. Частицы размером 2000-3000 мкм и 3000-4000 мкм составили 17% каждый от общего количества найденного МП. Также в ЖКТ синца был встречен МП размерами 300-1000 мкм (12%) и 1000-2000 мкм (5%). В желудочно-кишечном тракте чехони преобладали частицы размером 300-1000 мкм, доля которых составила 49%. Кроме того, в ЖКТ данного вида обнаружен микропластик с размерами 1000-2000 мкм (25,5%), 3000-4000 мкм (17%) и 2000-3000 мкм (8,5%). Более мелких частиц в ЖКТ чехони не обнаружено.

Полученные данные по содержанию частиц микропластика в ЖКТ рыб оз. Белое и Рыбинского водохранилища указывают на пластиковое загрязнение водоемов Вологодской области. Количественные параметры его содержания у пресноводных рыб сопоставимы со значениями при исследовании морских обитателей, например, европейского анчоуса (Carone et al., 2020). Однако, относительно рыб из пресноводных водоемов, например, белянки (Frank et al., 2020), содержание частиц МП в ЖКТ синца и чехони исследуемых водоемов заметно ниже. Высокое процентное содержание волокон среди обнаруженного МП может указывать на поступление полимерных частиц в водные объекты с бытовыми стоками и сбросами очистных сооружений, а также при использовании рыболовных снастей с их последующей фрагментацией. Микросферы в желудочно-кишечном тракте исследованных рыб, вероятнее всего, указывает на их поступление с отходами промышленных предприятий.

В водоемах Вологодской области синец и чехонь питаются зоопланктонными и бентосными организмами. Рацион питания данных видов включает веслоногих и ветвистоусых ракообразных, моллюсков, а также личинок насекомых. Таким образом,

содержание частиц микропластика в желудочно-кишечном тракте синца и чехони лежит примерно в одном диапазоне, что согласуется с их схожим типом питания. Полученные данные являются первым свидетельством содержания микропластика в желудочно-кишечном тракте карповых рыб (синец и чехонь) оз. Белого и Рыбинского водохранилища на территории Вологодской области. Однако изучение распространения и накопления МП в рыбах пресноводных объектов исследуемого региона требует дальнейшего изучения с выявлением полимерного состава частиц для более точного определения источников загрязнения.

Исследование выполнено при поддержке Программы развития Томского государственного университета (Приоритет-2030), а также в рамках Государственного задания ФГБНУ «ВНИРО» №076-00007-22-00.

Список литературы

Болотова Н.Л., Коновалов А.Ф. (2007) Озеро Белое, *Природа Вологодской области*, Вологда, с. 147-151.

Правдин И.Ф. (1966) *Руководство по изучению рыб*, М., Пищевая промышленность, 376 с.

Capone A., Petrillo M., Mistic C. (2020) Ingestion and elimination of anthropogenic fibres and microplastic fragments by the European anchovy (*Engraulis encrasicolus*) of the NW Mediterranean Sea, *Marine Biology*, 167.166, doi: 10.1007/s00227-020-03779-7.

Frank Yu.A., Vorobiev E.D., Babkina I.B., Antsiferov D.V., Vorobiev D.S. (2020) Microplastics in fish gut, first records from the Tom River in West Siberia, Russia, *Vestnik TSU. Biologiya*, no. 52.

Frias J.P.G.L., Nash R. (2019) Microplastics: Finding a consensus on the definition, *Marine Pollution Bulletin*, vol. 138, pp. 145-147.

Jovanovic B. (2017) Ingestion of Microplastics by Fish and Its Potential Consequences from a Physical Perspective, *Integrated Environmental Assessment and Management*, vol. 13, no. 3, pp. 510-515, URL: <http://dx.doi.org/10.1002/ieam.1913>.

Hidalgo-Ruz V., Gutow L., Thompson R.C., Thiel M. (2012) Microplastics in the marine environment: a review of the methods used for identification and quantification, *Environ Sci Technol.*, vol. 46(6), pp. 3060-3075.

**ИОННЫЙ СОСТАВ РЕЧНЫХ ВОД АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ И
ТЕНДЕНЦИИ ЕГО ИЗМЕНЧИВОСТИ**
**IONIC COMPOSITION OF RIVER WATER IN THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA AND
THE TRENDS OF ITS VARIABILITY**

Решетняк О.С.^{1,2)}, Косменко Л.С.¹⁾

Reshetnyak O.S.^{1,2)}, Kosmenko L.S.¹⁾

¹⁾ ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198

²⁾ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет»
Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40

Аннотация. Представлены региональные особенности ионного состава речных вод арктической зоны России и выделены многолетние тенденции его изменчивости. Большинство рек относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы второго типа. Выявлены возрастающие тренды для большинства ионов, кроме хлоридов. Отсутствие статистически значимых тенденций характерно для ионов кальция и гидрокарбонатов. Отмечено преобладание возрастающих тенденций для устьевых участков рек Западно-Сибирского сектора арктической зоны России.

Ключевые слова: арктическая зона, речные воды, устьевые области рек, ионный состав, тенденции.

Abstract. The regional features of the ionic composition of the river waters of the Arctic zone of Russia are presented, and long-term trends in its variability are highlighted. Most of the rivers belong to the hydrocarbonate class of the calcium group of the second type. Increasing trends are revealed for most ions, except for chlorides. The absence of statistically significant trends is typical for calcium ions and bicarbonates. The predominance of increasing trends for the mouth sections of the rivers of the West Siberian sector of the Arctic zone of Russia is noted.

Keywords: Arctic zone, river waters, river mouth areas, ionic composition, trends.

Исследование водных ресурсов арктического региона России входит в число приоритетных государственных направлений, призванных обеспечить устойчивое развитие и экологическую безопасность в регионе. В Арктической зоне Российской Федерации (АЗ РФ) в 2022 году гидрохимическими наблюдениям охвачено 106 водных объектов (87 рек и 19 водоемов) бассейна Северного ледовитого океана. Наблюдения проводились в 144-х пунктах (в 167 створах). Распределение пунктов наблюдений на участках арктических рек значительно различается по секторам арктического побережья. В Европейском секторе наблюдения за состоянием и качеством поверхностных вод проводились в 100 пунктах, в Западно-Сибирском и Восточно-Сибирском – на 23 и 21 пунктах соответственно (по состоянию сети на 01.01.2023 г.). В среднем частота отбора проб составляла 6-7 раз в год, поскольку большинство пунктов наблюдений относятся в 3-й категории. Для характеристики ионного состава воды на участках рек, расположенных в арктической зоне, выбраны по пять рек в каждом секторе.

Ионный состав воды устьевых участков отдельных арктических рек представлен в табл. 39. Резких колебаний минерализации воды не наблюдается, в отдельные сезоны

происходит естественное повышение данного показателя за счет влияния морских вод (например, в устьях рр. Мезень и Северная Двина).

Таблица 39. Минерализация и ионный состав воды на устьевых участках отдельных арктических рек Российской Федерации в 2022 г.

Река – пункт наблюдений	Минерализация, мг/дм ³	Концентрации ионов, мг/дм ³						Ионный состав
		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Na ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	
Европейский сектор								
Печенга – ст. Печенга	<u>35,7-127,7</u> 78,0	<u>3,2-7,1</u> 4,6	<u>17,2-68,0</u> 41,3	<u>11,2-29,9</u> 20,4	<u>2,6-15,2</u> 6,7	<u>1,7-8,4</u> 4,4	<u>4,8-20,5</u> 10,1	S – Ca
Поной – с. Краснощелье	<u>16,7-33,4</u> 25,0	<u>1,4-2,5</u> 2,0	<u>2,0-20,2</u> 11,3	<u>3,1-24,4</u> 10,6	<u>1,1-3,6</u> 2,1	<u>0,3-1,2</u> 0,6	<u>0,7-5,6</u> 2,5	S – Ca
Сев. Двина – с. Усть-Цильма	<u>61,3-353,2</u> 210,7	<u>2,4-10,5</u> 6,5	<u>12,4-80,0</u> 44,8	<u>23,4-176,3</u> 104,8	<u>1,7-18,0</u> 9,2	<u>2,3-16,2</u> 8,6	<u>11,6-60,0</u> 35,6	C – Ca
Мезень – д. Малонисогорская	<u>4,0-235,4</u> 169,0	<u>1,9-9,1</u> 5,7	<u>3,4-936</u> 5,7	<u>30,8-153,2</u> 113,6	<u>2,0-25,8</u> 14,0	<u>1,9-8,4</u> 6,5	<u>7,6-30,2</u> 22,4	C – Ca
Печора – г. Нарьян-Мар	<u>26,8-197,4</u> 111,9	<u>2,2-9,5</u> 6,2	<u>2,0-17,0</u> 6,4	<u>14,1-118,4</u> 69,7	<u>1,2-18,0</u> 7,6	<u>0,9-7,5</u> 4,2	<u>4,0-28,4</u> 16,9	C – Ca
Западно-Сибирский сектор								
Енисей – ниже г. Игарка	<u>68,5-264,4</u> 146,2	<u>2,1-21,3</u> 9,6	<u>12,4-26,8</u> 20,4	<u>24,4-186,1</u> 77,7	<u>1,0-13,6</u> 8,6	<u>2,2-16,2</u> 5,0	<u>9,9-30,0</u> 21,0	C – Ca
Обь – ниже г. Салехард	<u>76,0-214,0</u> 145,3	<u>3,9-10,3</u> 7,0	<u>14,5-26,6</u> 20,5	<u>32,0-141,0</u> 81,4	<u>(0,7-23,0)*</u> 7,5	<u>1,7-8,4</u> 4,4	<u>4,8-20,5</u> 10,1	C – Ca
Пур – п. Самбург	<u>42,0-81,0</u> 60,1	<u>3,1-5,2</u> 3,9	<u>9,4-19,3</u> 13,4	<u>18,0-43,0</u> 27,0	<u>(3,0-10,8)*</u> 5,8	<u>1,7-7,7</u> 3,5	<u>5,3-8,1</u> 6,3	C – CaMgNa
Седэ-Яха – г. Новый Уренгой	<u>23,0-45,0</u> 33,3	<u>1,8-3,7</u> 2,5	<u>6,4-15,7</u> 11,3	<u>1,8-25,0</u> 10,3	<u>(0,3-6,3)*</u> 4,1	<u>1,2-3,2</u> 1,7	<u>2,2-4,0</u> 3,2	S – NaCaMg
Таз – пгт Тазовский	<u>60,0-232,0</u> 125,1	<u>2,1-4,2</u> 2,8	<u>10,0-27,2</u> 17,2	<u>26,0-116,0</u> 67,6	<u>(1,8-13,3)*</u> 5,5	<u>4,4-11,7</u> 7,7	<u>6,0-23,1</u> 13,8	C – CaMg
Восточно-Сибирский сектор								
Анабар – с. Саскылах	<u>42,4-101,0</u> 57,8	<u>1,0-1,6</u> 1,2	<u>0,5-7,6</u> 3,3	<u>25,8-63,8</u> 37,0	<u>0,9-3,8</u> 2,3	<u>1,7-4,6</u> 2,6	<u>5,9-16,8</u> 10,2	C – Ca
Индигирка – п. Чокурдах	<u>71,2-125,0</u> 97,2	<u>0,7-3,3</u> 1,2	<u>12,6-33,2</u> 22,8	<u>38,8-55,9</u> 50,0	<u>1,5-5,3</u> 3,0	<u>2,7-8,1</u> 4,5	<u>12,9-23,2</u> 17,0	C – Ca
Колыма – с. Колымское	<u>90,7-121,0</u> 109,2	<u>0,8-1,8</u> 1,3	<u>31,0-60,1</u> 46,9	<u>30,5-42,5</u> 36,0	<u>1,9-4,3</u> 2,8	<u>3,6-18,7</u> 8,4	<u>10,1-19,7</u> 16,1	S – CaMg
Лена – с. Кюсюр	<u>50,8-104,0</u> 74,6	<u>1,8-18,2</u> 7,9	<u>6,7-17,1</u> 10,7	<u>20,3-54,9</u> 34,7	<u>1,3-5,5</u> 3,2	<u>0,1-4,9</u> 2,2	<u>4,4-19,1</u> 11,6	C – Ca
Яна – п.ст.Юбилейная	<u>54,1-95,3</u> 75,8	<u>3,4-6,2</u> 4,5	<u>9,5-34,6</u> 18,2	<u>13,1-61,0</u> 32,9	<u>≤ 0,2-5,6</u> 1,7	<u>0,5-8,2</u> 4,6	<u>1,1-16,3</u> 11,0	C – Ca

Примечание: в числителе приведены диапазоны значений, в знаменателе – среднегодовое значение показателя; *для данных участков рек приведены концентрации для суммы ионов натрия и калия.

Содержание большинства главных ионов хорошо коррелирует с изменениями минерализации воды, что характерно для большинства рек Восточно-Европейского и Сибирского типов гидрохимического режимов рек. В ионном составе доминируют

гидрокарбонаты и ионы кальция и по химическому составу большинство рек относятся к гидрокарбонатному классу кальциевой группы (С – Са) второго типа.

Антропогенная нагрузка на арктические реки и климатические изменения влияют на геохимические процессы, происходящие на их водосборах. Происходит изменение условий миграции элементов, смещение кислотно-щелочных и окислительно-восстановительных условий, что, в свою очередь, оказывает влияние на химический состав и качество воды рек (Никаноров и др., 2010; Даниленко и др., 2020; Решетняк, 2021; Juhls et. al. 2020). Ионный состав речных вод является индикатором происходящих изменений (Решетняк, 2021), выявление которых позволит дать прогнозную оценку изменения качества воды при различных вариантах проявления климатических вариаций.

Для количественной оценки основных тенденций временной изменчивости ионного состава воды арктических рек более чем за 30-летний период был рассчитан ранговый коэффициент корреляции Кендалла, характеризующий динамику изменения концентрации во времени. Для расчетов коэффициентов корреляции использован программный пакет Statistica v13.3. Значения коэффициентов корреляции, характеризующего временную динамику концентраций главных ионов в речных водах АЗ РФ, представлены в табл. 40. Можно выделить следующие особенности (закономерности):

- 1) преобладание возрастающих трендов над убывающими для большинства ионов, кроме хлоридов;
- 2) отсутствие статистически значимых тенденций изменения содержания ионов кальция и гидрокарбонатов в воде более половины исследуемых участков арктических рек;
- 3) убывающие тренды по хлоридам характерны только для участков рек Европейского и Восточно-Сибирского секторов;
- 4) абсолютным доминированием возрастающих тенденций над убывающими по всем показателям для исследуемых рек Западно-Сибирского сектора.

За многолетний период наибольшее количество статистически значимых трендов (возрастающих и убывающих) сформировалось в динамике концентраций главных ионов в воде большинства исследуемых участков арктических рек по таким показателям, как сульфаты, ионы магния, хлориды и минерализация воды. Так разнонаправленные тенденции в изменении содержания сульфатов обнаруживаются для 86,7 % исследуемых участков рек, ионов магния – 80,0 %, хлоридов и минерализации воды – 66,7 % речных участков.

Таблица 40. Значения коэффициента корреляции Кендалла, характеризующего временную динамику концентраций главных ионов в речных водах АЗ РФ

№ п/п	Река	Пункт наблюдений	Значения коэффициента для ионов					
			Mg ²⁺	Ca ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Σ _{ионов}
Европейский сектор								
1	Печенга	ст. Печенга	0,26	0,23	—	0,19	0,22	0,17
2	Поной	с. Краснощелье	-0,10	—	-0,23	—	—	-0,18
3	Северная Двина	с. Усть-Цильма	—	—	-0,17	-0,16	—	—
4	Мезень	д. Малонисогорская	0,10	—	—	—	0,14	0,12
5	Печора	г. Нарьян-Мар	—	-0,09	-0,08	-0,28	—	—
Западно-Сибирский сектор								
6	Енисей	ниже г. Игарка	0,14	—	0,08	-0,10	0,08	—
		выше г. Дудинка	-0,31	-0,25	0,18	—	—	—
7	Обь	г.Салехард	0,14	—	—	0,60	—	0,23
8	Пур	п. Самбург	0,20	0,26	0,33	0,54	0,24	0,41
9	Седэ-Яха	г. Новый Уренгой	0,22	0,32	—	0,54	—	0,31
10	Таз	пгт. Тазовский	—	—	0,34	0,61	—	0,22
Восточно-Сибирский сектор								
11	Оленек	п.ст. Тюмети	0,12	—	—	0,14	-0,15	—
12	Лена	с. Кюсюр	—	—	-0,24	0,11	—	-0,12
		п.ст. Хабарова	—	—	—	0,21	-0,17	—
13	Яна	п.ст. Юбилейная	0,22	0,17	—	0,25	—	0,11
14	Индиگیرка	п. Чокурдах	0,16	0,10	-0,32	—	0,11	—
15	Колыма	с. Колымское	0,31	0,32	-0,43	0,26	—	0,11
<p>Примечание: статистически значимые тенденции (при $p < 0,05$ и выше) выделены цветом: зеленый цвет означает убывающую тенденцию, розовый – возрастающую; прочерк означает отсутствие статистически значимого тренда.</p>								

Для рек Европейского и Восточно-Сибирского секторов большинство выявленных трендов имеют слабую силу связи, для рек Западно-Сибирского сектора – умеренную и тесную силу связи, особенно в возрастающей изменчивости содержания сульфатов в воде. Это может быть обусловлено одновременным воздействием климатических изменений и усилением антропогенной нагрузки на водосборы в районах интенсивной нефтегазодобычи в бассейнах рек Обь, Пур, Таз. Стоит выделить отдельные участки рек в АЗ РФ, для которых практически по всем главным ионам выявлены статистически значимые возрастающие тренды: это р. Пур (п. Самбург) – по всем показателям тренды возрастающие; р. Печенга (ст. Печенга) – пять из шести показателей имеют возрастающую тенденцию; р. Яна (п.ст. Юбилейная) – в динамике 4-х из шести показателей установлен возрастающий тренд.

Анализ пространственного распределения основных тенденций изменчивости минерализации и ионного состава воды на устьевых участках рек АЗ РФ за многолетний

период показывает их неоднородность. Наблюдается преобладание возрастающих трендов на участках рек Западно-Сибирского сектора.

Таким образом, многолетняя динамика содержания главных ионов в речных водах различных секторов Российской Арктики отличается большим числом возрастающих тенденций, особенно на территории Западной Сибири. Это может быть обусловлено не только прямым антропогенным влиянием, но и активизацией процессов химического выветривания пород в результате последствий глобального изменения климата: увеличения мощности сезонно-талого слоя, удлинения времени контакта подземных вод с породами, ускорения процессов термоэрозии и др.

Результаты данного исследования могут стать основой для оценки последствий хозяйственной деятельности на арктических водосборах, совершенствования системы наблюдений в регионе и разработке комплекса природоохранных мероприятий для уязвимых водных объектов АЗ РФ.

Список литературы

Никаноров А.М., Брызгалов В.А., Косменко Л.С., Решетняк О.С. (2010) Роль химического речного стока в антропогенной трансформации состояния водной среды Енисейской устьевой области, *Водные ресурсы*, т. 37, № 4, с. 434-444.

Даниленко А.О., Решетняк О.С., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю. (2020) Изменение интенсивности химической денудации на водосборе Печоры в условиях нестационарного климата и хозяйственной деятельности, *Water and Ecology*, № 4 (84), с. 38-49.

Решетняк О.С. (2021) Многолетняя изменчивость ионного стока крупных рек арктической зоны России, *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*, № 3, с. 80-86.

Juhls B., Stedmon C.A., Morgenstern A., Meyer H., Hölemann J., Heim B., Povazhnyi V., Overduin P.P. (2020) Identifying Drivers of Seasonality in Lena River Biogeochemistry and Dissolved Organic Matter Fluxes, *Front. Environ. Sci.*, URL: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00053/full>.

**МЕЖГОДОВАЯ ДИНАМИКА РАСТВОРЕННЫХ ГАЗОВ И БИОГЕННЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ПЕЛАГИАЛИ ОЗЕРА БАЙКАЛ**
**INTERANNUAL DYNAMICS OF DISSOLVED GASES AND BIOGENIC ELEMENTS IN
THE PELAGIC ZONE OF LAKE BAIKAL**

Сакирко М.В., Домышева В.М.

Sakirko M.V., Domysheva V.M.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Лимнологический институт Сибирского отделения Российской академии наук
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3

Аннотация. На основании большого массива данных, полученных в пелагиали озера Байкал на всех его глубинах, показана динамика концентраций кислорода и биогенных элементов за последние 15 лет. Во всей водной толще Байкала каких-либо значительных трендов в концентрациях кислорода и биогенных элементов не отмечено. Показано, что в придонной области содержание нитратов и фосфатов не изменилось. В исследуемый период отмечен рост содержания кремния и снижение растворенного кислорода в придонной области акватории озера Байкал.

Ключевые слова: озеро Байкал, пелагиаль, кислород, биогенные элементы, межгодовая динамика.

Abstract. On the basis a large array of data obtained in the pelagial of Lake Baikal at all its depths, the dynamics of oxygen and biogenic elements concentrations over the past 15 years is shown. There were no significant trends in oxygen and biogenic elements concentrations in the entire water column of the Baikal water area. It is shown that the content of nitrates and phosphates in the bottom region did not change. During the study period, an increase in the content of silicon and a decrease in dissolved oxygen in the bottom area of Lake Baikal were noted.

Keywords: Lake Baikal, pelagial, oxygen, biogenic elements, interannual dynamics.

Озеро Байкал, расположенное в Восточной Сибири, является самым глубоким (максимальная глубина 1637 м) и самым крупным пресноводным озером мира, в котором сосредоточено 20% мировых запасов поверхностных пресных вод (23000 км³). Морфологически ложе озера разделено поднятиями дна на три котловины: южную, среднюю и северную (рис. 92).

Температурный режим озера Байкал, высокое содержание кислорода во всей толще воды и преобладание глубоководной зоны над прибрежной создают особенные экологические условия для развития организмов (Атлас Байкала, 1993). Биогенные элементы являются одними из необходимых компонентов для развития жизни в водоеме и обеспечивают, при наличии других благоприятных факторов среды, нормальный рост живых организмов и их продуцирование.

Многочисленные исследования гидрохимического режима Байкала (Г.Ю. Верещагин, П.Ф. Бочкарев, В.А. Толмачев, И.В. Глазунов, К.К. Вотинцев, В.Т. Богданов, Е.Н. Тарасова и др.) в основном были сосредоточены на верхнем 300-метровом слое и лишь частично и качественно давали представления о пространственной структуре химических компонентов в глубинной зоне, отдельных котловин. Суммарная концентрация растворенных солей в воде Байкала составляет около 96 мг/дм³, преобладающими ионами являются гидрокарбонаты и кальций. Многолетние наблюдения показали, что содержание главных ионов в водной толще

разных котловин Байкала постоянно (Домышева и др., 2019). Стабильность ионного состава воды обусловлена огромным объемом озерных водных масс по сравнению с годовым водным стоком притоков, средний химический состав вод, которых близок к озерному, а также интенсивным водообменом в озере.

Целью настоящей работы является оценка многолетней динамики растворенного кислорода и биогенных элементов в пелагиали Байкала.

Для анализа межгодовых изменений использованы данные гидрохимических исследований в пелагиали озера Байкал с 2008 по 2022 гг. Отбор проб воды выполнен на 20 станциях продольного разреза озера (рис. 92) на 10-15 глубинах от поверхности до дна с помощью системы батометров SBE 32 Carousel (Sea-Bird Electronics, USA) в конце мая–начале июня сразу после вскрытия озера ото льда. На месте отбора проводили йодометрическое определение растворенного кислорода по Винклеру (РД 52.24.419-2019). Минеральные формы биогенных элементов определяли после фильтрования с использованием мембранных ацетатцеллюлозных фильтров с размером пор 0,45 мкм (Владисарт, Россия). Содержание биогенных элементов измеряли на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ (Россия): нитраты (NO_3^-) (ГОСТ 33045–2014) измеряли с применением салицилового натрия, кремний (Si) в виде кремнемолибденовой гетерополикислоты (РД 52.24.433-2018), фосфаты (PO_4^{3-}) в виде фосфорно-молибденового комплекса (ГОСТ 18309-2014).

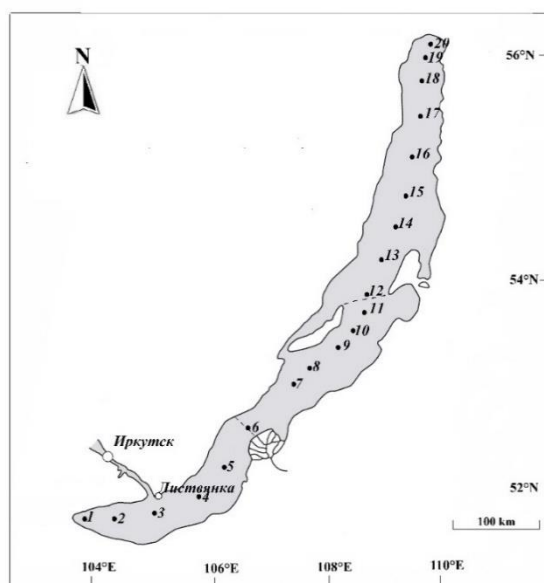


Рисунок 92. Карта-схема отбора проб вода в пелагиали озера Байкал. Пунктирной линией указаны границы котловин

Одна из уникальных особенностей озера Байкала – высокая концентрация кислорода в воде на всех глубинах. Содержание растворенного кислорода в воде Байкала составляет 9-14

мг/дм³ (рис. 93), концентрация его убывает с глубиной, а величина насыщения кислородом вод придонного слоя не опускается ниже 70 %. Постоянное присутствие кислорода на всех глубинах обусловлено уникальными механизмами обновления глубинных вод весной и осенью.

Биогенные элементы, служащие одним из показателей качества воды, содержатся в небольшом количестве. Концентрация их возрастает от поверхностного к придонному слою и не превышает для кремния 2,8 мг/дм³, нитратов – 0,70 мг/дм³, фосфатов – 0,064 мг/дм³ (рис. 93). В верхнем слое озера (до 200 м) распределение биогенных элементов и кислорода значительно изменяется вследствие различной интенсивности развития водорослей и перемешивания вод в разные годы. В центральном ядре (400-800 м) водной толщи Байкала градиент падения концентрации кислорода и роста биогенных элементов практически постоянен. По сравнению с центральной частью глубинной зоны в придонном слое (100-200 м у дна) заметна межгодовая изменчивость концентрации кислорода и биогенных элементов, что связано с сезонным обновлением вод этого слоя в результате глубинной вынужденной температурной конвекции и интрузий вод из верхней зоны Байкала.

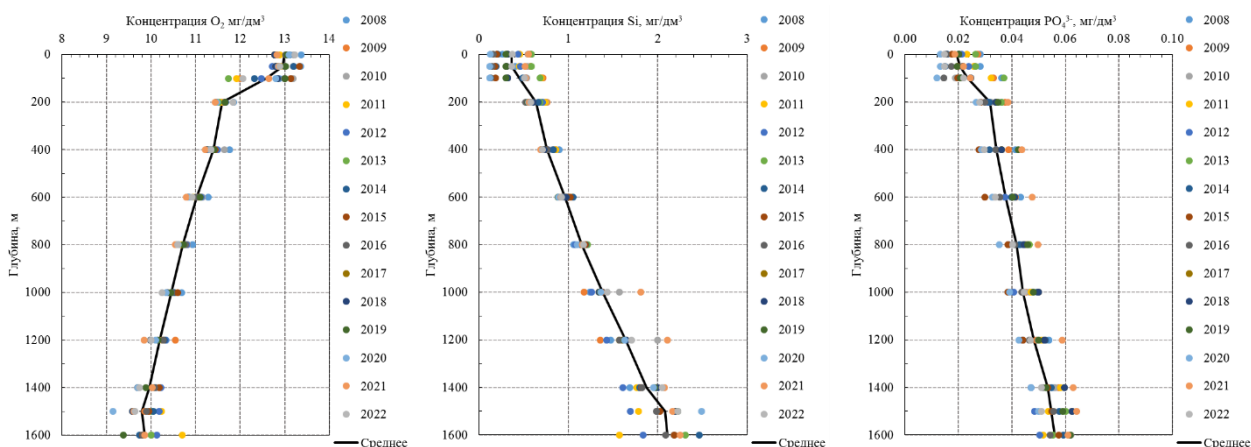


Рисунок 93. Вертикальное распределение концентраций растворенного кислорода, кремния и фосфатов на станции м. Ухан - м. Тонкий (станция 9, см. рис.1), 2008-2023 гг.

Для оценки межгодовых изменений растворенных газов и биогенных элементов были рассчитаны их средние концентрации на отдельно взятом горизонте всех станций (5-8 станций) в каждой котловине. Далее, на основе полученных концентраций, рассчитаны средневзвешенные концентрации с учетом объема слоев воды в верхнем 100-метровом, в центральном ядре (400-1000 м в южной и средней части озера и 400-600 м в северной) и в придонном 200-метровом слоях в котловинах.

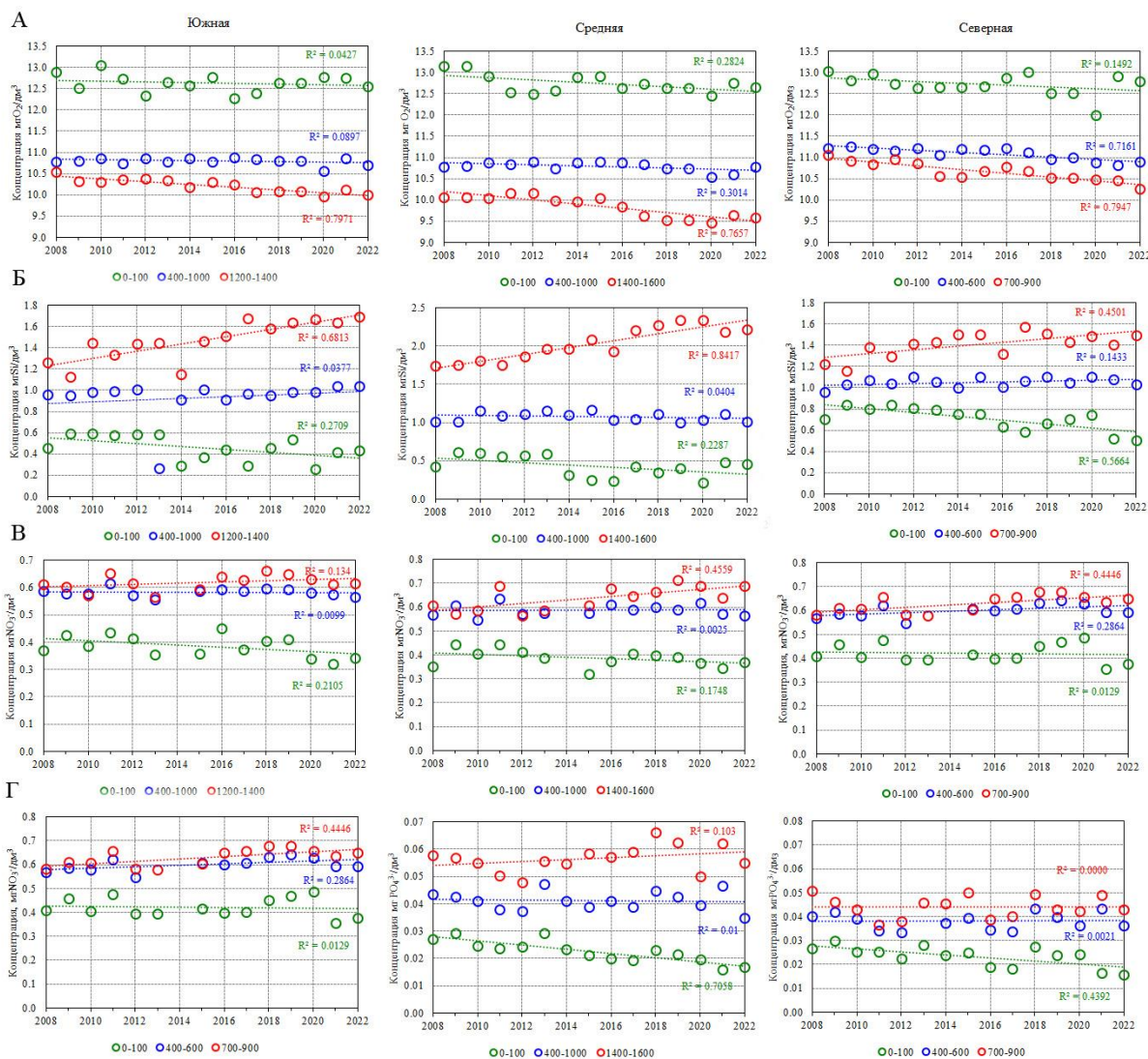


Рисунок 94. Многолетняя динамика средневзвешенных концентраций кислорода (А), кремния (Б), нитратов (В), фосфатов (Г) в пелагиали озера Байкал 2008-2023 гг.

Как видим из рис. 94 в центральной зоне всех котловин озера не наблюдается каких-либо значимых изменений концентрации кислорода и биогенных элементов. В верхнем 100-метровом слое воды прослеживаются некоторые тенденции к снижению содержания биогенных элементов, особенно кремния и фосфатов к 2022 г., в тоже время резко выраженных изменений в концентрации кислорода не отмечено. Как известно, концентрация биогенных элементов меняется в зависимости от интенсивности развития водорослей, высокая продуктивность диатомового фитопланктона в 2014-2016 гг. привела к заметному снижению содержания фосфатов и кремния. В придонной области на динамику биогенных элементов влияют в основном два противоположных процесса: повышение концентрации за счет выноса их из донных отложений и снижение в результате поступления вод из верхних горизонтов при весеннем перемешивании и интрузиях (Шимараев и др., 2016). Отметим, что, если в верхнем слое концентрация кремния снизилась, то в придонных водах она уверенно возрастает. Такие

различия в межгодовой динамике биогенных элементов в придонной зоне может быть обусловлена тем, что восстановление фосфора и азота из органических форм в минеральную происходит в основном в верхнем слое воды, а кремний в виде створок диатомового планктона опускается в донные отложения, где и протекает его переход в растворенную форму. Причиной особенно заметного роста концентрации кремния в средней котловине также может также служить возможное проникновение обогащенных кремнием (Sorokovikova et al., 2019) вод реки Селенги в придонную область.

Обнаруженные разнонаправленные незначительные тренды изменения содержания биогенных элементов в верхних и придонных слоях воды, безусловно, требуют продолжения всесторонних подробных исследований. Однако, можно предполагать, что на фоне большого межгодового размаха концентраций в этих слоях и, принимая во внимание практически постоянное содержание биогенных элементов и кислорода в глубинной центральной области озера, выявленные тенденции, вероятно, могут свидетельствовать об отсутствии воздействия каких-либо негативных процессов на пелагиаль Байкала.

Работа выполнена в рамках государственного задания ЛИН СО РАН (№121032300199-9.)

Список литературы

Атлас Байкала (1993) М., Федер. служба геодезии и картографии, 160 с.

Домышева В.М., Сороковикова Л.М., Синюкович В.Н., Онищук Н.А., Сакирко М.В., Томберг И.В., Жученко Н.А., Голобокова Л.П., Ходжер Т.В. (2019) Ионный состав воды озера Байкал, его притоков и истока реки Ангара в современный период, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 77-86.

Шимараев М.Н., Жданов А.А., Гнатовский Р.Ю., Блинов В.В. Иванов В.Г. (2011) Особенности холодных придонных интрузий на Байкале по наблюдениям в 1993-2009 гг., *Водные ресурсы*, т. 38, № 2, с. 163-168.

Sorokovikova L.M., Tomberg I.V., Sinyukovich V.N., Molozhnikova E.V., Khodzher T.V. (2019) Low water level in the Selenga River and reduction of silica input to Lake Baikal, *Inland Waters*, vol. 9, no. 4, pp. 464-470, doi: 10.1080/20442041.2019.1580078.

ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ Р. ЛИХОБОРКИ

HYDROCHEMICAL SURVEY OF CONDITION AND POLLUTION OF THE LIKHOBORKA RIVER

Словягина А.Н., Фащевская Т.Б., Полянин В.О.

Slovyagina A.N., Fashchevskaya T.B., Polyinin V.O.

ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН)»

Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

Аннотация. Приведены результаты полевых и лабораторных исследований участка водосбора и проб воды р. Лихоборки, протекающей по территории Северного административного округа г. Москвы. Исследования, выполненные в сентябре 2022 г., связаны с многочисленными случаями неудовлетворительного органолептического состояния водного объекта в предшествующий период. Выполнена оценка качества воды по показателям: взвешенные вещества, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, БПК₅, ХПК, фосфаты, азот аммонийный. Диагностировано тепловое загрязнение водотока.

Ключевые слова: городской водоток, ливневая канализация, сбросы сточных вод, показатели качества воды, тепловое загрязнение.

Abstract. The results of field and laboratory studies of the catchment area and water samples of the Likhoborka River, which flows through the Northern and North-Eastern administrative districts of Moscow, are presented. Research carried out in September 2022 is associated with numerous cases of unsatisfactory organoleptic condition of water body in the previous period. An assessment of water quality was carried out according to the following indicators: suspended substances, oil products, chlorides, sulfates, five-day BOD, COD, phosphates, ammonium nitrogen. Thermal pollution of the watercourse was diagnosed.

Key words: urban watercourse, storm drainage, wastewater discharges, water quality indicators, thermal pollution.

Водные объекты г. Москвы занимают незначительную часть площади городской территории (~3%), однако выполняют важные градообразующие функции и участвуют в формировании городского ландшафта, одновременно подвергаясь сильной трансформации и загрязнению (Доклад..., 2012). Являясь частью сложившейся схемы водоотведения, городские пруды и реки в совокупности с инженерными объектами образуют коллекторно-речную сеть, которая собирает поверхностный и дренажный сток. Московская городская система водоотведения имеет 221 водовыпуск, в т.ч.: в р. Москву – 81, в р. Яузу – 44, в р. Сетунь – 21, в р. Лихоборку – 10, в р. Сходню – 8 и др.; часть водовыпусков оборудована очистными сооружениями (Доклад..., 2017). Чрезвычайную опасность для экологического состояния и качества воды городских водных объектов представляет залповое поступление загрязненных вод в результате аварий на предприятиях, использующих систему ливневой канализации для приема сточных вод, или в результате несанкционированных сливов жидких отходов различного происхождения в систему водостока через водоприемные колодцы (дождеприёмные решетки) (рис. 95) или непосредственно в водоток.



Рисунок 95. Несанкционированный сброс в систему водостока: водитель илососа сливает в водоприемный колодец жидкие отходы (слева) и р. Таракановка после сброса (справа), май 2015 г. (фото авторов)

Река Лихоборка является притоком р. Москвы 2-го порядка и протекает по территории Северного и Северо-Восточного административных округов г. Москвы (рис. 96). Река берет начало в районе г. Долгопрудный Московской области и до слияния с ручьем Коровий враг называется р. Бусинкой. Почти половина реки заключена в коллектор, оставшаяся часть представляет собой условно естественное русло, местами в виде открытых каналов с искусственно укрепленными берегами (Словягина и др., 2020).

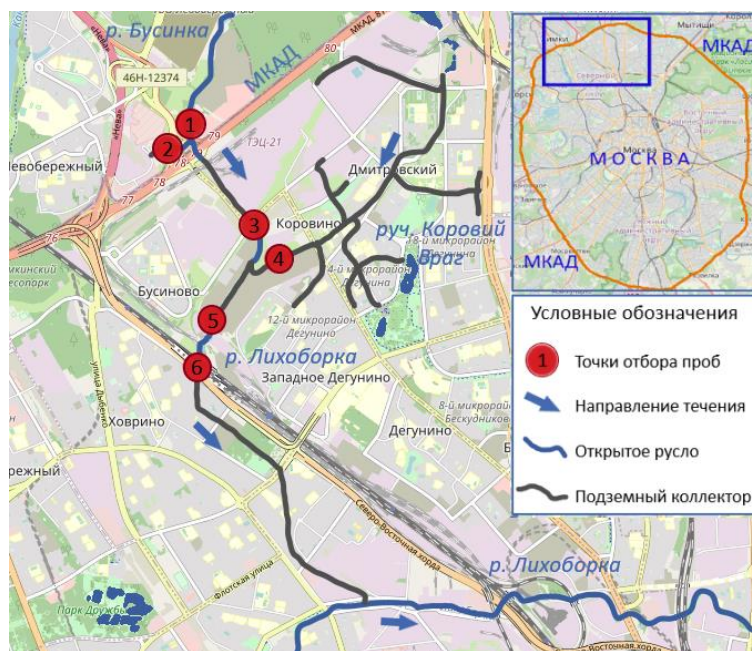


Рисунок 96. Расположение р. Лихоборки и точек отбора проб воды на карте г. Москвы

В сентябре 2022 г. при обследовании верхнего участка реки были зафиксированы многочисленные случаи неудовлетворительного органолептического ее состояния (неприятный запах и специфический цвет воды), что указывало на залповые (аварийные или несанкционированные) сбросы в водоток. В данной работе представлены результаты гидрохимической съемки верхнего участка р. Лихоборка, выполненной для получения сведений о последствиях сбросов и качестве речной воды. Гидрохимическая съемка проведена

в сентябре 2022 г., в ходе которой были отобраны пробы воды в 6-ти точках, расположенных по течению р. Лихоборки, одновременно измерялись температура воды и воздуха (рис. 96, табл. 41). Оценка качества воды выполнена по следующим показателям: взвешенные вещества, нефтепродукты, хлориды, сульфаты, БПК₅, ХПК, фосфаты, азот аммонийный, рН.

Таблица 41. Описание точек отбора проб воды на участке верхнего течения р. Лихоборки

Точка отбора проб воды	Название, местоположение точки отбора проб воды (соответственно рис. 96)	Краткая характеристика участка течения и источников загрязнения реки
1	79 км МКАД – р. Бусинка; расстояние от истока реки до точки 1 – 2.37 км	Исток реки в лесопарке в северной части г. Долгопрудный; протекает вдоль двух полигонов ТБО – Долгопрудненского и Левобережного
2	79 км МКАД – водоток, выходящий из коллектора ливневой канализации г. Химки; длина водотока в коллекторе 294 м	В июне 2022 г. были случаи аварийного сброса хозяйственно-бытовых сточных вод ОАО «Химводоканал» в систему ливневой канализации по причине засора в коллекторе хозяйственно-бытовой канализации; водосбор озеленен
3	ул. Ижорская, 8 – выход из коллектора и начало открытого участка, спустя 1071 м от входа в коллектор под 79 км МКАД	В данный коллектор поступают сбросные воды ТЭЦ-21, сток с рыбзавода «Меридиан» и других мелких предприятий. Точка отбора проб воды расположена после сброса всех предприятий
4	ручей Коровий Враг – недалеко от устья ручья, заключенного в коллектор; длина ручья 4020 м	Водосбор ручья имеет значительную площадь и составляет существенную часть водосбора р. Лихоборки. В предшествующий отбору проб воды период возникали подозрения о несанкционированных сбросах на водосборе
5	Коровинское шоссе, 35 – выход из коллектора длиной 765 м	На данном участке водосбора расположена стройка жилого комплекса на месте трубозаготовительного завода
6	ул. Зеленоградская, 23 – р. Лихоборка, расстояние от истока реки до точки 6 – 5.04 км	р. Бусинка сливается с ручьем Коровий враг, открытое русло

Таблица 42. Результаты химического анализа проб и значения нормативов качества воды

Показатель качества воды	Точки отбора проб воды						Норматив/ ПДК _{рх}
	1	2	3	4	5	6	
Взвешенные вещества, мг/л	20.2	3.5	18.1	22.9	15.9	18.1	10.75
Нефтепродукты, мг/л	5.45	0.14	0.16	0.10	0.14	0.17	0.05
БПК ₅ , мгО ₂ /л	12.5	2.1	4.0	3.9	4.9	5.2	2.1
ХПК, мгО/л	97	20	34	32	46	49	15
Хлориды, мг/л	110	29.6	44.7	79.4	48.5	44.2	300
Сульфаты, мг/л	23.0	20.1	19.0	63.8	28.4	24.5	100
Фосфаты (по фосфору), мг/л	7.35	0.64	0.86	0.83	0.79	0.82	0.2
Азот аммонийный, мг/л	15.5	0.09	0.91	5.57	1.70	0.94	0.4
рН	7.6	7.8	8.0	8.3	8.1	8.4	6.5-8.5

Результаты исследования. На основе проведенного исследования установлено, что концентрации большинства загрязняющих веществ в коллекторно-речной сети максимальны в точке 1, замыкающей участок водотока длиной 2.37 км, собирающего воды с территории г. Долгопрудный и протекающего вдоль Долгопрудненского и Левобережного полигонов ТБО. Содержание загрязняющих веществ превышает ПДК_{рх} в 1.9 раз по взвешенным веществам, ~

6.5 раз по ХПК, ~ 38 раз по фосфатам и азоту аммонийному, 109 раз по нефтепродуктам. Следующее существенное увеличение содержания хлоридов, сульфатов, азота аммонийного и взвешенных веществ отмечается в точке 4, замыкающей водосбор ручья Коровий Враг, в которой концентрации выше относительно расположенной ниже по течению точки 5 в 1.4 (по взвешенным веществам) – 3.3 (азоту аммонийному) раза. Такое превышение концентраций загрязняющих веществ на выше расположенном участке относительно нижерасположенного свидетельствует о происходящих на водосборе ручья залповых сбросах сточных вод, а присутствие в водотоке, заключенном в коллектор, азота аммонийного в высокой концентрации (5.6 мг/л) указывает на то, что эти сточные воды имеют хозяйственно-бытовое происхождение. Минимальные концентрации большинства загрязняющих веществ отмечаются в точке 2 на выходе из коллектора водотока длиной ~ 300 м, протекающего за 78-м км МКАД. В целом на исследуемом участке водосбора р. Лихоборки измеренные концентрации хлоридов и сульфатов не превышали ПДК_{рх} во всех точках; концентрации взвешенных веществ, азота аммонийного и органических веществ, оцениваемых по БПК₅, не превышали ПДК_{рх} лишь в одной точке 2. Во всех остальных точках по всем измеренным показателям наблюдалось превышение ПДК_{рх}, особенно существенное в точке 1 (табл. 42).

Измеренные значения температуры воды и воздуха совпали в точках 1 и 4 (рис. 97), что позволяет сделать вывод о том, что в этих точках термические условия близки к естественным. На других обследованных участках наблюдается тепловое загрязнение реки: температура воды выше температуры воздуха в 1.9 раз – 2.4 раза. С большой долей вероятности повышение температуры воды в точке 3 до 28°C происходит из-за разрешенного сброса сточных вод с водовыпуска ТЭЦ 21, расположенного на участке течения р. Лихоборки ниже точки 2.

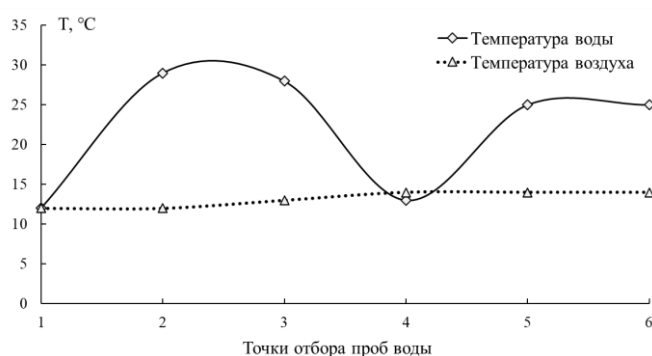


Рисунок 97. Изменение температуры воды и воздуха в точках мониторинга на участке верхнего течения р. Лихоборка

Тепловое загрязнение распространяется вниз по течению, и даже на расстоянии ~1.5 км в точках 5 и 6 температура воды снижается лишь на 3°C (рис. 97). Интересно отметить, что максимальная из измеренных температур воды (29°C) отмечена в точке 2, что позволяет предположить о наличии другого несанкционированного водовыпуска выше по течению.

Таким образом, результаты гидрохимической съемки в бассейне р. Лихоборки на территории Северного административного округа г. Москвы показывают наличие существенного загрязнения воды нефтепродуктами, органическими веществами (по БПК₅ и ХПК), фосфатами и аммонийным азотом на всем исследованном участке течения. Анализ данных подтвердил предположения о несанкционированных сбросах хозяйственно-бытовых сточных вод в ручей Коровий Враг (точка 4) и выявил тепловое загрязнение реки из неустановленного источника (точка 2). Также подтверждено предположение о негативном влиянии полигонов ТБО, расположенных в пределах водосбора, на качество речной воды – в точке 1 максимальные концентрации загрязняющих веществ, в десятки и сотни раз превышающие ПДК_{рх}. С методической точки зрения результаты работы говорят о том, что получение объективного представления об условиях формирования качества воды городских рек требует более детального внимания к частоте отбора проб и пространственному распределению точек наблюдений. При этом ключевое значение имеет специфика хозяйственной деятельности на водосборной территории и расположение потенциальных источников загрязнения.

Благодарность. Работа выполнена в рамках темы № FMWZ-2022-0003 Государственного задания ИВП РАН.

Список литературы

Доклад о состоянии окружающей среды в г. Москве в 2012
<https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/63277220/>

Доклад о состоянии окружающей среды в г. Москве в 2017
<https://www.mos.ru/eco/documents/doklady/view/217165220/>

Словягина А.Н., Полянин В.О., Фащевская Т.Б. 2020. Пространственно-временная динамика качества воды городского водотока (на примере р. Лихоборка). – Сборник статей, посвященный 100-летию со дня образования Гидрохимического института, «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод». Часть 1. Ростов-на-Дону, ГХИ. – С. 146–152.

**МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД БАССЕЙНА
ГОРОДСКОЙ РЕКИ СЕТУНЬ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА 2019-2022 ГГ.)
LONG-TERM VARIABILITY OF THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATERS
OF THE CITY RIVER SETUN BASIN**

(BASED ON THE RESULTS OF MONITORING 2019-2022)

Соловьева С.С., Ефимова Л.Е., Ерина О.Н., Терешина М.А., Соколов Д.И.

Soloveva S.S., Efimova L.E., Erina O.N., Tereshina M.A., Sokolov D.I.

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

Аннотация. В работе рассматривается трансформация химического состава воды реки Сетунь в 2019-2022 гг. Выявлена значительная неоднородность данных, заметное увеличение амплитуды концентраций основных ионов и их ежегодных максимумов. В структуре ионного стока отмечен переход от гидрокарбонатно-кальциевого к хлоридно-кальциевому составу вод с высокой долей содержания натрия. Выявлены преобразования во внутренней структуре стока фосфора, для которого характерно увеличение доли его взвешенных форм. Расчет стока поллютантов свидетельствует об увеличении их выноса с водосбора реки.

Ключевые слова: малые городские реки, химический состав, ионный сток.

Abstract. The transformation of the chemical composition of the of the Setun River`s water in 2019-2022 has been considered at this paper. A significant heterogeneity of the data and a noticeable increase in the amplitude of the concentrations of the main ions and their annual maxima were revealed. In the structure of ion runoff, the transition from calcium-bicarbonate to calcium-chloride composition of waters with a high proportion of sodium content is noticed. Transformations in the internal structure of phosphorus runoff, which is characterized by an increase in the proportion of its suspended forms have been detected. The calculation of the runoff of pollutants indicates an increase in their removal from the catchment area of the river.

Keywords: small urban rivers, chemical composition, ion runoff.

Введение. До 80-х гг. XX в. р. Сетунь относилась к рекам, формирование стока которых происходило в границах естественных водосборов, с частично урбанизированными территориями. Техногенные преобразования в бассейне реки, в первую очередь, резко увеличившаяся городская застройка, уплотнение грунтов – «урбаноземов», уменьшение их водопроницаемости (Кошелева, Цыхман, 2018), привело к изменениям объёма поверхностного стока и его доли в общей структуре питания реки. В периоды повышенной водности (снеготаяния или дождевых паводков) значительный объём воды не успевает просочиться в грунт или испариться. Более выраженными и мощными становятся паводки (Chalov S. et al, 2022). Изменяется степень разбавления и гидрохимический режим водного объекта. Модуль стока р. Сетуни в 1,5-2 раза выше, чем наблюдается в верховьях Москвы-реки (условно фоновый участок, не подвергавшийся активному антропогенному преобразованию) (Sokolov et al, 2021). Заметно увеличивается и количество взвешенных веществ, смываемых с территории водосбора и адсорбированных на них химических элементов (Кумани и др., 2007; Lu et al., 2019). Учитывая то, что р. Сетунь – приток р. Москвы, качество ее вод оказывает воздействие и на химический состав вод основной реки.

Материалы и методы. Информационной основой исследования стали данные мониторинговых наблюдений за содержанием химических веществ в водных объектах бассейна Сетуни (проект РНФ 19-77-30004-П). Ежемесячные полевые измерения и отбор проб для проведения химических анализов проводились в устье Сетуни и трех ее притоков: Алешинки, Навершки и Раменки. Измерения основных гидрохимических параметров в точках мониторинга вдоль течения р. Сетуни осуществлялись ежеквартально. В период повышенной водности (половодье и мощные паводки) наблюдения проводились с устья Сетуни с дискретностью в 1-2 дня. В основу работы легли данные о концентрациях главных ионов, органических веществ (БПК₅ и ХПК), биогенных элементов (азот, фосфор, кремний), полученные при проведении анализов методами, изложенными в РД и капиллярного электрофореза (Комарова, Каменцев, 2003).

Результаты. Для вод бассейна р. Сетуни большую часть года характерен гидрокарбонатно-кальциевый состав воды, хотя в конце осени и в зимний период наблюдается увеличение содержания Na и преобладание Cl в солевом составе. За расчетный период в ионном стоке (табл. 43) уменьшилась доля и абсолютное содержание компонентов природного происхождения (Alk, Si). Данная тенденция обусловлена снижением водного стока на 230 м³/год и увеличением стока Cl и Na, имеющих преимущественно антропогенное происхождение. При увеличении общего стока ионов на 2600 т/год, суммарная доля гидрокарбонатных и карбонатных ионов в суммарном ионном стоке снизилась на 5,5 тыс. т/год (10%), относительное содержание хлоридов возросло на 7,1 тыс. т/год.

Таблица 43. Сток воды (тыс.м³/год) и основных химических веществ (тыс.т/год) в замыкающем створе реки Сетунь

	Q	N _{общ}	Si	P _{общ}	Мут-ность	Alk	Cl	Na	Минерализация
2020 г	0,93	0,22	0,50	0,03	2,97	23,2	10,5	4,50	67,4
2021 г	0,83	0,20	0,45	0,02	4,71	18,5	16,4	5,87	69,4
2022 г	0,70	0,19	0,39	0,02	5,58	17,6	17,6	5,68	71,0

Наблюдается изменение гидрокарбонатно-кальциевого на хлоридно-натриевый состав вод. В 2022 г. доля хлоридов в общем стоке сравнима с относительным содержанием гидрокарбонатов (рис. 97). Почти такую же долю в солевом составе имеет ион кальция. Относительное содержание других главных компонентов изменялось незначительно. Постоянное увеличение хлоридов обусловлено смывом с дорог и автотрасс вод, насыщенных солями противогололедных реагентов, и сбросом в реки талых вод, полученных в результате работы снегоплавильных пунктов. Смена гидрокарбонатно-кальциевого на хлоридно-натриевый состав наблюдалась и в водах притоков Сетуни, наиболее выражена она в реках Навершка и Алешинка.

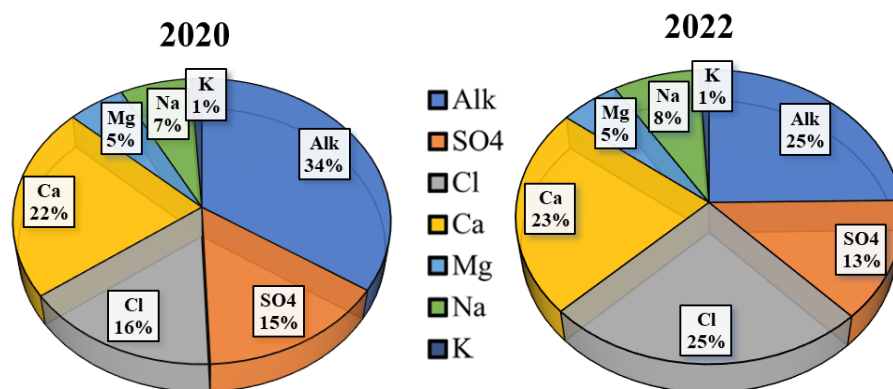


Рисунок 97. Соотношение компонентов годового ионного стока через замыкающий створ р. Сетуни в 2020 и 2022 годах

Уменьшение водного стока в периоды паводков и половодий и его увеличение в меженные периоды привело к тому, что сезонные колебания стока основных ионов менее выражены, чем временная изменчивость их концентраций. За период исследований значительно возрос сток взвешенных веществ. Причиной могло стать активное освоение водосбора и увеличение доли строительных площадок в бассейне.

В структуре стока биогенных элементов наибольшую роль сыграло уменьшение выноса Si через устьевой створ (на 110 т/год). Изменение стока валового фосфора незначительно, однако межгодовые изменения наблюдались в его структуре. Произошло увеличение доли растворенных органических форм и снижение относительного содержания органического взвешенного фосфора (на 5 и 14% соответственно). При этом во внутригодовом стоке ярко выражено преобладание взвешенных форм фосфора (48,7% – минерального; 25,6% – органического). Данная особенность является следствием высоких темпов застройки водосбора и большого количества строительных площадок. Сток общего азота примерно в 7-10 раза больше стока общего фосфора. В июне 2020 года через замыкающий створ Сетуни было вынесено 45,1 тонны этого поллютанта. Из них 78,6% (36,1 т) составил растворенный азот. В структуре растворенного азота преобладали нитраты, содержание которых в водах Сетуни за изученный период имело тенденцию к уменьшению (с 1,29 до 0,71 т/мес). В первую очередь, это обусловлено уменьшением водного стока реки.

В воде р. Навершки в период с 2019 по 2022 гг. происходило ежегодное увеличение максимальных ежегодных концентраций валового фосфора, наблюдался и небольшой общий тренд к повышению доли минерального фосфора (с 67,7 до 68,1%). В притоках Алешинке и Раменке отмечена обратная тенденция – снижение доли минеральных форм фосфора (с 75,3 до 66,1 и, соответственно, с 67,5 до 52,9%) (рис. 98).

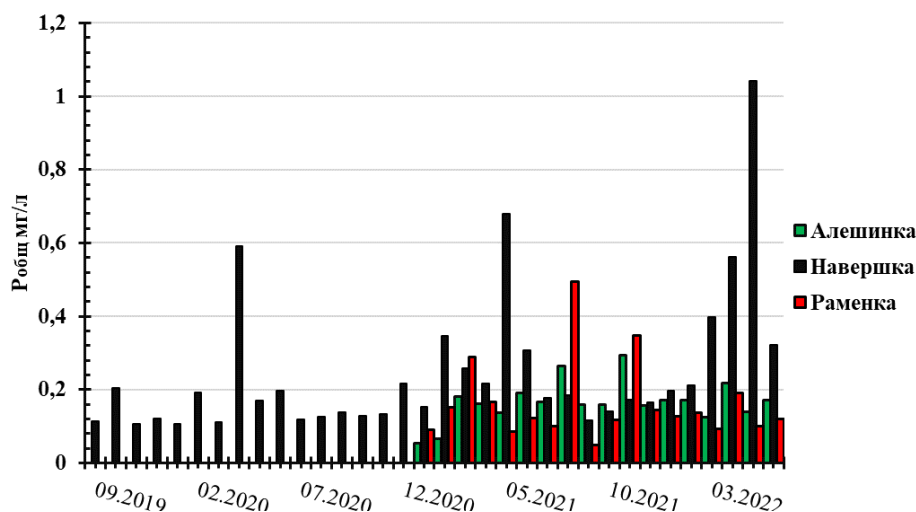


Рисунок 98. Изменчивость концентраций валового фосфора на притоках р. Сетунь

Содержание кремния в водах притоков Сетуни за рассматриваемый период практически не изменялось, за исключением его незначительных межсезонных колебаний.

Заметное увеличение $XPK_{общ}$ приходилось на периоды повышенной водности и может быть обусловлено смывом взвешенных веществ с водосбора. Наибольшее поступление взвеси выявлено в период мощного летнего паводка 2021 г. (мутность в устье Сетуни - 368 NTU). Июньский паводок 2021 года характеризовался наибольшими за все рассматриваемые периоды величинами $XPK_{общ}$. В период весеннего половодья воздействие, оказываемое притоком взвешенных веществ, на порядок меньше. Это связано с меньшим, по сравнению с летним паводком, расходом воды и снижением размыва берегов или поступления взвешенных веществ с территории водосбора. Максимальные концентрации $XPK_{общ}$ в разные годы варьировали от 50,6 до 56,8 мгО/л. Среднегодовые значения изменялись в диапазоне от 40,9 (2020 г.) до 53 мгО/л (2021 г.). Минимальные показатели наблюдались в периоды зимней межени и составляли от 27,2 до 28,7 мгО/л. Схожая внутригодовая изменчивость характерна и для содержания в воде легкоокисляемых органических веществ (ЛОВ). Основным отличием являлось то, что наибольшие концентрации ЛОВ фиксировались на подъеме половодья, то есть в период активного снеготаяния. Значения среднегодовых значений BPK_5 были практически неизменными и составляли 7,3-7,8 мгО₂/л. Минимальные концентрации наблюдались в периоды летней межени и варьировали от 1,1 до 1,5 мгО₂/л. Для всех притоков было характерно снижение средних значений BPK_5 примерно на 15-20% за рассматриваемый трехлетний период.

За период многолетних мониторинговых наблюдений произошло увеличение суммарного ионного стока и преобразование его внутренней структуры. Оно выразилось в увеличении доли солевых компонентов антропогенного происхождения. В период зимней

межени 2022 г. абсолютные концентрации данных ионов были в 1,5-2 раза выше, чем в зимой 2020 и 2021 гг. Это произошло за счет снижения водности и увеличения притока с водосбора вод, насыщенных солями противогололедных реагентов (NaCl, CaCl₂).

Абсолютные значения годового стока биогенных веществ (кремния, общего фосфора и общего азота) остались практически неизменными. Преобразования были выявлены во внутренней структуре стока фосфора, для которого характерно увеличение доли его взвешенных форм. Исключение составили периоды летних паводков с резким увеличением содержания биогенных веществ в связи с ростом диффузного стока с водосбора.

За период исследований в 2 раза возрос среднегодовой сток взвешенных веществ. Причиной могло стать активное освоение водосбора и увеличение доли строительных площадок в бассейне.

Работа выполнена при поддержке РНФ (проект 19-77-30004-П).

Список литературы

Кошелева Н.Е., Цыхман А.Г. (2018) Пространственно-временные тренды и факторы загрязнения почвенного покрова Москвы, *Вестник РУДН, Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, т. 26, № 2, с. 207-236.

Комарова Н.В., Каменцев Я.С. (2006) *Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза «Капель»*, СПб., Изд. «Веда», 212 с.

Кумани М.В., Борзенков А.А., Соловьева Ю.А. (2007) Баланс растворенных и адсорбированных на взвешенных наносах загрязняющих веществ урбанизированных водосборов, *Вестник ВГТУ*, т. 3 (2), с. 148-152.

Chalov S., Platonov V., Erina O., Moreido V., Samokhin M., Sokolov D., Tereshina M., Yarinich Yu., Kasimov N. (2022) Rainstorms impacts on water, sediment, and trace elements loads in an urbanized catchment within Moscow city: case study of summer 2020 and 2021, *Theoretical and Applied Climatology*, vol. 151, pp. 871-889.

Lu W., Wu J., Z. Li N., Cui S. (2019) Cheng Water quality assessment of an urban river receiving tail water using the single-factor index and principal component analysis, *Water Supply*, vol. 19 (2), pp. 603-609.

Sokolov D., Chalov S., Tereshina M., Erina O., Shinkareva G. (2021) Hydrological regime of the urban Setun River, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 834, p. 012024.

**НЕФТЕПРОДУКТЫ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ РЕСПУБЛИКИ
БАШКОРТОСТАН
OIL PRODUCTS IN SURFACE WATER BODIES OF THE REPUBLIC OF
BASHKORTOSTAN**

*Фащевская Т.Б.¹⁾, Алгушаева А.В.¹⁾, Вишневецкая И.А.¹⁾, Елизарьев А.Н.²⁾
Fashchevskaya T.B.¹⁾, Algushaeva A.V.¹⁾, Vishnevskaya I.A.¹⁾, Elizariev A.N.²⁾*

¹⁾ ФГБУН «Институт водных проблем Российской академии наук (ИВП РАН)»
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 3

²⁾ ФГБОУ ВО «Уфимский университет науки и технологий»
Россия, 450000, г. Уфа, ул. К. Маркса, д. 12

Аннотация. На основе статистического анализа данных гидрохимического мониторинга установлены межгодовые и внутригодовые изменения содержания нефтепродуктов в водотоках бассейна р. Белой за многолетний (1975-2019 гг.) период. Выполнена вероятностная оценка качества воды и наступления случаев ВЗ и ЭВЗ. Результаты исследования картированы.

Ключевые слова: нефтегазодобывающий регион, речной бассейн, нефтепродукты, качество воды, картирование.

Abstract. Based on the statistical analysis of hydrochemical monitoring data, interannual and seasonal changes in the content of oil products in the watercourses of the river Belaya basin were established for a multi-year (1975-2019) period. A probabilistic assessment of water quality and the occurrence of cases of high pollution and extremely high pollution was performed. The results of the study are mapped.

Keywords: oil and gas producing region, river basin, oil products, water quality, mapping.

Республика Башкортостан является одним из старейших нефтедобывающих регионов России. Открытие в 1932 г. Ишимбайского месторождения нефти способствовало развитию нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей, и уже к началу 1950-х регион занимал второе место в СССР по добыче нефти и первое место по ее переработке. С середины 1960-х и до конца 1970-х нефтяники Башкирии ежегодно добывали около 40 млн тонн нефти. К началу 1980-х в регионе ведущими отраслями промышленности являются нефтедобыча, нефтепереработка, химия и нефтехимия, машиностроение, приборостроение, металлургия, производятся высокооктановые бензины, ароматические углеводороды, дизельные топлива, смазочные масла, перерабатывается высокосернистый природный газ, выпускаются пластмассы, каучук и синтетические волокна, нефтепромысловое оборудование, авиационные, авто двигатели и др. (Муталов, 1996). Экономический кризис 1991 г. привел к снижению объемов производства и закрытию многих предприятий региона. Например, на предприятиях нефтехимического комплекса объемы нефтепереработки и нефтедобычи за период с 1991 г. по 2001 г. снизились на 50% (Галеев и др., 1998). В последние годы регион входит в первую десятку среди субъектов РФ по объему нефтедобычи и занимает первые места по выпуску бензина и дизтоплива.

Главная водная артерия Башкортостана – р. Белая, водосбор которой составляет 142 тыс. км² и занимает около 79% площади региона. Физико-географические особенности территории

формируют большую межгодовую и внутригодовую неравномерность речного стока и изменчивость химического состава воды. Река является основным приемником сточных вод предприятий и одновременно используется для питьевого и промышленного водоснабжения. Многолетние изменения интенсивности хозяйственной деятельности на водосборе реки накладываются на естественные вариации химического состава речной воды и приводят к неопределенностям в оценках ее пригодности для разных видов водопользования. Цель данной работы – количественная оценка содержания нефтепродуктов в речных водах одного из старейших нефтедобывающих регионов РФ с учетом многолетней динамики хозяйственной деятельности на водосборе реки и особенностей ее гидрологического режима.

Для исследования использовались данные БашУГМС мониторинга речных вод в бассейне р. Белой на 52-х гидрохимических постах (18 на основной реке, 34 на ее притоках) за многолетний (1975-2019 гг.) период. Предварительный анализ показал, что содержание в речных водах нефтепродуктов характеризуется большой межгодовой неравномерностью (рис. 99). Задействованы вероятностно-статистические методы, позволяющие учесть многофакторность и неопределенность процесса формирования качества воды, а также выполнить вероятностную его оценку. Проведен анализ статистической однородности многолетних рядов среднегодовых концентраций, графически и с помощью статистических критериев (Анализ однородности рядов..., 1985). На каждом гидрохимическом посту определены временные границы статистически однородных периодов содержания нефтепродуктов в речных водах. Для примера в табл. 44 приведены результаты определения границ статистически однородных периодов концентраций нефтепродуктов на двух гидрохимических постах.

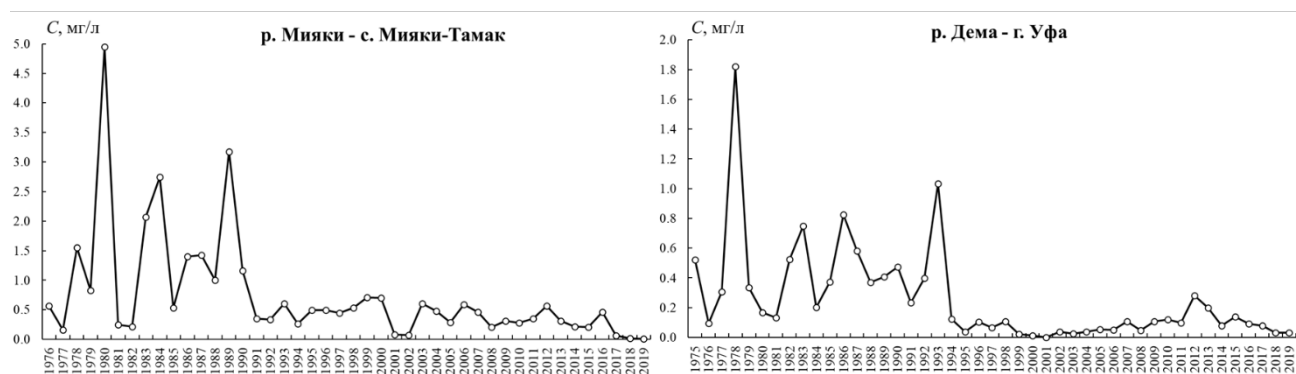


Рисунок 99. Межгодовые изменения среднегодовых концентраций нефтепродуктов в речных водах в бассейне р. Белой за период 1975-2019 гг.

Таблица 44. Результаты оценки статистической однородности рядов среднегодовых концентраций нефтепродуктов в бассейне р. Белой (уровень значимости 5%)

Пост	Периоды по результатам графического анализа	Средняя многолетняя концентрация, мг/л	Критерий Фишера*		Критерий Стьюдента*		Критерий Вилкоксона*		
			<i>F</i>	<i>F_a</i>	<i>St</i>	<i>St_a</i>	<i>U</i>	<i>U₁</i>	<i>U₂</i>
р. Мияки – с. Мияки-Тамак	1976-1991	1.40±0.33	39,8	2,21	4,03	2,01	357	144	304
	1992-2019	0,36±0,04							
р. Белая – выше г. Мелеуза	1975-2002	0,37±0,04	7,43	2,25	5,46	2,01	420	142	300
	2003-2019	0,08±0,02							

* *F_a* и *St_a* - табулированные критические значения; *U₁* и *U₂* граничные значения; *F*, *St* и *U* - расчетные значения

Далее для всех гидрохимических постов в пределах каждого статистически однородного периода построены эмпирические кривые обеспеченности концентраций нефтепродуктов в различные фазы водного режима: половодье (апрель, май), летне-осенний период (июнь – ноябрь) и зимнюю межень (декабрь – март). Для аппроксимации эмпирических кривых обеспеченности использовались кривые Пирсона III типа, показавшие удовлетворительную сходимость с эмпирическим распределением. Выполнен расчет параметров кривых обеспеченности, а также значений концентраций в диапазоне обеспеченностей 1-95%. Определены вероятности превышения уровней ПДК_{рх} и ПДК_{кб}, ВЗ и ЭВЗ. Пример результатов расчета приведен в табл. 45.

Таблица 45. Рассчитанные концентрации нефтепродуктов различной обеспеченности и вероятности превышения уровней ПДК_{рх}, ПДК_{кб}, ВЗ и ЭВЗ в различные фазы водного режима р. Мияки – с. Мияки-Тамак в статистически однородные периоды

Статистически однородный период	Фаза водного режима	Концентрация с обеспеченностью, мг/л				Вероятность превышения уровня, %			
		1%	5%	50%	95%	ПДК _р х	ПДК _к б	ВЗ	ЭВЗ
1976-1991	половодье	6,50	4,00	0,70	0	82	64	26	14
	летне-осенний период	7,20	4,20	0,80	0	78	68	23	13
	зимняя межень	6,00	3,40	0,60	0	93	75	23	10
1992-2019	половодье	1,38	0,94	0,22	0	76	40	0,6	-
	летне-осенний период	1,56	1,08	0,28	0	82	47	1,2	0,02
	зимняя межень	1,83	1,10	0,15	0	70	34	2,0	0,20

По результатам исследования с помощью ГИС-технологии ArcGIS построены карты, характеризующие пространственные и временные закономерности содержания нефтепродуктов и качество воды в бассейне р. Белой за многолетний период (примеры на рис. 100, 102).

На основе проведенного анализа *межгодовых изменений* содержания нефтепродуктов в речной сети установлено, что хронологически первый статистически однородный период (длящийся на разных постах с начала мониторинга нефтепродуктов до середины 1980-х – начала 2000-х гг.) характеризуется более высокими среднемноголетними концентрациями,

чем последующие периоды, поэтому он назван периодом максимального антропогенного воздействия. Хронологически последний статистически однородный период, оканчивающийся 2019 г., и характеризующийся более низкими среднегодовыми концентрациями нефтепродуктов, назван современным периодом. Сравнение осредненных по бассейну концентраций нефтепродуктов в речной сети в период максимального антропогенного воздействия и современный период показывает их снижение в 5,2 раза: на постах на р. Белой в 4,3 раза, на притоках в 5,4 раза. Несмотря на существенное снижение содержания нефтепродуктов, достижение норматива ПДК_{рх} к настоящему времени происходит лишь на незначительном участке водосбора в нижнем течении реки (рис. 100).

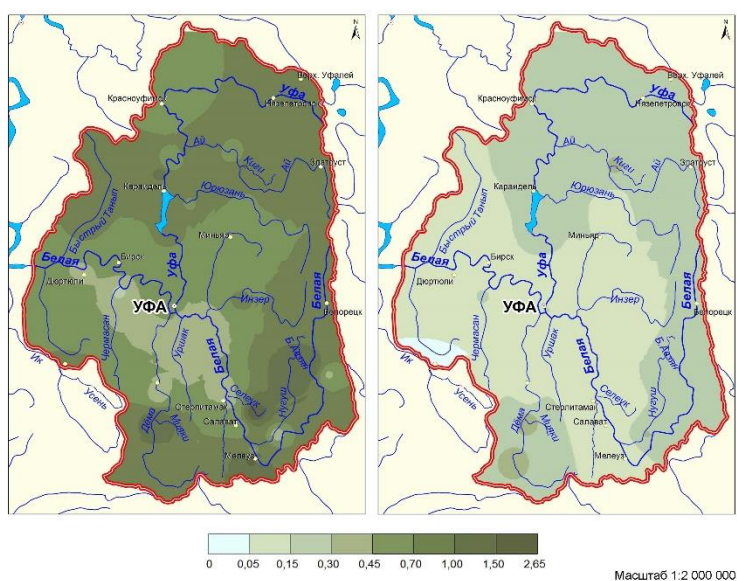


Рисунок 100. Среднегодовые концентрации нефтепродуктов в бассейне р. Белой в период максимального антропогенного воздействия (слева) и современный период (справа), мг/л

Результаты анализа *внутригодовых изменений* содержания нефтепродуктов в речной сети показывают, что в течение года их концентрации варьируют в широком диапазоне (рис. 101), который в период максимального антропогенного воздействия значительно увеличивается. В разные фазы водного режима концентрации нефтепродуктов одной и той же обеспеченности различаются несущественно. Например, осредненная по бассейну концентрация нефтепродуктов 50%-ной обеспеченности в половодье, летне-осенний период и зимнюю межень в современный период составляет ~0,07 мг/л, в период максимального антропогенного воздействия ~0,35 мг/л (рис. 101). Для различных фаз водного режима построены карты концентраций нефтепродуктов в диапазоне 1-95% обеспеченностей и карты вероятностей превышения содержания нефтепродуктов в речной сети над уровнем ПДК_{рх} и ПДК_{кб} (пример на рис. 102), которые могут использоваться для планирования водохозяйственной и водоохранной деятельности в современный период.

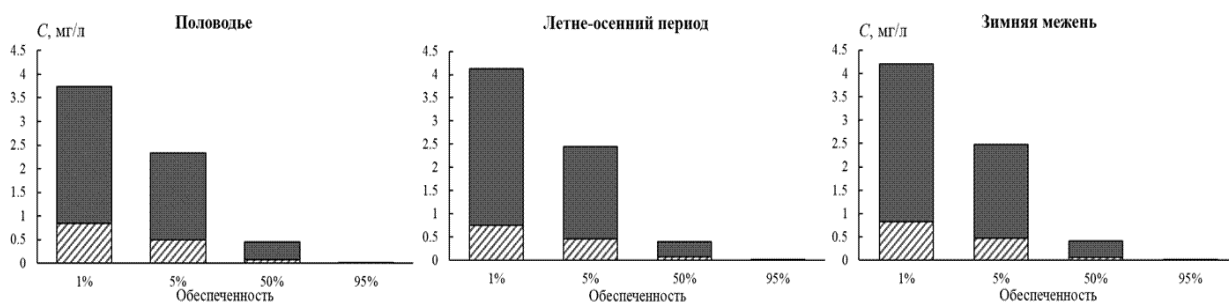


Рисунок 101. Снижение среднееголетних концентраций нефтепродуктов различной обеспеченности в бассейне р. Белой в современный период (штриховка) по сравнению с периодом максимального антропогенного воздействия (заливка) в различные фазы водного режима

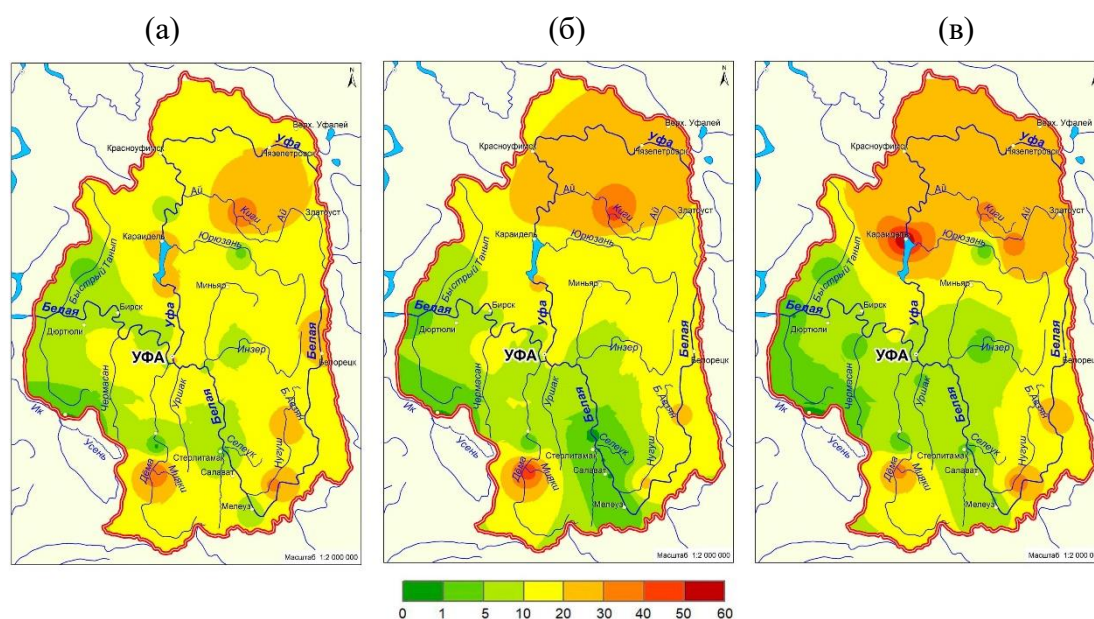


Рисунок 102. Вероятность превышения содержания нефтепродуктов над уровнем ПДК_{кб} в различные фазы водного режима р. Белой в современный период, %
(а) – половодье; (б) – летне-осенний период; (в) – зимняя межень

Благодарность. Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (грант 22-27-00598, <https://rscf.ru/project/22-27-00598/>).

Список литературы

Анализ однородности рядов речного стока. Рекомендации (1985) Минск, ЦНИИКИВР, 40 с.

Галеев Р.Г., Теляшев Э.Г., Хамитов Р.З. и др. (1998) Перспективы решения экологических проблем нефтехимического комплекса Башкортостана, *Башкирский экологический вестник*, № 3, с. 20-23.

Муталов М.Г. (1996) Нефть, *Башкортостан: Краткая энциклопедия*, Уфа, Башкирская энциклопедия, с. 435-436.

**СОДЕРЖАНИЕ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ
НИЖНЕГО ТЕЧЕНИЯ РЕКИ ДОН
THE CONTENT OF RARE EARTH ELEMENTS IN THE SURFACE WATERS OF THE
LOWER REACHES OF THE DON RIVER**

Хорошевская В.О., Голубкина М.А.

Khoroshevskaya V.O., Golubkina M.A.

ФГБУ «ГХИ»

Россия, 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 198; vv.z2@yandex.ru

Аннотация. Особый интерес представляют собой редкоземельные элементы, характерные для шахтных вод Донецкого угольного бассейна и являющиеся своеобразными трассерами гидрогеохимических процессов. Установлено непосредственное влияние в летне-осеннюю межень воды затопленных шахт Восточного Донбасса на основные гидрохимические характеристики воды р. Дон в его нижнем течении.

Несмотря на сложившиеся природно-хозяйственные условия водосборных бассейнов, наиболее существенные изменения состава речных вод происходят вследствие возрастающего антропогенного влияния. Это наглядно проявляется в бассейне р. Кундрючья, где на протяжении длительного времени складывается напряженная экологическая ситуация.

Ключевые слова: редкоземельные элементы, микроэлементы, р. Дон, р. Северский Донец, р. Кундрючья, р. Миус.

Abstract. Of particular interest are rare earth elements characteristic of the mine waters of the Donetsk coal basin and are a kind of tracers of hydrogeochemical processes. The direct influence of the water of flooded mines of the Eastern Donbass on the main hydrochemical characteristics of the water of the Don river in its lower reaches in the summer-autumn low water has been established. Despite the prevailing natural and economic conditions of catchment basins, the most significant changes in the composition of river waters occur due to increasing anthropogenic influence. This is clearly evident in the Kundryuchya River basin, where a tense ecological situation has been developing for a long time.

Keywords: rare earth elements, trace elements, Don River, Seversky Donets river, Kundryuchya river, Mius river.

Интерес к распределению редкоземельных элементов в окружающей среде и прежде всего в поверхностных водах связан с использованием в качестве трассеров гидрохимических процессов. К группе редкоземельных элементов (РЗЭ) или лантаноидов относятся элементы, входящие в 3-ю группу таблицы Менделеева от лантана до лютеция (всего 14 элементов). Их делят на две группы: легкие РЗЭ (LREE) – лантан, церий, празеодим, неодим, самарий и тяжелые РЗЭ (HREE) – европий, гадолиний, тербий, диспрозий, гольмий, эрбий, тулий, иттербий, лютеций; иногда на три: легкие (лантан – празеодим), средние (неодим – гадолиний), тяжелые (тербий – лютеций) (Patra et al., 2012).

Профиль распределения РЗЭ в воде в целом повторяет профиль распределения этих элементов в водовмещающих породах. Выявлено, что характер распределения РЗЭ является важным показателем для понимания природы водных растворов в системе “вода-порода”, который в ряде случаев, может быть использован для оценки особенностей эволюции вод различного состава. Миграция РЗЭ в поверхностных водах осуществляется в виде растворенной (коллоидов) и взвешенной формы (взвеси).

К растворенным формам элементов, как правило, относят содержание элементов в фильтрате, полученном на фильтрах 0,45 мкм, как наиболее часто принятое в практике

разделения фаз. При этом наиболее тонкая коллоидная часть взвешенных веществ, проходит через фильтр этой размерности и может нести значительное количество РЗЭ. Из ряда работ известно, что главной формой переноса РЗЭ в реках является взвешенная форма. Содержание РЗЭ во взвеси разных рек мира могут различаться весьма значительно.

Уровень концентраций и подвижность РЗЭ в водных средах сульфатного состава значительно выше, чем в кислых гидрокарбонатных. Формирующиеся в сульфатных водах устойчивые комплексные соединения РЗЭ по степени миграционных свойств сопоставимы с легкоподвижными соединениям (Вах, 2012).

Чаще всего основными источниками антропогенного загрязнения поверхностных водотоков редкоземельными элементами являются фосфорные удобрения, золоотвалы крупных ТЭЦ, месторождения сульфидных руд, отходы горнодобывающих и горноперерабатывающих предприятий, а также неочищенные хозяйственно-бытовые стоки урбанизированных территорий (Гусева и др., 2013).

В 2013 г. в не фильтрованных пробах воды отобранных из рек Миус, Кундрючья, Северский Донец, Кундрючья, Дон выше впадения р. Севеский Донец и в устье нами было определено валовое содержание 70 элементов. Анализы выполняли в специализированной аккредитованной лаборатории ВИМС (ФГУП “Всероссийский научно-исследовательский институт минерального сырья им. Н. М. Федоровского” г. Москва) масс-спектральным методом (МС) с индуктивно-связанной плазмой и атомно-эмиссионным с индуктивно-связанной плазмой (АЭ), по методикам НСАМ № 480-ХС (Методика “ICP-MS определение элементного состава природных и питьевых вод со степенью минерализации до 2000 мг/л” НСАМ № 480-х. ФГУП “ВИМС”) и ГОСТ 31870-2012 (ГОСТ 31870-2012. Вода питьевая., 2013). Погрешность определений соответствует нормам погрешности по ГОСТ 27384-2002 (ГОСТ 27384-2002. Вода., 2004). Полученные экспериментальные данные вошли в разработанную “Базу данных элементного состава вод Нижнего течения р. Дон и рек бассейна Западного Приазовья”, прошедшую государственную регистрацию в 2020 г. (Хорошевская, Шевченко, 2020). Анализ результатов показал, следующие закономерности.

Как известно, в 90-е годы прошлого века началась реструктуризация угледобывающей отрасли, в основу которой легла ликвидация нерентабельных шахт на Восточном Донбассе, в том числе путем затопления. Именно р. Кундрючья, где в 2013 г. фиксировались превышения концентраций по ряду редкоземельных элементов, больше всего испытывала влияние техногенных подземных вод ликвидируемых шахт (рис. 103) (Закруткин и др., 2016). Поскольку р. Кундрючья является притоком р. Северский Донец, а тот в свою очередь – р. Дон, то влияние шахтных вод можно проследить в р. Дон (среднегодовой сток р. Дон – 26,2 км³) ниже впадения р. Северский Донец (среднегодовой сток р. Северский Донец – 3,7 км³). В воде

устьевой части р. Дон фиксируются возрастания относительно фоновых створов концентраций тех же редкоземельных элементов, характерных для шахтных вод и являющихся своеобразными трассерами гидрогеохимических процессов (рис. 104).

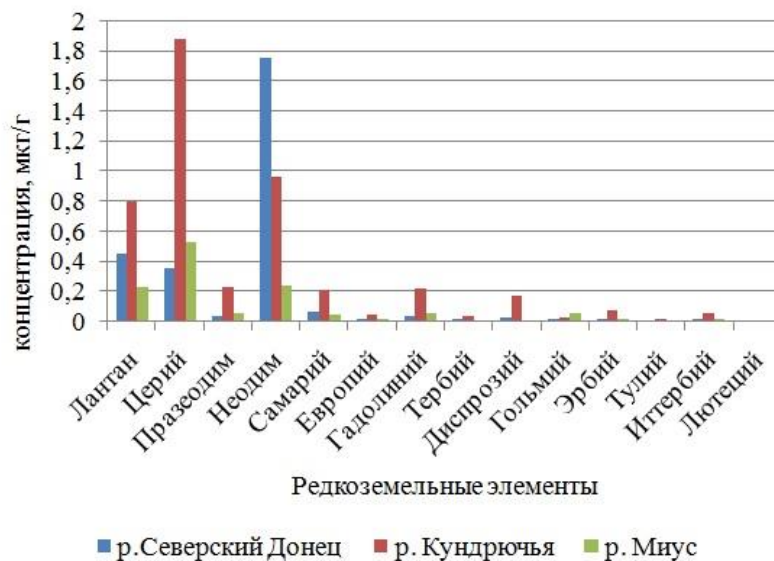


Рисунок 103. Среднегодовые концентрации редкоземельных элементов в воде рек, непосредственно дренирующих Донецкий угольный бассейн

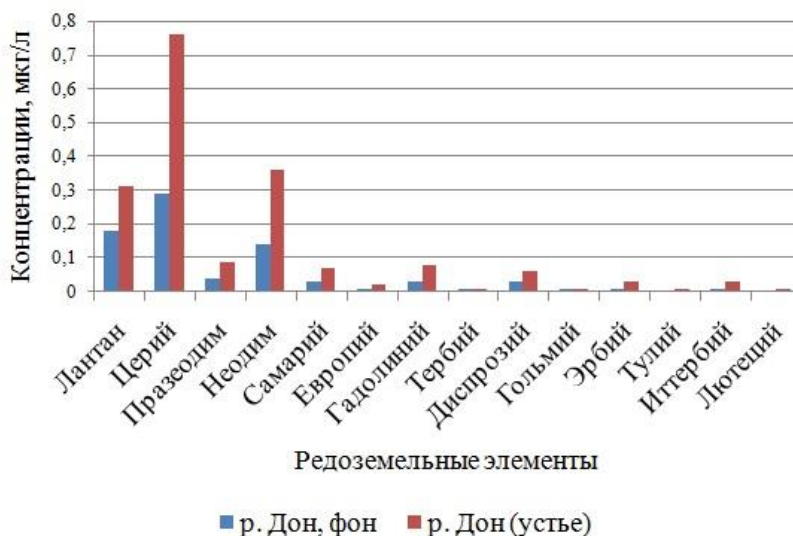


Рисунок 104. Среднегодовые концентрации редкоземельных элементов в воде р. Дон

Максимальными концентрациями отличается церий. Повышенные содержания церия в р. Кундрючья в летне-осеннюю межень (рис. 105) свидетельствовали о поступлении на поверхность подземных вод из зоны гипергенеза, чему способствовала ликвидация шахт в районе г. Красный Сулин путем затопления (Закруткин и др., 2016).

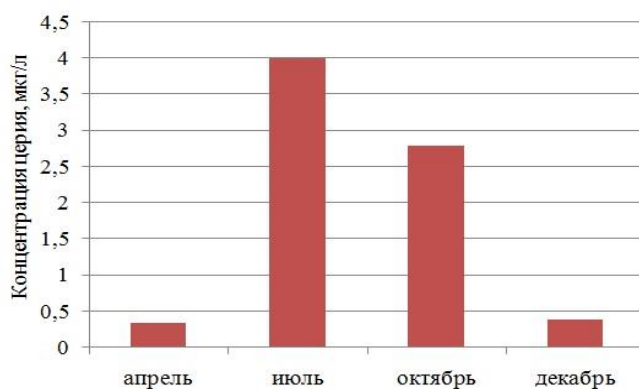


Рисунок 105. Распределение церия в воде р. Кундрючья по сезонам

Кроме того, содержания церия возрастали в 2,6 раза в целом за год и в воде устьевой части р. Дон по сравнению с фоновым створом, расположенным выше впадения р. Северский Донец. Следует отметить, что в устье р. Дон концентрации церия в воде имеют такую же сезонную динамику, как и р. Кундрючья, с максимумом в летне-осеннюю межень (рис. 106), что свидетельствует о непосредственном влиянии в летне-осеннюю межень подземной воды затопленных шахт Восточного Донбасса на основные гидрохимические характеристики воды р. Дон в нижнем течении.

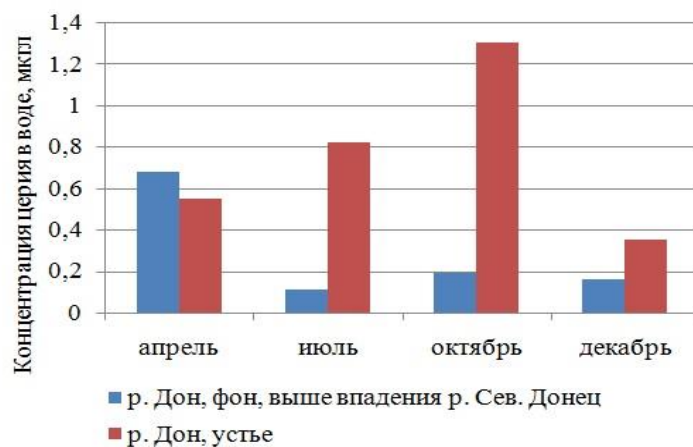


Рисунок 106. Распределение церия в воде р. Дон по сезонам

Исследование особенностей РЗЭ состава вод являются основой для установления источников загрязнения рек региона различными микроэлементами. На основании проведенных исследований установлено, что источники поступления этих металлов в поверхностные воды исследуемых рек региона связаны с угленосной и угледобывающей территорией Восточного Донбасса. Поскольку в примесях углей этого региона присутствует достаточно большое количество различных элементов, с большой долей уверенности можно говорить, что микроэлементы имеют природно – антропогенный генезис. Концентрации

цера, выбранного нами в качестве природного трассера, позволили определить степень влияния подземных вод, в меженный период поступающих из затопленных шахт Восточного Донбасса на формирование гидрохимического состава р. Дон в нижнем течении, что частично объясняет причины ряда экологических проблем, испытываемых рекой в этом районе в последние десятилетия (Хорошевская, 2022).

Список литературы

Вах Е.А. (2012) *Редкоземельные элементы в природных и техногенных водах Дальнего Востока России*, автореф. дисс. канд. геол. мин. Наук, Томск, Политехнический институт, 22 с.

ГОСТ 27384-2002 (2004) *Вода. Нормы погрешности измерений показателей состава и свойств (с Изменением N 1)*, Госстандарт, 7 с.

ГОСТ 31870-2012 (2013) *Вода питьевая. Определение содержания элементов методами атомной спектроскопии*, Госстандарт, 19 с.

Гусева Н.В., Копылова Ю.Г., Леушина С.К., Гусева Н.В. (2013) Распространенность редкоземельных элементов в природных водах Хакасии, *Известия Томского политехнического университета*, т. 322, № 1, с. 141-146.

Методика "ICP-MS определение элементного состава природных и питьевых вод со степенью минерализации до 2000 мг/л" НСАМ № 480-х, ФГУП "ВИМС".

Поверхностные и подземные воды в пределах техногенно-нарушенных геосистем Восточного Донбасса: монография (2016) Под ред. В.Е. Закруткин, Г.Ю. Скляренко, Е.Н. Бакаева, О.С. Решетняк, Е.В. Гибков, Н.Е. Фоменко, Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Издательство Южного федерального университета, 172 с.

Хорошевская В.О., Шевченко А.М. (2020) *База данных элементного состава вод Нижнего течения р. Дон и рек бассейна Западного Приазовья*, № 2020621440 государственной регистрации от 17 августа 2020 г. Правообладатель: ФГБУ "ГХИ".

Хорошевская В.О. (2022) Сравнительная характеристика микроэлементного состава речных вод, дренирующих Донецкий и Кузбасский угольные бассейны, *Международный научно-исследовательский журнал*, № 5 (119), часть 1, Май 2022, с.124-134, doi: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.119.5.062/>.

Patra S., Liu C.Q., Wang F.S., Li S.L., Wang B.L. (2012) Behavior of major and minor elements in a temperate river estuary to the coastal sea, *International journal of Environmental Science and Technology*, vol. 9, pp. 647-654.

**МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА ВОД Р. МОСКВЫ В РАЙОНЕ КУРЬЯНОВСКИХ
ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПО ТАКСОЦЕНАМ БЕНТОСНЫХ И
ПЛАНКТОННЫХ ДИАТОМОВЫХ ВОДОРОСЛЕЙ**
**MONITORING OF WATER QUALITY OF MOSKVA RIVER IN THE AREA OF THE
KURYANOVSK WASTEWATER TREATMENT PLANTS BY THE TAXOCENES OF
BENTHIC AND PLANKTONIC DIATOMES**

Чамкина А.В.¹⁾, Хазанова К.П.²⁾

Chamkina A.V.¹⁾, Khazanova K.P.²⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ Московский государственный университет им М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1

Аннотация. Целью работы было изучить изменения видового состава и структуры диатомовой флоры в зоне воздействия Курьяновских очистных сооружений (КОС), а также физико-химических показателей воды, провести оценку качества воды и трофности. В микрофитобентосе и фитопланктоне было обнаружено и идентифицировано 205 видов и вариантов диатомовых водорослей, показано отсутствие достоверных отличий в видовом составе между станциями и наличие очень слабых, но достоверных отличий между биотопами. Зафиксировано выраженное сезонное тепловое загрязнение, круглогодичное закисление вод, снижение содержания растворенного кислорода и увеличение содержания биогенных элементов, зафиксированы превышения ПДК по нескольким показателям. Воды как фоновой станции, так и подверженные воздействию стоков КОС относятся к одному классу – умеренно загрязненных вод. Трофический статус вод по диатомовым водорослям (индекс IBD), содержанию хлорофилла а и по концентрации минерального фосфора по усредненным показателям воды на всех станциях отбора соответствует мезотрофному уровню, эвтрофирования под влиянием стоков КОС не зафиксировано.

Ключевые слова: биоиндикация, мониторинг, диатомовые водоросли, оценка качества вод.

Abstract. The purpose of the work was to study changes in the species composition and structure of diatom flora in the impact zone of the Kuryanovsky waste water treatment plants (WWTP), as well as the physico-chemical indicators of water and to assess water quality and trophicity. 205 species and varieties of diatoms were found and identified in microphytobenthos and phytoplankton communities, showing no reliable differences in species composition between points and very weak but reliable differences between biotopes. A pronounced seasonal thermal pollution, year-round water acidification, decrease in dissolved oxygen content and increase in nutrient elements content were recorded, exceedances of TLV for several indicators were noted. The waters of both background point and those exposed to Kuryanovsk WWTP effluents belong to the same class - moderately polluted waters. Trophic status of waters in terms of diatom algae (IBD index), chlorophyll a content and mineral phosphorus concentration according to averaged water parameters at all sampling points corresponds to mesotrophic level, no eutrophication in response to the influence of Kuryanovsk WWTP was recorded.

Keywords: bioindication, monitoring, diatoms, water quality assessment.

Диатомовые водоросли являются самой многочисленной по численности и таксономическому разнообразию группой в современных водоёмах. Они хорошо изучены, распространены повсеместно, представлены в сообществах и планктона, и бентоса, их высокая чувствительность к изменению условий среды активно используются по всему миру для оценки качества вод и уровня антропогенной трансформации. По изменению состава и структуры таксоцены диатомовых водорослей можно оценивать степень загрязненности водного объекта (Баринова и др., 2000). На территории Москвы одним из крупнейших

объектов, оказывающих воздействие на основной водоток мегаполиса – реку Москву – являются Курьяновские очистные сооружения. На них поступают хозяйственно-бытовые, промышленные, ливневые стоки с 60% территории города и ряда городов и населенных пунктов Подмосковья. Весь объем очищенных сточных вод сбрасывается в р. Москву, максимальная производительность составляет 3 млн м³ в сутки, а объем сбросов составляет 1/3 от общей водности реки. В связи с этим изучение изменения структуры гидробионтов под воздействием теплового и биогенного загрязнения стоков и оценка качества и трофического статуса вод в районе воздействия КОС является важной актуальной задачей.

Для проведения исследований были выбраны три станции на реке Москве вблизи Курьяновских очистных сооружений: фоновая, на 2 км выше выпуска КОС; в 200 м от главного выпуска очищенных вод, в непосредственной близости от отводного канала; в шести километрах ниже по течению реки, в зоне полного смешения речных и сточных вод. Отбор проб проводили в течение одного года раз в месяц в период с сентября 2020 по август 2021 года. Всего было отобрано 72 пробы, по 36 бентосных и планктонных, в каждом препарате методом сплошного подсчета определяли по 300 створок диатомей.

Из 205 видов, 37% были общими для всех трех станций. По 8-9% видов были найдены на одной из трех или на двух из трех станций. Заметно выделяется станция Братеево, 16% таксонов были обнаружены только в этой точке. По эколого-географическому анализу, диатомовая флора была представлена преимущественно космополитными видами. По приуроченности к местообитанию около 70% видов были бентосными, почти 20% планкто-бентосными, доля планктонных составляла менее 5% – полученные данные наглядно демонстрируют, что в планктонном сообществе очень высок вклад бентосных форм. По отношению к кислотности воды преобладали алкалифилы и индифферентны, при этом по направлению станций от фоновой к Братеево снижалась доля алкалифилов и возрастала доля ацидофилов, что свидетельствует о закислении вод реки Москвы в районе КОС и ниже по течению и подтверждается данными гидрохимического анализа. Несмотря на некоторые различия между станциями в видовом составе, мы наблюдаем общность состава диатомовой флоры на протяжении исследуемого участка реки Москвы, что подтверждают результаты перестановочного теста.

Видовую структуру диатомовых водорослей бентоса и планктона анализировали по данным относительного обилия видов в пробах. По результатам анализа сходства ANOSIM (Analysis of Similarities), слабые достоверные отличия выявлены между видовой структурой диатомовых таксоценов микрофитобентоса и фитопланктона (Global R : 0,107, $p=0,1\%$), однако анализ SIMPER (Similarity Percentages) показывает, что межгрупповые отличия обусловлены

не сопряженным изменением видовой структуры и видового состава, а только изменением относительного обилия видов при сохранении единства видового состава.

По данным гидрохимического анализа, в зоне воздействия стоков КОС отмечали: выраженное тепловое загрязнение с сентября по апрель; круглогодичное закисление вод; снижение содержания растворенного кислорода. И увеличение содержания биогенных элементов: кремния, фосфатов, нитратов, нитритов и ионов аммония. По содержанию минеральных форм азота на станции ниже КОС несколько раз было зафиксировано превышение ПДК, концентрации фосфатов всегда были существенно ниже норматива.

Была проведена оценка качества вод по диатомовому индексу IVD, которая показала, что воды как фоновой станции, так и подверженные воздействию стоков КОС относятся к одному классу – умеренно загрязненных вод. Трофность вод по диатомовым водорослям, содержанию хлорофилла *a* и по концентрации минерального фосфора была идентичной, по осредненным показателям воды на всех станциях отбора соответствуют мезотрофному уровню, а эвтрофирования под влиянием стоков КОС не зафиксировано.

Согласно полученным данным, достоверного однонаправленного изменения структуры и видового разнообразия диатомовой флоры под воздействием стоков КОС не выявлено. Стоки КОС изменяют гидрохимические показатели вод и увеличивают концентрацию биогенных элементов в водах реки, однако уже через шесть километров ниже по течению после сброса очищенных сточных вод концентрации веществ не превышают нормативы ПДК.

Список литературы

Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. (2000) *Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды*, Москва, 150 с.

СЕКЦИЯ
«НАЗЕМНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ»



МОНИТОРИНГ ПРИБРЕЖНЫХ ЛАНДШАФТОВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»

MONITORING OF COASTAL LANDSCAPES IN THE "UTRISH" NATURE RESERVE

Андреева А.П.¹⁾, Петрушина М.Н.²⁾

Andreeva A.P.¹⁾, Petrushina M.N.²⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1

Аннотация. В работе отражены результаты мониторинговых исследований прибрежных ландшафтов заповедника «Утриш». В их организацию заложены результаты комплексных ландшафтных исследований, которые начали проводить еще до основания заповедника. Антропогенная нагрузка и изменения климата являются ведущими факторами преобразования данных ландшафтов. Мониторинговые площадки заложены на местах гарей 2009 г. и 2020 г. и бывших стоянках рекреантов. Отмечается постепенное восстановление площадок – увеличение видового разнообразия, активное зарастание злаковыми. На местах гарей зафиксирован подрост сосны, реже фисташки. Подрост можжевельника отсутствует или единичный и быстро погибает. Подчеркивается важность ландшафтных исследований в организации мониторинга заповедника.

Ключевые слова: полуостров Абрау, заповедник «Утриш», субсредиземноморские ландшафты, изменение климата, пожары.

Abstract. The work reflects the monitoring results of the coastal landscapes in the Utrish Nature Reserve. Monitoring organization is based on the results of comprehensive landscape researches, which were carried out before the Utrish Nature Reserve foundation. Anthropogenic impact and climate change are the leading factors in the landscape transformation. Monitoring sites are located in 2009 and 2020 burnt areas and former recreational sites. There is a gradual restoration of the sites – an increase in species diversity, active overgrowth by cereals. In burnt areas, undergrowth of pine and, less frequently, pistachio have been recorded. Juniper undergrowth is absent or sporadic and quickly dies. The importance of landscape researches in monitoring organization in the Utrish Nature Reserve is emphasized.

Keywords: Abrau Peninsula, Utrish Nature Reserve, sub-Mediterranean landscapes, climate change, fires.

Черноморское побережье Северо-Западного Кавказа характеризуется высоким ландшафтным и биологическим разнообразием. Здесь встречаются редкие и уникальные для страны ландшафты – Субсредиземноморские, которые простираются узкой полосой вдоль побережий и, не смотря на небольшие площади, являются местом обитания многих эндемичных видов флоры и фауны. В 2010 году на п-ове Абрау, расположенном между городами Анапа и Новороссийск, создан Государственный природный заповедник «Утриш», который занимается их охраной и в целом является единственным ООПТ данного статуса на Северо-Западном Кавказе.

Ландшафтные и геоботанические исследования на территории будущего заповедника проводились с конца 1970-х гг. и более активно в конце 1990-х и начале 2000-х гг. С 2010 г. стали проводиться многоплановые исследования, результаты которых отражены в трудах заповедника и являются хорошей основой для мониторинговых исследований (Государственный природный заповедник..., 2013; Охрана биоты..., 2015; Наземные и прилегающие морские..., 2017).

Комплексные ландшафтные исследования являются важной составляющей для организации мониторинговых исследований в заповеднике. С момента его основания они

проводятся практически ежегодно. Только в 2022 г. выполнено 47 точек комплексных ландшафтных описаний (рис. 107), в 2023 г. – 46 точек. Мониторинговые площадки заложены на местах гарей 2009 г. и 2020 г., а также на местах бывших стоянок рекреантов.

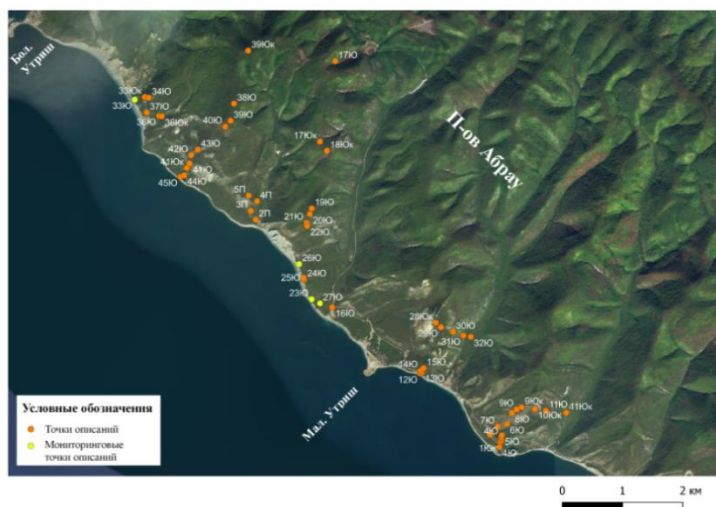


Рисунок 107. Положение профилей и точек комплексного описания в 2022 г.

Желтым отмечены точки мониторинга

Данная территория издавна испытывает антропогенную нагрузку. Субсредиземноморские ландшафты, которые расположены наиболее близко к морю, подвержены ей в наибольшей степени, так как являются очень популярным местом отдыха среди туристов. С 2021 года вход на территорию заповедника без специального разрешения был запрещен, чтобы избежать излишней антропогенной нагрузки на данные ландшафты и снизить риск возникновения пожаров как человеческого фактора.

Важность ландшафтных и мониторинговых исследований подкрепляется тем, что в регионе активно протекают климатические изменения. Температура растет со скоростью примерно $1^{\circ}\text{C}/10$ лет, в то время как количество осадков остается практически неизменным, что усиливает процесс аридизации и серьезно повышает риск возникновения пожаров. Регион также отличается высокой экстремальностью климата (Богданович и др., 2021).

Пожар 2020 г. уничтожил большое количество можжевельников (*Juniperus excelsa*, *J. deltoids*, *J. foetidissima*) и сосны (*Pinus brutia*). В меньшей степени пострадала фисташка (*Pistacia tatica*), дуб пушистый (*Quercus pubescens*), грабинник (*Carpinus orientalis*) и ясень (*Fraxinus oxycarpa*). Маршрутные наблюдения и исследования на мониторинговых площадках после пожара выявили, что конфигурация гарей имеет сложный рисунок. Это обусловлено длительностью пожара, разнообразием рельефа и растительного покрова, направлением и силой ветра, меняющихся в течение суток и осложняющихся расчлененностью рельефа и разной абсолютной высотой.

На следующий год после пожара на площадках были отмечены немногочисленные проростки сосны высотой до 4-6 см, в 2022 г. их прирост составил 7-8 см. Подрост можжевельника отсутствует. Через два года после пожара увеличилось видовое разнообразие травостоя, возросла доля злаков, также заметно выросла средняя и максимальная высота травостоя. В последующие годы на гарях в сосновых лесах шло активное разрастание сумаха (*Rhus coriaria*), особенно в 2022 г., когда его количество и высота возросли в 2-3 раза (рис. 108). Появились также отдельные экземпляры скумпии (*Cotinus coggygria*), через два года жимолости (*Lonicera caprifolium*) и пузырника (*Colutea cilicica*) (Петрушина, Андреева, 2023).



Рисунок 108. Восстановительные сукцессии в сосновом лесу после пожара: в 2020 г. (слева) и в 2022 г. (справа)

На одной из мониторинговых площадок отмечается ухудшение состояния древостоя, сильное его поредение и пожелтение хвои, а также гибель отдельных сосен. Из 10 сосен, зафиксированных в 2015 г., живыми остались 6, остальные, преимущественно в краевой южной части, засохли (рис. 109). Одной из причин ухудшения их состояния является негативное воздействие бакланов, которые используют сосны для отдыха (Петрушина, Андреева, 2023).



Рисунок 109. Краевая часть площадки мониторинга в 2015 г. (слева) и в 2022 г. (справа)

В ходе полевых исследований проводилась зарисовка площадок, на которых указывались положения деревьев, расстояния между ними, их состояние, выходы коренных пород и иные примечательные объекты (рис. 110).

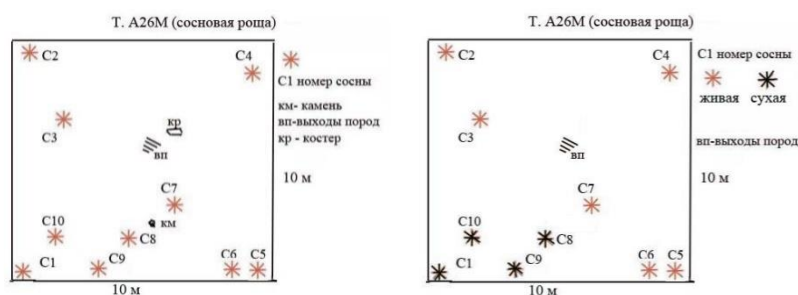


Рисунок 110. Зарисовки площадок мониторинга в 2015 г. (слева) и 2022 г. (справа) (Петрушина, Андреева, 2023)

Места, которые активно использовались под стоянки также постепенно зарастают. Скорость зарастания зависит от размера стоянки, исходного фитоценоза, длительности использования, количества рекреантов и т.д. На одной из таких стоянок в 2022 г. появился травостой, представленный преимущественно ячменем заячьим (*Hordeum leporinum*) и пыреем (*Elytrigia repens*), дуб (*Quercus pubescens*) и фисташка (*Pistacia tuitica*) дали новые побеги (рис. 111) (Петрушина, Андреева, 2023).



Рисунок 111. Стоянка рекреантов в 2020 г. (слева) и в 2022 г. (справа)

В настоящее время на территории заповедника проводится не только мониторинг субсредиземноморских ландшафтов в местах бывших стоянок и гарей, но также и в береговой зоне моря – фиксируются новые осыпи и обвалы, а также отмечается динамика старых обвально-оползневых и осыпных конусов. В последние годы фиксируется все больше осыпных конусов, что связано с изменением частоты и интенсивности выпадения осадков в регионе (Богданович и др., 2021; Петрушина, Андреева, 2023).

Авторы выражают благодарность заповеднику «Утриш» за помощь в организации маршрутных исследований в рамках хоздоговора «Структура, особенности функционирования и динамики субсредиземноморских ландшафтов Государственного природного заповедника «Утриш».

Список литературы

Богданович А.Ю., Липка О.Н., Крыленко М.В., Андреева А.П., Добролюбова К.О. (2021) Климатические угрозы на Северо-Западе черноморского побережья Кавказа: современные тренды, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 4, с. 44-70.

Государственный природный заповедник «Утриш», Атлас, Научные труды (2013) Т. 2, Анапа, 88 с.

Наземные и прилегающие морские экосистемы полуострова Абрау: структура, биоразнообразие и охрана (2017) *Государственный природный заповедник «Утриш», научные труды*, т. 4, Москва, ИП И.В. Казенин, 252 с.

Охрана биоты в государственном природном заповеднике «Утриш» (2015) *Государственный природный заповедник «Утриш», научные труды*, т. 3, Майкоп, ООО «Полиграф-ЮГ», 352 с.

Петрушина М.Н., Андреева А.П. (2023) Субсредиземноморские ландшафты заповедника «Утриш»: особенности структуры и динамики, *Феномен ландшафтно-географического исследования*, отв. редактор Д.В. Черных, Новосибирск, с. 53-66.

**ОЦЕНКА ИСТОЧНИКА И ВРЕМЕНИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И
БИОЛОГИЧЕСКИХ СУБСТРАТОВ ЧЕЛОВЕКА ПЕСТИЦИДОМ ДДТ И ЕГО
МЕТАБОЛИТАМИ**

**ASSESSMENT OF THE SOURCE AND TIME OF POLLUTION OF THE
ENVIRONMENT AND HUMAN BIOLOGICAL SUBSTRATES BY THE PESTICIDE DDT
AND ITS METABOLITES**

Башкин В.Н.¹⁾, Галиулина Р.А.²⁾

Bashkin V.N.¹⁾, Galiulina R.A.²⁾

¹⁾Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,

²⁾Институт фундаментальных проблем биологии РАН,
Россия, 142290, Пущино Московской обл., ул. Институтская, 2

Аннотация. На основании многолетних собственных и литературных данных проведено моделирование источника и времени загрязнения окружающей среды и биологических субстратов человека пестицидом ДДТ в различных регионах. Дана оценка уровней современного загрязнения экосистем пестицидом ДДТ и его гомологами.

Ключевые слова: ДДТ, метаболиты, источник, человек.

Abstract. Based on long-term own and literature data, modeling of the source and time of pollution of the environment and human biological substrates by the pesticide DDT in various regions was carried out. An assessment of the levels of modern pollution of ecosystems by the pesticide DDT and its homologues is given.

Keywords: DDT, metabolites, source, human.

После запрещения использования ДДТ в большинстве стран мира прошел не один десяток лет, однако проблема миграции и аккумуляции этого СХП в экологических цепях остается чрезвычайно актуальной (Галиулин и др., 2015; Hu et al., 2021). Проведенные исследования показали, что остатки ДДТ и его метаболитов обнаружены в пробах почвы, картофеля, яблок, молока и мяса, а также грудного молока. При этом содержание данных СХП в грудном молоке было одного порядка с количествами веществ, обнаруженных в обычном молоке.

Остаточные количества ДДТ в виде ДДТ, и его метаболитов ДДЭ и ДДД из точечных и диффузных источников попадают в окружающую среду, а затем и в различные экологические цепи – почва-вода-человек, почва-вода-растение-человек или почва-вода-растение-животное-человек и аккумулируются в организме человека и уже при его жизни обнаруживаются в крови или грудном молоке. Носительство ДДТ в организме не только повышает частоту злокачественных новообразований, аллергических и наследственных заболеваний, патологии печени, крови, но и частоту спонтанных аборт, мертворождений и врожденных уродств, вследствие хронической интоксикации данным химическим веществом.

Разработанный нами способ позволяет корректно идентифицировать по данным мониторинга источник и время загрязнения окружающей среды и биологических субстратов

человека пестицидом ДДТ в различных регионах, прежде всего в районах Крайнего Севера с долговременным депонированием этих СХП, что является основанием для принятия профилактических и ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека.

Целью данной работы является решение технической задачи идентификации по данным мониторинга источника и времени загрязнения основных компонентов окружающей среды – почвы и/или воды и биологических субстратов человека – крови и/или грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в регионах Крайнего Севера.

Данная техническая задача решена благодаря тому, что отбирают репрезентативные пробы почвы, воды, крови и/или грудного молока и анализируют их на содержание ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД, затем полученные данные после статистической обработки подвергают сопоставительному анализу, что позволяет получить аргументированное заключение для принятия профилактических или ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека.

Способ осуществляют следующим образом: вначале отбирают репрезентативные пробы почвы, воды, крови и/или грудного молока и анализируют на содержание ДДТ и его метаболитов ДДЭ и ДДД с использованием инструментальных методов анализа.

Затем полученные данные после статистической обработки с целью расчета средней арифметической и ошибки средней арифметической, подвергают сопоставительному анализу, см. табл. 46. Если содержание ДДТ в почве и/или воде выше предельно допустимой концентрации, то это свидетельствует о точечном источнике загрязнения, а содержание ДДТ в почве и/или воде ниже предельно допустимой концентрации – о диффузном источнике загрязнения, и если в почве, воде, крови и/или грудном молоке отмечается соотношение $\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1$, $\frac{ДДТ}{ДДЭ} > 1$ или только ДДТ, то это свидетельствует о времени загрязнения не более 1 года, а соотношение $\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} < 1$ или $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$ – о времени загрязнения более 1 года.

Нами был проведен сопоставительный анализ данных мониторинга самих авторов (включая д.г.н. Р.В. Галиулина) для идентификации источника и времени загрязнения почвы ДДТ в 3-х районах Европейской части России, см. табл. 47, а также данных мониторинга других авторов для идентификации источника и времени загрязнения воды, крови и грудного молока ДДТ в различных регионах Крайнего Севера, см. табл. 48.

Таблица 46. Сопоставительный анализ данных мониторинга для идентификации источника и времени загрязнения основных компонентов окружающей среды - почвы и/или воды и биологических субстратов человека - крови и/или грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ

Последовательность операций		
I	II	III
Ввод данных мониторинга	Критерии сопоставительного анализа	Результат идентификации
	Содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации в почве - 100 мкг/кг и воде - 100 мкг/л.	Точечный источник загрязнения ДДТ: шламонакопитель бывшего предприятия по производству препаратов ДДТ, могильник списанных препаратов ДДТ, место несанкционированной, криминальной ликвидации препаратов ДДТ, место неорганизованной свалки препаратов ДДТ или жилище, обработанное препаратами ДДТ в целях борьбы с паразитарными насекомыми.
	Содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации в почве - 100 мкг/кг и воде - 100 мкг/л.	Диффузный источник загрязнения ДДТ: воздушный и водный перенос на дальние расстояния от мест непосредственного применения препаратов ДДТ - сельскохозяйственных угодий, многолетних насаждений или мест выплода кровососущих и переносчиков инфекционных заболеваний насекомых.
	$\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1, \frac{ДДТ}{ДДЭ} > 1$ или только ДДТ.	Загрязнение ДДТ не более 1 года.
$\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} < 1$ или $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$	Загрязнение ДДТ более 1 года.	

Таблица 47. Сопоставительный анализ данных мониторинга самих авторов для идентификации источника и времени загрязнения почвы стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в 3-х районах Европейской части России

Последовательность операций		
I	II	III
Ввод данных мониторинга	Сопоставительный анализ по критериям	Результат идентификации
	1-й район. Почва: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации - 100 мкг/кг, т.е. 575,7 мкг/кг; ДДЭ – 12,1 мкг/кг; ДДД - 6,8 мкг/кг. - $\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1$, т.е. $\frac{575,7}{12,1+6,8} = \frac{575,7}{18,9} = 30,5$	- точечный источник загрязнения ДДТ. - загрязнение ДДТ не более 1 года.
	2-й район. Почва: - содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации - 100 мкг/кг, т.е. 35,5 мкг/кг; ДДЭ – 9,3 мкг/кг; ДДД - 2,2 мкг/кг. - $\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} > 1$, т.е. $\frac{35,5}{9,3+2,2} = \frac{35,5}{11,5} = 3,1$	- диффузный источник загрязнения ДДТ. - загрязнение ДДТ не более 1 года.
	3-й район. Почва: - содержание ДДТ ниже предельно допустимой концентрации - 100 мкг/кг, т.е. 47,5 мкг/кг, а ДДЭ – 60,7 мкг/кг и ДДД - 8,1 мкг/кг.	- диффузный источник загрязнения ДДТ.

$-\frac{ДДТ}{ДДЭ+ДДД} < 1, \text{ т.е. } \frac{47,5}{60,7+8,1} = \frac{47,5}{68,8} = 0,7$	- загрязнение ДДТ более 1 года.
---	---------------------------------

Таблица 48. Сопоставительный анализ данных мониторинга других авторов для идентификации источника и времени загрязнения воды, крови и грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в различных регионах Крайнего Севера

Последовательность операций			Данные мониторинга других авторов
I	II	III	
Сопоставительный анализ по критериям			Результат идентификации
Ввод данных мониторинга	Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ. Вода реки Таз: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации - 100 мкг/л, т.е. 2800 мкг/л. - только ДДТ.	- точечный источник загрязнения ДДТ. - загрязнение ДДТ не более 1 года.	Дмитревская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в марте 2013 г. // Метеорология и гидрология. 2013. № 6. С. 101-107.
	Новосибирская область. Вода реки Обь: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации - 100 мкг/л, т.е. 700-1200 мкг/л. - только ДДТ.	- точечный источник загрязнения ДДТ. - загрязнение ДДТ не более 1 года.	Дмитревская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в июле 2015 г. // Метеорология и гидрология. 2015. № 10. С. 101-108.
	Архангельская область. Речная вода: - содержание ДДТ выше предельно допустимой концентрации - 100 мкг/л, т.е. 400 мкг/л. - только ДДТ.	- точечный источник загрязнения ДДТ. - загрязнение ДДТ не более 1 года.	Дмитревская Е.С., Красильникова Т.А., Маркова О.А. О загрязнении природной среды и радиационной обстановке на территории Российской Федерации в октябре 2016 г. // Метеорология и гидрология. 2017. № 1. С. 124-131.
	Чукотский автономный округ. Кровь: мужчин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1, \text{ т.е. } \frac{0,18}{1,28} = 0,14$ женщин, мкг/л: - $\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1, \text{ т.е. } \frac{0,07}{1,25} = 0,06$	- загрязнение ДДТ более 1 года. - загрязнение ДДТ более 1 года.	Чащин М.В., Чащин В.П., Федоров В.Н., Захарова Н.В., Кузьмин А.В., Ковшов А.А., Янталец Е.В., Кусраева З.С., Абрамян С.М., Зибарев Е.В., Мишкич И.А. Основные тенденции

<p>Ненецкий автономный округ. Кровь: мужчин, мкг/л: $-\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,09}{0,71} = 0,13$ женщин, мкг/л: $-\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,12}{1,29} = 0,09$</p>	<p>- загрязнение ДДТ более 1 года. - загрязнение ДДТ более 1 года.</p>	<p>изменения концентраций стойких токсичных веществ в крови коренного населения Арктики // Экология человека. 2012. № 6. С. 3-7</p>
<p>Мурманская область. Кровь: мужчин, мкг/л: $-\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,27}{1,05} = 0,26$ женщин, мкг/л: $-\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{0,13}{1,37} = 0,09$</p>	<p>- загрязнение ДДТ более 1 года. - загрязнение ДДТ более 1 года.</p>	<p>Дударев А.А., Душкина Е.В., Сладкова Ю.Н., Чупахин В.С., Лукичева Л.А. Уровни экспозиции к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) населения Печенгского района Мурманской области // Токсикологический вестник. 2016. № 3 (138). С. 2-9.</p>
<p>Российская Арктика. Грудное молоко, пг/г: $-\frac{ДДТ}{ДДЭ} < 1$, т.е. $\frac{194}{1269} = 0,15$</p>	<p>- загрязнение ДДТ более 1 года.</p>	<p>Мамонтова Е.А., Тарасова Е.Н., Кузьмин М.И., Маклахан М.С., Папке О., Мамонтов А.А. Содержание стойких органических загрязнителей в грудном молоке жительниц Иркутской области // Гигиена и санитария. 2010. № 1. С. 35-38</p>

Предлагаемое техническое решение позволяет корректно идентифицировать по данным мониторинга источник и время загрязнения почвы, воды, крови и/или грудного молока стойким хлорорганическим пестицидом ДДТ в регионах Крайнего Севера, а также является основанием для принятия профилактических и ремедиационных мер по максимально возможному снижению загрязнения окружающей среды и негативного воздействия ДДТ на организм человека. Получен патент РФ на изобретение № 2701554.

Список литературы

Галиулин Р.В., Башкин В.Н., Галиулина Р.А. (2015) Агрогеохимия стойких пестицидов, *Вестник Российской академии наук*, т. 85, № 2, с. 152-154.

Hu L., Luo D., Wang L., Yu M., Zhao S., Wang Y., Mei S., Zhang G. (2021) Levels and profiles of persistent organic pollutants in breast milk in China and their potential health risks to breastfed infants: A review, *Science of the Total Environment*, 753 142028.

**ИССЛЕДОВАНИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА
РАДОНООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ КАРЕЛИИ
RESEARCH OF THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF WOODY PLANTS IN
RADON HAZARDOUS TERRITORIES OF KARELIA**

Болондинский В.К.¹⁾, Белашев Б.З.²⁾

Bolondinsky V.K.¹⁾, Belashev B.Z.²⁾

¹⁾ Институт леса КарНЦ РАН
Россия, 185910, г. Петрозаводск, Пушкинская, 11

²⁾ Институт геологии КарНЦ РАН
Россия, 185910, г. Петрозаводск, Пушкинская, 11

Аннотация. Обобщаются данные исследований роста и развития древесных пород на радоноопасных территориях Карелии. Мониторинг почвенного радона проводился в 2010-2020 гг. Проанализировано слабое (300-700 Бк/м³) и сильное (6000-8000 Бк/м³) воздействие радона. Предполагается, что малые дозы радиации могут увеличивать энергию роста и СО₂-газообмен у сосны.

Ключевые слова: мониторинг почвенного радона, структурные аномалии ствола, иммунитет, рост сосны, СО₂-газообмен.

Abstract. The data of studies of the growth and development of tree species in the radon-hazardous areas of Karelia are summarized. Soil radon monitoring was carried out in 2010-2020. Weak (300-700 Bq/m³) and strong (6000-8000 Bq/m³) effects of radon were analyzed. It is assumed that low doses of radiation can increase the energy of growth and CO₂ gas exchange in pine.

Keywords: monitoring of soil radon, structural anomalies of the trunk, immunity, pine growth, CO₂ gas exchange.

Значительная часть Карелии имеет большие по площади радоноопасные территории, связанные с наличием урановых рудопроявлений. Активность почвенного радона на ряде участков колеблется от 200 до 10000 Бк м⁻³. Фоновая активность почвенного радона в большинстве районов Карелии составляет 50-150 Бк м⁻³, что близко к значениям ПДК. Часто наблюдается высокая корреляция активности радона и частоты появления древесных аномалий (Белашев, Болондинский, 2013). Альфа частицы, излучаемые радоном на длине пробега образуют сотни тысяч пар ионов, меняющих физико-химические свойства клеток. Радиационное повреждение молекул ДНК может вызвать нарушения функции генов.

Целью нашего исследования являлось исследование влияния сильной и умеренной объемной активности почвенного радона на рост и развитие древесных растений. Мы анализируем результаты, полученные на пробных площадях в окрестностях пос. Кончезеро, Кондопожского района (в 50 км к северу от г. Петрозаводска) и на северной окраине пос. Толвуя, Медвежьегорского района (Заонежский п/о).

Объемную активность радона определяли радоновой станцией СРС-05, индикаторами детекторами радона СИРАД М 106 N. В ряде экспериментов измеряли радиационный гамма фон (сцинтилляционным радиометром СРП-68), естественную радиоактивность грунтов и коренных пород (гамма спектрометром СГС-200). Образцы грунта и коренных пород исследовали на естественную радиоактивность таких элементов как радий ²²⁶Ra, тория ²³²Th и

калия ^{40}K . На всех обследованных площадях радиационный фон 2-9 мкР/ч был в пределах нормы. В грунте и коренных породах обнаружены кларковые содержания радиоактивных изотопов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K .

Помимо определения частоты встречаемости древесных аномалий, изучались ростовые показатели деревьев и CO_2 -газообмен листьев. Исследования газообмена на однолетних побегах проводили по замкнутой схеме с помощью переносного газоанализатора LI 6200 (Licor, USA). Этим же газоанализатором, перепрограммированным на измерения по открытой схеме измеряли потоки CO_2 с почвы. Камера с отверстиями устанавливалась: на растительном покрове, на почве после снятия подстилки на глубинах 10, 20 и 30 см. Расчет интенсивности выделения CO_2 (R) из почвы производили по формуле:

$$R = \rho \cdot V \cdot (C_{\text{chamber}} - C_{\text{air}}) / S,$$

где ρ - плотность углекислого газа (при нормальных условиях = 1,977 г/л), V - скорость прокачки воздуха (1,2 л/мин), S - площадь почвы в камере, C_{chamber} и C_{air} - концентрации CO_2 в камере и окружающем воздухе соответственно. Учитывали рекомендации Ф.А. Татарина, А.Г. Молчанова и А.В. Ольчева (2007). Общая площадь отверстий для воздуха в камере с площадью (S) 4,67 дм² и объемом около 5,2 л составляла 508 мм². При таких параметрах концентрация CO_2 в камере быстро стабилизировалась. Переоценка выноса CO_2 с поверхности почвы была минимальной.

На юго-востоке Заонежского полуострова (пос. Толвуя) активность почвенного радона колебалась от 1500 до 8000 Бк/м³ с очень большими пространственными вариациями даже на площади 0,1 га. Причем эти измерения были осуществлены в поверхностном слое почвы (30-50 см) с помощью детекторов радона СИРАД М 106 N. В более глубоких слоях (1 м и более), как показывают измерения радоновой станцией СРС-05, активность еще выше. Имелись и значительные временные колебания.

Исследования видового состава в окрестностях пос. Толвуя показало почти полное отсутствие хвойных, кроме можжевельника. Береза, ива, черемуха иногда встречаются на границах зон. Часто наблюдался отпад деревьев, достигших 10-15-летнего возраста. У деревьев, растущих вблизи зон, иногда имели место ростовые аномалии (капы, свили, ведьмины метлы и другие). Основным видом, произрастающим на участках с высокой активностью почвенного радона (7000-8000 Бк м⁻¹), - ольха. На многих деревьях ольхи, растущих в эпицентре локальных зон, наблюдали трещиноватые опухолевидные наросты на сучьях и стволах. Уже в молодом возрасте деревья теряли иммунитет, появлялся некроз коры, образовывались характерные грибные структуры: конидиомы, плодовые тела, стромы. Имели место раковые болезни, вероятно, грибного происхождения, которые приводили к ослаблению

и постепенному усыханию деревьев (рис. 112). Их остовы сохранялись длительное время, и именно по таким участкам леса нами выявлялась высокая активность почвенного радона.



Рисунок 112. Раковые заболевания (слева) и опухолевидные наросты на сучьях и стволах ольхи (справа)

Активность почвенного радона 6500-8000 Бк/м³

Если сильное воздействие естественной радиации можно часто обнаружить визуально, то слабое воздействие выявить достаточно трудно, тем более что рост, фотосинтез и другие физиологические процессы в сильной степени зависят от многих других факторов. Определенную роль играют и глубинные газы, прежде всего CO₂, метан, гелий, водород.

Нами производилось исследование роста и CO₂-газообмена побегов сосны на двух вырубках: 1 – в 2 км от дер. Кончезерская Чупа (62°10′28.1″N, 33°59′58.8″E), рубка 2009 г.; 2 – у озера Габозеро, в 2-х км западнее с. Кончезеро, Кондопожского района (62.101917°N, 33.969944°E), рубка 2014 г. До рубок на этих площадях произрастал сосняк черничный свежий 80-летнего возраста (2 бонитет). В состав молодняка в основном входили (Pridacha et al., 2021) сосна обыкновенная (около 70%) с примесью березы и осины. Тип почвы - песчаный иллювиально-гумусовый железистый подзол. Уровень грунтовых вод – на глубине 1,4-1,7 м., но если в Габозере этот уровень определялся рядом находящимся озером и ниже зеркала вод толща песка составляла не менее 10 м, то в Кончезерской Чупе на глубине 2-3 м залегали водопроницаемые горные породы, и после таяния снега на них образовывался слой воды, которой использовался в течение всей вегетации.

Измерения активности почвенного радона на вырубке в Габозере, произведенные с помощью СИРАД М 106 N в течение нескольких лет показали, что они колебались в интервале 50-150 Бк/м³, на вырубке в Кончезерской Чупе – 120-500 Бк/м³. Радоновая станция СРС-05 давала более высокие значения (на глубине 1 м 500-700 Бк/м³).

Сравнение годовых приростов на этих пробных площадях показало, что их средние величины в Кончезерской Чупе и Габозере составили соответственно 41,1 см (2012-2016 гг.)

и 25,4 см (2017-2021 гг.). За последующие 2 года средние приросты – 69,2 и 49,5 см. максимальные – 82,3 и 63,1 см. В среднем приросты на вырубке в Кончезерской Чупе были в 1,4 раза больше, чем в Габозере. При этом на пробной площади (314 м²) в Габозере произрастало деревьев примерно в 4,7 раз меньше, чем в Кончезерской Чупе, где на 1 м² можно было обнаружить до 12 деревьев высотой 3,5-4 м. У 14-летнего сосняка до 2023 г. не наблюдалось признаков изреживания, несмотря на изрядную загущенность.

Измерения CO₂-газообмена в дневное время в период интенсивного роста на двух вырубках показали близкие средние значения для побегов прошлого года – на уровне 6-7 мкмоль м⁻² с⁻¹. Однако во второй половине сентября при температуре воздуха 20°С и хорошей оводненности почвы CO₂-газообмен у побегов текущего года в Кончезерской Чупе и Габозере составили соответственно 5,1 и 3,2 мкмоль м⁻² с⁻¹. При этом сосны в Кончезерской Чупе сбрасывали прошлогоднюю хвою. На 90% деревьев сохранялась только хвоя текущего года, в то время как в Габозере присутствовала хвоя 3-х лет. Подобная ситуация, как и столь высокие приросты у сосны (80-90 см) совершенно не характерны для условий южной Карелии.

В 3 декаду августа 2023 г. мы провели измерения потоков CO₂ с почвы на двух пробных площадях. Обнаружилось, что средние величины потоков CO₂ с растительного покрова почвы в Кончезерской Чупе более чем в 3 раза превосходили таковые в Габозере, а со снятой подстилкой – в 4,5 раза (табл. 49).

Таблица 49. Потоки углекислоты из почвы на двух вырубках

Место установки камеры	Выделение CO ₂ , мкмоль м ⁻² с ⁻¹					
	Кончезерская Чупа			Габозеро		
	Min	Max	М	Min	Max	М
1	2,37	3,81	2,93	1,10	1,31	1,20
2	2,82	9,12	6,14	1,2	1,5	1,4
3	1,06	4,02	2,81	0,31	0,42	0,35
4	1,87	5,21	4,23	0,35	0,39	0,38
5	1,71	5,82	3,95	0,39	0,43	0,41

Примечание: 1 – камера устанавливалась на растительном покрове, 2 – на почве без растительного покрова, 3 – на изолированном растительном покрове, 4 – на почве без растительного покрова, на глубине 10-12 см, 5 – на почве без растительного покрова, на глубине 20-25 см; Min, Max, М – минимальные, максимальные и средние величины соответственно.

При этом обнаружен участок, где поток с почвы без подстилки составлял 9,12 мкмоль м⁻² с⁻¹, в то время как в Габозере он не превышал 1,5 мкмоль м⁻² с⁻¹. На глубинах 20-25 см величины максимальных потоков составляли 5,82 и 0,43 мкмоль м⁻² с⁻¹. Таким образом, со скальной подложки, находящейся достаточно близко под слоем почвы выделялось в 6-7 раз больше CO₂, чем на песчаных почвах в Габозере. Часть углекислоты поглощалась подстилкой, а другая часть поглощалась с водой корнями, и в конечном итоге доходила до хлоропластов. На величинах CO₂-газообмена, измеряемых газоанализатором, это практически не

отражалось. Возможно, существенная добавка глубинного CO₂ и приводила к усиленному росту деревьев.

Не исключено, что и повышенная активность почвенного радона также вносит свой вклад, стимулируя ростовые процессы. На вырубке в Кончезерской Чупе процент деревьев с дихотомией значительно выше, чем в Габозере. Известно, что имеется корреляция между выбросами CO₂ и радона с глубинных слоев. Поэтому, если обнаруживается высокая активность радона, с большой вероятностью можно считать, что будут и повышенные потоки CO₂. Измерение активности радона произвести проще, чем определять концентрацию CO₂, где требуется достаточно дорогое оборудование и автономное питание.

Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (Институт леса и Институт геологии КарНЦ РАН). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”.

Список литературы

Белашев Б.З., Болондинский В.К. (2013.) Карельская береза – загадочное дерево севера, *Наука в России*, № 5, с. 41-49.

Татаринов Ф.А., Молчанов А.Г., Ольчев А.В. (2009) Оценка и минимизация ошибок при измерении дыхания почвы по открытой схеме, *Известия Самарского научного центра РАН*, т. 11, № 1, с. 1622-1627.

Pridacha V.B., Sazonova T.A., Novichonok E.V., Semin D.E., Tkachenko Yu.N., Pekkoiev A.N., Timofeeva V.V., Bakhmet O.N., Olchev A.V. (2021) Clear-cutting impacts nutrient, carbon and water exchange parameters in woody plants in an east Fennoscandian pine forest, *Plant and Soil*, vol. 466, pp. 317-336.

РЕАКЦИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ АРКТИЧЕСКОГО БАССЕЙНА НА СОВРЕМЕННОЕ ПОТЕПЛЕНИЕ И ПЕРИОДЫ ГЛОБАЛЬНЫХ ПОТЕПЛЕНИЙ В ПРОШЛОМ: УРОКИ ПРОШЛОГО ДЛЯ ОЦЕНКИ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В БУДУЩЕМ
THE RESPONSE OF THE ARCTIC BASIN VEGETATION TO THE PRESENT CLIMATE FLUCTUATIONS AND PAST WARMINGS: LESSONS FROM PAST FOR ESTIMATION OF THE FUTURE CHANGES

Борзенкова И.И.¹⁾, Ершова А.А.^{1,2)}, Жильцова Е.Л.¹⁾

Borzenkova I.I.¹⁾, Ershova A.A.^{1,2)}, Zhiltsova E.L.¹⁾

¹⁾ ФГБУ «Государственный Гидрологический институт»

Россия 199004, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., 23

²⁾ ФГБУ «Арктический и Антарктический институт»

Россия 199397, Санкт-Петербург, Беринга, 38

Аннотация. Анализ наземных и спутниковых наблюдений показал, что за последние 40 лет на фоне постоянного повышения глобальной температуры, в Арктическом бассейне происходят заметные изменения видового состава и общей продуктивности тундровых биомов. В работе сделана попытка сравнения современных изменений растительности высоких широт с палеоклиматическими реконструкциями для теплых интервалов голоцена и позднего плейстоцена.

Ключевые слова: современное потепление растительность высоких широт потепления межледниковий реакция растительности,

Abstract. Analysis of ground-based and satellite observations has shown that over the past 40 years, against the background of a constant increase in global temperature, there have been noticeable changes in the species composition and overall productivity of tundra biomes in the Arctic basin. The paper attempts to compare modern changes in high-latitude vegetation with paleoclimatic reconstructions for the warm intervals of the Holocene and Late Pleistocene.

Keywords: present warming high latitude vegetation warming interstadials response vegetation.

Анализ климатических данных, включая спутниковые наблюдения за последние 40 лет, свидетельствует о том, что в Арктическом бассейне происходит устойчивое повышение температуры воздуха более чем в 2 раза превышающее увеличение средней глобальной температуры (NOAA Arctic Report Card: 2007-2022). Наиболее отчетливо эти изменения проявились в сокращении общей площади и толщины морских льдов, как в летний, так и в зимний период (Борзенкова и др. 2021). Растительность прибрежных районов и на островах Арктического бассейна отреагировала на повышение температуры увеличением продуктивности, изменением видового состава тундровых биомов и продвижением к северу кустарниковых и древесных форм (Жильцова, Анисимов, 2015; Анисимов, Жильцова, 2022; Борзенкова и др. 2021). Модели климата предсказывают значительное сокращение площади летних льдов, и возможно освобождение ото льда в летнее время значительной части Арктического бассейна во второй половине столетия (Борзенкова и др., 2021).

Совершенно очевидно, что проблема адаптации современной растительности к предстоящим изменениям климата приобретает ключевое значение. Подобные изменения неоднократно повторялись в прошлом, в позднем плейстоцене и в голоцене, когда глобальная климатическая система выходила из очередного ледникового периода, и на границе

позднеледниковья и межледниковья происходили быстрые колебания климата, сравнимые с современными. Отклик растительности на быстрые колебания климата в прошлом позволяет получить независимую и дополнительную информацию об устойчивости экосистем высоких широт к внешним воздействиям.

Методика и данные. Для оценки современного потепления на состояние растительности Арктического бассейна предлагается несколько независимых подходов: 1. Обобщение геоботанической информации, накопленной за последние десятилетия во время экспедиционных исследований и на биостационарах в зоне тундры и лесотундры в циркумполярной арктической зоне; 2. Анализ спутниковой информации (за последние 40 лет и более), который наряду с качественными данными о составе и границах растительности, позволяют получить количественную информацию о продуктивности арктических биомов; 3. Палеоклиматические данные в виде спорово-пыльцевых диаграмм и остатков растительности (макрофоссилий) на основе обобщение датированных геологических разрезов, на границах быстрых колебаний климата в позднем плейстоцене и голоцене; 4. Данные климатических моделей последнего поколения, позволяющих оценить пределы устойчивости биомов арктических широт к будущим изменениям климата (Анисимов, Жильцова, 2022).

Для оценки отклика современной растительности высоких широт (севернее 65°с.ш.) на потепление последних десятилетий был выполнен анализ литературных данных для северной Евразии (включая север РФ), по северу Канады и США. Полный список использованной литературы будет опубликован в полном тексте статьи. Для анализа палеоклиматической информации был сформирован авторский архив, основанный на опубликованных данных, и состоящий из более чем 150 геологических разрезов для последних 12 тысяч лет, в арктической циркумполярной зоне северного полушария. Все выбранные разрезы имели абсолютные датировки и более чем 50% разрезов содержат количественные данные о температуре воздуха за последние 12 тысяч лет, полученные на основе изотопного, палинологического, дендрологического и других видов анализа. В дальнейшем эта информация будет представлена на сайте: <http://www.permafrost.su> с возможностью её пополнения. На рис. 113 представлена карта геологических разрезов, на которую зелеными точками нанесена информация о современных изменениях растительности в зоне тундры и лесотундры, полученная во время полевых исследований (Информация была предоставлена сотрудником Ботанического института им. В.Л. Комарова РАН В.Ю. Разживиным).

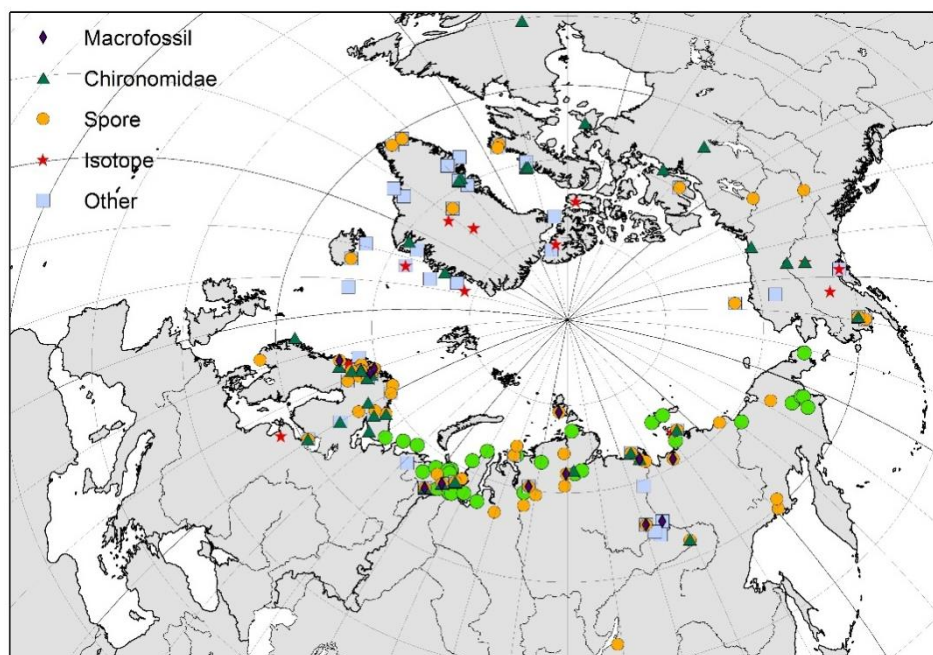


Рисунок 113. Карта-схема расположения разрезов с данными о видовом составе растительности за последние 12000 лет

Зелеными точками обозначены районы, где отмечены изменения в растительном покрове за последние десятилетия

Отклик растительности высоких широт на современное потепление и на потепления позднего плейстоцена. Обобщение данных об изменении растительности в Арктической зоне за последние 40 лет показали, что высокие формы кустарников в тундровой зоне Евразии, на севере Канады и США, показывают более четкую связь с температурой воздуха по сравнению с низкорослыми видами (Myers-Smith et al., 2015, 2018). Вопрос о временном сдвиге (или задержке) реакции растительности в ответ на изменение внешних факторов и, прежде всего, температуры воздуха имеет ключевое значение для оценки будущих изменений в Арктической зоне.

Существуют значительные различия в скорости продвижения одиночных деревьев (1 дерево примерно на 1 га) и группы деревьев, формирующих границу леса. Для одиночных деревьев характерная скорость продвижения составляет примерно 1,6 м за год, в то время как группа деревьев может передвигаться со скоростью только 0,6 м за год. Таким образом, продвижение границы леса будет все время отставать по времени по сравнению с продвижением одиночных деревьев, и такое отставание будет только увеличиваться со временем.

Для сравнения современных изменений в арктических экосистемах в ответ на потепление последних 30-40 лет с палеоданными были выбраны временные интервалы, которые позволяют получить новую информацию об изменении видового состава и смещении

границ растительности высоких широтах Арктики при разном уровне повышения глобальной температуры и различной скорости её изменения: **1.** Быстрое потепление на границе позднеледниковья/голоцена, когда по данным изотопного анализа Гренландских кернов, повышение температуры на 5-6°C могло произойти в течение всего нескольких десятилетий. **2.** Потепление среднего голоцена (между 8-6 тыс. лет назад), когда глобальная температура по данным палеоклиматических реконструкций превышала современную на 1,0-1,2°C. **3.** Период максимального потепления последнего межледниковья (изотопная подстадия 5e в морском разрезе, около 125-120 тыс. лет назад), при котором повышение глобальной температуры по сравнению с современной составляло 1,5-1,8°C (Борзенкова и др., 2021).

Анализ данных, представленных на рис. 113, показал, что наиболее высокие температуры воздуха в Российской части Арктики севернее 65 с.ш. были отмечены на границе позднеледниковья/голоцена. По палеоботаническим данным (спорово-пыльцевым спектрам и макрофоссилиям) максимальные температуры воздуха были зафиксированы на островах Арктического бассейна (моря Лаптевых и Восточносибирское), что обеспечило самое северное (до 75° с.ш.) за последние 12 тысяч лет произрастание березы высокоствольной. Во второй половине раннего голоцена, между 11 и 9 тыс. кал. лет назад, места находок макроостатков древесной растительности лиственницы и березы находятся значительно севернее их современной границы, в то время как в среднем голоцене между 7 и 5 тыс. кал. лет назад границы смещается к югу, ближе к их современным ареалам обитания (Binney et al., 2016; Briner et al., 2016). Во время потепления раннего голоцена макроостатки лиственницы (*Larix*) обнаружены севернее широты 72,5° с.ш. между 95-110° в.д., в то время как восточнее, около 140° в.д., северная граница лиственницы проходила значительно южнее (Fewster et al., 2023).

При более значительном повышении глобальной температуры на 1,5-1,8°C, которое имело место при более высоком уровне потепления последнего межледниковья (125-120 тысяч лет назад), наиболее северные разрезы, содержащие осадки этого времени изучены на о-ве Ляховском, о-вах Северная Земля и на п-ве Таймыр (Andreev et al., 2004). Анализ палеоклиматических данных позволяет ответить на вопрос о том, как быстро древесные формы (в первую очередь лиственница и береза как индикаторные виды) продвигались к северу при быстром потеплении на границе позднеледниковья/голоцена в разных частях Арктики.

Список литературы

Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. (2022) Устойчивость экосистем Арктики при изменении климата, *Метеорология и Гидрология*, № 5, с. 83-95.

Борзенкова И.И., Ершова А.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О. (2021) Морской лёд Арктического бассейна в свете современных и прошлых климатических изменений, *Лёд и Снег*, т. 61, № 4, с. 533-546.

Жильцова Е.Л., Анисимов О.А. (2015) Динамика растительности Северной Евразии: анализ современных наблюдений и прогноз на 21 век, *Арктика. XXI век. Естественные науки*, № 2 (3), с. 48-59.

Andreev A.A., Grosse G., Schirrmeister L., Kuzmina S.A., Novenko E.Y., Bobrov A.A., Tarasov P.E., Ilyashuk B.P., Kuznetsova T.V., Krbetschek M., Meyer H., Kunitsky V.V. (2004) Late Saalian and Eemian palaeoenvironmental history of the Bol'shoy Lyakhovsky Island (Laptev Sea region, Arctic Siberia), *Boreas*, vol. 33, pp. 319-348.

Binney H., Edwards M., Macias-Fauria M., Lozhkin A., Anderson P., Kaplan J.O., Andreev A., Bezrukova E., Blyakharchuk T., Jankovska V., Khazina I., Krivonogov S., Kremenetski K., Nield J., Novenko E., Ryabogina N., Solovieva N., Willis K., Zernitskaya V. (2016) Vegetation of Eurasia from the last glacial maximum to present: Key biogeographic patterns, *Quatern. Sci. Rev.*, vol. 157, pp. 80-97.

Briner J.P., McKay N., Axford Y., Bennike O., Bradley R.S., de Vernal A., Fisher D., Francus P., Frechette B., Gajewski K., Jennings A., Kaufman D.S., Miller G., Rouston C., Wagner B. (2016) Holocene climate change in Arctic Canada and Greenland, *Quatern. Sci. Rev.*, vol. 147, pp. 340-364.

Fewster R.E., Morris P.J., Swindles G.T., Ivanovic R.F., Treat C.C., Jones M.C. (2023) Holocene vegetation dynamics of circum-Arctic permafrost peatlands, *Quaternary Science Reviews*, vol. 307, 108055.

Myers-Smith I.H., Elmendorf S.C., Beck P.S.A. et al. (32 authors) (2015) Climate sensitivity of shrub growth across the tundra biome, *Nature climate change*, vol. 5, pp. 887-891, URL: www.nature.com/natureclimatechange.

Myers-Smith I.H., Hik D.S. (2018) Climate warming as a driver of tundra shrubline advance, *Journal of Ecology*, vol. 106, pp. 547-560, URL: <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12817>.

NOAA Arctic Report Card: 2007-2022, URL: www.arctic.noaa.gov/Report.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРИБРЕЖНЫХ И ДОННЫХ ЭКОСИСТЕМ
АКВАТОРИИ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»
STUDY OF THE DYNAMICS OF COASTAL AND BOTTOM ECOSYSTEMS IN THE
WATER AREA OF THE UTRISH RESERVE**

Быхалова О.Н.¹⁾, Телегин В.А.²⁾, Легкий Н.М.³⁾

Bukhalova O.N.¹⁾, Telegin V.A.²⁾, Legkiy N.M.³⁾

¹⁾ ФГБУ «Государственный заповедник «Утриш»

Россия, 353445, город-курорт Анапа, ул. Северная, д. 41 «В»

²⁾ ФГБУН Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова
РАН

Россия, 108840, г. Москва, г. Троицк, Калужское шоссе, д. 4

³⁾ ФГБОУ высшего образования «МИРЭА — Российский технологический университет»
Россия, 119454, г. Москва, проспект Вернадского, д.78

Аннотация. Прибрежные и донные экосистемы акватории государственного природного заповедника Утриш с уникальной биотой, насыщенной реликтовыми и эндемичными видами, к настоящему времени уже в основном сформировались, но под влиянием активных геодинамических процессов в условиях переходного климата между морским средиземноморским и умеренно-континентальным еще продолжают формироваться. В настоящее время планируется расширение инструментальной базы наблюдений, включая дистанционные методы.

Ключевые слова: заповедник, Утриш, экосистемы заповедника Утриш, влияние геодинамических процессов, наблюдение за изменением экосистемы.

Abstract. The coastal and bottom ecosystems of the water area of the Utrish State Nature Reserve with a unique biota, saturated with relict and endemic species, have now largely formed, but under the influence of active geodynamic processes in a transitional climate between the marine Mediterranean and temperate continental ones they are still forming. Currently, there are plans to expand the observational instrumental base, including remote methods.

Keywords: reserve, Utrish, ecosystems of the Utrish reserve, influence of geodynamic processes, observation of ecosystem changes.

В силу особенностей географического положения, ландшафтно-климатических особенностей и истории формирования экологической среды заповедника, при их малой площади, показывают чрезвычайно высокое флористическое и фаунистическое разнообразие, на территории заповедников регистрируются и описываются интересные находки, новые виды флоры и фауны. По различным данным, биологическое разнообразие экосистем заповедников может насчитывать более 20 тыс. объектов растительного мира и более 125 тыс. объектов животного мира, среди которых более 20% – эндемики, реликты, свыше 10% – виды, занесенные в Красные книги Российской Федерации.

Заповедники, которые представляют собой природные лаборатории и полигоны для долговременных исследований эталонных экосистем и их компонентов, играют самую важную роль в сохранении биологического и ландшафтного разнообразия (Пузаченко, 2002).

Обладая высоким биологическим разнообразием экосистемы заповедников весьма чувствительны к факторам и угрозам окружающей среды, оказывающим на них негативное воздействие.

Государственный природный заповедник Утриш (Иваненко, 2018), расположенный на п-

ове Абрау, представляет собой эталонный природно-территориальный комплекс субсредиземноморских гемиксерофитных экосистем Северо-Западного Кавказа и прилегающих морских экосистем Северо-Восточного шельфа Черного моря и является уникальным природным объектом со сложным взаимодействием геологических, географических, биологических, океанологических, антропогенных процессов. В береговой зоне Черного моря они находятся в постоянном взаимодействии, что приводит к уникальным особенностям заповедника, его строения и развития, определяемым активным проявлением сейсмогравитационных, обвально-оползневых процессов, результатом действия которых является сложный характер рельефа суши и прилегающего подводного морского дна; генезис, состав и свойства континентальных и морских отложений. Поэтому этот относительно небольшой по площади участок заповедника может рассматриваться как природная лаборатория по его комплексному междисциплинарному изучению, включающему многолетний мониторинг, что представляет несомненный научный и практический интерес.

Прибрежная зона полуострова Абрау сформировалась под действием абразионных процессов при колебаниях уровня моря и является типичной морской акваторией Кавказского региона, с узким шельфом и крутым, сильно изрезанным материковым склоном. Для этого участка побережья характерны смещения горных пород, резко отличающиеся от остальных оползней Черноморского побережья Кавказа специфическими чертами надводного и подводного рельефа. Это явление получило название «Утришского феномена». Благоприятными условиями для развития оползней являются также особенности залегания флишевых отложений (уклон в сторону моря) и наличие в их составе глинистых пород. Такое широкое развитие смещений горных пород отразилось на морфологическом строении побережья, придав ему обвально-оползневую структуру. Выступающие в море (в среднем на 50-100 м), участки береговых уступов являются оползневыми языками, сложенными обломками флишевых пород.

Экосистемы заповедника сформированы уникальным комплексом наземных с субсредиземноморскими ландшафтами с двумя высотными поясами растительности и морских с комбинацией грунтов и вертикальной зональности

Географическое положение заповедника с его высокой степенью мозаичности прибрежных и подводных ландшафтов определяет не только специфику и его фаунистическую и флористическую уникальность, но и эволюцию развития экологических систем региона. Это территория взаимопроникновения Крымской и Кавказской флоры и фауны. Отмечаются виды, имеющие признаки переходных форм.

Сложная ландшафтная структура, обусловленная большой расчлененностью территории, многообразием склонов, наличием специфических форм рельефа, связанных с

сейсмогравитационными процессами, определила уникальность природных экосистем в масштабах России, сочетающихся с их уязвимостью к комплексу антропогенных воздействий, высокое биологическое разнообразие экосистем, исключительно большой уровень локального эндемизма биоты, насыщенность флоры и фауны сотнями видов, включенных в Красную книгу Российской Федерации, Красную книгу Краснодарского края, Красный Список Угрожаемых Видов Международного Союза Охраны Природы, высокую концентрацию редких и исчезающих видов фауны относительно других мест их обитания, насыщенность объектами культурно-исторического наследия.

Морские экосистемы заповедника Утриш относятся к прибрежным морским экосистемам Северо-Восточного шельфа Черного моря, характеризуются высокой мозаичностью ландшафтов, обусловленной характером донных отложений, формой рельефа и диапазоном глубин, который определяет волновую нагрузку на дно, степень освещенности, и как следствие, распределением доминирующих видов макрофитов. Подводные природные комплексы можно отнести к четырем крупным ландшафтам: пляжа, бенча, оползневого тела и морской аккумулятивной равнины.

По характеру отложений выделяются следующие виды подводных ландшафтов: галечно-валунные, галечно-валунные с глыбами, скальные, валунно-глыбовые, крупно-глыбовые, мелко-глыбовые, песчаные с раковинным детритом, песчаные, песчано-гравийные, алевроитовые, песчаные с наилком, илистые (Папунов, Макалова, 2021).

Особое значение в формировании климата района заповедника играет взаимодействие между морем и атмосферой, проявляющееся в обмене теплом, влагой и количеством движения. Море оказывает воздействие на атмосферу в основном благодаря значительной термической инерционности и преобладанию положительной разности температур вода – воздух. Обратное воздействие атмосферы на море проявляется главным образом через циркуляцию вод, путем ослабления или усиления поверхностных (а косвенно и глубинных) течений через ветровой режим. Неравномерное поступление солнечного тепла на поверхность моря и изменчивость атмосферных процессов оказывают непосредственное влияние на температуру, соленость и другие характеристики моря.

Для нормального функционирования экосистем заповедника огромное значение имеет водный баланс.

Водный режим на территории заповедника в течение года неравномерный, паводочный, обычно кратковременные паводки возможны в любое время года. В маловодные годы, при длительном отсутствии осадков (май-октябрь) отмечаются периоды полного пересыхания ручьев.

Изменение водного режима водоемов влечет за собой изменение влажности почвенного

покрова и необратимые сукцессионные процессы в первую очередь в формациях мезофитных широколиственных лесов, приуроченных к днищам щелей. Это ведет к эрозии почв, выпадению древостоев, изменению видового состава и численности флоры и фауны данных биоценозов, включая реликтовые, эндемичные, редкие и исчезающие виды, занесенные в Красные книги Российской Федерации и Краснодарского края.

Наземные субсредиземноморские ландшафты заповедника с гемиксерофитными экосистемами не способны переносить обезвоживание и перегрев. Отсутствие воды ведет к обезвоживанию экосистем, с последующей гибелью. Масштабы бедствия и экономический ущерб будут в тысячи раз больше, чем от пожара 2020 г., а последствия могут быть необратимы. В результате возможного обезвоживания могут пострадать более 2000 видов растений, из них около 200 редких и исчезающих видов.

Отсутствие воды ведет к уничтожению почвенного покрова, и как следствие, к гибели почвенных животных. Отсутствие мест водопоя ведет к миграциям животных на прилегающие территории, где они станут жертвами браконьерства.

Ослабленный лес – это очаг развития насекомых-вредителей. Вспышка численности насекомых влечет быстрое распространение вредителей на прилегающие сельскохозяйственные угодья, что ведет к массовому неурожаю и экономическим потерям. Заповедник и весь полуостров Абрау (Анапский и Новороссийский районы) относится к зоне сильной лесопатологической угрозы. Известная вспышка непарного шелкопряда в конце 90-х, привела к массовым повреждениям лесных культур, восстановление которых потребовало десятилетия.

В силу ряда причин, долговременный и регулярный мониторинг поверхностного течения и волнения является необходимым элементом в системе общего мониторинга биотической и абиотической составляющих черноморской экосистемы. Такой мониторинг в прибрежной (до 200 км от берега) можно осуществлять с помощью доплеровских радиолокаторов (радаров) декаметрового диапазона, устанавливаемых на берегу, вблизи уреза воды. Разрабатывается технология использования радиолокаторов для мониторинга состояния поверхности моря, а также предлагаются принципы измерения скорости поверхностного течения и ветрового волнения доплеровскими КВ-радиолокаторами на основе примеров их недавнего использования на Черном море (Горбацкий и др., 2017).

Данные, получаемые в результате исследований в заповеднике, используются прежде всего для контроля состояния природной среды прилегающего к заповеднику участка Черного моря. Такие исследования позволяют оценить динамику подводных ландшафтов и их компонентов, понять механизмы и выявить закономерности функционирования подводных экосистем. Эти знания позволяют решать задачи прогноза изменений природной среды, а

также найти решения более сложных задач морского природопользования, таких как разработка проектов рекультивации нарушенных природных систем, увеличение общей продуктивности морских районов, сохранения биоразнообразия, восстановление численности популяций редких, охраняемых и промысловых или борьба с вселенцами или вредными видами морских организмов. Кроме того, совершенствование методов и техники морского комплексного мониторинга позволяет использовать его при решении региональных проблем морского природопользования.

В ближайшее время планируется расширение инструментальной базы наблюдений, включая дистанционные методы. Всестороннее обсуждение на конференции современных подходов и международного опыта исследований в данной области, направленных на обоснование и совершенствование мониторинга, позволит сформировать научно-обоснованную программу развития экологического мониторинга в заповеднике на ближайшие годы.

Рассматриваются и обсуждаются возможности и перспективы установки КВ-радаров на морских берегах заповедника Утриш.

Список литературы

Горбачкий В.В., Сабинин К.Д., Телегин В.А., Зацепин А.Г., Куклев С.Б. (2017) Применение доплеровского КВ-радиолокатора для исследования пространственной структуры течений в черном море, *Морской гидрофизический журнал*, № 3 (195), с. 63-73.

Иваненко Ф.К. (2018) Создание заповедника "Утриш" и его роль в сохранении биоразнообразия полуострова Абрау, *Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада*, т. 147, с. 35-38.

Папунов В.Г., Макалова П.Г. (2021) Подводные ландшафты заповедника «Утриш», *Наземные и морские экосистемы полуострова Абрау: история, состояние, охрана, Научные труды*, т. 5, Анапа, с. 207-216.

Пузаченко Ю.Г., Дьяконов Г.М., Алещенко К.Н. (2002) Разнообразие ландшафта и методы его измерения, *География и мониторинг биоразнообразия*, М., Изд-во НУМЦ, с. 76-178.

БАЗА ДАННЫХ «ЧЕРНОБЫЛЬ» СОЗДАНИЕ, РАЗВИТИЕ, АНАЛИЗ DATABASE «CHERNOBYL» CREATION, DEVELOPMENT, ANALYSIS

Вакуловский С.М., Яхрюшин В.Н.

Vakulovsky S.M., Yakhryushin V.N.

ФГБУ «НПО «Тайфун»

Россия, 249038, г. Обнинск, Калужской обл., ул. Победы, 4

Аннотация. В докладе представлены результаты работ по созданию, формированию и развитию БД «Чернобыль» 1986-2023 гг. БД «Чернобыль» включает в себя всю информацию, полученную в результате экспедиционных обследований территории населенных пунктов, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС и переданную в ФГБУ «НПО «Тайфун». Приводятся некоторые результаты анализа накопленной в БД информации и приводятся сведения о материалах и справках, формируемых на основе данных хранящейся в БД.

Ключевые слова: Чернобыль, радиоактивное загрязнение, БД.

Abstract. The report presents the results of work on the creation, formation and development of the Chernobyl database in 1986-2023. The Chernobyl database includes all the information obtained as a result of expeditionary surveys of the territory of settlements contaminated as a result of the Chernobyl accident and transferred to the Federal State Budgetary Institution «NPO «Typhoon». Some results of the analysis of the data accumulated in the database are given and the materials and references generated on the basis of information stored in the database are described.

Keywords: Chernobyl, radioactive contamination, database.

Авария на Чернобыльской АЭС в 1986 году привела к радиоактивному загрязнению более 60 тысяч км² территории Российской Федерации. Значительному загрязнению подверглись 14 субъектов Российской Федерации, на территории которых, на момент аварии, проживали свыше 3 миллионов человек (Российский национальный доклад, 2016).

В этом же году на основании постановления Правительства СССР ФГБУ «НПО «Тайфун» (старое название ИЭМ Институт Экспериментальной Метеорологии) было поручено организовать сбор и накопление экспедиционных данных о содержании техногенных радионуклидов в пробах почвы, отобранных на территории н.п., загрязненных в результате аварии на ЧАЭС см. рис. 114.

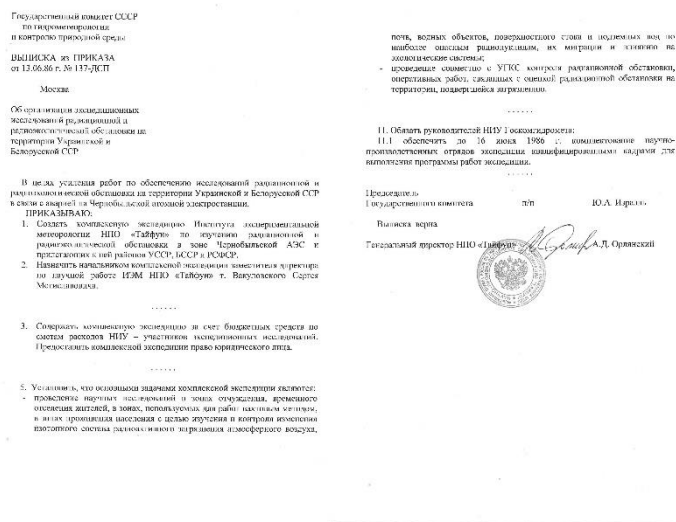


Рисунок 114. Копия выписки из приказа о выполнении работ, связанных с аварией на ЧАЭС

Для выполнения работ по этому постановлению в 1986 году была создана группа из 4 человек, которая занималась сбором, систематизацией, анализом и вводом данных, связанных с экспедиционными обследованиями территорий населенных пунктов (н.п.). Первая проба с данными о загрязнении н.п. в БД «Чернобыль» датируется 17.05.1986 г. и была отобрана в н.п. Березовка Брянской области, Красногорского района, Кургановского сельсовета. Фактически основное наполнение БД «Чернобыль» было выполнено этой группой до ее расформирования 2004 году. На рис. 115 показано, как проходило обследование н. п. по годам с 1986 по 2010 гг. и, как пополнялась БД «Чернобыль» Таким образом, к 2023 году была введена информация о 11983 н.п. в расположенных 24 субъектах РФ.

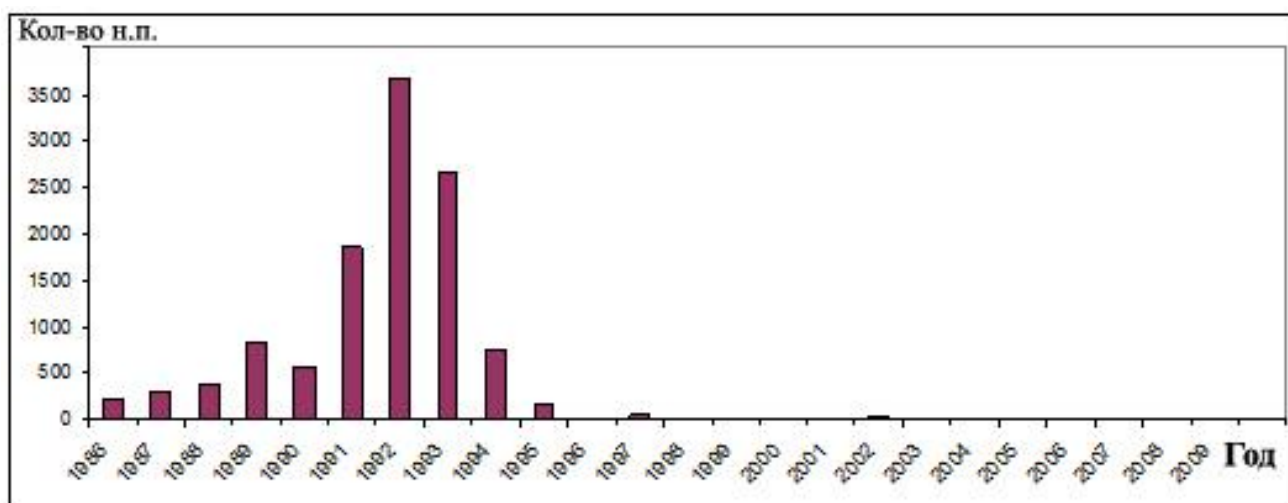


Рисунок 115. Количество обследованных н.п. в период 1986-2010 гг.

Другим не менее важным фактором является повторное обследование загрязненных н.п. в соответствии с рекомендациями Федерального закона №1244-1 от 15 мая 1991 г. о повторном обследовании определяемым сроком в 5 лет. На рис. 116 показана частота повторного обследования за весь период наблюдений для н.п. с уровнем загрязнения более 1 Ки/км².

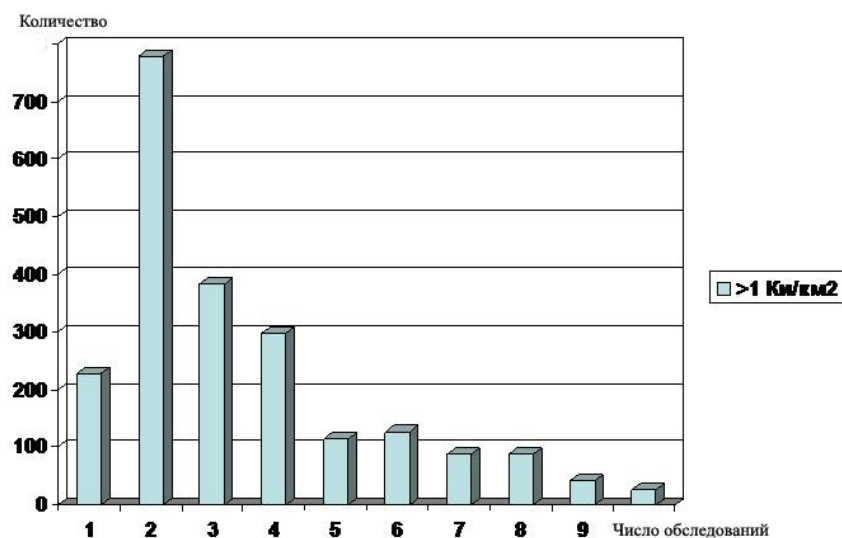


Рисунок 116. Количество н.п. с уровнем загрязнения более 1 Ки/км² обследованных 1 и более раз по состоянию на 01.01.2023

Таким образом, по состоянию на 01.01.2023 в БД содержится информация о 11983 н.п. (вместе с нежилыми) в которых было отобрано 122924 пробы по цезию-137, 1786 по стронцию-90 и по 140 проб по плутонию-239+240.

Используя накопленную информацию ФБГУ «НПО «Тайфун» регулярно, начиная с 1994 года, издает ежегодник (отчет) «Данные по радиоактивному загрязнению населенных пунктов РФ цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240» (Вакуловский, Яхрюшин, 2023). Краткий обзор о работах, проделанных на загрязненных территориях, начиная с 1986, публикуется в ежегоднике «Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств *текущий год*». Так же материалами из БД «Чернобыль» пользуются Правительство РФ при подготовке постановлений, касающихся аварии на ЧАЭС, МЧС, Роспотребнадзор, Минздрав и все администрации загрязненных областей и др. заинтересованные министерства и организации.

Теперь рассмотрим некоторые результаты, полученные при комплексном анализе накопленной в БД информации. Наиболее интересные результаты с нашей точки зрения были получены в 2005 году и опубликованы в 2006 в (Степаненко, Яхрюшин, 2006). В работе (Степаненко, Яхрюшин, 2006) показано, что среди, обследованных н.п., встречаются н.п. в которых наблюдается увеличение среднего уровня загрязнения территории ¹³⁷Cs в сравнении с предыдущими оценками. Проведенные в последующие годы исследования показали, что это явление действительно подтверждено в ряде н.п. Результаты, полученные в ходе этих исследований, приведены в работах (Артемьев и др., 2014; Вакуловский и др., 2015), где рассмотрены причины и механизм вызывающей перераспределение изотопа цезия. Следующим не маловажным фактом приведенном в работе (Степаненко, Яхрюшин, 2006)

отмечено, что существует большой класс н.п. (особенно в Белгородской области) для которых обнаружено резкое уменьшения среднего уровня загрязнения ^{137}Cs . К сожалению, чем обусловлено это перераспределение изотопа цезия и, где происходит его аккумуляция, нам пока выяснить не удалось.

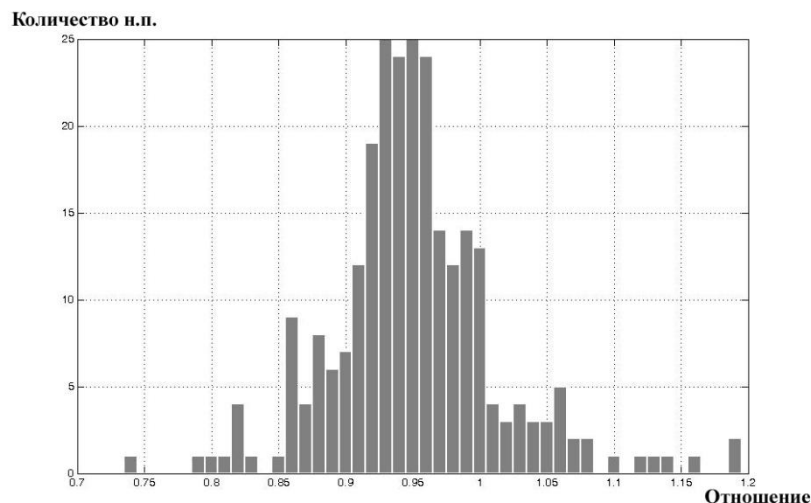


Рисунок 117. Гистограмма отношений прогностической оценки, определенной по всей совокупности данных без учета экспедиционных и оценки, полученной с учетом экспедиционных данных о загрязнении ^{137}Cs

Другим не менее важным фактором является высокая устойчивость прогностической оценки, получаемой по данным, накопленным в БД. Для того чтобы показать эту устойчивость проделаем следующую работу. Возьмем данные из БД по обследованным в последние 5 лет н.п. (без экспедиционных данных) и получим по ним прогностические оценки среднего уровня загрязнения на 01.01.2023. Такие же оценки получим с учетом экспедиционных данных, а затем рассчитаем их отношение. Результат расчета в виде гистограммы представлен на рис. 117. Из приведенной гистограммы видно, что наименьшее число оценок отношения расположены правее значения 1, то есть существуют н.п. в которых содержание ^{137}Cs убывает медленнее, чем при учете только радиоактивного распада. Отношения расположенные левее единицы говорят, что в целом в большинстве н.п. убывание ^{137}Cs идет несколько интенсивнее, чем это обусловлено только естественным распадом. Это также подтверждает ранее полученные в работе (Степаненко, Яхрюшин, 2006) результаты.

В нашу организацию неоднократно обращались с вопросом о недостоверности, предоставляемой нами информации о загрязнении н.п. По этому поводу можно обратиться к работе (Ramzaev et al., 2006), где фактически приведены результаты независимой экспертизы оценки загрязнения ряда н.п. Брянской области, которые полностью подтверждают наши результаты.

В заключении, можно констатировать, что накопленная в БД «Чернобыль» информация о радиоактивном загрязнении, позволяет с высокой степенью точности, рассчитывать прогностические оценки изменения среднего уровня загрязнения ^{137}Cs н.п., определять сроки их перехода в другие льготно-экономические зоны, предоставлять информацию в заинтересованные ведомства, организации и администрации пострадавших областей ежегодно. Следует, так же отметить, что именно анализ накопленной информации в БД «Чернобыль» показал, что для некоторых населенных пунктов может наблюдаться нестандартное изменение среднего уровня загрязнения ^{137}Cs .

Список литературы

Российский национальный доклад (2016) *30 лет Чернобыльской аварии: Итоги и перспективы преодоления ее последствий в России*, Москва, с. 10-15.

Вакуловский С.М., Яхрюшин В.Н. (2023) *Данные по радиоактивному загрязнению населенных пунктов РФ цезием-137, стронцием-90 и плутонием-239+240*, Обнинск, 214 с.

Степаненко С.Р., Яхрюшин В.Н. (2006) *Применение модели нестационарных случайных процессов для мониторинга и прогноза сложных систем*, М., Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях, № 1, с. 51-59.

Артемьев Г.Б., Вакуловский С.М., Колесникова Л.В., Тertyшник Э.Г., Уваров А.Д., Яхрюшин В.Н. (2014) Исследование вторичного радиоактивного загрязнения населенных пунктов России, пострадавших от аварии на ЧАЭС, *«Актуальные вопросы радиационной гигиены»*, Международная научно-практическая конференция, посвященная 85 летию со дня рождения П.В. Рамзаева, Санкт-Петербург, с. 51-52.

Вакуловский С.М., Колесникова Л.В., Тertyшник Э.Г., Уваров А.Д., Яхрюшин В.Н. (2015) Исследование вторичного радиоактивного загрязнения населенных пунктов, расположенных на территории России пострадавшей от аварии на Чернобыльской АЭС, *Радиобиология: «Маяк», Чернобыль, Фукусима, Международная научная конференция, Белоруссия, Гомель*, с. 40-43.

Ramzaev V., Yonehara H., Hille R. (2006) Gamma-dose rates from terrestrial and Chernobyl radionuclides inside and outside settlements in the Bryansk Region Russia in 1996-2003, *J. of environmental radioactivity*, no. 85, pp. 205-227.

**КОМПЛЕКСНЫЙ МОНИТОРИНГ СТОЙКИХ ОРГАНИЧЕСКИХ ЗАГРЯЗНИТЕЛЕЙ
НА ОЗЕРЕ БАЙКАЛ В 2021-2022 ГОДАХ**
**INTEGRATED MONITORING OF PERSISTENT ORGANIC POLLUTANTS ON LAKE
BAIKAL IN 2021-2022**

Запевалов М.А., Самсонов Д.П., Левшин Д.Г., Лукьянова Н.Н.,

Кочетков А.И., Пасынкова Е.М.

Zapevalov M.A., Samsonov D.P., Levshin D.G., Lukyanova N.N.,

Kochetkov A.I., Pasynkova E.M.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»
249038, Россия, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Победы, д.4

Аннотация. Цель работы – исследование уровней содержания токсичных загрязняющих веществ (СОЗ, ПАУ) в окружающей среде уникальной экологической системы озера Байкал.

Представлены экспериментальные данные 2021-2022 годов по содержанию широкого спектра загрязняющих веществ, включая СОЗ (хлорорганические пестициды, полихлорированные бифенилы, токсафены), ПАУ, в окружающей среде (атмосферный воздух, поверхностная вода, донные отложения,) уникальной экологической системы озера Байкал, включая зону влияния БЦБК.

Ключевые слова: мониторинг, озеро Байкал, стойкие органические загрязнители (СОЗ), атмосферный воздух, вода, донные отложения, почвы.

Abstract. The aim of a study is the investigate the levels of toxic pollutants (POPs, PAHs) in the environment of the unique ecological system of Lake Baikal.

There are presented levels of a wide range of pollutants, including POPs (organochlorine pesticides, polychlorinated biphenyls, toxaphenes), PAHs, in the environment (atmospheric air, surface water, bottom sediments, biological objects) of the unique ecological system of Lake Baikal, including the zone influence of BPPM for 2021-2022.

Key words: monitoring, Lake Baikal, persistent organic pollutants, ambient air, water, bottom sediments, soils.

Потенциальным источником поступления СОЗ в экосистему озера Байкал является территория недействующего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК), расположенного в г. Байкальске Иркутской области. Дать объективную оценку влияния этого источника и его вклада в формирование современных уровней содержания СОЗ на Байкале может только комплексный мониторинг СОЗ, в основу которого должны быть положены длительные наблюдения за уровнями содержания широкого спектра СОЗ в окружающей среде на единой методической основе (Самсонов и др., 2017, Запевалов и др., 2023).

При постановке данной работы сформулированы следующие задачи, которые необходимо решить в процессе мониторинга СОЗ уникальной экологической системы озера Байкал:

– получение информации об уровнях и динамике загрязнения атмосферного воздуха, поверхностной и глубинной воды озера Байкал широким спектром СОЗ, включенных в Стокгольмскую конвенцию о СОЗ;

– исследование сезонного поступления СОЗ в район оз. Байкал, в том числе за счет глобального и регионального атмосферного переноса и динамики изменения загрязнения воды токсичными компонентами СОЗ за счет глубинного перемешивания;

– получение информации об уровнях и динамике загрязнения окружающей среды широким спектром токсичных загрязняющих веществ на территории, непосредственно прилегающих к промплощадке БЦБК.

Для решения этих задач в 2021-2022 годах выполнялись следующие работы (рис. 118):

– регулярный отбор проб воздуха с использованием воздухофильтрующей установки МР-48-02, расположенных на территории метеостанции в г. Байкальске;

– ежегодные экспедиционные (с борта НИС «Профессор Вознесенский» Иркутского УГМС) исследования поверхностной и глубинной воды оз. Байкал на пяти станциях (разрез север-юг);

– ежегодные экспедиционные обследования территории, прилегающей к промплощадке БЦБК: почв (включая территорию г. Байкальска); а также воды и донных отложений акватории озера Байкал, примыкающей к БЦБК.

Химический анализ проб на содержание широкого спектра СОЗ и ПАУ проводили в аккредитованной лаборатории ФГБУ «НПО «Тайфун» методом хромато-масс-спектрометрии высокого разрешения и ВЭЖХ (Самсонов и др., 2017, Запечалов и др., 2023).

Атмосферный воздух. Атмосферный перенос СОЗ является одним из основных путей переноса антропогенных токсикантов в акваторию оз. Байкал. Регулярный мониторинг СОЗ и ПАУ в атмосферном воздухе начат в ноябре 2021 г. на МС Байкальск. В период с 24.11.2021 по 28.12.2022 г. было отобрано 29 проб атмосферного воздуха с недельной экспозицией. Обобщенные данные об уровнях содержания СОЗ и ПАУ приведены в табл. 50.

Годовая динамика концентраций ряда СОЗ носит сезонный характер. При положительных температурах (апрель-октябрь) средняя концентрация Σ ПХБ больше в 3,6, и Σ ДДТ в 4,7 раза по сравнению с холодным периодом (ноябрь-март, отрицательные температуры). Сезонный ход концентраций Σ ГХЦГ менее выражен, однако весной (март-май) уровни также выше в 1,6 раза, чем в холодный период (рис. 119).

В группе ХОП в атмосферном воздухе в наибольших количествах присутствовали ГХБ, альфа-ГХЦГ, 4,4'-ДДЕ. Во всех отобранных пробах также были идентифицированы в следовых количествах другие пестициды, такие как гептахлор, оксихлордан, хлордан и ноахлор.

Концентрация полибромированных дифениловых эфиров (ПБДЭ) была невелика. ПБДЭ идентифицированы только в 19% отобранных проб. Преобладал изомер ПБДЭ-209, вклад которого в среднем составляла 73% (масс) от суммы ПБДЭ.

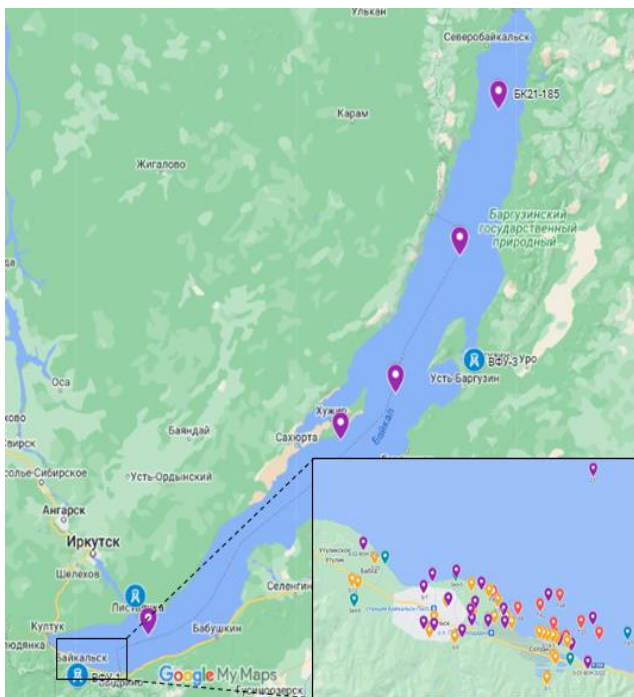










Рисунок 118. Карта-схема отбора проб атмосферного воздуха – , воды – , донных отложений оз. Байкал –  , донных отложений рек – , почв –   и биообъектов – 

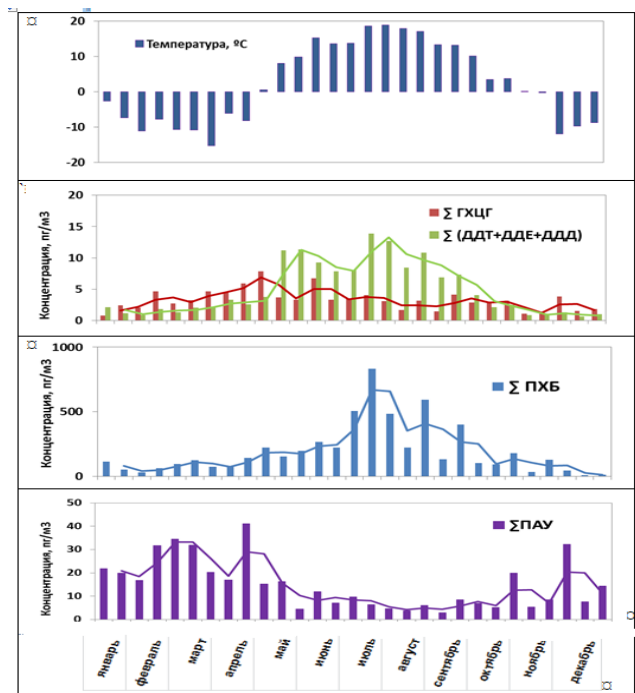


Рисунок 119. Годовой ход приземной температуры и концентраций Σ ГХЦГ, Σ ДДТ, Σ ПХБ, Σ ПАУ в г. Байкальске в 2022 году

Для ПАУ сезонный ход концентраций противоположен ХОП и ПХБ: с уменьшением температуры воздуха концентрации суммы ПАУ и бенз(а)пирена в воздухе увеличивались и превышала концентрации в теплый период в 2,7 и 4,6 раза, соответственно (рис. 119). Основной причиной увеличения концентраций ПАУ является сжигание топлива в зимний сезон.

Вода оз. Байкал. ПХБ в воде оз. Байкал представлены в основном конгенерами, содержащими от трех до шести атомов хлора. Суммарное содержание конгенов ПХБ для разных районов озера находится в диапазоне 1163-2249 пг/дм³ по данным измерений 2021 г. В зоне возможного влияния БЦБК измеренное содержание ПХБ на разных глубинах было выше и варьировало от 435 до 5841 пг/дм³. Во всех пробах воды присутствовали ХОП, в основном ГХБ, изомеры ГХЦГ, ДДТ и его метаболит ДДЕ в минимальных концентрациях (табл. 51). В 2022 г. ни в одной из проб не зарегистрированы изомеры токсафенов.

Донные отложения оз. Байкал. ПХБ были обнаружены во всех отобранных пробах донных отложений Байкала, суммарная концентрация Σ ПХБ варьировала в диапазонах от 0,19 до 15,0 мкг/кг в 2021 г. и от 0,10 до 28,5 мкг/кг в 2022 г. Максимальные уровни зафиксированы в точках на глубинах от 100 до 200 м на расстоянии до 400 м от береговой линии напротив БЦБК.

Таблица 50. Диапазон и средние значения концентраций загрязняющих веществ в пробах атмосферного воздуха в 2022 году (МС Байкальск)

Аналит	Диапазон	Среднее	Аналит	Диапазон	Среднее
Полихлорированные бифенилы, пг/м³			Хлорорганические пестициды, пг/м³		
ПХБ-28+ПХБ-31	2,2-51,6	13,0	Гексахлорбензол	0,88-36,5	7,3
ПХБ-52	1,1-98,0	18,6	α -ГХЦГ	0,86-6,0	2,5
ПХБ-101	0,50-102	20,2	β -ГХЦГ	0,01-0,92	0,29
ПХБ-118	0,40-80,3	17,6	γ -ГХЦГ	0,23-1,50	0,68
ПХБ-153+ПХБ-168	0,30-37,1	9,4	Σ ГХЦГ	1,12-7,85	3,4
ПХБ-138+ПХБ-158	0,30-36,6	8,3	2,4'-ДДЕ	0,05-0,56	0,21
ПХБ-180	0,10-7,0	1,3	4,4'-ДДЕ	0,31-6,1	2,2
Σ триХБ	2,2-55,5	15,1	2,4'-ДДД	0,03-0,68	0,21
Σ тетраХБ	3,6-286	56,2	4,4'-ДДД	0,01-0,97	0,33
Σ пентаХБ	1,7-419	91,5	2,4'-ДДТ	0,09-3,08	0,88
Σ гексаХБ	0,8-102	26,5	4,4'-ДДТ	0,08-2,82	1,1
Σ ПХБ	8,4-834	193	Σ ДДЕ+ДДД+ДДТ	0,62-13,8	4,9
Полибромированные дифениловые эфиры, пг/м³			Токсафены, пг/м³		
ПБДЭ-47	0,010-0,16	0,052	ТОХ 26	0,020-0,10	0,046
ПБДЭ-99	0,010-0,060	0,025	ТОХ 50	0,010-0,020	0,014
ПБДЭ-100	0,010-0,020	0,013	ТОХ 62	<0,01	–
ПБДЭ-183	0,010-0,070	0,033	Σ ТОХ	0,020-0,10	0,057
ПБДЭ-209	0,030-1,67	0,43			
Σ ПБДЭ	0,060-1,82	0,559			
Полициклические ароматические углеводороды, нг/м³					
1-Метилнафталин	0,0032-1,81	0,32	Бензо(а)антрацен	0,078-1,94	0,53
2-Метилнафталин	0,013-3,80	0,43	Хризен	0,11-2,06	0,67
Нафталин	0,0062-1,99	0,49	Бензо(б)флюорантен	0,053-3,74	1,22
Аценафтилен	0,0088-0,79	0,16	Бензо(к)флюорантен	0,012-5,98	0,60
Аценафтен	0,0045-0,58	0,14	Бензо(е)пирен	0,040-2,53	0,67

Флуорен	0,010-3,0	0,66	Бензо(а)пирен	0,0098-2,21	0,44
Фенантрен	0,066-12,7	3,84	Перилен	0,0018-0,24	0,06
Антрацен	0,072-1,95	0,44	Индено(1,2,3-сd)пирен	0,030-2,01	0,45
Флуорантен	0,064-5,67	2,01	Дибензо(а,h)антрацен	0,0041-0,19	0,03
Пирен	0,40-3,98	1,41	Бензо(g,h)перилен	0,035-1,70	0,47
			∑ ПАУ	2,90-41,1	14,9

Из группы ХОП в пробах донных отложений идентифицированы только ГХБ и метаболиты ДДТ (от 0,01 до 9,8 мкг/кг).

Почвы г. Байкальска. ПХБ были обнаружены во всех 35 отобранных в 2021-2022 гг. пробах почв. В составе конгенов ПХБ преобладают пента- и гексахлорбифенилы. Суммарная концентрация ПХБ в пробах изменяется в широких пределах от 0,98 до 674 мкг/кг (табл. 49). В 15 из 35 проб (43%) почв наблюдалось превышение ОДК ∑ПХБ. Максимальные значения ∑ПХБ (18,1 ОДК в 2021 г. и 33,7 ОДК в 2022 г.) были зафиксированы на территории промышленной площадки БЦБК вблизи шламонакопителя.

Содержание бенз(а)пирена в пробах почв варьировалось в диапазоне от 0,3 до 362 мкг/кг (18,1 ПДК), средняя концентрация 30,0 мкг/кг. Концентрации суммы ПАУ обнаруживались в диапазоне от 58,9 до 5396 мкг/кг, среднее содержание 784 мкг/кг.

Более подробная картина пространственного распределения ПХБ и ПАУ на территории, прилегающей к БЦБК, представлена в обзоре Росгидромета (Обзор, 2023).

Таблица 51. Диапазоны и средние значения концентраций СОЗ в воде, донных отложениях оз. Байкал и почвах г. Байкальска

Аналит	Вода оз. Байкал (2021)		Донные отложения оз. Байкал (2021)		Почвы г. Байкальска (2021-2022)	
	Диапазон, пг/дм ³	Среднее, пг/дм ³	Диапазон, мкг/кг	Среднее, мкг/кг	Диапазон, мкг/кг	Среднее, мкг/кг
Хлорорганические пестициды						
ГХБ	6,3-28,0	15,6	0,54-9,80	2,92	0,14-2,40	0,81
α-ГХЦГ	25,6-38,5	29,4	<0,05-0,07	0,018	<0,05-0,46	0,08
β-ГХЦГ	129-152	142	0,01-0,03	0,015	<0,05-0,57	0,06
γ-ГХЦГ	14,8-40,4	20,0	<0,05	–	<0,05-0,21	0,03
2,4'-ДДЕ	<1,0	–	0,01-0,04	0,012	<0,03-1,05	0,10
4,4'-ДДЕ	7,0-34,2	15,2	0,02-1,63	0,53	<0,03-11,0	0,84
2,4'-ДДД	<1,0	–	0,01-0,18	0,053	<0,03-0,70	0,09
4,4'-ДДД	<1,0	–	0,02-1,09	0,29	<0,03-8,06	0,43
2,4'-ДДТ	<1,0	–	0,01-0,04	0,021	<0,03-4,42	0,35
4,4'-ДДТ	12,9-48,4	25,0	0,05-0,39	0,17	0,02-24,4	1,51
Полихлорированные бифенилы						
∑триХБ	50,9-115	78,5	<0,01-0,36	0,1	0-7,32	0,31
∑тетраХБ	306-417	360	<0,01-3,73	1,24	0,11-25,83	3,53
∑пентаХБ	423-1068	666	0,17-6,02	2,77	0,40-188,6	21,04
∑гексаХБ	182-486	309	0,01-3,89	1,44	0,33-222,8	19,62
∑гептаХБ	61,9-249	154	0,01-1,83	0,43	0-203,7	8,27
∑октаХБ	<1,0	–	<0,01-0,36	0,03	0-42,0	1,40
∑ПХБ	1163-2249	1567	0,19-15,0	6,01	1,0-674,2	54,4
Токсафены						
Тох 26	<1,0	–	<0,01	–	<0,01	–
Тох 50	4,2-7,3	5,4	<0,01	–	<0,01	–
Тох 62	<1,0	–	<0,01	–	<0,01	–
Сумма Тох	4,2-7,3	5,4	<0,01	–	<0,01	–

Результаты проведенных работ позволили установить фактически сложившиеся на момент исследований (2021-2022 годы) уровни загрязнения природных сред (атмосферный воздух, вода, донные отложения, почва) и заложили основу долгосрочного мониторинга СОЗ на территории уникальной экологической системы озера Байкал.

Работа финансируется в рамках федерального проекта «Сохранение озера Байкал» национального проекта «Экология».

Список литературы

Запевалов М.А., Левшин Д.Г., Лукьянова Н.Н., Самсонов Д.П. и др. (2023) Загрязнение почв и сопредельных сред прибрежной зоны Южного Байкала токсичными химическими веществами, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 66-76.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год (2023) Ответственный редактор: д.г.н., проф. Г.М. Черногаева, URL: <https://www.meteorf.gov.ru/product/infomaterials/90/>, дата обращения 30.08.2023 г.

Самсонов Д.П., Кочетков А.И., Пасынкова Е.М., Запевалов М.А. и др. (2017) Содержание стойких органических загрязнителей в компонентах уникальной экологической системы оз. Байкал, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 105-115.

**УЧЕТ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ЛАНДШАФТА БОЛОТ ПРИ РАСЧЕТНОМ
МОНИТОРИНГЕ ЭМИССИИ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ
CONSIDERATION OF WETLANDS LANDSCAPE HETEROGENEITY BY
CALCULATED MONITORING OF GREENHOUSE GASES EMISSIONS**

Зинченко А. В., Ивахов В. И., Парамонова Н. Н., Привалов В. И.

Zinchenko A.V., Ivakhov V.M., Paramonova N.N., Privalov V.I.

Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова
Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

Аннотация. Проведено обобщение разработанной ранее авторами процессно-ориентированной модели, чтобы она могла описывать падение эмиссии метана если вода стоит над поверхностью болотной почвы. Предложена новая формула для зависимости коэффициента окисления метана от уровня болотных вод (УБВ). Проведены расчеты зависимости плотности потока метана в атмосферу от УБВ. Показано, что новая параметризация коэффициента окисления позволила объяснить наблюдаемую немонотонную зависимость плотности потока метана от УБВ

Ключевые слова: болота, эмиссия метана, уровень воды, процессно-ориентированная модель, окисление метана.

Abstract. A generalization of the process-based model developed earlier by the authors was carried out so that it could describe the drop in methane emission if the water stands above the surface of the wetland soil. A new formula is proposed for the dependence of the methane oxidation coefficient on the Wetlands Water Level (WWL). Calculations were made of the dependence of the density of the methane flux into the atmosphere on the WWL. It is shown that the new parametrization of the oxidation coefficient made it possible to explain the observed nonmonotonic dependence of the methane flux density on the WWL

Keywords: wetlands, methane emissions, water level, process-based model, methane oxidation.

Известно, что болота являются мощным природным источником метана (CH₄). Количественные оценки средней мощности этого источника и его изменчивости в зависимости от климатических условий содержат большие неопределённости (Calabrese et al., 2021). Болота являются также источниками и стоками диоксида углерода (CO₂), однако их вклад в общий баланс этого газа менее значителен, по сравнению с другими природными и антропогенными системами. Одним из основных факторов, определяющих интенсивность эмиссии метана из почв торфяных болот, является уровень болотных вод (УБВ). Ландшафт болот неоднороден, для него характерно сочетание участков с УБВ выше и ниже поверхности почвы. Положение УБВ зависит от многих факторов, одним из главных является интенсивность и продолжительность осадков. Согласно ряду оценок, потепление климата сопровождается ростом количества осадков, что должно сказываться на УБВ (Глаголев, 2012).

Влияние УБВ на эмиссию метана обычно объясняется в рамках следующей схемы: образование метана происходит ниже УБВ при анаэробных условиях, выше УБВ происходит метаноокисление (Зинченко и др., 2022). Из такой схемы следует, что эмиссия метана должна увеличиваться при повышении УБВ. Есть, однако, ряд наблюдений, показывающих, что зависимость эмиссии CH₄ от УБВ не монотонна. Например, из результатов измерений,

представленных в (Shannon, White, 1994) следует, что эмиссия метана возрастает при увеличении УБВ, но после превышении УБВ 10 см над поверхностью почвы начинает снижаться. Ряд аналогичных наблюдений описаны и обобщены в работах (Глаголев, 2012; Calabrese et al., 2021). В работе (Calabrese et al., 2021) введено понятие критического уровня затопления болот, при критическом УБВ эмиссия метана максимальна. Согласно измерениям, в разных частях земного шара значение критического уровня сильно зависит от местных условий, но в среднем оно близко к 50 см над поверхностью почвы (Calabrese et al., 2021).

Целью данной работы является обобщение разработанной ранее авторами процессно-ориентированной модели образования и эмиссии парниковых газов (Зинченко и др., 2022), таким образом, чтобы она описывала указанную выше немонотонную зависимость эмиссии метана от УБВ.

В основе расчета эмиссии метана лежит уравнение баланса массы в вертикально столбе единично сечения почвы, слоя наземной растительности (для северных болот наиболее характерной растительностью являются мхи) и слоя воды над поверхностью почвы:

$$\frac{dM}{dt} = P - E - P_{OX} \quad (1)$$

где M – интегральное содержание массы метана на единицу площади, P – скорость образования метана в столбе, E – плотность потока метана в атмосферу, P_{OX} – скорость окисления метана в столбе (CH_4 преобразуется в CO_2 и H_2O).

Если исключить краткосрочные неоднородности и рассматривать только медленную внутрисезонную и межгодовую изменчивость, то уравнение баланса (1) можно считать стационарным (Calabrese et al., 2021):

$$E = P - P_{OX} = P(1 - OX) \quad (2)$$

где OX – коэффициент окисления, который определяется, как часть образовавшегося метана, который окисляется в процессе его переноса в атмосферу. Согласно определению: $0 \leq OX \leq 1$. Система координат задается так, что ось z направлена сверху вниз, начало координат соответствует поверхности почвы. Над поверхностью почвы $z < 0$. Скорость образования метана в столбе ниже УБВ:

$$P = \int_D^H r(z) dz \quad (3)$$

где r – скорость образования метана в единице объема почвы ниже УБВ, H – глубина нижней границы активного слоя почвы, D – УБВ.

Значения $r(z)$ зависят от количества и качества субстрата и температуры на разных глубинах, подробное описание этих зависимостей и вычисления интеграла представлено в статье (Зинченко и др., 2022).

Значения OX зависят от УБВ (D) и температуры в зоне окисления (T). Окисление при $D \geq 0$ происходит в аэрированном слое почвы при $0 \leq z \leq D$ и в слое мха и других растений на поверхности болотной почвы, т. е. при $0 > z > Z_p$, где $Z_p < 0$ – высота верхней границы слоя растительности над поверхностью почвы (значения Z_p обычно порядка 10^{-1} метра). При $0 > D > Z_p$ окисление происходит только в слое растительности. Метанотрофные бактерии образуют симбиоз с некоторыми видами растений. Предполагается, что в тех частях наземных растений, которые затопляются водой процесс жизнедеятельности растений и ассоциированных с ними метанотрофов подавляется. При $D < Z_p$ окисление метана происходит в слое воды выше уровня растительности. Расчет процесса окисления CH_4 в водной среде учитывается в моделях газообмена в озерах, этот процесс зависит от концентрации кислорода, растворенного в воде (Степаненко и др, 2011). Болотная вода не является водой в химическом смысле слова, она представляет собой биохимическую систему. Теоретический расчет процессов окисления метана в указанных выше слоях представляет собой чрезвычайно сложную задачу. В работе (Зинченко и др., 2022) предложена параметризация коэффициента $OX(D, T)$ для случаев, когда $D > 0$. Эта параметризация содержит подгоночные параметры, подлежащие экспериментальному определению. Здесь предлагается обобщение этой параметризации, включающее условия, при которых УБВ выше уровня почвы ($D < 0$). Параметризация сконструирована таким образом, чтобы удовлетворять асимптотическим свойствам зависимости $OX(D, T)$ и общему характеру влияния переменных.

Если $D \geq 0$:

$$OX = OX_s + OX_p (1 - OX_p) \quad (4)$$

$$OX_s = 1 - \exp(-D/D_s Q^{(T-T_1)/10})$$

$$OX_p = OX_{p1} Q^{(T-T_1)/10}$$

Если $0 > D > Z_p$:

$$OX = OX_{p1} (1 - D/D_p) Q^{(T-T_1)/10} \quad (5)$$

Если $D < Z_p$:

$$OX = 1 - \exp((D - Z_p)/D_w Q^{(T-T_1)/10}) \quad (6)$$

Здесь OX_s , OX_p , коэффициенты окисления в слое почвы и слое растительности, соответственно, OX_{p1} – эмпирический параметр, коэффициент окисления во всем слое растительности при отсутствии затопления и стандартной температуре, D_s , D_w – эмпирические параметры (положительные), которые определяют чувствительность OX к изменениям УБВ, Q – температурный коэффициент, T_1 – стандартная температура.

В слое растительности задано линейное падение OX по мере приближения УБВ к верхней границе слоя растительности, что соответствует выключению затопленных частей наземных растений из процесса окисления метана. Как указано в (Глаголев, 2012) достаточно очевидно предположить, что если наземные растения находятся под водой, то их жизнедеятельность затруднена.

В данном разделе представлены примеры расчетов, использующих предложенную обобщенную параметризацию $OX(D, T)$.

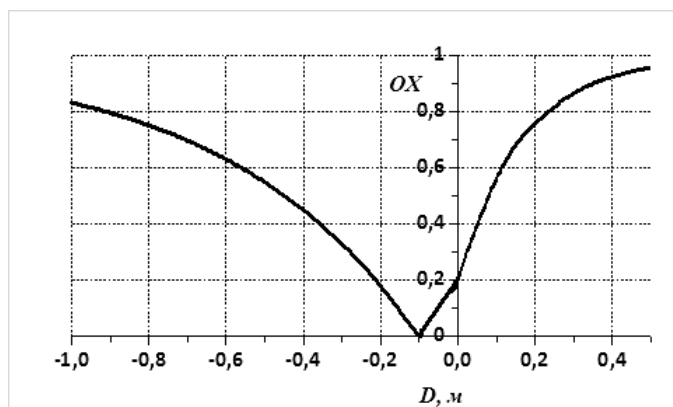


Рисунок 120. Рассчитанная по формулам (4) – (6) зависимость $OX(D)$. Заданные значения параметров: $OX_{pl}=0,2$; $Z_p=-0,1$ м; $D_s=0,17$ м, $D_w=0,5$ м

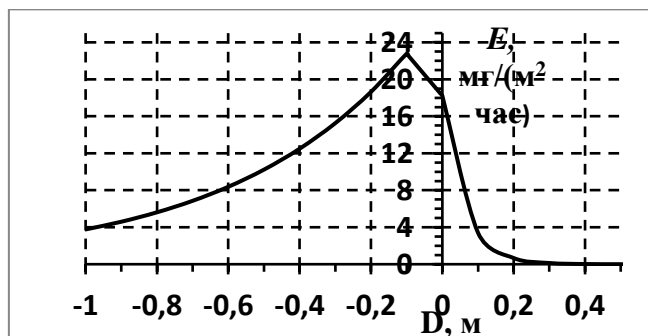


Рисунок 121. Рассчитанная по модели (Зинченко и др., 2022) зависимость плотности потока метана в атмосферу от УБВ

Использованные при расчёте значения OX представлены на рис. 119, $H = 0,5$ м, остальные параметры соответствуют значениям, использованным при расчете примеров в (Зинченко и др., 2022)

Обобщенная параметризация коэффициента окисления позволила объяснить наблюдаемую немонотонную зависимость плотности потока метана от УБВ. Данная зависимость может быть использована при расчётах потоков метана с неоднородных болот, периодически затопляемых водой. При искусственном затоплении болот, с целью сокращения эмиссии парниковых газов, важно обеспечивать УБВ не приближенный к критическому уровню, при котором эмиссия метана максимальна. Для территории России заболачивание является типичным явлением. Провести достаточное для инвентаризации количество прямых

измерений на столь большой территории не представляется возможным. Перспективным методом учета влияния болот на баланс парниковых газов в атмосфере является, по нашему мнению, метод расчетного мониторинга с использованием модельно-эмпирического подхода.

Список литературы

Глаголев М.В. (2012) Высокий уровень стояния воды может снижать эмиссию метана из почвы, *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата*, т. 3, № 1(5), с. 1-9.

Зинченко А.В., Привалов В.И., Ивахов В.И., Парамонова Н.Н. (2022) Модельно-эмпирический расчет потоков метана и диоксида углерода из почв торфяных болот, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 59-77.

Степаненко В.М., Мачульская Е.Е., Глаголев М.В., Лыкосов В.Н. (2011) Моделирование эмиссии метана из озер зоны вечной мерзлоты, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 47, № 2, с. 275-288.

Calabrese S., Garcia A., Wilmoth J.I., Zhang X., Porporato A. (2021) Critical inundation level for methane emissions from wetlands, *Environ. Res. Lett.*, vol. 16, pp. 1-10.

Shannon R.D., White J.R. (1994) A three-year study of controls on methane emissions from two Michigan peatlands, *Biogeochemistry*, vol. 27, pp. 35-60.

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОДЕЛИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА ДЛЯ
РАСЧЕТА ГРАНИЦ ПОВРЕЖДЕНИЯ И ГИБЕЛИ ЛЕСНЫХ ЦЕНОЗОВ ПОД
ВОЗДЕЙСТВИЕМ ТОЧЕЧНОГО ИСТОЧНИКА ПОЛЛЮТАНТОВ
USING THE MODEL OF SECOND ORDER PHASE TRANSITIONS TO CALCULATE
THE BOUNDARIES OF DAMAGE AND DEATH OF FOREST ECOSYSTEMS FROM A
POINT SOURCE OF POLLUTANTS**

Иванова Ю.Д.¹⁾, Суховольский В.Г.²⁾

Ivanova Yu.D.¹⁾, Soukhovolsky V.G.²⁾

¹⁾ Институт биофизики СО РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»
Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50-50

²⁾ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН»
Россия, 660036, г. Красноярск, ул. Академгородок, 50-28

Аннотация. Предлагается модель для описания изменений в экосистеме под воздействием точечного источника загрязнителей в зависимости от локальной концентрации загрязнителей и продолжительность их воздействия. Показано, что при достаточно простых предположениях о характере воздействия загрязнителя на биоту можно рассматривать этот процесс как экологический аналог фазовых переходов второго рода. Для анализа и верификации предложенной модели использованы данные о состоянии лесных экосистем вблизи мощного точечного источника загрязнителей ГМК «Норильский никель» в г. Норильске (Красноярский край).

Ключевые слова: лес, загрязнение, источник, воздействие, доза, реакция, модель, фазовый переход второго рода.

Abstract. A model is considered to describe changes in the ecosystem under the influence of a point source of pollutants depending on the local concentration of pollutants and the duration of their impact. It is shown that under fairly simple assumptions about the nature of the pollutant impact on the forest ecosystem, this process can be considered as an ecological analogue of second-order phase transitions. For the analysis and verification of this model, data on the state of forest ecosystems near a powerful point source of pollutants MMC Norilsk Nickel in Norilsk (Krasnoyarsk Territory) were used.

Keywords: forest, pollution, source, impact, dose, response, model, second-order phase transition.

Интерес к изучению влияния промышленных загрязнителей на природную среду прежде всего связан с решением практических задач по контролю состояния биоты и разработке мер по управлению природной. Для детального описания изменений в биоте в ответ как на прямые воздействия загрязнителей, так и на не прямые их воздействие, связанные с изменением взаимодействий компонентов экосистемы в процессе воздействия загрязнителей, необходимы специальные модели. Существуют модели, описывающие процессы распространения загрязнителей в воздушной или водной среде, которые основаны на аэродинамике переноса примесей (Ehrhard et al., 2000; Nuterman et al., 2010). Однако важно описать не рассеяние загрязняющих веществ, а их воздействия на биоту. Такие модели широко известны (Rapport, Whitford, 1999) и в них эффект воздействия загрязнителя на биоту связываются с локальной концентрацией C загрязнителя или с расстоянием L до источника загрязнителей.

В настоящей работе будут рассмотрены возможные подходы к описанию изменений в экосистеме при прямом и непрямым воздействием загрязнителей, существование латентного

периода и порогов в ответе биоты на воздействия, а также возможность адаптации компонентов биоты к внешним воздействиям и восстановление биоты после прекращения действия поллютантов. Для анализа и верификации предложенных моделей будут использованы имеющиеся литературные данные о состоянии лесных экосистем вблизи мощного точечного источника поллютантов в г. Норильске.

Для получения модели воздействия поллютантов на биоту будем говорить, что биота может находиться в одной из двух фаз – в невозмущенной фазе, при которой воздействия поллютантов не проявляются и состояние биоты определяется взаимодействием между компонентами биоты и воздействием таких модифицирующих факторов, как климатические. И в импактной фазе, когда состояние биоты во многом определяется воздействием поллютантов и постепенно начинает изменяться. В качестве характеристики состояния биоты введем некоторую величину q , которую по аналогии с характеристиками физических систем будем называть параметром порядка (Ландау, Лифшиц, 1964).

Простейшая модель фазового перехода второго рода рассматривает связь между некоторой макроскопической характеристикой состояния моделируемой системы q (эту переменную необходимо определить с учетом конкретных свойств моделируемой системы), и внешним фактором X , воздействующим на систему. Уравнение связи между этими переменными записывается следующим образом (Ландау, Лифшиц, 1964):

$$q^2 = \begin{cases} 0, & X > X_c \\ A - BX & X \leq X_c \end{cases} \quad (1)$$

где $0 < q < 1$, A и B – некоторые свободные параметры, X_c – критическое значение состояния внешней среды или продолжительности воздействия, по достижению которого происходит фазовый переход.

В качестве показателя параметра порядка q , характеризующего реакцию лесных насаждений на воздействие поллютантов, будем использовать величину $q(X) = 1 - \frac{V(X)}{V_0}$ (где $V(X)$ – выбранный показатель (фитомасса, доля здоровых деревьев в насаждении и др. в зависимости от значения внешнего воздействия X), V_0 – этот показатель в контрольных неповрежденных насаждениях, а X – характеристика воздействия. Во всех случаях величина параметра порядка изменяется от 0 до 1.

Определим $q(T)$ как долю живых деревьев в насаждении после воздействия поллютантов продолжительностью T . Для неповрежденных насаждений $q(T=0) = 1$, для погибших

насаждений $q(T > T_c) = 0$ (где T_c – критическая продолжительность воздействия). Как видно из (1), при значении $T > T_c$ $q=0$, то есть все деревья в насаждении погибают.

Для верификации модели фазового перехода использовались данные работы (Кирдянов и др., 2014), в которой приведены данные по отпаду деревьев с 1930 по 2010 гг. в насаждениях лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.), находившихся на удалении 22 км (пробная площадь Л22), 45 км (пробная площадь Л45), 68 км (пробная площадь Л68) и 85 км (пробная площадь Л85) от источника поллютантов – заводов ГМК «Норильский Никель». На пробных площадях Л22, Л45 и Л68 все деревья отпали к началу 70-х годов прошлого века, а на пробной площади Л85 к 2010 г. сохранилось примерно 10% от первоначального числа деревьев.

При построении модели фазового перехода второго рода в качестве параметра порядка будем рассматривать долю $q(L, T)$ живых деревьев в насаждении на расстоянии L от источника поллютантов, воздействующего на насаждение на протяжении T лет с начала работы предприятия. Для изучения отпада деревьев на пробных площадях далее рассматривается модель, в которой в качестве показателя интенсивности отпада используется параметр B , характеризующий уменьшение доли живых деревьев в течение года. В табл. 52 приведены коэффициенты уравнения (1) для всех пробных площадей за этот период. В насаждении Л22 можно выделить четыре основных фазы процесса отпада деревьев. До 1949 г. интенсивность отпада B была мала и характеризовала естественный отпад. В течение десяти лет (с 1953 по 1963 гг.) отпад деревьев возрос по сравнению с естественным отпадом почти на порядок. На третьей фазе отпад еще более увеличился и при такой интенсивности отпада к 1969 г. (примерно через $T_c = 18$ лет после начала воздействия) насаждение полностью погибло.

Таблица 52. Параметры уравнений (1) для всех пробных площадей

Пробная площадь	Годы	Параметры уравнения (1)			
		A	B	R^2	T_c , годы
Л22	1930-1949	0.999	0.004	0.994	249,8
	1953-1963	1.068	0.0326	0.97	32.8
	1964-1968	2.553	0.141	0.97	18.1
Л45	1937-1949	1.07	0.011	0.98	97.3
	1950-1953	1.12	0.031	0.99	36.1
	1954-1962	2.12	0.109	0.99	19.5
Л68	1964-1970	2.438	0.119	0.96	20.5
Л85	1950-1973	0.85	0.0044	0.91	193.2
	1974-1982	2.87	0.090	0.98	31.9

Наряду с описанием зависимостей отпада деревьев от расстояния L до источника поллютантов модель фазового перехода второго рода должна также описывать интенсивность отпада деревьев в насаждении в зависимости от дозы D воздействия, которую определим как

отношение продолжительности T воздействия к расстоянию L (или логарифму расстояния L) до источника загрязнителей. Можно определить две пороговые характеристики – дозу D_0 , при значениях меньше которой загрязнитель не воздействует на деревья, и дозу D_c , характеризующую такую интенсивность воздействия загрязнителя, при котором насаждение погибает $D_c = \frac{T_c}{\ln L}$. Для лесных насаждений с близким породным составом и возрастом критическая доза D_c воздействия загрязнителей, при достижении которой насаждение погибает, должна быть одинаковой независимо от расстояния от пробной площади до точечного источника загрязнителей (табл. 53).

Таблица 53. Параметры модели фазового перехода второго рода для связи между квадратом доли живых деревьев в насаждении и дозой воздействия загрязнителей

Расстояние L до источника, км	Параметры модели фазового перехода второго рода			
	A	B	R^2	D_c
22	1.30	0.78	0.97	1.67
45	1.13	0.62	0.96	1.82
68	1.25	0.70	0.96	1.78
85*	2.24	0.54	0.99	4.18
85**	1.13	0.59	0.98	1.93

* 1950 – 1973 гг.; ** после 1973 г.

И действительно, коэффициент вариации для приведенных в таблице 2 значений для пробных площадей Л22, Л45 и Л68 составляет около 4%, что вполне приемлемо для полевых данных. Для пробной площади Л85 значение D_c также оказывается близким к значениям D_c для прочих пробных площадей, если предположить, что латентный период для этого достаточно удаленного от источника загрязнителей насаждения больше, чем латентные периоды для насаждений на других пробных площадях.

Предложенная модель фазового перехода второго рода может быть использована при планировании наблюдений биоты вблизи точечных источников загрязнителей и оценки критических расстояний до источника загрязнения. Также модель применима и для планирования размещения промышленных объектов на территории. При классификации территории по степени экологического риска воздействия загрязнителей, можно, используя модель фазового перехода второго рода, определить расстояние L_c – границу, за которой начинается фоновая зона.

Список литературы

Кирдянов А.В., Мыглан В.С., Пименов А.В., Кнорре А.А., Экарт А.К., Ваганов Е.А. (2014) Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района, *Сибирский экологический журнал*, т. 21(6), с. 945-952.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. (1964) *Статистическая физика*, часть 1, М., Наука, 568 с.

Ehrhard J, Kunz R, Moussiopoulos N. (2000) On the Performance and Applicability of Nonlinear Two-Equation Turbulence Models for Urban Air Quality Modeling, *Environ. Monit. Assess.*, vol. 65, pp. 201-209.

Nuterman R.B., Baklanov A.A., Starchenko A.V. (2010) Modeling of aerodynamics and pollution dispersion from traffic in the urban sublayer, *Math Models Comput Simul.*, vol. 2(6), pp. 738-752.

Rapport D.J., Whitford W.G. (1999) How ecosystems respond to stress – Common properties of arid and aquatic systems, *Bioscience*, vol. 49(3), pp. 193-203.

РАЗРАБОТКА ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ШКАЛЫ ОЦЕНКИ ЖИЗНЕННОГО СОСТОЯНИЯ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

DEVELOPMENT OF A DIAGNOSTIC SCALE FOR ASSESSING THE VITAL STATE OF CONIFEROUS TREE-STANDS UNDER CONDITIONS OF TECHNOGENIC POLLUTION

Калугина О.В.¹⁾, Афанасьева Л.В.²⁾

Kalugina O.V.¹⁾, Afanasieva L.V.²⁾

¹⁾Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132

²⁾Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН,
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

Аннотация. На основе регрессионных зависимостей между уровнем техногенного загрязнения и индексами, характеризующими состояние ассимилирующей фитомассы деревьев *Larix sibirica* и эффективность их антиоксидантной системы, разработана диагностическая шкала, позволяющая ранжировать древостои по степени снижения жизненного состояния на загрязняемых территориях. Данная шкала позволяет выявлять изменения в состоянии древостоев на самых ранних стадиях, зачастую до появления внешних признаков ослабления.

Ключевые слова: диагностическая шкала, *Larix sibirica*, жизненное состояние древостоев, антиоксидантная система, техногенные эмиссии.

Abstract. Develop a diagnostic scale for ranking tree-stands according to the degree of decline in their vital state in polluted territories. To develop a scale, establish regression relationships between the level of technogenic pollution and indices characterizing of the assimilating phytomass state of *Larix sibirica* trees and the effectiveness of their antioxidant system. This scale makes it possible to detect changes in the state of tree-stands at the earliest stages, often before the appearance of external signs of weakening.

Keywords: diagnostic scale, *Larix sibirica*, vital state of tree-stands, antioxidant system, technogenic emissions.

Байкальский регион это богатейшая кладовая «зеленого золота», здесь произрастает 11,5% лесов всей России. По породному составу преобладают хвойные леса, где видами-доминантами являются лиственница сибирская (40%) и сосна обыкновенная (34%), меньшая доля приходится на кедр (15%), ель (7%) и пихту (4%). Леса как важнейший природный ресурс особо значимы для Байкальского региона, поскольку являются главным фактором, обеспечивающим устойчивость экосистемы уникального оз. Байкал и прилегающих к нему территорий. Они выполняют средообразующие, водорегулирующие, защитные и другие экосистемные функции. Структурная целостность и устойчивость лесов во многом зависят от воздействия неблагоприятных факторов. Кроме условно природных отрицательных явлений, таких как пожары, ветровалы, вспышки вредителей и эпифитотий, леса в полной мере ощущают на себе влияние промышленности, выражающееся в миллионах гектар ослабленных от техногенных эмиссий древостоев ценных хвойных пород.

На территории региона сосредоточен целый комплекс промышленных предприятий, относящихся к разным отраслям промышленности. Существенный вклад в загрязнение вносит

цветная металлургия, в частности алюминиевая промышленность. В силу технологической специфики алюминиевые заводы поставляют в атмосферу высокотоксичные вещества (1-3 класс опасности), такие как фторсодержащие соединения, диоксид серы, оксид углерода, аэрозоли тяжелых металлов, а также полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Оценка состояния лесов проводится с использованием различных программ, методов и подходов, в том числе международной ICP Forests. В основе большинства из них лежит определение жизненного состояния (ЖС) главного компонента – древостоя. Понятие ЖС включает в себя совокупность морфоструктурных и ростовых особенностей растительного организма, благодаря которым они фотосинтезируют, размножаются, эффективно используют ресурсы местообитания, а также успешно противостоят стрессовым воздействиям. Вместе с тем, существующие и успешно используемые методики и шкалы для оценки ЖС древесных растений, не отражают того, как деревья противостоят стрессовым воздействиям. Об этом можно судить по параметрам многокомпонентной системы антиоксидантной защиты (АОС), включающей низкомолекулярные метаболиты и антиоксидантные ферменты. Следовательно, дополнение шкал показателями, характеризующими эффективность работы АОС у деревьев, на наш взгляд, позволит более точно охарактеризовать ЖС того или иного древостоя в условиях техногенного загрязнения. Цель работы – разработать диагностическую шкалу оценки жизненного состояния лиственных древостоев, загрязняемых техногенными эмиссиями алюминиевого производства, с учетом показателей, характеризующих эффективность их защитной системы.

Исследования проводились на 18 пробных площадях (ПП), заложенных в радиусе до 100 км в разных направлениях от Братского алюминиевого завода (БрАЗа) – крупнейшего предприятия в стране и мире – с учетом преобладающего атмосферного переноса и рельефа местности. На обследованной территории доминируют древостои разнотравные, III класса бонитета, почвы дерново-карбонатные. На каждой ПП в середине вегетационного периода из средней части крон 5-6 деревьев 40-летнего возраста с южной и юго-западной сторон производили отбор хвои. В хвое определяли содержание элементов-поллютантов, основных низкомолекулярных метаболитов, а также активность антиоксидантных ферментов. Параметры флуоресценции хлорофилла измеряли с помощью импульсного флуориметра РАМ 2000 (Heinz Waltz, Germany) в полевых условиях в 9:00 утра в солнечную погоду.

Для ранжирования древостоев по степени снижения их ЖС из большого набора измеренных взаимно связанных параметров были выделены 2 группы наиболее репрезентативных. В первую группу вошли показатели, характеризующие состояние ассимилирующей фитомассы деревьев и ростовых процессов. К ним относятся: процент

зеленой хвои в кроне дерева (показатель, обратный уровню дефолиации), масса хвои на побегах, количество хлорофиллов ($a+b$) в хвое побега, величина соотношения белкового и небелкового азота в хвое, величина соотношения F_v/F_m – показателя максимальной фотохимической эффективности фотосистемы II. Эти показатели обнаруживают наиболее тесную отрицательную корреляционную связь с накоплением в хвое таких приоритетных поллютантов, как фтор, сера, кремний, суммой тяжелых и легких металлов, суммарным содержанием приоритетных ПАУ ($r = -0,479 \dots -0,771$, уровень существенности – 0,05, $n = 43$). Она выражается в нелинейном изменении выбранных величин с возрастанием суммарного содержания поллютантов в хвое (рис. 122). При увеличении концентрации загрязняющих элементов репрезентативные показатели постепенно снижаются, при этом значительный спад зачастую обнаруживается уже при возрастании количества поллютантов в 2 раза по сравнению с фоновым уровнем.

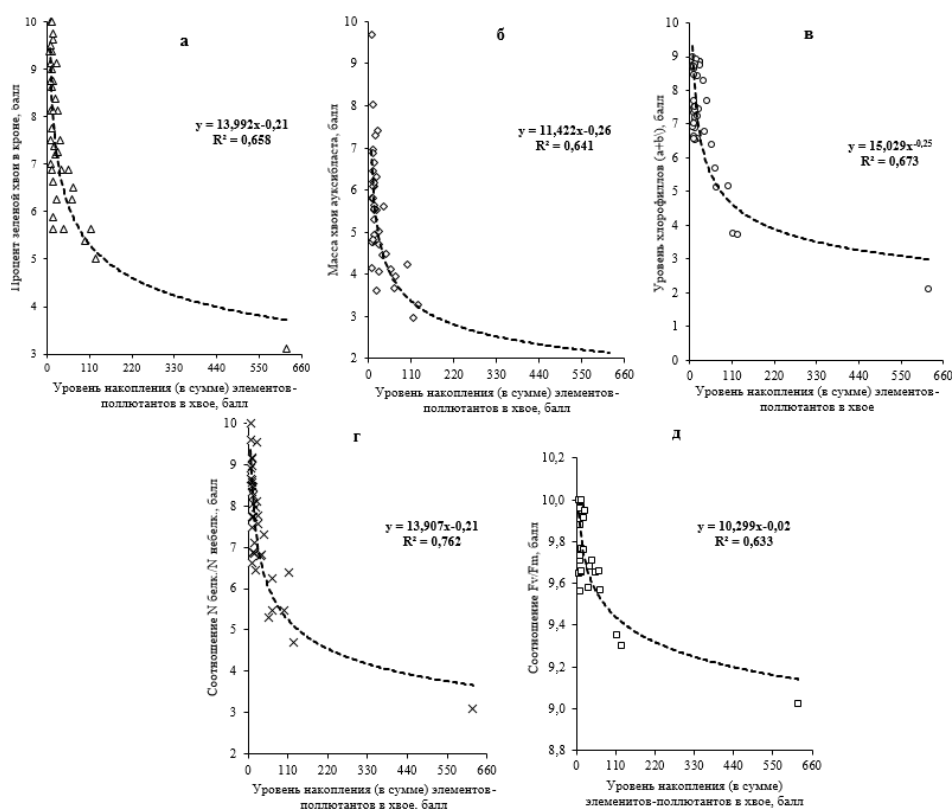


Рисунок 122. Изменение репрезентативных показателей состояния ассимилирующей фитомассы деревьев и ростовых процессов *L. sibirica* при накоплении загрязняющих элементов в хвое
Показатели*: а) процент зеленой хвои, б) масса хвои побега 2-го года жизни, в) уровень хлорофиллов ($a+b$), г) соотношение белкового и небелкового азота, д) соотношение F_v/F_m в хвое.

*Все показатели выражены в нормированных относительно фона единицах (баллах)

Во вторую группу вошли показатели, характеризующие эффективность работы АОС у загрязняемых деревьев. Это содержание низкомолекулярных метаболитов – пролина, катехинов, глутатиона и дигетогулоновой кислоты (ДКГК), а также активность фермента пероксидазы. В отличие от показателей 1 группы, они имеют достоверную положительную

корреляционную связь с накоплением в хвое приоритетных поллютантов ($r = 0,513-0,841$, уровень существенности – $0,05$, $n = 43$). Между ними выявлена схожая полиномиальная зависимость с высоким уровнем аппроксимации (рис. 123).

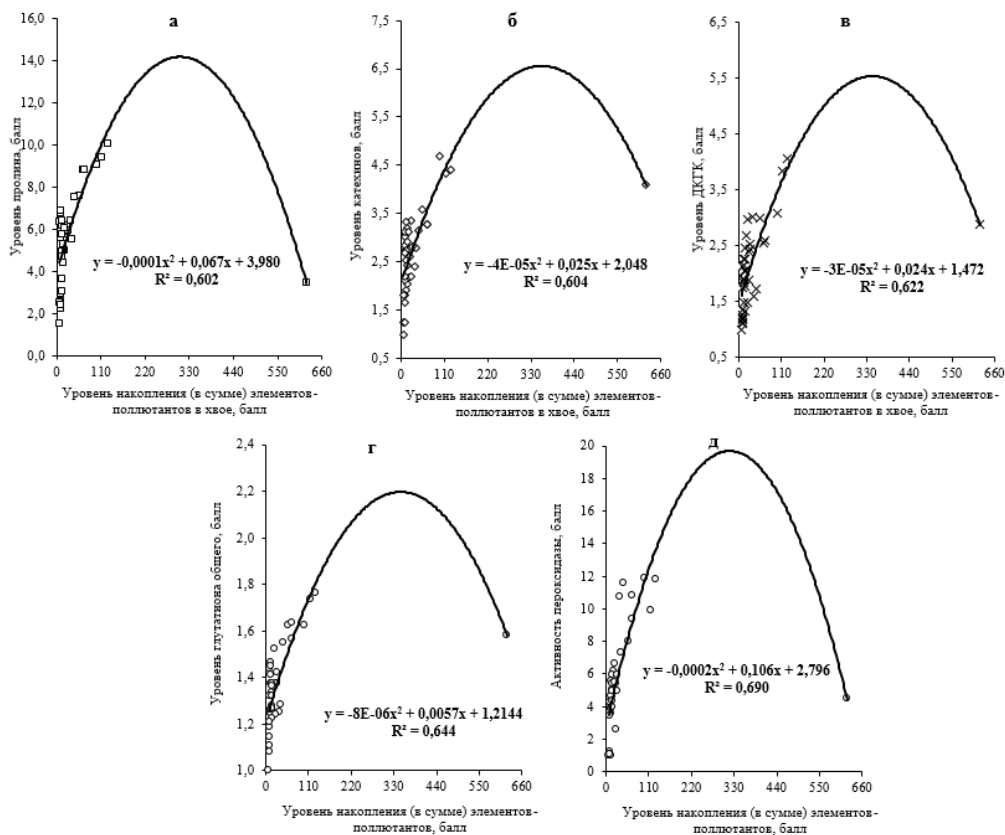


Рисунок 123. Изменение репрезентативных показателей эффективности работы антиоксидантной системы у *L. sibirica* при накоплении загрязняющих элементов в хвое

Показатели*: а) уровень пролина, б) уровень катехинов, в) уровень дикетоглуконовой кислоты, г) уровень общего глутатиона, д) активность пероксидазы в хвое.

*Все показатели выражены в нормированных относительно фона единицах (баллах)

На основе показателей, входящих в 1 группу, мы вычисляли усредненный индекс состояния ассимилирующей фитомассы и ростовых процессов деревьев на каждой ПП, заложенной на территории обследования. Аналогично рассчитали индекс эффективности работы АОС. Усредненные индексы рассчитывали, как средний балл от суммы пяти показателей, выраженных в единицах, нормированных относительно фоновых значений. Применяя регрессионный анализ, математически выявлялись зависимости между задаваемыми показателями, выраженными усредненными индексами, и ключевым параметром – степенью загрязнения (рис. 124).

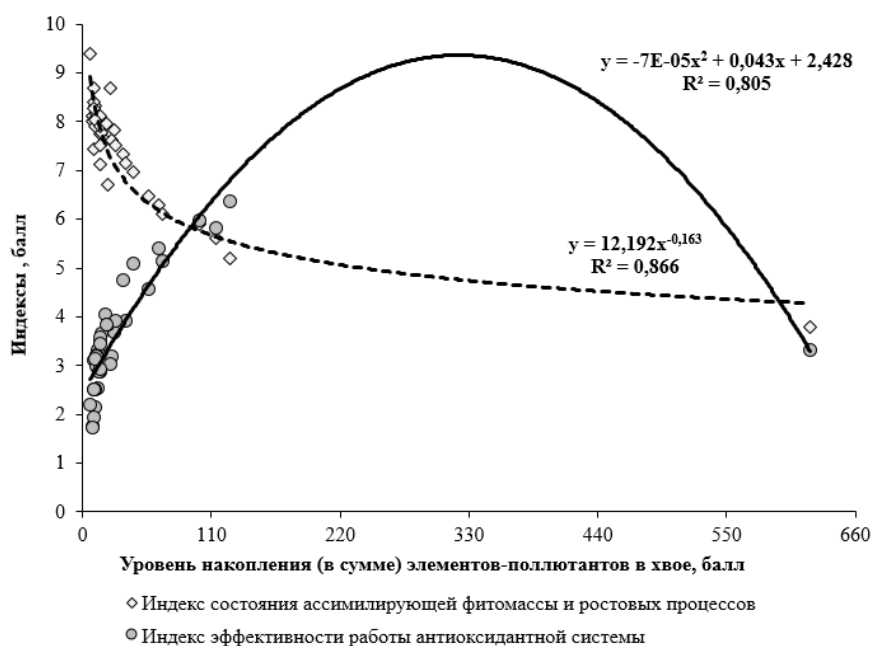


Рисунок 124. Зависимость между усредненными индексами состояния ассимилирующей фитомассы и ростовых процессов, эффективности работы антиоксидантной системы и уровнем загрязнения древостоев выбросами алюминиевого производства

На основании установленных зависимостей была построена шкала оценки степени снижения жизненного состояния лиственных древостоев (табл. 54) на территориях, загрязняемых выбросами БрАЗа. В соответствии с количественными данными репрезентативных показателей были выделены 5 уровней жизненного состояния древостоев: фоновые, со слабой, средней, сильной и критической степенью снижения жизненного состояния. Согласно шкале можно определить, на сколько процентов снижено жизненное состояние деревьев на конкретной ПП.

Таблица 54. Шкала оценки степени снижения жизненного состояния лиственных древостоев на территориях, загрязняемых выбросами алюминиевого производства

Степень снижения жизненного состояния, %	Индекс состояния ассимилирующей фитомассы и ростовых процессов, балл	Репрезентативные показатели состояния ассимилирующей фитомассы и ростовых процессов*					Индекс эффективности работы антиоксидантной системы, балл	Репрезентативные показатели эффективности работы антиоксидантной системы				
		% зеленой хвои в кроне дерева	Масса хвои на побегах 2-го года жизни, г	Содержание хлорофиллов в хвое побега 2-го года жизни, мг/массу побега	Соотношение N белк./N небелк.	Соотношение Fv/Fm		Уровень пролина в хвое, мг/г сухой массы	Уровень катехинов в хвое, мг/г сухой массы	Уровень ДКГК в хвое, мг/г сырой массы	Уровень глутатиона общего, мкмоль/г сырой массы	Активность пероксидазы, мкмоль/мг белка
Фоновые древостой (0-10)	8,5-10,0	75-80	2,49±0,2	3,90±0,3	6,08±0,9	0,79±0,02	1,0-2,2	0,84±0,03	11,78±0,9	0,05±0,01	0,57±0,06	0,025±0,004
Слабая (11-30)	7,1-8,4	61-74	1,59±0,1	3,27±0,2	5,23±0,6	0,77±0,01	2,3-3,5	1,91±0,3	23,47±2,8	0,09±0,02	0,65±0,08	0,088±0,009
Средняя (31-49)	5,2-7,0	45-59	1,32±0,1	2,18±0,2	4,35±0,5	0,75±0,02	3,6-4,7	4,78±0,7	29,83±3,1	0,12±0,01	0,73±0,07	0,148±0,034
Сильная (50-69)	4,3-5,1	31-44	0,91±0,1	1,67±0,1	3,47±0,5	0,73±0,02	4,8-6,4	6,31±0,6	42,85±3,5	0,18±0,04	0,87±0,09	0,321±0,062
Критическая (> 70)	<4,2	20-30	0,65±0,	1,06±0,1	1,97±0,3	0,70±0,01	3,1-3,6	3,23±0,3	34,11±1,7	0,13±0,02	0,80±0,04	0,113±0,014

*Величина показателей для каждого шага шкалы дана с учетом отклонений фактически полученных величин от рассчитанных по уравнению регрессии.

Установлено, что максимальное снижение (более 70%) ЖС древостоев наблюдается на локальном участке в промышленной зоне БрАЗа, снижение в пределах 50-69% обнаруживается в разных направлениях от завода на удалении до 10 км, на 31-49% характерно для древостоев на расстоянии 6-20 км от БрАЗа, на 11-30% – на расстоянии 21-35 км от БрАЗа. На остальной части обследованной территории изменения в жизненном состоянии лиственных древостоев минимальны, что позволяет охарактеризовать их как фоновые.

**МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ ЭОЛОВЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА АНАПСКОЙ
ПЕРЕСЫПИ**
**MONITORING OF THE DYNAMICS OF EOLIAN RELIEF FORMS OF THE ANAPA
BAY-BAR**

Крыленко М.В., Крыленко В.В.

Krylenko M.V., Krylenko V.V.

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, дом 36

Аннотация. Анапская пересыпь – это прибрежно-морская аккумулятивная форма, сложенная кварцевым песком с примесью ракушечного детрита. Наличие различных эоловых форм является характерной чертой рельефа Анапской пересыпи. Для мониторинговых наблюдений изменений эолового рельефа за период 2013-2021 год использовалось воздушное лазерное сканирование и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов. Целью данной работы является представление результатов мониторинговых наблюдений за динамикой эолового рельефа на примере северо-западного участка Анапской пересыпи. Мониторинг динамики эолового рельефа позволил зафиксировать формирование новой крупной дюны.

Ключевые слова: эоловые формы рельефа, Черное море, береговая зона, Анапская пересыпь, мониторинг.

Abstract. Anapa bay-bar is a coastal-marine accumulative form composed of quartz sand with an admixture of shell detritus. The presence of various eolian forms is a characteristic feature of the relief of the Anapa bay-bar. Aerial laser scanning and aerial photography from dron were used for monitoring observations of eolian relief changes for 2013-2021. The purpose of this work is to present the results of monitoring observations of the dynamics of the eolian relief on the example of the north-western section of the Anapa bay-bar. Monitoring of the eolian relief dynamics made it possible to record the formation of new large dune.

Keywords: eolian landforms, Black Sea, coastal zone, Anapa bay-bar, monitoring.

Анапская пересыпь является частью Черноморского побережья России, она простирается 47-километровой полосой от юго-восточной оконечности Таманского п-ова до мыса Анапский (рис. 125). На надводной части Анапской пересыпи прослеживаются три основных зоны: пляж, зона прибрежных дюн и зона бугристых песков, за которыми следует либо берег лимана, либо отмерший клиф.

Важным действующим природным фактором на Анапской пересыпи являются эоловые процессы, которые определяют надводный рельеф и пространственное перераспределение наносов, а также влияют на литодинамический бюджет наносов в береговой зоне пересыпи. Аккумулятивные эоловые формы имеются на всех частях Анапской пересыпи. Высота дюн чаще всего не превышает 2-5 м, но на некоторых участках достигает 15-20 м. Морфологически выделяются несколько генераций дюн разного возраста и гензиса. Наряду с аккумулятивными эоловыми формами отмечаются и дефляционные котловины, образование которых чаще всего приурочено к гидрогенно или техногенно поврежденным участкам дюн (Косьян и др., 2021).

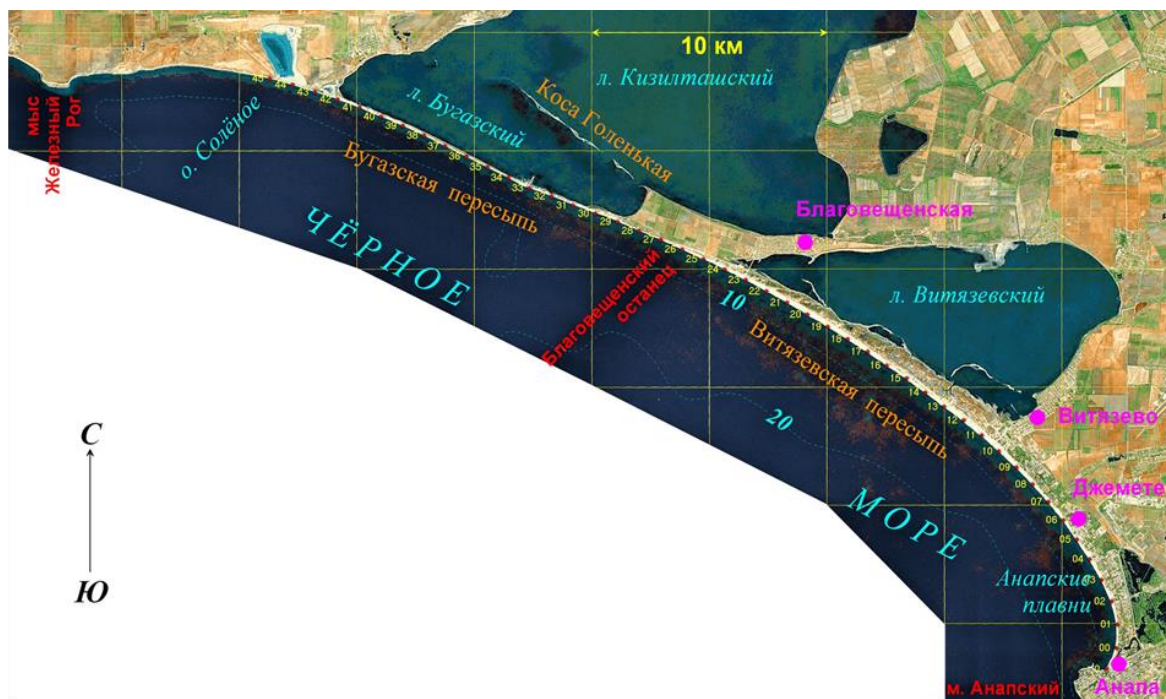


Рисунок 125. Анапская пересыпь и ее составляющие части

Геосистема Анапской пересыпи чрезвычайно динамична, многие компоненты её могут изменяться за короткий период. Наиболее актуальные и достоверные данные по современному состоянию этих компонентов могут давать натурные и дистанционные мониторинговые наблюдения. Целью данной работы является представление результатов мониторинговых наблюдений за изменениями эолового рельефа на примере северо-западного участка Анапской пересыпи (рис. 123).

В 2013 и 2015 гг. для мониторинговых наблюдений изменений эолового рельефа использовалось воздушное лазерное сканирование. С 2017 по 2021 год для анализа состояния и динамики рельефа использована технология аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с последующей фотограмметрической обработкой полученных высокоточных цифровых снимков (Voуko et al., 2015; Другов и др., 2021). Помимо плановой аэрофотосъемки, при съемке выполнена перспективная аэрофотосъемка (с наклоном оптической оси), позволяющая эффективно распознавать объекты местности и анализировать их пространственное взаимное положение. Наиболее эффективна перспективная аэросъемка при изучении берегов со сложным рельефом (в нашем случае – дюнный рельеф и высокий береговой обрыв) (Крыленко, Крыленко, 2020). Для повышения точности аэрофотосъемки производилось размещение наземных реперов для последующей привязки снимков. Определение координат наземных реперов производилось с помощью высокоточных систем

позиционирования GPS и ГЛОНАСС (Boyko et al., 2015). Полученные данные позволили построить цифровые модели эолового рельефа для ряда лет (рис. 126).

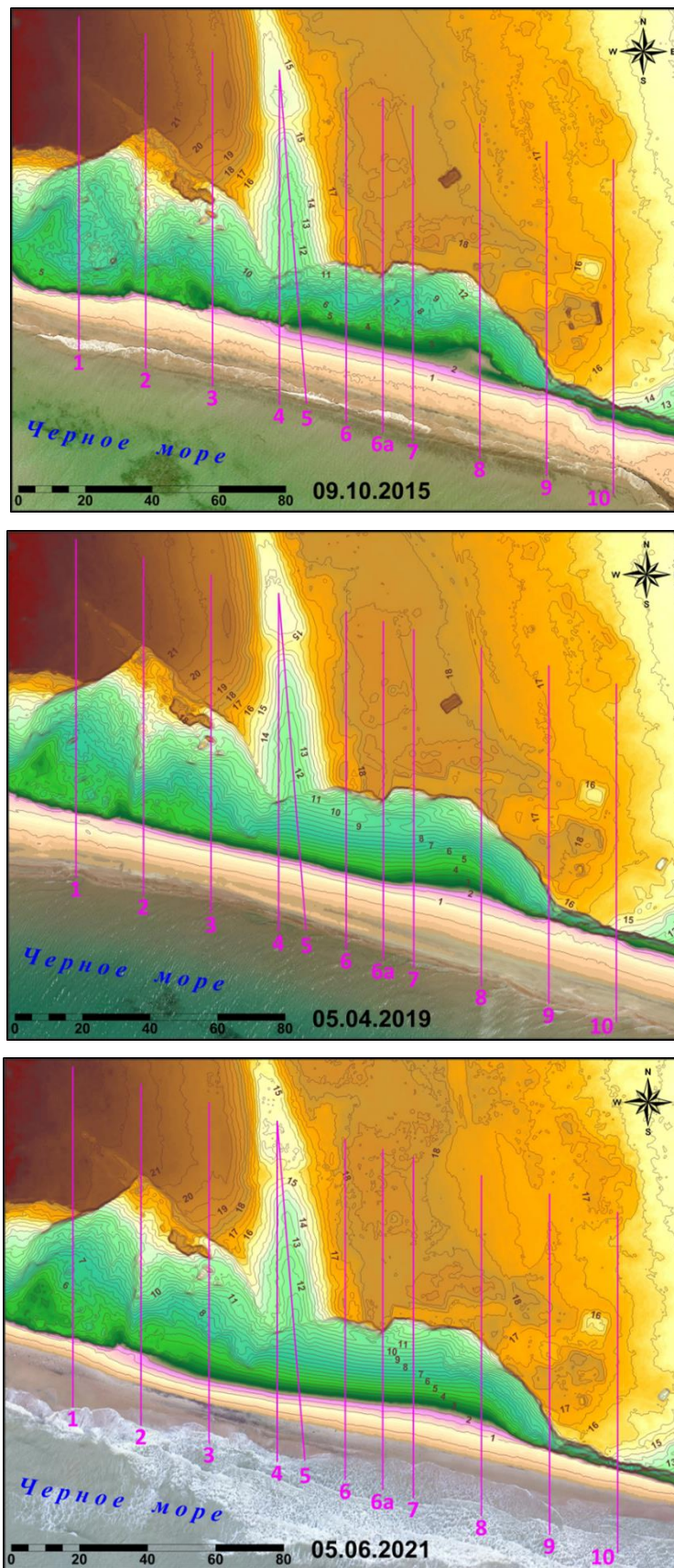


Рисунок 126. Цифровые модели рельефа северо-западной части Анапской пересыпи 2015, 2019 и 2021 года

Северо-западная оконечность Анапской пересыпи у оз. Солёное примыкает к суглинистому абразионно-оползневому уступу высотой до 25 м. В 2013-2014 г. ширина пляжа на участке была 2-5 м, эоловые формы отсутствовали. С 2015 года ширина пляжа начала увеличиваться, вдоль подножия клифа происходило накопление песка и формирование эоловой подушки, на вогнутом участке берега длиной около 50 м – образование прислоненной дюны.

Процесс продолжался несколько лет, в 2019 году высота прислоненной дюны достигла 10 м (рис. 126, 127), а к 2021 году сформировалась прислоненная дюна высотой 12-15 м. В центральной и юго-западной части прислоненной дюны между её гребнем и береговым обрывом образовался желоб, характерный для строения эхо-дюн и возникающий из-за завихрения ветрового потока у препятствия (Tsoar, 2001). В северной части высота прислоненной дюны достигла бровки берегового уступа, и ветропесчаный поток по дну эрозионного вреза начал поступать на поверхность коренного берега. Песок был перемещен ветром на расстояние до 50 м вглубь суши (рис. 128).



Рисунок 127. Сформированная прислоненная дюна в северо-западной части Анапской пересыпи (2020 год)



Рисунок 128. Формирование эолового рельефа на поверхности абразионного коренного берега

Таким образом, использование ЦМР, построенных по данным воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки разных лет, позволило проследить динамику рельефа эоловых форм. За шесть лет в северо-западной части Анапской пересыпи сформировалась

новая крупная прислоненная дюна, и начался эоловый транспорт песка на поверхность возвышенного коренного берега. При продолжении эолового транспорта песка с пляжа на данной поверхности начнется формирование дюнного комплекса, подобного дюнам Благовещенского останца (Krylenko, Krylenko, 2019).

Список литературы

Другов М.Д., Тутубалина О.В., Крыленко В.В. (2021) Оценка изменений рельефа береговой зоны по данным воздушного лазерного сканирования и съёмок с беспилотных летательных аппаратов, *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*, т. 18, № 2, с. 115-127.

Косьян Р.Д., Крыленко В.В., Крыленко М.В. (2021) *Геосистема Анапской пересыпи*, М., Научный мир, 264 с.

Крыленко М.В., Крыленко В.В. (2020) Особенности выполнения высокоточной съемки рельефа абразионного берега с помощью БПЛА, *Бюллетень науки и практики*, т. 6, № 2, с. 10-19.

Boyko, E., Krylenko, V., Krylenko, M. (2015) LIDAR and airphoto technology in the study of the Black Sea accumulative coasts, *Proc. SPIE 9535, Third International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment*, Cyprus, Pathos, 95351Q.

Krylenko M., Krylenko V. (2019) Dynamics of eolian forms on Blagoveschensky butte, *Proc. of the 14th MEDCOAST Congress, Turkey, Marmaris*, vol. 2, pp. 543-551.

Tsoar H. (2001) Types of aeolian sand dunes and their formation, *Geomorphological Fluid Mechanics, Lecture Notes in Physics*, Springer, Berlin, vol. 582, 27 p.

КРИОКОНИТЫ КАК ИСТОЧНИК СОЕДИНЕНИЙ ЛАБИЛЬНОГО УГЛЕРОДА И ЭКОТОКСИКАНТОВ ДЛЯ ПОЧВ ВЫСОКОГОРНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА ПРИМЕРЕ ПРИЭЛЬБУСЬЯ, ЦЕНТРАЛЬНЫЙ КАВКАЗ
CRYOCONITES AS A SOURCE OF LABILE CARBON AND ECOTOXICANTS FOR THE SOILS OF ALPINE ECOSYSTEMS OF THE ELBRUS REGION, CENTRAL CAUCASUS

Кушинов И.Д.¹⁾, Темботов Р.Х.^{1,2)}, Низамутдинов Т.И.¹⁾, Абакумов Е.В.¹⁾

Kushnov I.D.¹⁾, Tembotov R.H.^{1,2)}, Nizamutdinov T.I.¹⁾, Abakumov E.V.¹⁾

¹⁾ ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский Государственный университет
Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7-9

²⁾ ФГБУН Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН
Россия, 360051, Нальчик, ул. И. Арманд, д. 37а

Аннотация. Цель исследования – изучить способность ледниковых органоминеральных отложений - криоконитов, аккумулировать углерод органических соединений и некоторые тяжелые металлы, а также оценить их роль в геохимических циклах и загрязнении почв высокогорных экосистем. Для этого в криоконитах, отобранных с ледников южного склона г. Эльбрус, и локальных перигляциальных почвах были определены содержание общего углерода органических соединений, легко-минерализуемого углерода, уровни базального дыхания и концентрации некоторых тяжелых металлов (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) традиционными методами. В криоконитах были обнаружены высокие значения потенциально-минерализуемого углерода и базального дыхания, что указывает на высокую микробиологическую активность и возможность быстрого вовлечения углерода в биогеохимические циклы. Накопление общего углерода характерно для приледниковых почв. Криокониты активно накапливали тяжелые металлы, преимущественно цинк, что может быть связано с локальной антропогенной активностью. Миграция поллютантов в подчиненные геохимические ландшафты совместно с антропогенной деятельностью способна снизить качество почв Приэльбрусья.

Ключевые слова: ледниковые отложения, горные почвы, углерод органических соединений, тяжелые металлы, миграция элементов.

Abstract. The aim of the study is to investigate the ability of glacial organomineral sediments, cryoconites, to accumulate organic carbon and some trace elements, and to assess their role in geochemical cycles and soil contamination of high-mountain ecosystems. For this, the content of total organic carbon, easily decomposable carbon, basal respiration values and some trace elements (Cu, Zn, Ni, Pb, Cd) were determined in cryoconites sampled from glaciers of the southern slope of Elbrus and local periglacial soils using standard methods. High values of easily decomposable carbon and basal respiration were found in cryoconites, indicating high microbiological activity and the possibility of rapid carbon involvement in biogeochemical cycles. Accumulation of total carbon was typical for periglacial soils. Cryoconites actively accumulated trace elements, mainly zinc, which may be associated with local anthropogenic activity. Migration of pollutants into subordinate geochemical landscapes together with anthropogenic activity can lead to deterioration of the quality of soils in the Elbrus region.

Keywords: supraglacial sediments, mountainous soils, organic carbon, trace elements, migration of elements.

Проблемы глобального изменения климата, а также химического загрязнения и накопления поллютантов являются одними из важнейших в настоящее время в научной среде. При этом, горные и полярные регионы являются наиболее чувствительными как к антропогенному загрязнению, так и к изменению окружающей среды. Значимую роль в этих процессах играет черный углерод, который оседая из атмосферы в холодных территориях приводит к образованию специфических отложений на поверхности ледников – криоконитов.

Криокониты – темноокрашенные органоминеральные отложения, которые распространены в гляциальных зонах Земли, содержащие черный углерод, минеральные частицы, а также органические компоненты (Hodson et al., 2008). Они могут располагаться как в «стаканах», так и в трещинах, и на поверхности ледника. Криокониты способны накапливать углерод органических соединений, как автохтонный, так и аллохтонного происхождения, и характеризуются высокой микробиологической активностью. Кроме того, в ледниковых отложениях могут накапливаться различные загрязняющие вещества, в том числе тяжелые металлы. В теплый период года различные вещества и элементы могут переноситься в перигляциальную зону с потоками талой воды. Данная миграция может повлиять на геохимически подчиненные ландшафты, как увеличивая их уровень загрязнения, так и ускоряя развитие местных почв и почвоподобных тел.

Исследования проводили в Приэльбрусье, одном из наиболее высокогорных районов Кавказского хребта, где располагается множество горных ледников, в разной степени покрытых криоконитами и подверженных антропогенному воздействию. Миграция различных элементов с поверхности ледника в перигляциальную зону Приэльбрусья способна повлиять на состояние местных экосистем, что становится особенно актуальным в связи с развитием туризма вблизи г. Эльбрус и активной сельскохозяйственной деятельностью. Таким образом, целью данного исследования является изучение способности криоконитов ледников г. Эльбрус аккумулировать углерод органических соединений и некоторые тяжелые металлы, а также оценить их роль в геохимических циклах и загрязнении почв перигляциальной зоны.

Исследуемые территории представлены двумя ледниками на южном склоне г. Эльбрус: Малый Азау и Гарабаши; а также ущельем Терскол и Баксанским ущельем. В разных участках с ледников были отобраны образцы криоконитов и морены. В ущелье Терскол были отобраны пробы темно-гумусовых органо-аккумулятивных на моренных отложениях и торфяных эутрофных почв, в Баксанском ущелье – чернозем иллювиально-глинистый и почва органо-аккумулятивная темногумусовая на пролювиальных отложениях (Классификация..., 2004). В исследуемых образцах были определены значения общего углерода органических соединений (ТОС), потенциально-минерализуемого углерода ($C_{эГВ}$) и базального дыхания стандартными лабораторными методами (Воробьева, 1998; Шульц, Кершенс, 1996; Jenkinson, Powlson, 1974). Также были установлены концентрации меди (Cu), цинка (Zn), никеля (Ni), свинца (Pb) и кадмия (Cd) атомно-абсорбционным методом (РД 52.18.685, 2007). Для статистической обработки полученных данных использовались дисперсионный анализ (ANOVA) и коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

В результате исследований (табл. 55) обнаружено, что общий углерод органических соединений, за исключением торфяных почв, активнее всего накапливается в почвах ущелья Терскол на левом берегу реки (макс. 8,55 %), что выше, чем в более развитых почвах Баксанского ущелья и свидетельствует о переносе углерода с поверхности ледника в прилегающие почвы. На это также указывают низкое содержание углерода в криоконитах (до 0,92 %).

Таблица 55. Результаты проведенных анализов

Образец, место отбора	Глубина отбора, см	ТОС, %	C _{hwe} , мг/кг	Cu, мг/кг	Zn, мг/кг	Ni, мг/кг	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг
Криоконит, ледник Малый Азау	0-5	0,11	36,00	2,76	7,11	1,48	<0,10	0,14
	0-5	0,15	38,99	4,04	6,12	1,76	< 0,10	0,10
	0-5	0,52	209,94	10,29	36,07	11,63	11,49	0,57
	0-5	0,08	44,98	4,29	4,28	1,30	< 0,10	0,1
Криоконит и морена, ледник Гарабаши	0-5	0,07	29,98	4,64	5,46	1,80	< 0,10	0,05
	0-5	0,92	981,89	22,07	55,40	21,07	26,03	0,37
	0-5	0,37	50,99	5,34	8,66	1,70	< 0,10	0,07
	0-5	0,05	38,98	3,81	4,95	1,41	< 0,10	0,19
	0-5	0,13	65,97	4,38	9,01	3,91	2,81	0,27
Почва, ущелье Терскол	0-5	0,09	77,99	5,34	3,67	1,13	< 0,10	0,11
	0-10	0,78	86,96	2,37	8,42	2,02	1,32	0,12
	10-20	0,22	98,97	1,88	7,43	1,71	< 0,10	0,12
	20-35	0,14	50,97	1,89	7,43	1,62	0,24	0,11
	35-40	0,16	56,97	2,14	7,66	1,75	0,15	0,12
Почва, левый берег р. Терскол	0-7	8,55	761,24	7,75	64,40	6,35	8,23	0,41
	7-13	6,14	635,67	4,40	54,20	5,09	7,53	0,29
	13-25	2,01	95,95	2,35	49,73	3,06	7,62	0,23
Торфяная почва	0-10	28,69	1940,29	4,62	31,30	6,48	5,72	0,38
	10-30	19,21	1582,09	4,46	19,07	9,43	5,10	0,40
Почва, Баксанское ущелье	0-10	2,87	368,86	31,60	68,00	43,00	16,50	0,49
	10-20	2,18	158,92	27,00	64,40	36,30	14,60	0,55
	20-40	1,35	116,94	25,20	64,10	37,30	14,30	0,54
	40-...	1,83	128,93	27,40	66,70	40,40	16,30	0,58
Почва, Баксанское ущелье	0-10	3,70	206,90	28,70	64,20	27,70	13,50	0,71
	10-25	3,15	179,91	27,80	65,20	27,50	13,10	0,76
	25-...	1,89	119,94	25,10	59,60	29,70	12,20	0,60
Почва, Баксанское ущелье	0-15	1,80	122,94	17,60	48,60	27,40	10,60	0,48
	15-40	1,56	131,93	18,60	47,80	27,70	10,60	0,47

При этом, в некоторых образцах криоконитов отмечалось высокое содержание потенциально-минерализуемого углерода (макс. 981,89 мг/кг). Это также влияет на почвы прилегающего ущелья Терскол, где накопление C_{hwe} достигает 761,24 мг/кг в верхних горизонтах, а в торфяных почвах – до 1940,29 мг/кг, что в несколько раз превосходит

соответствующие значения в почвах Баксанского ущелья. Таким образом, поступление лабильного углерода с поверхности ледника в перигляциальную зону может оказать существенное влияние на углеродный цикл горных экосистем, а также ускорить развитие приледниковых почв. Стоит отметить, что при повышении содержания углерода наблюдалось увеличение микробиологической активности, особенно в криоконитах, что также подтверждено статистически значимой положительной корреляцией. Так, в образце с ледника Гарабаши были установлены наибольшие значения базального дыхания (до 66,89 мг CO₂ * 100 г в сутки) среди всех остальных изученных материалов, наименьшие значения составляли 15,70 мг CO₂ * 100 г в сутки. Максимальная микробиологическая активность среди почв была обнаружена в верхних горизонтах почвы на левом берегу р. Терскол, макс. 41,01 мг CO₂ * 100 г в сутки, минимальные, обнаруженные в другой точке отбора, составляли 11,49 мг CO₂ * 100 г в сутки. При этом, значения базального дыхания в почвах Баксанского ущелья колебались от 24,15 до 41,67 мг CO₂ * 100 г в сутки. Согласно анализу ANOVA, статистически достоверные различия только между содержанием углерода органических соединений в криоконитах и почвах ущелья Терскол, что подтверждает его активный перенос с поверхности ледника. Отсутствие значимых различий в остальных параметрах также указывает на схожесть материалов и роль участия криоконитов в процессе формирования приледниковых почв и почвоподобных тел.

Среди исследованных образцов, почвы Баксанского ущелья накапливали наибольшие концентрации тяжелых металлов, что связано с близостью к населенным пунктам и автодорогам, при этом установленные значения не превышают значения ПДК/ОДК (СанПиН 1.2.3685-21, 2021). Высокогорные участки находятся вдали от поселений и крупных автомагистралей, что обуславливает их меньшую степень загрязнения. Криокониты активно накапливают различные тяжелые металлы, содержание свинца (макс. 26,03 мг/кг) в отдельных изученных образцах является самым высоким. Кроме того, отмечаются высокие концентрации цинка (до 55,40 мг/кг), а также остальных тяжелых металлов в отдельных участках. Некоторые концентрации цинка и никеля незначительно превышают установленные ПДК/ОДК. Стоит отметить, что содержание поллютантов в криоконитах варьирует в зависимости от образца, что предположительно связано с близостью участков с высокими концентрациями к объектам туристической инфраструктуре: стоянкам канатной дороги, автодороге, кафе и проч. Перенос загрязненного материала приводит к миграции элементов в геохимически подчиненные ландшафты. Так, в приледниковых почвах ущелья Терскол преимущественно накапливается цинк (до 64,40 мг/кг), хотя и отмечалось повышение уровня многих тяжелых металлов в верхних горизонтах. Загрязнение исследуемых территорий цинком связаны как с локальным

геохимическим фоном, так и с наличием в прилегающем Баксанском ущелье Тырныаузского рудного месторождения с отвалами, загрязненный материал которого с ветровыми потоками переносится в высокогорную часть. За исключением меди, накопление которой выше в криоконитах, не обнаружено статистически значимой разницы между содержанием тяжелых металлов в криоконитах и приледниковых почвах. Стоит отметить, что, несмотря на меньшую токсичность, цинк и медь обладают более высокой миграционной способностью и их перенос в предгорные территории может привести к дополнительному загрязнению почв Баксанского ущелья, которые активно используются в сельском хозяйстве. При этом, статистически значимая корреляция обнаружена между всеми тяжелыми металлами, что косвенно указывает на единый источник происхождения антропогенного характера. Кроме того, положительная корреляция наблюдалась между тяжелыми металлами и углеродом органических соединений, что связано с фиксацией поллютантов в органическом веществе почвы с образованием комплексных соединений.

Таким образом, криокониты являются эффективным накопителем различных тяжелых металлов, миграция которых может привести к загрязнению геохимически подчиненных ландшафтов и почв перигляциальной зоны. Основным источником большинства поллютантов, предположительно, является антропогенная деятельность. Важную роль в фиксации тяжелых металлов играет органическое вещество почв, органогенные горизонты играют роль биохимического барьера. Содержание углерода органических соединений в приледниковых почвах высокое за счет его переноса с поверхности ледника. При этом, отмечались высокие значения потенциально-минерализуемого углерода как в криоконитах, так и в местных почвах. Это увеличивает уровни микробиологической активности, что в свою очередь может привести к ускорению развития первичных почв и почвоподобных тел на местах отступления ледника, а также к изменению углеродного цикла в горных экосистемах.

Благодарности: работа проведена при поддержке научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего», проект № 075-15-2022-322.

Список литературы

Воробьева Л.А. (1998) *Химический анализ почв*, М., Издательство МГУ, 272 с.

Классификация и диагностика почв России (2004) Авторы и составители: Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И., Смоленск, Ойкумена, 343 с.

РД 52.18.685 (2007) *Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений*, Нижний Новгород, Росгидромет, 33 с.

Шульц Э., Кершенс М. (1998) Характеристика разлагаемой части органического вещества почв и ее трансформации при помощи экстракции горячей водой, *Почвоведение*, т. 7, с. 890-894.

СанПиН 1.2.3685-21 (2021) *Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания*, М., Роспотребнадзор, 469 с.

Jenkinson D.S., Powlson D.S. (1976) The effects of biocidal treatments on metabolism in soil – V: a method for measuring soil biomass, *Soil Biology Biochemistry*, vol. 8, pp. 209-213.

Hodson A., Anesio A.M., Tranter M., Fountain A., Osborn M., Priscu J., Laybourn-Parry J., Sattler B. (2008) Glacial Ecosystems, *Ecological Monographs*, vol. 78, pp. 41-67.

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛИХЛОРИРОВАННЫХ БИФЕНИЛОВ В СИСТЕМЕ
АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ – ПОЧВА НА ЮЖНОМ ПОБЕРЕЖЬЕ ОЗЕРА БАЙКАЛ
DISTRIBUTION OF POLYCHLORINATED BIPHENYLS IN THE ATMOSPHERIC
AIR – SOIL SYSTEM ON THE SOUTHERN COAST OF LAKE BAIKAL**

Левшин Д.Г., Запечалов М.А., Бурков А.И.

Levshin D.G., Zapevalov M.A., Burkov A.I.

ФГБУ «Научно-производственное объединение «Тайфун»
Россия, 249038, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Победы, 4

Аннотация. Рассмотрены особенности распределения индикаторных конгенов полихлорированных бифенилов (ПХБ) в системе атмосферный воздух – почва на территории г. Байкальска. Установлено, что вероятным источником этих веществ в атмосферном воздухе является промышленная зона Байкальского целлюлозно-бумажного комбината (БЦБК).

Ключевые слова: озеро Байкал, полихлорированные бифенилы (ПХБ), атмосферный воздух, почвы, фугитивность.

Abstract. The features of the distribution of indicated congeners of polychlorinated biphenyls (PCBs) in the ambient air – soil system on the territory of the city of Baikalsk are considered. It has been established that the probable source of these substances in the atmospheric air is the industrial zone of the Baikal Pulp and Paper Mill (BPPM).

Keywords: Lake Baikal, polychlorinated biphenyls (PCBs), atmospheric air, soils, fugacity.

Полихлорированные бифенилы входят в группу стойких органических загрязнителей (СОЗ), обладающих токсичностью, стойкостью и потенциалом биоаккумуляции (Wang et al., 2008). Соединения этой группы способны длительно сохраняться в окружающей среде и накапливаться по пищевым цепям. На побережье Южного Байкала сосредоточено основное население Центральной экологической зоны, проходят Транссибирская железная дорога и автомагистраль, сосредоточены крупные города и посёлки, горнорудные предприятия и промышленная площадка Байкальского целлюлозно-бумажного комбината. Влияние деятельности БЦБК на окружающую среду до настоящего времени оценены не полностью.

Цель настоящего исследования – рассмотреть сезонное распределение ПХБ в системе атмосферный воздух – почва на территории г. Байкальска.

Отбор проб атмосферного воздуха проводили с использованием воздухофильтрующей установки (ВФУ) модификации МР-48-02 производства ФГБУ «НПО «Тайфун» на соответствующие аэрозольные фильтры TFAG41 и сорбенты PUF. ВФУ была установлена на метеорологической станции в г. Байкальске (рис. 129). Длительность отбора каждой пробы составлял около 7 суток, объем каждой пробы 4000-5000 м³. Отбор проб проводился в круглосуточном режиме в первую и третью неделю каждого месяца начиная. Всего в период с 24.11.2021 по 28.12.2022 г было отобрано 29 проб атмосферного воздуха с недельной экспозицией.

В 2021-2022 гг. были проведены экспедиционные работы по установлению уровней загрязнений почв на территории г. Байкальск и непосредственно на территории

промплощадки БЦБК. Карта-схема обследуемой территории с указанием точек отбора проб приведена на рис. 129.

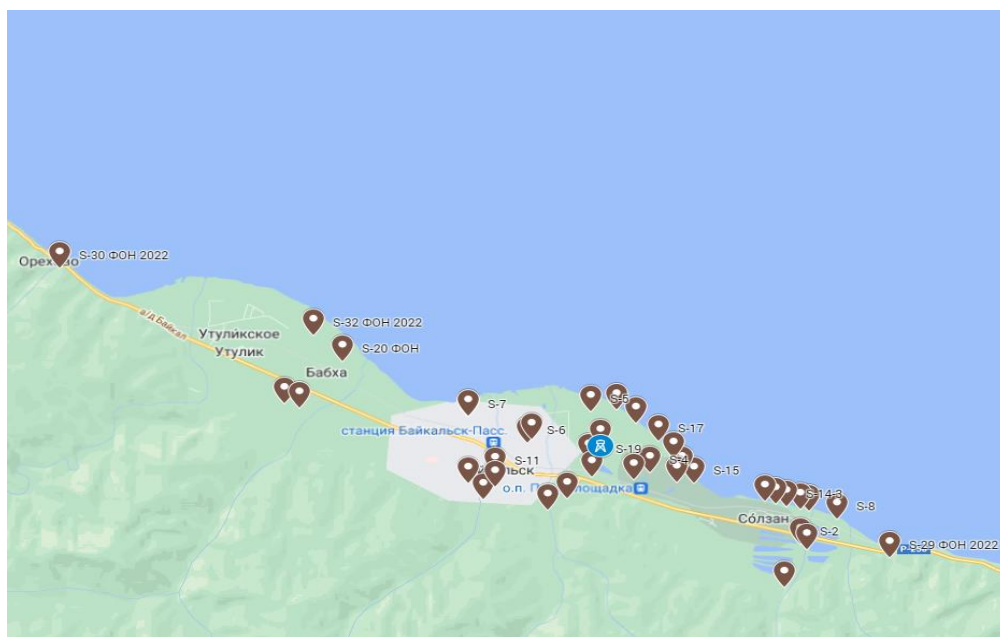


Рисунок 129. Карта-схема отбора проб почв – ♥ и атмосферного воздуха – ♥

Точечные пробы отбирали методом конверта в соответствии с (ГОСТ 17.4.4.02-2017) до глубины 20 см по диагонали так, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для исследуемых почвенных горизонтов и ключевых участков. Пробы объединяли в одну и упаковывали в алюминиевую фольгу. Суммарно было отобрано 35 проб почв, из них 20 проб – в 2021 году и 15 проб – в 2022 году.

ПХБ были количественно определены во всех отобранных пробах почв и атмосферного воздуха. Методика анализа подробно описана в статье (Запечалов и др., 2023). Обобщенные данные об уровнях содержания индикаторных конгенов ПХБ (диапазоны и средние значения концентраций) в пробах атмосферного воздуха и почв приведены в табл. 56.

Измеренные концентрации индикаторных конгенов ПХБ в пробах почв и атмосферного воздуха использованы для определения направления их переноса в системе атмосферный воздух – почва. С этой целью был применен подход, основанный на расчете фугитивностей – параметров, пропорциональных массовой концентрации вещества и учитывающих его индивидуальные физико-химические свойства (Parnis, Mackay, 2021).

Таблица 56. Диапазон и средние значения концентраций ПХБ в отобранных пробах

Аналит	Атмосферный воздух		Почва	
	Диапазон	Среднее	Диапазон	Среднее
	нг/м ³		мкг/кг	
ПХБ-28	2,2-51,6	13,0	<0,01-6,33	0,29
ПХБ-52	1,1-98,0	18,6	0,02-8,98	0,98

ПХБ-101	0,50-102	20,2	0,06-30,9	3,73
ПХБ-118	0,40-80,3	17,6	0,07-44,0	5,43
ПХБ-138	0,30-36,6	8,3	0,14-78,8	7,38
ПХБ-153	0,30-37,1	9,4	0,06-82,1	6,65
ПХБ-180	0,10-7,0	1,3	<0,01-79,4	3,17

Фугитивность (летучесть) определяется как способность соединения переходить из одного компонента (объекта) окружающей среды) в другой и на основе имеющихся данных наблюдений позволяет характеризовать его перенос в окружающей среде.

Расчет доли фугитивности конгенеров ПХБ в системе атмосферный воздух – почва выполняли по следующей формуле (Harner et al., 2001):

$$ff = \frac{f_s}{(f_s + f_a)}, \quad (1)$$

где ff – доля фугитивности; f_s – фугитивность соединения в почве; f_a – фугитивность соединения в атмосферном воздухе.

Если $ff < 0,3$, то предполагается преобладание процессов осаждения над испарением. При $ff > 0,7$ преобладает испарение над осаждением, а доля фугитивности в диапазоне от 0,3 до 0,7 рассматривается как равновесие (Harner et al., 2001).

Фугитивность соединения в воздухе или почве рассчитывали исходя из массовой концентрации C с использованием уравнения (Parnis J. and Mackay D., 2021):

$$f = \frac{C}{Z * M}, \quad (2)$$

где M – молекулярная масса (г/моль), а Z – параметр, связывающий концентрацию и фугитивность для соединения (моль/(м³*Па)).

Концентрации в почве были рассчитаны на основе среднего арифметического значения двенадцати проб почв, отобранных на территории промплощадки БЦБК. Коэффициент Z_a , для воздуха, определяли по формуле:

$$Z_a = \frac{1}{R * T}, \quad (3)$$

где R – газовая постоянная (8,314 Дж/(моль*К)), а T – абсолютная температура.

Коэффициент Z_s для почвы рассчитывали по уравнению (Harner, T., 2001) :

$$Z_s = \frac{0,411 * f_{OC} * p_s * K_{OA}}{R * T}, \quad (4)$$

где f_{OC} – доля органического углерода, p_s – плотность почвы (г/м³), а K_{OA} – коэффициент разделения смеси октанол/воздух.

Для расчетов использовали данные о среднесуточной температуре атмосферного воздуха в г. Байкальске, размещенные на электронном сайте (<https://www.gismeteo.ru>). Массовую долю органического углерода определяли согласно (ГОСТ 26213-91).

Распределение доли фугитивности индикаторных ПХБ в разные периоды времени в 2022 году представлены на рис. 130.

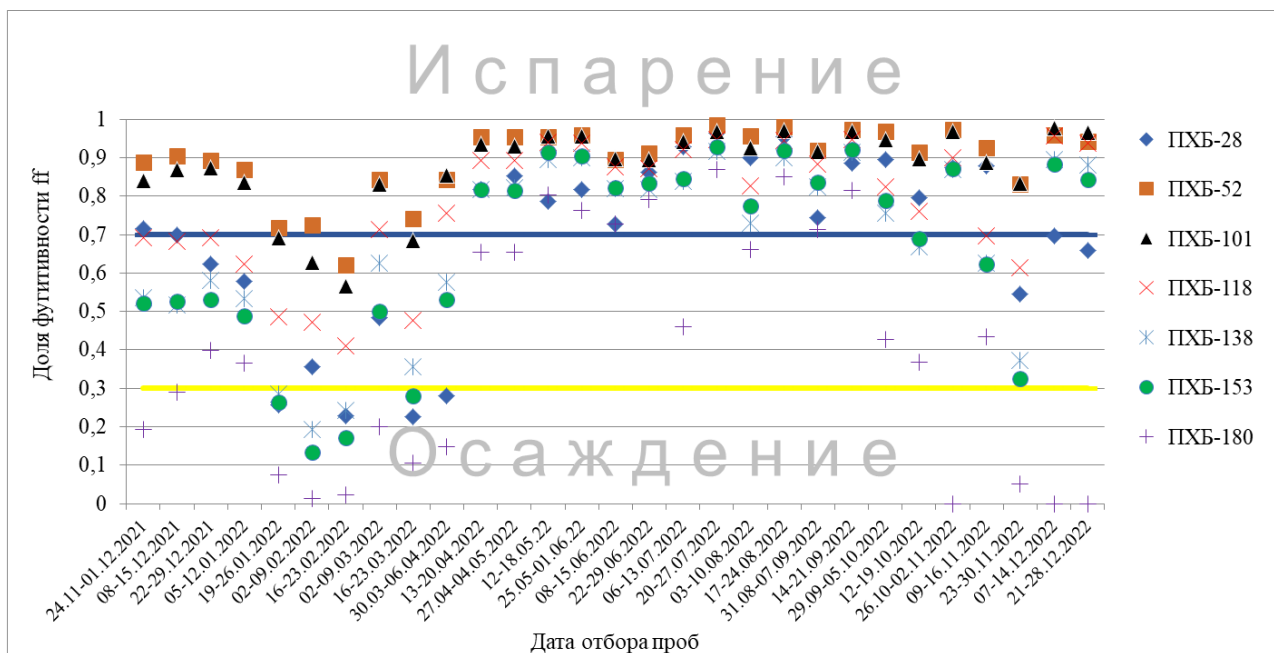


Рисунок 130. Доля фугитивности конгенов ПХБ, рассчитанная по данным наблюдений на МС Байкальск в 2022 году

По результатам расчетов доли фугитивности (рис. 130) можно сказать, что для всех конгенов ПХБ течение года преобладает испарение с поверхности земли (63,5 % от общего числа проб), тенденция к осаждению ПХБ из атмосферы наблюдалась 9,9 % случаев, в 26,6 % случаев ПХБ находились в состоянии равновесия. При этом наблюдаются очевидные сезонные колебания: преобладание испарения ПХБ в теплое время года (весна, лето, осень). С наступлением отрицательных температур и установлением снежного покрова на поверхности земли система переход в равновесие или происходит осаждение.

Проведенные расчеты подтверждают, что низкохлорированные конгены ПХБ-28 и ПХБ-52 с более низкими молекулярными массами, проявляют большую склонность к испарению по сравнению с более тяжелыми ПХБ-153 и ПХБ-180 (рис. 130).

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли вторичных источников поступления ПХБ в экосистему озера Байкал за счет испарения с поверхности (почвы, отходы). Вклад вторичных источников может возрастать в будущем в связи с климатическими изменениями.

Финансирование работ осуществляется в рамках федерального проекта «Сохранение озера Байкал» национального проекта «Экология». Анализ проб выполнен в лаборатории ИПМ ФГБУ «НПО «Тайфун» (аттестат аккредитации №РА.RU.21BA01).

Список литературы

ГОСТ 17.4.4.02-2017 (2018) *Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа*, М., Стандартинформ, 14 с.

ГОСТ 26213-91 (1992) *Почвы. Методы определения органического вещества*, М., Издательство стандартов, 8 с.

Запевалов М.А., Левшин Д.Г., Лукьянова Н.Н., Самсонов Д.П. и др. (2023) Загрязнение почв и сопредельных сред прибрежной зоны Южного Байкала токсичными химическими веществами, *Метеорология и гидрология*, № 4, с. 66-76.

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2022 год (2023) М., Росгидромет, 215 с.

Harner T., Bidleman T.F., Jantunen L.M.M., Mackay D. (2001) Soil-air exchange model of persistent pesticides in the US cotton belt, *Environmental Toxicology and Chemistry*, vol. 20, pp. 1612-1621.

Parnis J., Mackay D. (2021) *Multimedia environmental models the fugacity approach*, Third edition, Taylor & Francis Group, 303 p.

Wang D.G., Yang M., Jia H.L., Zhou L., Li Y.F. (2008) Levels, distributions and profiles of polychlorinated biphenyls in surface soils of Dalian, China, *Chemosphere*, vol. 73, pp. 38-42.

МОНИТОРИНГ СОВМЕЩЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

MONITORING OF COMBINED PRODUCTIONS

Мурзакматов Р.Т., Шиишкин А.С.

Murzakmatov R.T., Shishikin A.S.

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/28

Аннотация. Слежение и прогноз проектируемого предприятия в тундре на уже деградированной промышленной деятельностью природной среде, достаточно редкое явление, особенно в Сибири. При организации мониторинга естественно нужно оценить фоновое состояние, учитывая изменения в природной среде, которые возникли в результате деятельности прежнего производства. В сообщении приводятся параметры проектируемого и обращается внимание на заложенные мониторинговые объекты для прежнего производства. Аэротехногенное загрязнение прежнего и механическое нарушение рельефа проектируемым производством методически достаточно легко разделяются. Минимальный ущерб фоновому состоянию природной среды проектируемого производства может заключаться в нарушении гидрологического режима ландшафта и геоморфологии рельефа.

Ключевые слова. Черногорский ООО ГОК, НГМК, мониторинг, совмещение воздействия, карьер.

Abstract. Tracking and forecasting of a projected enterprise in the tundra in a natural environment already degraded by industrial activity is a rather rare phenomenon, especially in Siberia. When organizing monitoring, it is naturally necessary to assess the background state, taking into account changes in the natural environment that have arisen as a result of the activities of the previous production. The report gives the parameters of the projected one and draws attention to the monitoring facilities laid down for the previous production. Aerotechnogenic pollution of the former and mechanical disturbance of the relief by the designed production are methodically quite easily separated. The minimum damage to the background state of the natural environment of the projected production may be in violation of the hydrological regime of the landscape and the geomorphology of the relief.

Keywords. Chernogorsky LLC GOK, NMMS, monitoring, combination of impact, quarry.

Введение. Черногорский ООО ГОК расположен в 8 км на юг от г. Норильска (N 69°11¹, E 88°20¹). Проектируемая система водоснабжения предназначена для обеспечения водой потребностей объектов ООО ГОКа, связанной с обогащением добытой руды. Источником водоснабжения хозяйственно-питьевой водой служит Ергалахский водозабор грунтовых вод, расположенный в долине р. Ергалах в 4,5-5,0 км от проектируемой площадки обогатительной фабрики. Протяженность каждой нитки (всего две) проектируемого водовода 4996,4 м.

Начало трассы газопровода предназначенный для нужд Черногорского ООО ГОКа, проходит в 4 км восточнее г. Норильска, и составляет 125 га протяженностью 22 км.

В Черногорский ООО ГОК входят: служба экстренного реагирования, ТЭЦ, склад ГСМ, обогатительная фабрика, фильтрация хвостов, буферный склады, карьер, отвалы, дороги, ЛЭП, водоотводные каналы и пруды накопители, вахтовый поселок и др.

Подъездная автомобильная дорога к Черногорскому месторождению в 5 км к юго-востоку от г. Норильска и примыкает к существующей сети промышленных автомобильных дорог Заполярного филиала ОАО ГМК «Норильский никель» (НГМК) в районе Никелевого завода. По материалам дешифрирования космической съемки высокого разрешения на текущее время (2022 г) автомобильная дорога составляет – 13,4 га, озера – 0,3 га, озерно-бугристый ландшафт – 43,4 га, откос дороги – 3,4 га, реки и пойма – 5,2 га, техногенно

нарушенная часть – 26,4 га. Ко времени создания Черногорского ООО ГОКа аборигенная растительность коренным образом трансформирована никелевым заводом НГМК, древостои и редины лиственницы полностью усохли и частично выпали, прошел пожар. В настоящее время прежнее металлургическое производство НГМК (работало с 1935 г) закрыто и перенесено на «Надежду».

Достаточно редкий пример, когда недородобывающее производство (Черногорский ООО ГОК) располагается уже в зоне аэротехногенного воздействия прежде действующего предприятия (НГМК). По действующим правилам организации мониторинговых работ, вначале необходимо оценить фоновое состояние, т.е. точку отсчета, а также оценить возможность восстановления зоны поражения при переносе металлургического производства (серный ангидрит) и сохранения выбросов котельных работающих на угле (щелочная среда). В связи с этим интересно проследить возможный процесс синергетики.

Методика и материалы. Заложены в 2001-04 г. основы мониторинга (ПП, геоморфологические профили, пробиркованы деревья с оценкой их санитарного состояния и др.), повторное обследование на части профилей и ключевых участках проведено в 2010 г. Дальнейшее продолжения мониторинг не получил, несмотря на тундровые пожары и изменения структуры выбросов НГМК, которые предположительно должны способствовать восстановлению аборигенных или формирование техногенных ценозов. В любом случае НГМК мог бы говорить о ведении мониторинга в зонах своего воздействия. Ведомственный мониторинг, который ведется экологической службой НГМК, не выдерживает критики. Современные мониторинговые исследования продолжаются на постоянных ПП в доступности только для автомобильного транспорта вокруг г. Норильска и изучается динамика численности мелких млекопитающих (6 биотопов в трех зонах интенсивности воздействия НГМК). Следует отметить, что прежние экосистемные повреждения вызваны аэротехногенным загрязнением выбросов металлургического производства, а проектируемое – механическим нарушением рельефа. Методически эти два вида воздействия на природную среду дифференцируются.

Обсуждение. Черногорский ГОК расположен на одной из вершин северного отрога Лонтокойского камня, который с западной стороны ограничивает долину р.Рыбная (долина «смерти»). Очевидно, что деятельность Черногорского ГОК приведет к продолжению деградации аборигенных ценозов долины до Хантайского водохранилища. Если металлургическая деятельность НГМК ограничивалась устьем р. Ергалах (техногенная пустошь), то Черногорский ГОК продолжит негативное воздействие на юг вдоль восточного склона Лонтокойского камня. В этом случае мы имеем дело с частичным наложением на

прежнее промышленное воздействие и его расширением новым. Негативные последствия можно избежать, если Черногорский ГОК ограничится добычей руды, а ее металлургическая обработка будет проводиться, например, на «Надежде». Тогда речь может идти о нарушении гидротермического режима ландшафта, негатив которого достаточно легко устраняется. При этом следует учитывать опыт деятельности Талнахского рудника. Даже карьерная добыча руды с неминуемыми отвалами приведет к экологическим проблемам.

Редкий для Сибири пример, расположение проектируемого недродобывающего производства в зоне воздействия прежде действующего предприятия. По здравому смыслу, вначале необходимо оценить фоновое состояние природной среды, а уже потом оценивать наложение негативных последствий проекта. Если изначально принимается, что площадка относится к природной или техногенной пустоши, то у экологической службы не должно быть вопросов. В противном случае, требуется оценка прежних изменений и наложение (распространение) проектируемых. К сожалению, процедура ОВОС тихо умерла или выполняется ведомственными НИИ, что лишает их независимости и объективности. Почему-то разделы проектов по охране окружающей среды стали коммерческой тайной, а процедура общественного слушания свелась к формальности или вообще не проводится. Авторы не против технического прогресса, но должна быть объективная оценка и ее доступность.

**ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ХАРАКТЕР ПОЖАРООПАСНЫХ
СЕЗОНОВ В НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ «АНИЮЙСКИЙ» (ХАБАРОВСКИЙ КРАЙ)
IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON THE NATURE OF FIRE SEASONS IN THE
NATIONAL PARK ANYUISKIY (Khabarovsk Krai)**

Никитина И.А., Гусакова И.Е.

Nikitina Ir. A., Guskova Ir.E.

ФГБУ «Заповедное Приамурье»
Россия, г. Хабаровск, ул. Серышева, 60

Аннотация. Цель работы – оценка влияния изменений климата на характеристики пожароопасных периодов по анализу данных метеорологических наблюдений со времени создания национального парка по 2022 год. Выявлено повышение напряжённости весенних субсезонов с ростом температур атмосферного воздуха и усилении ветровой нагрузки. Данные максимальной продолжительности и сумм среднесуточных температур пожароопасных периодов в 2008, 2014, 2019, 2021 гг. совпадают с фактической горимостью территории.

Ключевые слова: пожароопасность, температура атмосферного воздуха, ветровая нагрузка.

Abstract. The aim of a study is to assess the impact of climate changes on the characteristics of fire periods based on the analysis of meteorological observations from the time the park was created to 2022. Revealed increase of spring sub-seasons tension with increase of atmospheric air temperatures and increase of wind load. The data of the maximum duration and the sum of the average daily temperatures of fire periods in 2008, 2014, 2019, 2021 coincide with the fires in the territory.

Keywords: fire period, atmospheric air temperature, wind load, climate change.

Мониторинг влияния климатических изменений на характеристику пожароопасных периодов актуален на особо охраняемых природных территориях (ООПТ). Он даёт материал для прогнозирования развития самого мощного негативного фактора состояния естественных экосистем. Кроме ущерба среды обитания охраняемых растений и животных, пожары приводят к значительной трансформации физических свойств верхних горизонтов почвы, дают весомый вклад в выбросы парниковых газов в атмосферу. Исследования зависимости напряжённости пожароопасных сезонов от климатических и других факторов позволяют выделить наиболее опасные периоды для применения превентивных мер охраны с целью минимизации пирогенного воздействия.

Для оценки пожароопасности используются определённые статические и динамические критерии территории (Сверлова, 2000; Коган, Глаголев, 2014). Пожарная опасность на конкретной ООПТ определяется большей частью динамическими факторами, прежде всего, погодными условиями. Из множества параметров метеорологической ситуации на формирование класса пожарной опасности (КПО) наибольшее значение имеют температура атмосферного воздуха и объём и интенсивность осадков, как в пожароопасный период, так и в предшествующий зимний. Важным фактором развития пожарной ситуации является сила и направление ветра, более весомые на открытых пространствах.

Национальный парк «Ануйский», организованный в декабре 2007 года, расположен на правобережье нижнего течения р. Амур. Кедрово-широколиственные леса на западном макросклоне хребта Сихотэ-Алинь сочетаются здесь с луговыми и лугово-болотными участками в нижнем течении р. Ануй и на водосборной площади оз. Гасси.

Целью работы явился анализ данных метеорологических наблюдений со времени создания парка по 2022 год для определения динамики природных характеристик пожароопасных сезонов вследствие изменения климата.

В работе использованы данные метеорологических наблюдений на ближайших к парку метеостанциях Дальневосточного УГМС: МС Троицкое, расположенной в долине р. Амур на высоте 33 м над ур.м. и МС Солекуль у восточной границы парка на высоте 894 м над ур.м. за 2008-2022 гг., космические снимки спутников Sentinel 2, Landsat 8, доступные на сайтах EOS и гр 5 Погода; данные фенологических наблюдений инспекторов национального парка «Ануйский» и автоматических регистраторов температуры атмосферного воздуха за 2015-2022 гг., установленных на территории парка в 10 точках.

В результате анализа данных температуры приземного слоя атмосферного воздуха за 15 лет наблюдений выявлен тренд повышения среднегодового показателя на территории парка на 1,5°C (рис. 131). Отражение климатического потепления на погодные характеристики в разные субсезоны прошедшего периода неравномерно. Если для первых и вторых декад апреля и мая градиент температурного роста составлял 2-2,5°C, то в июне он носил переменный характер, а в июле и августе был слабо отрицательным. С наступлением осени тренд роста температуры воздуха восстановился в пределах 2°C. Именно в апреле, с повышением температур, происходит сход снегового покрова и начинается весенний пожароопасный период преимущественно до появления зелени.

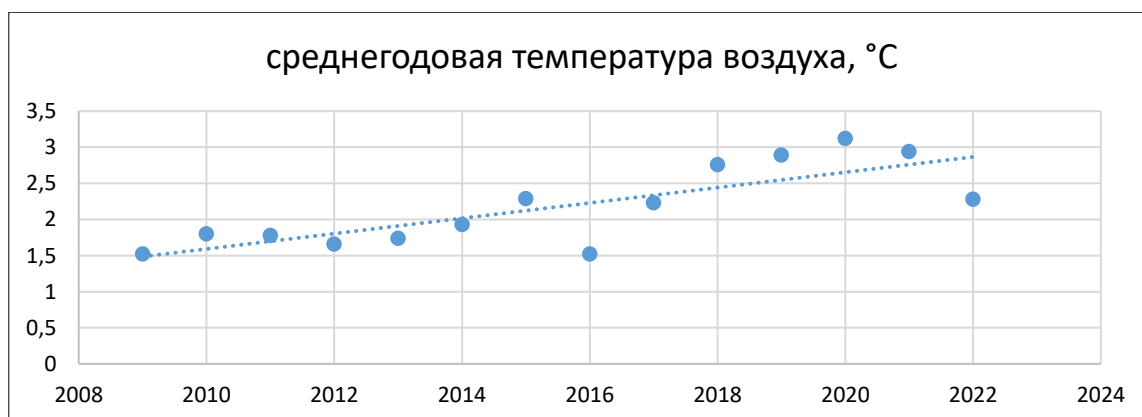


Рисунок 131. Среднегодовые температуры атмосферного воздуха в национальном парке

Продолжительность периода пожарной опасности в лесах зависит от множества факторов, среди которых одним из определяющих является дата его начала, которая по установленным правилам исчисляется от даты схода снежного покрова и установления

положительной среднесуточной температуры воздуха. Окончание периода связывают с наступлением дождливой погоды и установлением отрицательной среднесуточной температуры воздуха, образованием снегового покрова. Этот метод определения границ пожароопасного сезона наиболее приемлем для природных территорий с минимальным антропогенным влиянием.

При этом дата наступления пожароопасного сезона не всегда совпадает с переходом среднесуточной температуры воздуха через 0°C в сторону повышения (климатическая весна). В годы со снежными зимами в районе исследований: 2007, 2009-2013, 2015, 2022 гг., когда суммы осадков зимнего сезона составляли 120-220 мм, начало пожароопасных сезонов отодвигалось на вторую и третью декаду апреля, с 10 по 29 апреля. Активное таяние снежного покрова в лесу начиналось позже, несмотря на установление положительных среднесуточных температур воздуха. Закономерный сдвиг начала пожарной опасности в лесах в годы с большим снеговым запасом влияет на сокращение протяженности всего периода.

Напротив, в малоснежные зимы наступление пожароопасного сезона сдвигается на конец марта-начало апреля. Снимок космического спутника Landsat 8 в спектральном диапазоне B2, B6, B7 от 14 апреля 2019 г. демонстрирует типичную картину схода снежного покрова в малоснежные годы в парке (красным цветом выделены участки снега и льда). Основные водные объекты района: р. Амур, его основные протоки, р. Анюй в среднем течении и оз. Гасси покрыты льдом. Если в горах ещё лежит снег, то на равнине уже выделяется площадь гарей прошедшего 11 апреля пожара на водно-болотных угодьях оз. Гасси (рис. 132).

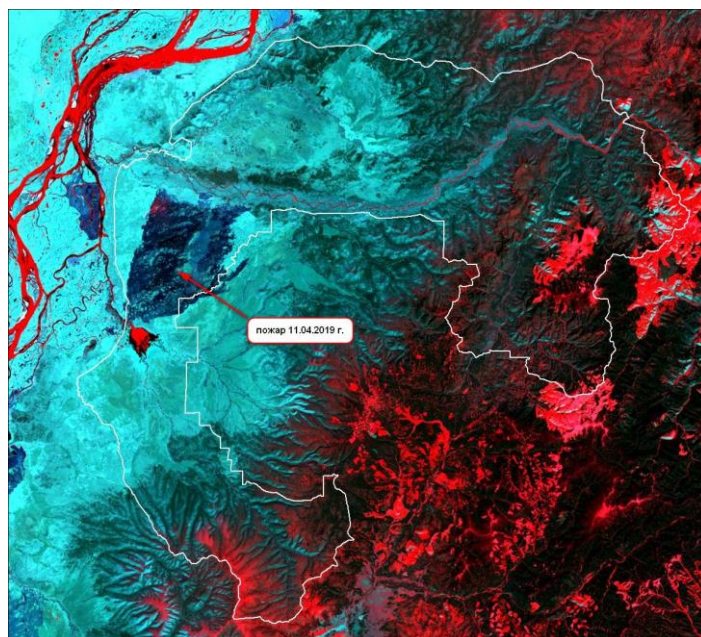


Рисунок 132. Космоснимок территории НП «Ануйский», Landsat 8 от 14.04.2019 г.

Таким образом, в весенний, наиболее пожароопасный период, важными являются индикаторы и критерии, связанные со сходом снежного покрова, представленные в табл. 57.

Таблица 57. Показатели пожароопасных (ПО) сезонов 2008-2022 гг.

Год	Высота снега на 31.03 см	Дата перехода с/с t воздуха через 0 °С	Дата начала пожароопасного сезона	Дата окончания пожароопасного сезона	Продолжительность ПО сезона, дней	Сумма с/с t ПО сезона, град	Фактическая суммарная площадь пожаров, га
2008	9	21.03.2008	26.03.2008	26.10.2008	215	3014,3	Нет данных
2009	50	07.04.2009	13.04.2009	29.10.2009	200	2814,3	-
2010	50	17.04.2010	23.04.2010	25.10.2010	186	2913,1	840,0
2011	42	17.04.2011	18.04.2011	25.10.2011	191	2832,5	411,5
2012	53	09.04.2012	18.04.2012	27.10.2012	193	3048,0	246,0
2013	63	12.04.2013	28.04.2012	05.11.2013	192	2862,8	100,0
2014	10	06.04.2014	09.04.2014	25.10.2014	200	3007,0	1776,0
2015	48	13.04.2015	23.04.2015	26.10.2015	187	2731,9	0,0
2016	20	30.03.2016	09.04.2016	16.10.2016	191	2809,4	17,0
2017	23	09.04.2017	09.04.2017	20.10.2017	195	2754,3	778,0
2018	15	09.04.2018	09.04.2018	14.10.2018	189	2818,0	430,0
2019	0	02.04.2019	28.03.2019	25.10.2019	212	2864,4	3667,0
2020	1	25.03.2020	01.04.2023	03.11.2020	216	2881,0	470,0
2021	0	25.03.2021	25.03.2021	06.11.2021	227	3046,6	1350,0
2022	52	03.04.2022	10.04.2022	02.11.2022	206	2880,8	10,0

Из 15-летнего периода можно выделить годы с высоким уровнем потенциальной пожарной опасности, в которых суммарное значение дней с третьим (средняя ПО) и четвёртым (высокая ПО) классом максимальны. Напряжённость пожароопасных сезонов в 2008, 2012, 2014, 2019, 2021 гг., включая годы с максимальной их продолжительностью, была средней и высокой в 35-57% дней. В ряде случаев это связано с небольшой величиной сумм осадков за сезон (457 мм и менее) – в 2008 и 2012 гг., а также с максимальной суммой среднесуточных (с/с) температур воздуха (более 3000°С) – в 2008, 2014, 2021 гг., это жаркие и сухие годы.

Ветровая нагрузка усиливает скорость роста суммарного значения комплексного показателя, который может меняться от одного до нескольких тысяч. Ветровой режим территории национального парка «Ануйский» можно характеризовать, как достаточно интенсивный, с преобладанием южного, юго-юго-западного и северо-восточного направлений. За время сезона пожарной опасности ежегодно фиксируется в среднем 8 периодов продолжительностью 2 и более дней с усилением ветра до 14-20 м/с. Кроме этого, наблюдаются суточные усиления ветра свыше 10 м/с. Наиболее ветреными были 2008 и 2019 гг. Они насчитывали по 11 ветреных периодов более суток и 10 суточных интервалов с сильными ветрами. Усиление ветровой нагрузки на территорию парка в пожароопасные сезоны отражается и в количестве безветренных дней (штилей), сократившегося в последние годы (рис. 133).

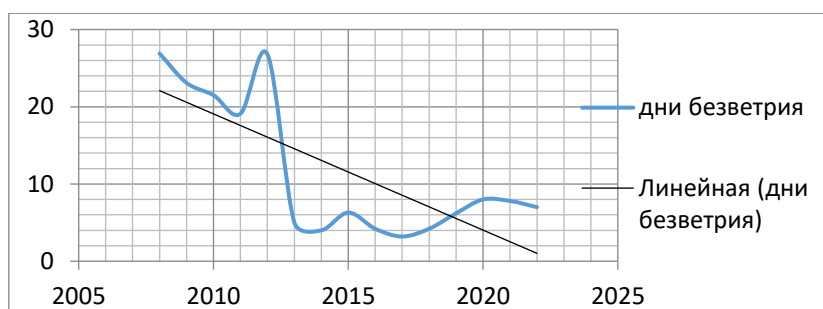


Рисунок 133. Диаграмма количества безветренных дней по годам

Приведённый анализ температурных условий, высоты снегового покрова, характеристики ветров за сезоны пожарной опасности с периода создания национального парка, позволяет сделать вывод о тренде повышения напряжённости весенних субсезонов с ростом температур атмосферного воздуха и усилением ветровой нагрузки. Данные максимальной продолжительности и сумм среднесуточных температур воздуха пожароопасных периодов в 2008, 2014, 2019, 2021 гг. совпадают с максимальными площадями, фактически пройденными пожарами на территории парка. Это, как правило, травяные и кустарниковые весенние пожары на открытых участках, причиной которых является антропогенный фактор на приграничных территориях. С изменением климата за 15-летний период наступление высокой пожарной опасности по погодным условиям наблюдается все чаще, изменения наиболее заметны весной. Это необходимо учитывать при составлении планов противопожарных мероприятий в национальном парке.

Авторы выражают благодарность работникам национального парка Крещику А.И. и инспекторам отдела охраны под руководством Коржака А.Б. за предоставленные данные по пожарам и фенологическим наблюдениям.

Список литературы

Данные метеорологических условий по МС Троицкое, Хабаровский край (2022) URL: <https://rp5.ru/Погода> (дата обращения 20.05.2023 г.)

Коган Р.М., Глаголев В.А. (2014) Система критериев и индикаторов для оценки напряженности пожароопасных сезонов, *Региональные проблемы*, т. 17, № 1, с. 49-53.

Сверлова Л.И. (2000) *Метод оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учётом поясов атмосферной засушливости и сезонов года*, Хабаровск, ДальНИЦ, 46 с.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРИОДОВ ПОЛУРАСПАДА ДРЕВЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ
ОЦЕНКИ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЗАГОТОВЛЕННЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛАХ
DETERMINATION OF HALF-LIFE OF WOOD PRODUCTS TO ASSESS CARBON
STOCKS IN HARVESTED WOOD PRODUCTS**

Полумиева П.Д., Трунов А.А.

Polumieva P.D., Trunov A.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель данного исследования – уточнение оценок запасов углерода в полуобработанной продукции из древесины, которая заготавливается в Российской Федерации. Руководящие принципы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) для расчета запасов углерода в заготовленных лесоматериалах (ЗЛМ) предлагают использовать метод разложения первого порядка с коэффициентами и периодами полураспада (“half-life”) по умолчанию. Поскольку значения по умолчанию не отражают национальную специфику производства и использования древесины, была проведена работа по уточнению периодов полураспада с учетом социальных и экономических условий Российской Федерации. Национальные периоды полураспада по предварительным оценкам имеют показатели на 1 - 2 порядка выше, чем предложенные для расчетов в Руководящих принципах МГЭИК. Применение национальных показателей в расчетах дает возможность повысить точность оценок баланса парниковых газов в Национальном кадастре Российской Федерации и обеспечить более эффективное использование лесов и древесных продуктов в мерах по смягчению последствий изменения климата.

Ключевые слова: CO₂, лесозаготовка, заготовленные лесоматериалы, запасы углерода, МГЭИК, кадастр парниковых газов.

Abstract. The aim of this study is to improve estimates of carbon stocks in semi-finished wood products produced in the Russian Federation. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) guidelines for calculating carbon stocks in harvested forest products (HWP) suggest using a first-order decay method with default coefficients and half-lives. Since the default values do not reflect the national specifics of wood production and use, work was carried out to clarify the half-lives taking into account the social and economic conditions of the Russian Federation. National half-lives, according to preliminary estimates, are 1 to 2 orders of magnitude higher than those proposed for calculations in the IPCC Guidelines. The use of national indicators in calculations makes it possible to improve the accuracy of greenhouse gas balance estimates in the Russian Federation National Inventory and to enable more efficient use of forests and wood products in climate change mitigation efforts.

Keywords: CO₂, forest harvesting, harvested wood products, carbon stocks, IPCC, greenhouse gas inventory.

В 2011 году на конференции Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН) в Дурбане Стороны признали, что хранение углерода в заготовленных лесоматериалах (ЗЛМ) является мерой по смягчению последствий изменения климата, согласовав основные правила учета и отчетности по выбросам парниковых газов (ПГ) (United Nations, 2012). Стороны решили, что страны Приложения I (т.е. развитые страны и страны с переходной экономикой), которые согласились взять на себя обязательства по сокращению выбросов парниковых газов (ПГ), должны сообщать об изменениях запасов углерода в ЗЛМ за второй период действия обязательств Киотского протокола (2013-2020 гг.). Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) предоставляет странам руководящие принципы отчетности для оценки изменений запасов углерода в ЗЛМ (IPCC, 2006, 2014, 2019). В руководящих принципах предлагается использовать один из трех методологических уровней учета выбросов/поглощений ПГ, называемых уровнем 1, 2 или 3

соответственно, в зависимости от наличия данных о деятельности и методологии по конкретной стране. В методе уровня 1 предполагается, что углерод в ЗЛМ окисляется в год заготовки леса. Таким образом, этот метод основан на упрощенном предположении об отсутствии запасов углерода в ЗЛМ. Метод уровня 2 требует оценки пула углерода ЗЛМ и его изменений для трех категорий ЗЛМ по умолчанию: пиломатериалы, панели на древесной основе и бумага и картон. Информация, факторы и/или методологии по конкретной стране не требуются, поскольку расчетные методы и коэффициенты по умолчанию предложены руководящими принципами МГЭИК. Метод уровня 3 предусматривает оценку пула углерода ЗЛМ и его изменений с использованием значений периода полураспада для конкретной страны или национальных методологий, учитывающих, как минимум, три типа ЗЛМ, упомянутых выше.

Леса и продукция из древесины могут способствовать усилиям по смягчению последствий изменения климата, поскольку деревья являются поглотителем CO₂, а некоторые продукты из древесины могут хранить углерод в течение длительного времени. Заготовка древесины может перемещать углерод, накопленный в лесах, в древесную продукцию различных типов и, таким образом, создавать пул углерода ЗЛМ. В рамках латерального экспорта углерода из лесных экосистем (Ciais et al., 2008; Wei et al., 2021) заготовка древесины первоначально перемещает углерод из лесов в первичную (полуобработанную) древесину (например, пиломатериалы, фанеру и т.д.), которые используются для изготовления вторичных или конечных изделий из древесины (например, мебели, пола, жилых домов и т.д.) (Skog, Nicholson, 2000). Однако следует отметить, что пул углерода в ЗЛМ на уровне страны может действовать как накопитель углерода, так и источник CO₂, в зависимости от баланса между притоком и оттоком углерода. Основными факторами, влияющими на изменение запасов углерода в национальном пуле ЗЛМ, являются:

- внутренние поставки древесины (уровень заготовок);
- процентное соотношение долей пиловочника, балансовой и энергетической древесины;
- срок службы древесных изделий;
- конечное использование изделий из древесины, например, для утилизации/вторичной переработки или использования в качестве топлива (Pingoud et al., 2010).

Углерод попадает в углеродный пул ЗЛМ вместе с новыми древесными изделиями, в то время как старые древесные изделия утилизируются, когда достигают конца своего срока службы. Часть вышедших из использования древесных изделий перерабатывается для производства новой продукции или повторно используется в качестве биотоплива для выработки энергии, а остальная часть отправляется на свалки. Таким образом, размер пула

углерода ЗЛМ можно учитывать путем мониторинга скорости притока и оттока углерода (Donlan et al., 2012). Кроме того, пул углерода ЗЛМ включает углерод, хранящийся в продуктах конечного использования (например, в строительстве), древесных отходах на свалках и древесном угле (например, биоугле, не используемом в качестве источника энергии). Для количественной оценки углерода, хранящегося в ЗЛМ, МГЭИК было разработано четыре различных подхода к оценке и предоставлению отчетности о выбросах и абсорбции, связанных с ЗЛМ – подход «изменения запасов», подход «производственный», подход «простого разложения» и подход «атмосферный поток». Каждый из этих подходов различается в определении конкретной границы для оценки баланса углерода в пуле ЗЛМ. Подходы «изменения запасов», «производственный» подход и подход «простого разложения» основаны на оценке изменений запаса углерода в пуле ЗЛМ, а подход «атмосферный поток» предназначен для оценки всех выбросов CO₂ из древесной биомассы в атмосферу внутри страны.

В Национальном кадастре РФ категория ЗЛМ рассчитывается по второму уровню с применением «производственного» подхода. При применении «производственного» подхода страна-производитель сообщает об изменениях запасов углерода в результате производства ЗЛМ внутри страны, независимо от того, где физически потребляются и используются ЗЛМ. В расчетах применяются периоды полураспада по умолчанию согласно МГЭИК (IPCC, 2019), которые составляют 35 лет для пиломатериалов, 25 лет для древесных панелей и 2 года для бумаги и картона. В рамках работ по важнейшему инновационному проекту государственного значения (ВИП ГЗ) проводятся исследования по уточнению периодов полураспада для трех категорий ЗЛМ. Для получения актуальной информации о производстве, обработке и использовании древесины были опрошены крупнейшие лесопромышленные организации, а также эксперты в области лесного хозяйства. Технологический прогресс в деревообрабатывающей промышленности ускоряет приток углерода в пул ЗЛМ за счет повышения эффективности обработки и снижает скорость оттока за счет создания инновационных изделий из древесины с более длительным сроком службы. Социально-экономические факторы, такие как численность населения и доходы домохозяйств, также способствуют изменениям запасов углерода в лесоматериалах за счет увеличения или уменьшения спроса. Учитывая многочисленные факторы, которые коррелируют с размером пула углерода ЗЛМ, углубленное и всестороннее понимание этих факторов имеет важное значение для моделирования и прогнозирования количества углерода, хранящегося в ЗЛМ, концентрации CO₂ в атмосфере и борьбы с последствиями изменения климата, как на международном, так и на национальном уровне.

В результате обобщения всех факторов, влияющих на пул ЗЛМ, были предварительно определены национальные периоды полураспада, которые отражают специфику социальных и экономических условий РФ. Для пиломатериалов период полураспада предварительно составил от 60 до 100 лет, от 45 до 50 лет для древесных панелей и от 3 до 12 лет для бумаги и картона. На национальном уровне применение новых полупериодов приведет к увеличению годового притока углерода в пул ЗЛМ по сравнению с методом по умолчанию уровня 2 МГЭИК. Это означает, что национальные значения показывают явно более высокий уровень накопления углерода в ЗЛМ. Документально подтвержденное увеличение накопления углерода может способствовать использованию долгоживущих видов ЗЛМ (пиломатериалов и древесных панелей) в целях смягчения последствий изменения климата.

Список литературы

Ciais P., Borges A., Abril G., Meybeck M., Folberth G., Hauglustaine D. et al. 2008. The impact of lateral carbon fluxes on the European carbon balance, *Biogeosciences*, 5, pp. 1259-1271, doi: 10.5194/bg-5-1259-2008.

Donlan J., Skog K., Byrne K.A. (2012) Carbon storage in harvested wood products for Ireland 1961-2009, *Biomass Bioenergy*, vol. 46, pp. 731-738, URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.06.018>.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/Core Writing Team*, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.), IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

IPCC (2019) *2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, edited by Eduardo Calvo Buendia, Kiyoto Tanabe, Andrej Kranjc, Baasansuren Jamsranjav, Maya Fukuda, Sekai Ngarize, Akira Osako, Yurii Pyrozhenko, Pavel Shermanau and Sandro Federici, IPCC, Switzerland, vol. 4, chapter 12, 49 p.

IPCC (2006) *Guidelines for national greenhouse gas inventories. National Greenhouse Gas Inventories Programme*, edited by H.S. Eggleston et al., Hayama, Japan, Institute for Global Environmental Strategies, vol. 4, chapter 12, 33 p.

Pingoud K., Pohjola J., Valsta L. (2010) Assessing the integrated climatic impacts of forestry and wood products, *Silva Fennica*, 44(1), pp. 155-175.

Skog K.E., Nicholson G. A. (2000) "Carbon sequestration in wood and paper products," in *The impact of climate change on America's forests: A technical document supporting the 2000 USDA Forest Service RPA Assessment*, Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-59, eds. L.A. Joyce and R. Birdsey (Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service), pp. 79-88.

United Nations (2012) Land use, land-use change and forestry, *Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Kyoto Protocol on its seventh session*, Durban, South Africa: Decision 2/CMP.7, pp. 11-21.

Wei X., Hayes D.J., Fernandez I., Fraver S., Zhao J., Weiskittel A. (2021) Climate and atmospheric deposition drive the inter-annual variability and long-term trend of dissolved organic carbon flux in the conterminous United States, *Sci. Total Environ.*, 10 p.

**ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ПРИМОРСКИЙ ТУРИЗМ В
ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ**

**THE IMPACT OF CLIMATE CHANGES ON SEASIDE TOURISM IN THE EUROPEAN
PART OF RUSSIA**

Санин А.Ю.

Sanin A.Yu.

ФГБУ «Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Росгидромет»
Россия, 119034, Москва, Кропоткинский переулок, 6

Аннотация. Цель работы – выявление основных положительных и отрицательных последствий изменений климата на туризм на приморских территориях Европейской части России, в частности, угроз со стороны опасных явлений природы, частота и интенсивность многих из которых возрастает, а также разработка и выдвижение предложений по минимизации негативного влияния климатических изменений на туристическую отрасль. Повышение среднегодовой температуры и значений ее суточных максимумов, увеличение количества выпадающих осадков и изменения режима их выпадения приводит к увеличению частоты и интенсивности целого ряда неблагоприятных и опасных явлений природы (на всех или на некоторых приморских туристических территориях), в частности, штормов, сильной жары, наводнений, засух со всеми их последствиями, абразивных процессов, сгонно-нагонных явлений, смерчей, селей и некоторых других. Они способны принести значительный материальный ущерб объектам инфраструктуры, в том числе и туристической, а также представляют угрозу для здоровья и даже жизни как отдыхающих, так и местных жителей.

Ключевые слова. Изменения климата, температура, осадки, опасные природные явления, туризм, приморские территории, виды туризма.

Abstract. The purpose of the work is to identify the main positive and negative effects of climate change on tourism in the coastal territories of the European part of Russia, in particular, threats from dangerous natural processes, the frequency and intensity of many of which are increasing. Other purpose is to develop and put forward proposals to minimize the negative impact of climate change on the tourism industry. An increase in the average annual temperature and the values of its daily maxima, an increase in the amount of precipitation and changes in the regime of their precipitation leads to an increase in the frequency and intensity of a number of adverse and dangerous natural processes. There are storms, extreme heat, floods, droughts with all their consequences, abrasive processes, run-up phenomena, tornadoes, mudslides and some others. They can cause significant material damage to infrastructure, including touristic ones, and pose a threat to the health and even the lives of both tourists and local residents.

Keywords. Climate changes, temperature, precipitation, natural hazards, tourism, seaside territories, types of tourism.

К настоящему времени как в отечественной, так и в особенности в зарубежной литературе (Третий..., 2022; Савинкина и др., 2019; Becken, Nau, 2012; Kajan, Saarinen, 2013 и др.) доказана и аргументирована чувствительность туристической отрасли (как и многих других, например, сельскохозяйственной) даже к сравнительно небольшим климатическим изменениям, которые имеют для нее разнообразные и не всегда очевидные последствия. Так, повышение средней температуры в наиболее популярных для приморского отдыха регионах Европейской России- Краснодарском крае и в республике Крым (в последние годы к ним добавляется республика Дагестан, а также Калининградская и Ленинградская области)- окажут как положительное, так и отрицательное воздействие на туризм в регионах. Уже в настоящее время для многих рекреантов жара, особенно в летний период в дневное время, является одним из неблагоприятных и опасных явлений природы (НОЯ), в случае повышения

температур она будет причинять им еще больший дискомфорт. Вследствие этого возможно увеличение числа потенциальных туристов, которые откажутся от поездки на южные приморские территории в летнее время, или перенесут ее на осень или даже на весну. В целом повышения средних температур, особенно в холодное время, может способствовать уходу от сезонности туризма на приморских территориях. Такое последствие представляется весьма благоприятным для их экономики, так как оно позволит мультипликативному эффекту от туризма проявляться в большей степени не только в летний период, но и в другие времена года. С другой стороны, повышение температур обеспечат увеличение продолжительности купального сезона, что, в свою очередь, позволит приморским территориям принимать большее количество отдыхающих без повышения их «плотности» на пляжах и нагрузки на туристическую и иную инфраструктуру.

Средняя температура для России растет в несколько раз быстрее, чем для мира в целом (Третий..., 2022; Дмитриева, Иванова, 2019), но как для мира, так и для России для этого роста имеются существенные пространственные различия. Однако изменения климата включают в себя далеко не только повышение температуры, остальные климатические параметры также меняются, что оказывает влияние в том числе и на туризм (Третий..., 2022; Becken, 2012 и др.). Усиление западного переноса приводит к увеличению потока тепла, что влияет не только на средние температуры, но и количество осадков и режим их выпадения. Изменения ряда других параметров атмосферы, таких, как количество выпадающих атмосферных осадков и их интенсивность, повторяемость сильных ветров и некоторые другие могут как делать отдых сам по себе менее комфортными, так и увеличивать частоту и повторяемость целого ряда опасных явлений природы, в частности, штормов и наводнений, а в отдельных прибрежных туристических районах – смерчей и сгонно-нагонных явлений. Перечисленные НОЯ могут как приводить к ощутимому материальному ущербу, разрушению или повреждению инфраструктурных сооружений, в том числе и объектов туристической инфраструктуры либо тех, которые активно используются не только местными жителями, но и туристами (например, приморские участки железных и автомобильных дорог), так и представлять непосредственную угрозу здоровью и жизни рекреантов (известны смертные случаи, связанные со штормами или наводнениями, и имеются небезосновательные опасения того, что повторяемость таких случаев может увеличиться). Крупные наводнения угрожают жизни людей, нарушают эпидемиологическую безопасность, являются причиной повышенного травматизма, вызывают психические заболевания (Третий..., 2022). В Краснодарском крае на отдельных реках частота и интенсивность наводнений может возрасти не только из-за увеличения количества осадков и изменения режима их выпадения, но и из-за активизации деградации

ледников Северного Кавказа, эти реки питающие. Уже в настоящее время для некоторых рек Северного Кавказа, особенно Кубани, наблюдается рост объема годового стока (Третий..., 2022). Угрозу представляет не столько увеличение количества выпадающих осадков в целом, которое сравнительно невелико, сколько рост частоты экстремальных осадков, который вызван ростом содержания водяного пара в атмосфере в сочетании с повышением ее температуры (Третий..., 2022). Так, в июле 2023 года в Москве был зафиксирован самый сильный ливень за всю историю метеонаблюдений. Вероятность подобных событий на приморских туристических территориях также ощутимо возрастает. С другой стороны, для наиболее популярных для приморской рекреации южных регионов предварительно отмечается некоторое снижение количества осадков, и прогнозируется сохранение этой тенденции и в будущем, что приведет к росту повторяемости засух (Третий..., 2022). В частности, ожидается заметное увеличение средней температуры и снижение количества осадков для Крыма (Дмитриева, Иванова, 2019), на территории которого и в настоящее время проблема засух стоит достаточно остро. Непосредственно засухи оказывают слабое негативное влияние на туризм (что нельзя сказать о других отраслях экономики, особенно о сельском хозяйстве), однако вследствие роста числа засух и их продолжительности в ряде приморских туристических регионов (Ростовская область, республики Крым и Дагестан) возрастает частота повторяемости пыльных бурь, которые существенно снижают уровень комфортности отдыха. Кроме того, засухи снижают эстетическую привлекательность ландшафтов, что существенно сужает возможности для некоторых видов туризма, например, экологического или экскурсионного. Однако это не снимает угрозу роста частоты и повторяемости наводнений на реках как в перечисленных, так и других, в том числе в настоящее время менее популярных для отдыха на морском побережье приморских туристических территориях, таких, как Ленинградская и Калининградская области.

Повышение температур приводит к снижению продолжительности отопительного сезона в холодное время года и росту затрат на охлаждения воздуха (что весьма актуально для многих отдыхающих, не привыкших к высоким температурам) в теплое. Для туризма второе ощущается куда сильнее, так как приморские территории посещаются рекреантами преимущественно в летнее время. Повышение затрат на кондиционирование комнат в средствах размещения увеличивает их себестоимость, а, следовательно, и цену их аренды.

Таблица 58. Основные положительные и отрицательные последствия изменений климата на туризм на приморских территориях в России

Положительные последствия изменений климата для туристической отрасли	
<i>Изменение и его проявление</i>	<i>Последствия данного изменения</i>
Повышение температуры воздуха в зимнее, осеннее и весеннее время.	Содействие решению задачи ухода от сезонности туризма, увеличение продолжительности туристического сезона.
Увеличение количества осадков в твердом виде в зимнее время.	Возрастание мощности снежного покрова, что благоприятно для развития горно-лыжного туризма в Крыму, на Кавказе, а в перспективе, возможно, и в Дагестане.
Отрицательные последствия изменений климата для туристической отрасли	
<i>Изменение и его проявление</i>	<i>Последствия данного изменения</i>
Повышение температуры воздуха в летнее время.	Снижение уровня комфортности отдыха для многих отдыхающих.
Увеличение количества осадков и повторяемости экстремальных осадков.	Увеличение частоты и интенсивности наводнений.
Рост повторяемости сильных ветров.	Рост частоты и силы штормов, что препятствует купанию в море, а в некоторых случаях может приводить и к гибели отдыхающих.
Усиление воздействия опасных явлений природы (шторма, ливневые осадки, сильная жара, смерчи, наводнения и т.д.) на инфраструктурные объекты.	Сбой в снабжении электроэнергией, ухудшение качества дорожного покрытия снижение привлекательности воды для купания и пляжей для проведения на них времени в целом, задержки в движении авиационного и железнодорожного транспорта и другие последствия.
Увеличение пожароопасности вследствие роста средних температур в летнее время.	Рост частоты и интенсивности пожаров, что приведет как к снижению комфорта отдыха, так и непосредственной угрозе повреждения или полного разрушения зданий и сооружений и возрастанию рисков человеческих жертв.
Снижение эстетической привлекательности ландшафтов вследствие отдельных опасных явлений природы (в частности, засух).	Существенное уменьшение численности туристов, посещающих участки берега, привлекательность которых будет снижаться, что негативно отразится на местной экономике.
Увеличение частоты повторяемости селевых явлений в Крымских и особенно в Кавказских горах из-за таяния ледников на Кавказе и увеличения суточных максимумов осадков.	Сели могут представлять угрозу для любых инфраструктурных объектов, в том числе относящихся к туристической инфраструктуре, а также сопряжены с рисками человеческих жертв, что показал, в частности, сель, сошедший в Широкой балке около Новороссийская в 2002 году.
Увеличение частоты и повторяемости штормов, и активизация абразионных процессов.	Актуализация необходимости укрепления берегов теми или иными методами, а также мониторинга имеющихся берегоукрепительных сооружений.

Минимизации негативного воздействия изменений климата на туризм представляется возможным достичь за счет применения современных технологий (как при строительстве, так и при эксплуатации инженерных сооружений, относящихся к туристической инфраструктуре, или активно используемых туристами), развития новых видов туризма и перераспределения туристического потока в пространстве и времени. Последняя мера представляется необходимой далеко не только для указанной цели, ее реализация позволит снизить воздействие рекреации на природные ландшафты, в некоторых случаях ощутимо повысит уровень комфорта отдыха туристов и проживания местных жителей, а также позволит вовлечь в рекреационное использование новые участки побережья, что благоприятно отразится на их местной экономике. Риск увеличения суточной нормы осадков, и, как следствие, усиление частоты повторяемости наводнений и их интенсивности, актуализирует необходимость реконструкции имеющихся объектов инфраструктуры, в частности, транспортной, и учета растущих рисков при строительстве новых. Для этого может понадобиться увеличение высоты мостов через реки, наиболее часто подверженные наводнениям, дополнительные берегоукрепительные работы на тех участках побережья, на которых строения и дороги расположены в зоне риска воздействия абразионных и других опасных явлений природы и т.д. В частности, особенно актуальным в литературе перечисленные меры названы для участка берега Туапсе-Сочи в Краснодарском крае (Третий..., 2022), который, с одной стороны, пользуется значительной популярностью у туристов, с другой, уже в настоящее время подвержен опасным явлениям природы больше, чем многие другие популярные для отдыха участки побережья.

Список литературы

Дмитриева Т.В., Иванова Е.В. (2019) Теоретические основы влияния климата на лечебно-оздоровительный туризм, *Вестник ГеоНаук*, т. 2, № 4, с. 30-37.

Савинкина Л.А., Косолапов А.Б., Бобрынова Е.Б. (2019) Устойчивое развитие туризма в условиях глобальных климатических изменений: обзор, *Научный вестник МГИИТ*, № 5 (61), с. 45-59.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории России. Общее резюме (2022) СПб., Научное издание, 124 с.

Becken S., Hay J.E. (2012) *Climate change and tourism: From policy to practice*, Routledge, 296 p.

Kajan E., Saarinen J. (2013) Tourism, climate change and adaptation: A review, *Current Issues in Tourism*, vol. 16(2), pp. 167-195.

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАЗЛИЧНЫХ
КОМПОНЕНТАХ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ НА ТЕРРИТОРИИ ПРИОКСКО-
ТЕРРАСНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА**
**EVALUATION OF CHANGES IN THE CONTENT OF HEAVY METALS IN
VARIOUS COMPONENTS OF THE ENVIRONMENT ON THE TERRITORY OF THE
PRIOKSKO-TERRASNYY BIOSPHERE RESERVE**

Саратовцева Е.Е., Жигачева Е.С.

Saratovtseva E.E., Zhigacheva E.S.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Цель работы – оценка изменения содержания тяжелых металлов в различных компонентах природной среды на территории Приокско-Террасного природного биосферного заповедника. Анализ данных показал тренд на снижение поступления свинца с осадками и снижение концентраций кадмия в атмосферном воздухе, а также снижение концентраций этих металлов в поверхностных водах, что поможет свидетельствовать о снижении антропогенной нагрузки на исследуемую территорию.

Ключевые слова: тяжелые металлы, ООПТ, антропогенная нагрузка, атмосферный воздух, атмосферные осадки, поверхностные воды.

Abstract. The purpose of the work is to assess the change in the content of heavy metals in various components of the natural environment in the territory of the Prioksko-Terrasnyy biosphere reserve. Analysis of the data showed a trend towards a decrease in the supply of lead with precipitation and a decrease in cadmium concentrations in the atmospheric air, as well as a decrease in the concentrations of these metals in surface waters, which will help indicate a decrease in the anthropogenic load on the study area.

Keywords: heavy metals, protected areas, anthropogenic load, atmospheric air, precipitation, stream water.

Об изменении антропогенной нагрузки возможно судить через динамику поступления загрязняющих веществ (ЗВ) в экосистему. Кроме непосредственно вноса ЗВ, показателем изменения антропогенной нагрузки может служить и их вынос из экосистемы. Масс-баланс предполагает, что в случае отсутствия процессов накопления или вымывания в почве, горных породах и растительности, снижение или повышение содержания ЗВ в атмосферных осадках и воздухе приведет к однонаправленному изменению их концентраций в поверхностных водах (Руководство по комплексному мониторингу, 2013).

В работе были использованы данные Института глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля о содержании свинца, кадмия и меди в различных средах, полученные в рамках оперативной работы программы Комплексного фоновый мониторинга за 2000-2021 гг. на территории Приокско-Террасного природного биосферного заповедника. Поступление в экосистему тяжелых металлов с атмосферными осадками было рассчитано с учётом суммарного годового количества осадков по данным метеостанции Данки, расположенной на территории заповедника. Отбор проб поверхностных вод проводился в соответствии с гидрологическими фазами на реке Пониловке, также расположенной на территории заповедника. Для определения наличия значимого тренда понижения или

повышения концентраций тяжелых металлов в атмосферных осадках, воздухе и поверхностных водах использовался Тест Манна-Кендалла (программа MAKESENS) (Иванов и др., 2021; Sarkar, Ali, 2009).

Анализ полученных данных показал наличие значимого тренда на снижение поступления свинца с осадками и значимый тренд на снижение его концентраций в поверхностных водах в период межени, что может указывать на уменьшение антропогенного воздействия на исследуемую территорию для свинца (рис. 134). Значимых трендов изменений концентраций свинца в атмосферном воздухе обнаружено не было.

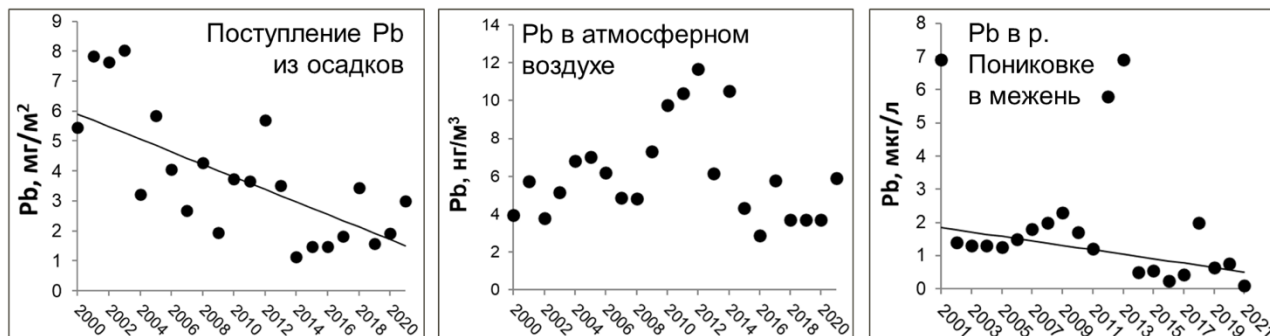


Рисунок 134. Содержание свинца в различных средах за 2000-2021 гг.

Для кадмия наблюдался значимый тренд на снижение концентраций в атмосферном воздухе и значимый тренд на снижение концентраций в поверхностных водах в период межени, что также может указывать на уменьшение антропогенного воздействия на территорию заповедника для кадмия (рис. 135). Значимых трендов изменения поступления кадмия с атмосферными осадками или его концентрации в атмосферном воздухе на территории заповедника обнаружено не было.

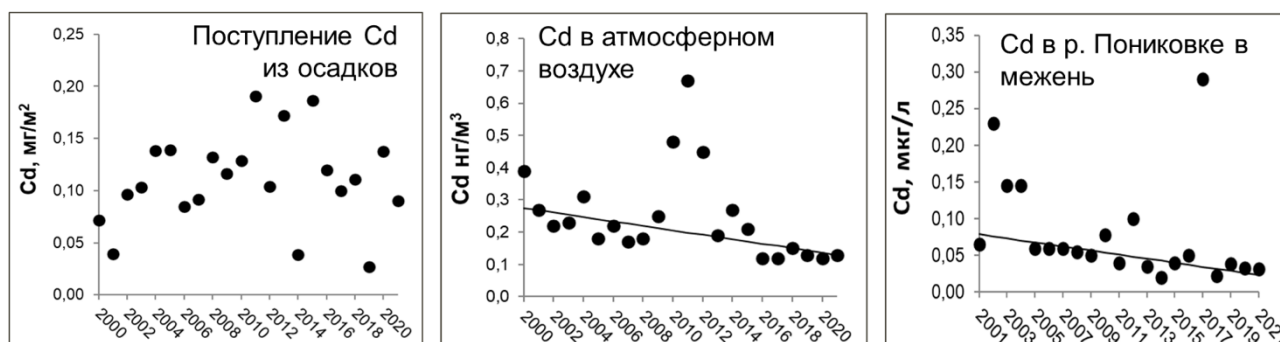


Рисунок 135. Содержания кадмия в различных средах за 2000-2021 гг.

Для меди за исследуемый период во всех рассматриваемых средах не было обнаружено значимых трендов. Также не было обнаружено значимых трендов для концентраций свинца и кадмия в реке Пониговке в периоды половодья и паводка.

В целом, можно предположить снижение антропогенной нагрузки на территорию Приокско-Террасного природного биосферного заповедника для свинца и кадмия за 2000-2021 гг.

Исследование выполнено в рамках тем НИОКТР АААА-А20-120020490070-3.

Список литературы

Иванов, В.А., Позднякова Е.А., Громов С.А. (2021) Тест Манна-Кендалла для оценки тенденций поступления загрязняющих веществ от стационарных источников на территории Российской Федерации, *Прикладная физика и математика*, № 3, с. 32-39.

Руководство по комплексному мониторингу (2013) Перевод с английского, М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН».

Sarkar A.A., Ali M.H. (2009.) Water table dynamics of Dhaka city and its longterm trend analysis using the “MAKESENS” model, *Water International.*, pp. 373-382.

**ВЛИЯНИЕ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЯВЛЕНИЙ ПОГОДЫ НА ПОТОКИ ПАРНИКОВЫХ
ГАЗОВ В ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ УМЕРЕННЫХ И ТРОПИЧЕСКИХ ШИРОТ
EFFECTS OF EXTREME TEMPERATURE AND PRECIPITATION ON DAILY
GREENHOUSE GAS FLUXES IN TEMPERATE AND TROPIC ECOSYSTEMS**

*Сатосина Е.М.^{1),2)}, Тарасова М.А.¹⁾, Гушчина Д.Ю.¹⁾, Железнова И.В.¹⁾, Емельянова Е.Р.^{1),2)},
Гибадуллин Р.Р.¹⁾, Осипов А.М.¹⁾, Ольчев А.В.¹⁾*

*Satosina E.M.^{1),2)}, Tarasova M.A.¹⁾, Gushchina D.Yu.¹⁾, Zheleznova I.V.¹⁾, Emelyanova E.R.^{1),2)},
Gibadullin R.R.¹⁾, Osipov A.M.¹⁾, Olchev A.V.¹⁾*

¹⁾ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова
Россия, 119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, 1

²⁾ Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва, Ленинский пр-кт, 33

Аннотация. В рамках данного исследования проведена оценка и выявление возможных отличий в отклике лесных экосистем умеренных и тропических широт, расположенных на разных континентах, на экстремальные явления погоды (аномально высокие или низкие температуры, почвенные засухи, интенсивные осадки и др.), а также на экстремальные климатические события. Гипотеза исследования предполагала, что отклик растительного покрова в умеренных и тропических широтах может различаться в зависимости от местных географических условий и интенсивности аномалий температуры и осадков. Влияние аномальных погодных явлений на изменчивость потоков NEE и LE в различных экосистемах оценивалось с использованием доступных данных реанализа ERA5, а также информации о среднесуточных потоках из глобальной базы данных FLUXNET. Таким образом было показано, что в умеренных широтах экстремальные явления температуры и осадков оказывают более значимое влияние на потоки парниковых газов, в отличие от тропиков, где преобладает влияние осадков на потоки.

Ключевые слова: экосистемы умеренных и тропических широт; аномалии температуры и осадков; потоки углекислого газа, реанализ, база данных FLUXNET.

Abstract. Within the scope of this study, an assessment was conducted to identify potential differences in the response of forest ecosystems located in temperate and tropical latitudes on different continents to extreme weather events (anomaly high or low temperatures, soil droughts, intense precipitation, etc.), as well as extreme climate events. The research hypothesis suggested that the response of vegetation in temperate and tropical ecosystems might vary based on local geographical conditions and the intensity of temperature and precipitation anomalies. The impact of anomalous weather events on the variability of NEE (Net Ecosystem Exchange) and LE (Latent Heat Flux) fluxes in different ecosystems was evaluated using available ERA5 reanalysis data, as well as daily flux information from the global FLUXNET database. Thus, it was demonstrated that in the mid-latitudes, extreme temperature and precipitation have comparable effects on the NEE and LE fluxes, in contrast to the tropics, where the effect of precipitation on the fluxes is dominated.

Keywords: temperate and tropic ecosystems, temperature and precipitation anomalies, carbon dioxide fluxes, reanalysis datasets; FLUXNET database.

Современные изменения климата, сопровождающиеся резким ростом глобальной температуры, изменением режима осадков, увеличением повторяемости и интенсивности опасных явлений погоды, могут оказать значительное влияние на рост и развитие растительных сообществ, а также на их устойчивость (IPCC, 2021). Экстремальные явления погоды, такие как волны жары, катастрофические засухи, ураганы и интенсивные ливни в краткосрочной перспективе могут привести к нарушению состояния и функционирования растительных сообществ, что незамедлительно может проявиться в изменении транспирации,

фотосинтеза, дыхания и нетто CO₂ обмена растений с атмосферой (Frank et al., 2015). Значительная часть поверхности суши покрыта лесами и они очевидно играют значительную роль в глобальной климатической системе, регулируя процессы обмена парниковыми газами между земной поверхностью и атмосферой, выполняя важную водорегулирующую и водосберегающую функцию, формируя радиационный и тепловой баланс земной поверхности, определяя микроклимат обширных территорий и поглощая и удерживая атмосферный углерод в связанном состоянии на протяжении значительных интервалов времени.

В рамках данного исследования проведена оценка и выявление возможных отличий в отклике лесных экосистем умеренных и тропических широт, расположенных на разных континентах, на экстремальные явления погоды (аномально высокие или низкие температуры, почвенные засухи, интенсивные осадки и др.), а также на экстремальные климатические события.

В качестве исходных данных по потокам парниковых газов использовались данные из базы данных сети FLUXNET, включающих результаты измерений потоков скрытого тепла (LE) и потоков CO₂ (NEE) методом турбулентных пульсаций (eddy covariance). Были проанализированы данные 17 мониторинговых станций, расположенных в лесах тропических широт, и 26 – в лесах умеренных широт. Все станции были отнесены к основным типам растительности в соответствии с классификацией экосистем, используемой в архивах FLUXNET (<https://fluxnet.org/data/>): саванны и редколесья, влажные тропические леса, переменнно-влажные (муссонные) тропические леса, водно-болотные угодья – для тропических широт и вечнозеленые хвойные, вечнозеленые широколиственные, листопадные хвойные, широколиственные, смешанные леса – для умеренных широт.

Для каждой станции были рассчитаны среднесуточные аномалии потоков NEE и LE путем вычитания сезонного хода. Экстремально высокие (низкие) значения аномалий потоков были определены как превышающие одно стандартное отклонение от общего временного ряда для каждого календарного месяца в отдельности.

Для выделения периодов с экстремальными значениями температуры воздуха и количества осадков использовались данные реанализа Европейского центра прогнозов погоды ERA5 (Smith, 2011) по температуре воздуха на уровне двух метров за каждые 3 часа и сумме осадков за каждый час с пространственным разрешением 0,25°×0,25° с 1991 по 2021 год. По этим данным на первом этапе были рассчитаны среднесуточные значения. Пороговые значения для определения экстремально жарких/холодных периодов рассчитывались как превышение среднесуточного значения температуры воздуха 95% квантиля (для аномально

жарких периодов) или не превышение 5% квантиля (для аномально холодных периодов) нормального распределения со средним и стандартным отклонением. Распределение строилось для конкретного месяца года с последующим осреднением за весь рассматриваемый период. Периоды с экстремальными суммами осадков определялись как превышение суточной суммы осадков 95% квантиля распределения Вейбулла с параметрами, соответствующими распределению суточных значений в течение конкретного месяца за рассматриваемый период.

Чтобы количественно оценить взаимосвязь между экстремальными погодными условиями и аномалиями потока, были рассчитаны проценты дней, когда одновременно аномалия NEE/LE превышала стандартное отклонение и температура/осадки превышали 95% квантиль для верхнего порога или температура не достигала 5% квантиля для нижнего порога. Процент был рассчитан исходя из общего количества дней, в течение которых одна из характеристик (температура воздуха, суточная сумма осадков) превышала пороговое значение.

Анализ временной изменчивости среднесуточных значений температуры, осадков и аномалий потока CO₂, а также их взаимосвязей, выявил различный отклик потоков CO₂ на колебания температуры и осадков в тропических экосистемах. Интенсивные осадки в тропиках, главным образом, приводили к повышенной эмиссии CO₂ в атмосферу из-за увеличения влажности почвы и активности микроорганизмов, которые стимулировали разложение и минерализацию органического вещества в почве («эффект Бритча» (Birch, 1964)) и усиливали автотрофное дыхание растений. Такие типы взаимосвязей наблюдались практически во всех типах изучаемых биомов. Через несколько дней после обильных осадков эмиссия CO₂ постепенно снижалась после восстановления влажности, и экосистемы начинали служить стоком CO₂ из атмосферы, главным образом благодаря интенсификации фотосинтеза растений при оптимальных условиях почвенного увлажнения.

Дефицит осадков в тропических широтах способствовал более высокому поглощению CO₂ (прослеживаемая зависимость была в два раза меньше по сравнению с интенсивными осадками), вследствие сниженной дыхательной активности растений (ER) и высоких значений GPP при достаточной влажности почвы. Влияние аномалий температуры на потоки CO₂ было более заметным в периоды засух, связанных с недостаточным количеством осадков. В вечнозеленых лесах, переменнo-влажных, сухих лесах, болотах и на некоторых станциях в саваннах низкие температуры совпадали с высокими эмиссиями CO₂. Во время сезона дождей влияние аномалий температуры было тесно связано с изменениями в осадках: обильные осадки сопровождалась сильной облачностью и, следовательно, более низкой температурой. В то же время экстремальные осадки приводили к увеличению эмиссии CO₂.

Сравнение взаимосвязи между среднесуточными потоками CO₂, и аномалиями температуры и осадков показало, что чувствительность потоков CO₂ к аномалиям осадков была сильнее, чем к изменению температуры. Это можно объяснить относительно небольшими колебаниями температуры в тропиках по сравнению с осадками, а также общим недостатком влаги в почвах в сухие периоды в экосистемах с сезонным колебанием осадков.

Отклик лесов умеренных широт на экстремальные погодные условия был рассмотрен только в теплое время года. Начало и конец теплого сезона определены для всех станции отдельно как дата устойчивого перехода среднесуточной температуры через ноль (отсутствие отрицательных значений температуры в течение как минимум 7 дней подряд).

Во всех рассмотренных типах лесов экстремально жаркие условия в основном связаны с повышенным потоком CO₂ в атмосферу. Самый высокий процент жарких дней, сопровождающихся положительной аномалией NEE, превышающей стандартное отклонение, (до половины всех жарких дней), наблюдается в вечнозеленых хвойных лесах. Примечательно, что отрицательные аномалии NEE также могут наблюдаться в жаркие периоды, но процент дней с ними значительно ниже (6-15%). В смешанных и широколиственных лесах положительные аномалии потока NEE также преобладают при экстремально высоких температурах, но процент дней ниже. Меньшее влияние высоких температур на фотосинтез растений и поглощение CO₂ в этих лесах по сравнению с вечнозелеными хвойными лесами может быть связано с более высокой чувствительностью и уязвимостью последних к более высоким температурам и положительным температурным аномалиям. Отклик потока NEE на отрицательные аномалии температуры значительно варьируется в зависимости от типа лесов и даже между лесами в пределах лесного биома, в зависимости от состава лесных пород, местоположения лесов и характеристик ландшафта.

Экстремально высокие значения температуры сопровождаются положительными аномалиями LE из-за интенсификации процессов испарения с повышением температуры. Эта взаимосвязь наблюдается во всех рассмотренных типах лесов. Холодные периоды, приходящиеся на теплое время года, в основном вызывают сильные отрицательные аномалии LE из-за подавленного испарения при низких температурах.

Отклик на обильные осадки почти во всех типах лесов, рассмотренных в нашем исследовании, проявляется в виде увеличения потока CO₂ в атмосферу. В смешанных, вечнозеленых хвойных и широколиственных лесах до 40-70% дней с экстремальными осадками связаны с положительными аномалиями NEE, превышающих стандартное отклонение. В лиственных лесах этот процент несколько ниже: 30-50%. При этом поток LE в атмосферу в ответ на экстремальные осадки уменьшается.

Важно отметить, что аномалии потоков CO₂ часто не совпадали с аномалиями осадков или температуры, что указывает на сильное влияние различных абиотических и биотических факторов на функционирование экосистемы, которые проявляются по-разному в отдельных растительных сообществах. Сравнивая влияние положительных и отрицательных температурных аномалий на NEE и LE в умеренных и тропических широтах, можно увидеть, что чрезвычайно высокие температуры оказывают более сильное влияние на потоки NEE и LE, чем снижение температуры воздуха в теплое время года. Это говорит о том, что периоды сильной жары могут быть наиболее важными факторами, влияющими на баланс CO₂ и H₂O в лесах умеренного пояса. В средних широтах экстремальные температуры и осадки оказывают сопоставимое воздействие на потоки NEE и LE, в отличие от тропиков, где преобладает влияние осадков на потоки.

Исследование выполнено при поддержке гранта РФФИ (22-17-00073).

Список литературы

Birch H.F. (1964) Mineralisation of plant nitrogen following alternate wet and dry conditions, *Plant Soil*, vol. 20, pp. 43-49.

Frank D., Reichstein M., Bahn M., Thonicke K., Frank D., Mahecha M.D., Smith P., van der Velde M., Vicca S., Babst F. et al. (2015) Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: Concepts, processes and potential future impacts, *Glob. Chang. Biol.*, vol. 21, pp. 2861-2880.

Smith M.D. (2011) An ecological perspective on extreme climatic events: A synthetic definition and framework to guide future research, *J. Ecol.*, vol. 99, pp. 656-663.

The Changing State of the Climate (2021) *In Climate Change 2021: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Masson-Delmotte V., Zhai P. et al. (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK, New York, NY, USA, pp. 287-422, ISBN 9781009157896.

The Data Portal serving the FLUXNET community, URL: <https://fluxnet.org/data/>.

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УРБОЭКОСИСТЕМЕ

REMOTE ASSESSMENT OF THE VEGETATION STATE IN THE URBAN ECOSYSTEM

Суховольский В.Г.¹⁾, Ковалев А.В.²⁾

Soukhovolsky V.¹⁾, Kovalev A.²⁾

¹⁾Институт леса им.В.Н.Сукачева СО РАН,
Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28
²⁾Федеральный исследовательский центр КНЦ СО РАН,
Россия, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50

Аннотация. Рассматривается метод оценки состояния растительности для территорий с распределенными источниками поллютантов по дистанционным характеристикам отклика значений фотосинтетического индекса NDVI в течение года в ответ на изменения величин температуры подстилающей поверхности LST. Для упрощения анализа будем рассматривать не двумерные, а одномерные решетки. Для построения выборочного одномерного кластера этого на одномерной бинарной решетке будем задавать координаты случайной точки (затравку) и случайное значение азимута и рассматривать трансекту длины L.

Для каждой трансекты оценивался средний размер кластера, который для одномерной решетки играет роль восприимчивости. Если средний размер кластера мал, то состояние биоты на трансекте будет неудовлетворительным.

Ключевые слова. Город, урбоэкосистема, растительность, состояние, пространственная структура, дистанционная оценка.

Abstract. A method is considered for assessing the state of vegetation for territories with distributed sources of pollutants based on remote characteristics of the response of the values of the photosynthetic index NDVI during the year in response to changes in the temperature values of the underlying surface LST. To simplify the analysis, we will consider not two-dimensional, but one-dimensional lattices. To construct a selective one-dimensional cluster of this on a one-dimensional binary lattice, we will set the coordinates of a random point (seed) and a random azimuth value and consider a transect of length L. For each transect, the average cluster size was estimated, which for a one-dimensional lattice plays the role of susceptibility. If the average cluster size is small, then the state of the biota on the transect will be unsatisfactory.

Keywords: City, urban ecosystem, vegetation, state, spatial structure, remote sensing.

Оценка текущего состояния растительности в урбоэкосистемах крайне важна для решения задач управления городской средой. Состояние растительности в урбоэкосистемах зависит от природных условий территории и уровня загрязнения природной среды. Существует два типа источников поллютантов – точечные и распределенные. Точечными источниками являются большей частью территории, на которых располагается большое промышленное предприятие, например, металлургические заводы в Норильске, Мончегорске, на Среднем Урале. К урбоэкосистемам с распределенными источниками поллютантов относятся крупные города с большим числом промышленных предприятий и большими потоками автотранспорта. При анализе влияния на биоту точечных источников поллютантов обычно рассматриваются радиальные модели, в которых центром является сам источник, а влияние поллютантов изучается относительно радиального расстояния до источника. Если не учитывается роза ветров, то при моделировании используется одномерная модель с независимой переменной – расстоянием до источника поллютантов.

Для территорий с распределенными источниками поллютантов необходимы иные подходы к описанию влияния поллютантов. В настоящей работе предлагается метод оценки состояния растительности по дистанционным характеристикам отклика значений фотосинтетического индекса NDVI в течение года в ответ на изменения величин температуры подстилающей поверхности LST.

Для описания этих связей в течение отдельного года для каждого из 13500 пикселей (250 x 250 м) на квадратной решетке в пределах территории города и прилегающей пригородной территории вычислялись параметры регрессионного уравнения восприимчивости NDVI к изменению LST:

$$q^2(i, j, t) = A - B \cdot H(i, j, t) \quad (1)$$

где (i, j) – координаты пикселя на изучаемой территории, t – дата в течение года,

$$q(i, j, t, \theta) = (1 - NDVI(i, j, t, \theta)); \quad H(i, j, t, \theta) = \int_{t-\tau}^t LST(i, j, t) dt; \quad \tau - \text{запаздывание реакции}$$

растительности в ответ на изменение температуры, $B = \frac{\partial(q^2)}{\partial S}$ – восприимчивость q^2 к изменению LST.

В зимний период, когда листопадные растения опадают, а для городов в пределах бореальной зоны кроны хвойных деревьев покрываются снегом и, следовательно, фотосинтетический индекс NDVI $\rightarrow 0$, а $q \rightarrow 1$. В середине же лета, когда NDVI максимально и близко к 1, величина $q \rightarrow 0$.

При этом можно заметить, что траектория изменения величины q^2 в начале сезона отличается от изменения q^2 в конце сезона и для траектории $q^2 = A - BH$ наблюдается своеобразный эффект гистерезиса. В зависимости от формы траектории можно говорить о «жестком» гистерезисе (когда ширина петли гистерезиса достаточно велика), и «мягком» гистерезисе (когда ширина петли гистерезиса мала). Однако для хвойных растений в зимний период снег может таять во время оттепели или сдуваться ветром, что приводит к уменьшению q^2 и на траектории q^2 возникает шум, что приводит к расплыванию траектории гистерезиса. В этих условиях отфильтровывать шум достаточно трудно, и проще каждый пиксел на изучаемой территории в конечном счете характеризовать двумя показателями: отношением $\frac{A}{B} = T_c$ и коэффициентом детерминации R^2 регрессионного уравнения (1). Для ситуации с «жестким» гистерезисом величина коэффициента детерминации меньше величины коэффициента детерминации для «мягкого» гистерезиса. Если $R^2 \rightarrow 1$, то динамика состояния весной и осенью примерно одно и то же. Если $R^2 \ll 1$, то динамики состояния весной

отличается от динамики состояния осенью и наблюдается «жесткий» гистерезис кривой сезонной динамики q^2 .

Так как для ситуации, когда значение T_c непрерывно изменяется в достаточно широком диапазоне от 200 до 300, анализ в достаточной степени затруднителен, и для упрощения состояния пиксела перейдем в бинарную шкалу с некоторым критическим значением T_k . Значения параметра $T_c > T_k$ для отдельного пиксела примем равным 0, значения $T_c < T_k$ для пиксела примем равным 1.

Для выбора критического значения T_k рассмотрим функции плотности распределения $f(T_c)$ пикселей по непрерывным значениям T_c для всей территории г. Красноярска и для зоны вблизи заповедника «Столбы» на границе города (рис. 136).

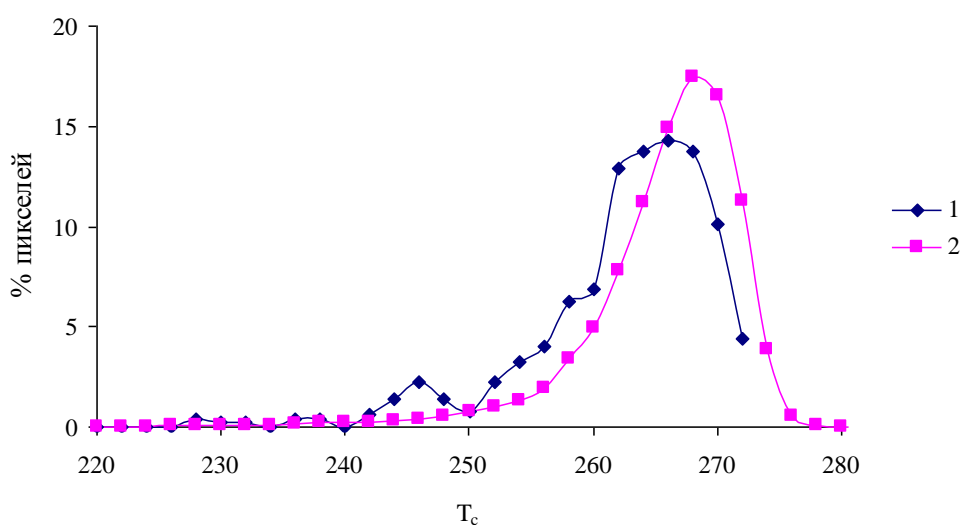


Рисунок 136. Функции плотности распределения $f(T_c)$ пикселей по непрерывным значениям T_c для зоны вблизи заповедника «Столбы» (1) на границе города – 496 пикселей, и для всей территории г. Красноярска (2) – 13500 пикселей

Как видно из рис. 136, T_c для пикселей в зоне вблизи заповедника «Столбы» с минимальным уровнем воздействия поллютантов сдвинуто с минимальным значениям, тогда как в целом для города мода T_c равна 366. Для дальнейшего анализа выберем $T_k = 260$ и в результате территорию города можно рассматривать как двумерную решетку со значением 0 или 1 в каждом узле. На двумерной решетке наблюдаются кластеры с одинаковыми значениям узлов – «решеточные звери» (Lattice animals) – near neighbours (n.n.) различных размеров. Функция плотности распределения размеров «решеточных зверей» и среднее значение размеров «решеточных зверей» характеризуют состояние биоты.

Для дальнейшего упрощения анализа будем рассматривать не двумерные, а одномерные решетки. Для построения выборочного одномерного кластера на одномерной бинарной

решетке будем задавать координаты случайной точки (затравку) и случайное значение азимута (0, 90, 180, 270°) и рассматривать трансекту длины $L = 30$ пикселей. Таким образом получим $k = 500$ одномерных решеток, для которых введем величину p – доля пикселей на одномерной решетке со значениям $s = 1$.

В общем случае средний размер S кластеров вычислим, используя следующее выражение:

$$S = \frac{\sum_s s^2 n_s(p)}{\sum_s s n_s(p)} \quad (2)$$

Для одномерной решетки теоретическое значение S вычисляется по следующей формуле (Абаимов, 2013):

$$S = \frac{1+p}{1-p} \quad (3)$$

Если $p \rightarrow 0$, то есть пикселей с хорошим состоянием на данной трансекте мало, то $S \rightarrow 1$. Если доля p пикселей с хорошим состоянием велика ($p \rightarrow 1$), то $S \rightarrow \infty$, в которых средний размер кластера играет роль восприимчивости. Если средний размер кластера мал, то состояние биоты будет неудовлетворительным. Трансекты со значением $p = 0$ и $S = 1$ составили 50% выборки, то есть половина трансект на территории города характеризуются практически полным отсутствием растительности (рис. 137).

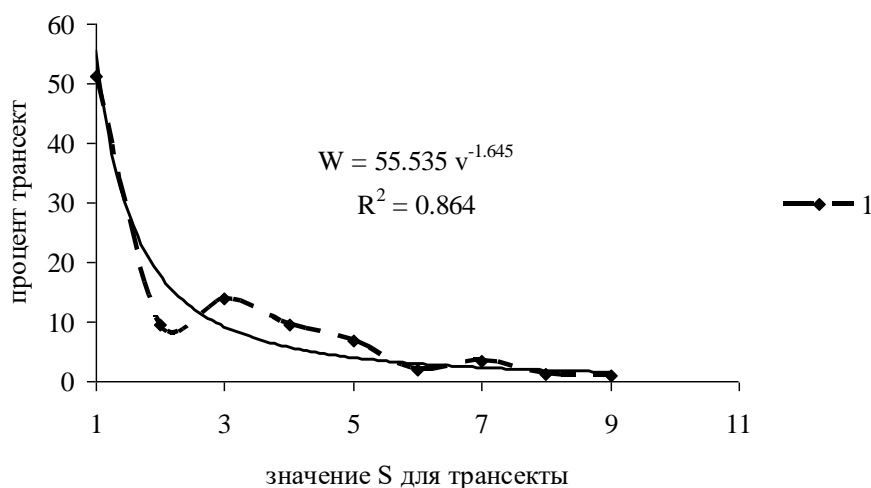


Рисунок 137. Функция плотности распределения значений S для выборочных трансект на территории г. Красноярска

Трансекты, на которых $p > 2/3$ и $S > 5$, от пикселей на них, составляют около 15% от общего числа трансект в выборке. Трансекты с промежуточными значениями p и S составляют

около 35% от общего числа трансект в выборке. Как распределены пиксели – «затравки» с $S \geq 5$ на территории города? Координаты таких «затравок» приведены на рис. 138.

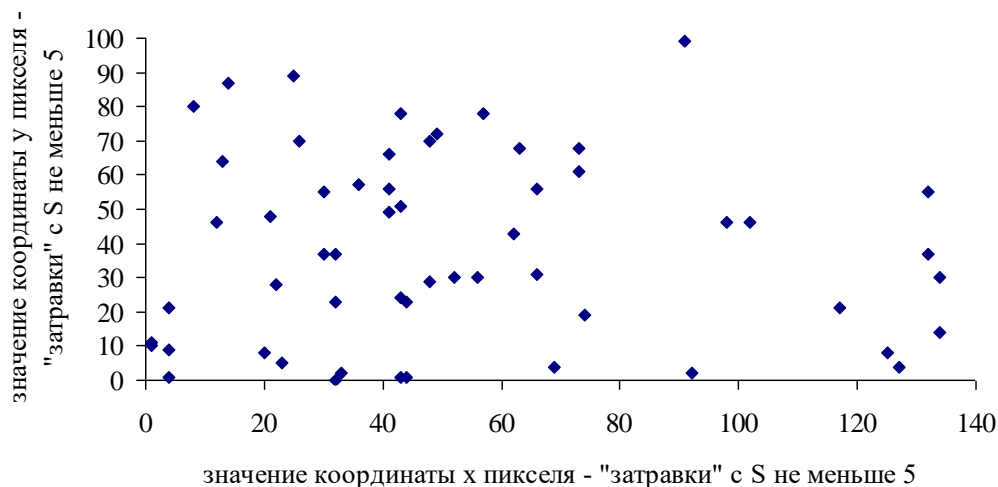


Рисунок 138. Координаты пикселей – «затравок» с $S \geq 5$ на территории г. Красноярск

Как видно из рис. 138, на территории с координатами $x > 80$ более-менее обильная растительность отсутствует и это связано с расположением в этой зоне большого числа промышленных предприятий. Также на территории присутствуют «пятна», где отсутствуют пиксели с $S \geq 5$.

Подобные расчеты можно выполнить для любой территории и таким образом получить оценки состояния урбозкосистемы.

Список литературы

Абаимов С.Г. (2013) *Статистическая физика сложных систем: от фракталов до скейлинг-поведения*, М., Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 392 с.

**ЭКОСИСТЕМНЫЕ УСЛУГИ И ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ
ПОСТПИРОГЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ
ECOSYSTEM SERVICES AND ECOLOGICAL STATE OF POSTPYROGENIC
FOREST SOILS**

Чебыкина Е.Ю.

Chebykina E.Yu.

Санкт-Петербургский государственный университет
Россия, 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская набережная, д. 7-9

Аннотация. Лесные пожары относятся к наиболее значительным видам нарушений в глобальном масштабе, влияя на биоразнообразие и биогеохимические циклы и внося существенный вклад в глобальный химический состав атмосферы. Прямой ущерб от лесных пожаров ежегодно исчисляется миллиардами рублей, однако он может быть еще выше, если учитывать косвенные потери экологических и природных ценностей лесов и почв. Предложен новый подход к оценке экосистемных услуг постпирогенных лесных почв. В качестве параметра количественной оценки использовали комплексный показатель оценки экологического состояния почв (*Pe*). Он может служить как индикатором деградации отдельного свойства почвы, так и использоваться при экономической оценке отдельных экологических услуг городских лесов. Оценивание экосистемных услуг лесными экосистемами и почвами в результате лесных пожаров в будущем должно быть преобразовано в стоимостную оценку. Стоимость восстановления экосистемных услуг, обеспечиваемых почвой, очень высока и определяет необходимость максимального сохранения почвенного покрова при осуществлении хозяйственной деятельности.

Ключевые слова: лесные пожары, экосистемные услуги, экологическое состояние почв, лесная экосистема, городской ландшафт.

Abstract. Forest fires are among the most significant disruptions on a global scale, affecting biodiversity and biogeochemical cycles and making a significant contribution to global atmospheric chemical composition. Direct damage from forest fires annually amounts to billions of rubles, but it can be even higher if we take into account the indirect loss of environmental and natural values of forests and soils. A new approach to assessing the ecosystem services of postpyrogenic forest soils is proposed. A complex indicator for assessing the ecological state of soils (*Pe*) was used as a quantitative assessment parameter. It can serve both as an indicator of the particular soil property degradation, and can be used in the economic assessment of individual ecological services of urban forests. The valuation of ecosystem services by forest ecosystems and soils as a result of forest fires in the future should be converted into a valuation. The cost of restoring of ecosystem services provided by soil is very high and determines the need for maximum conservation of soil cover in the implementation of economic activities.

Keywords: wildfires, ecosystem services, ecological soil state, forest ecosystem, urban landscape.

Российская Федерация обладает обширными лесными ресурсами, которые предоставляют многочисленные экосистемные услуги, жизненно важные для общества и национальной экономики. Различные природные нарушения оказывают серьезное влияние на динамику российских лесов. В частности, одним из наиболее опасных воздействий на биогеоценозы являются пожары, влекущие за собой как обратимые, так и необратимые последствия. В России площадь природных пожаров за последние 20 лет в среднем составляет 8,9 млн га в год по данным ИСДМ-Рослесхоз. В 2021 году площадь лесных пожаров в России составила 18,81 миллиона гектаров. Это максимальное значение с начала XXI века, следует из данных системы дистанционного мониторинга Рослесхоза.

Увеличивающиеся с каждым годом количество лесных пожаров и площадь лесных территорий, подверженных действию огня, приводит к тому, что пожары все чаще

приближаются к крупным населенным пунктам, охватывая городские леса. Лесной пожар сопряжен с большой опасностью, так как помимо того, что он уничтожает большие материальные ценности и в нем гибнут животные и растения, в зависимости от зоны горения огонь может распространяться на населенные пункты, промышленные предприятия и выводить из строя линии электропередачи (ЛЭП).

Лесные пожары в 2010 году охватили всю Европейскую территорию страны, и дым распространился даже до Москвы. Особо сложное положение было в Самарской области в районе г. Тольятти, где городские леса сгорели на площади более 2 тыс. га, о которых речь пойдет далее.

Ущерб от лесных пожаров 2010 года оценивался по данным Федерального агентства лесного хозяйства в 85,5 млрд рублей: вероятно, эти данные значительно занижены в связи с тем, что они учитывают только прямые потери древесных ресурсов, но не учитывают потери лесами средообразующих и природных ценностей, и тем более не учитывают ущерб, нанесенный огнем и дымом жизни и здоровью людей.

Особенностью городских лесов Тольятти является их расположение на южном пределе своего распространения в экстремальных условиях существования. К тому же они являются условнокоренными (близкими по составу и структуре исходным лесам), что несколько снижает их продуктивность и способность к естественному самовозобновлению. Городские леса для г. Тольятти являлись своеобразным "сосновым фильтром" города. Лесные пожары стали для города локальной катастрофой, поскольку полностью изменили функционирование лесных экосистем. Городские леса Тольятти вследствие верховых пожаров потеряли более 2000 га старовозрастных сосняков.

Леса и зеленые насаждения г. Тольятти выполняют исключительно важные эстетические, ландшафтообразующие, средоохранные, санитарногигиенические и архитектурно-планировочные роли. Большой заслугой лесоводов и населения Тольятти является наличие (в условиях развитых в городе промышленных структур и транспортной сети) и сохранение (даже после грандиозного по своему размаху строительства конца XX в.) крупных лесных массивов (более 8 тыс. га) с присущей им лесной обстановкой и своеобразием природного облика.

На качество экосистемных услуг городских ландшафтов безусловно влияет экологическое состояние почв. Разработаны и апробированы методики, оценивающие экологическое состояние почв города (Стома, Романова, 2019; Экологические функции городских почв, 2004). В качестве количественного параметра оценки использовали комплексный показатель оценки экологического состояния почв (Pe). Экологическое

состояние почв оценивали по методике М.Н. Строгановой с соавторами (Строганова и др., 2003). Из предложенных восемнадцати параметров выбраны одиннадцать: мощность прогумусированной толщи, запасы гумуса, $pH_{вод}$, гранулометрический состав, плотность сложения, содержание тяжелых металлов (суммарный показатель загрязнения), дыхание почвы (биологическая активность), численность и биомасса почвенной биоты в верхнем слое. В зависимости от уровня изменения соответствующего свойства относительно оптимальных его значений или природных аналогов производили оценку по 5-балльной шкале (V_i – оценка отдельных i -х диагностических показателей свойств почв в баллах (5 – оптимальная ситуация, 1 – практически необратимое нарушение свойства)) и умножали на весовой коэффициент значимости диагностических показателей свойств почв (K_i 0,5-1,5). С учетом весового вклада каждого свойства рассчитывали комплексный показатель оценки экологического состояния почв (Pe), который может служить показателем деградации как отдельного свойства, так и использоваться при экономической оценке отдельных экологических услуг городских лесов.

Для оценки экологического состояния почв после лесных пожаров были изучены серогумусовые супесчаные почвы с признаками развития альфегумусового процесса без формирования самостоятельного подзолистого горизонта сформированы на древних аллювиальных волжских песках – Psamment Entisols. Изучалось воздействие двух типов пожаров – верхового и низового – для оценки экологического состояния почв в сравнении с контрольным вариантом.

Лесные пожары изменяют морфологические и физико-химические свойства почв, приводят к полной или частичной деградации органогенных горизонтов и образованию так называемых пирогенных горизонтов.

Пожары приводят к серьезным изменениям в пределах почвенного профиля. Особенно активны процессы потери гумуса при выгорании подстилки и верхнего гумусового горизонта; кроме того, происходит деградация первичных минералов и глинистой плазмы. Изменения в морфологии почв наиболее заметны в верхних горизонтах (широкое распространение угольков, сохранение охристых тонов в окраске горизонтов).

Почва выполняет в экосистемах множество экологических функций, а отдельные почвенные свойства или их комплекс участвуют в осуществлении тех или иных предоставляемых экосистемных услуг. Преобразование под влиянием различных факторов почвенных показателей может привести к изменению качества экологических услуг. Оценка экологического состояния свойств почв с учетом степени их трансформации (или отличия) относительно природного потенциала или оптимальных значений представлена в табл. 59.

Среди почвенных свойств, которые могут обеспечивать выполнение городским лесом тех или иных экосистемных услуг, выбраны одиннадцать (табл. 59).

Таблица 59. Экосистемные услуги и показатели экологического состояния почвенных свойств городских лесов Тольятти

Экосистемные услуги	Почвенные свойства	Значение почвенных свойств			Оценка, V_i , баллы			K_i	P_e		
		1	2	3	1	2	3		1	2	3
Генетический материал биоты	Численность (млрд кл/г) биомасса (мкг/г) бактерий	<u>0,64</u> <u>12,8</u>	<u>0,46</u> <u>9,2</u>	<u>2,04</u> <u>20,4</u>	3	2	5	1,0	3	2	5
	Длина мицелия (м/г) биомасса (мкг/г) грибов и актиномицетов	<u>144,8</u> <u>204,9</u>	<u>39,9</u> <u>63,38</u>	<u>602,9</u> <u>832,81</u>	3	2	5	1,0	3	2	5
Фильтрация и аккумуляция химических элементов в экосистеме	суммарный показатель загрязнения Z_c	32	7	12	4	5	5	1,5	6	7,5	7,5
	содержание физической глины	14,9	14,1	15,8	4	4	4	1,0	4	4	4
	плотность сложения, г/см ³	0,78	0,85	1,03	5	5	5	1,0	5	5	5
	pHвод	8,0	7,9	6,5	3	3	4	1,5	4,5	4,5	6
	запасы гумуса, т/га	36	54	81	3	4	5	1,5	4,5	6	7,5
Процессы выветривания и почвообразования	мощность гумусового горизонта, см	14	10	23	3	2	5	1,5	4,5	3	7,5
	дыхание почвы (биологическая активность), мг CO ₂ на 100 г почвы/сутки	75	77	258	3	3	5	1,0	3	3	5
								P_e сред	4,2	4,1	5,8
								P_e сумм	37,5	37	52,5

Примечание: 1 – низовой лесной пожар, 2 – верховой пожар, 3 – ненарушенная лесным пожаром территория.

Экологическое состояние послепожарных почв по сравнению с фоном ухудшается: средний показатель P_e значительно снижается с 5,8 до 4,1 (табл. 59), причем отсутствуют отличия между почвами верхового и низового пожаров. Для отдельных почвенных свойств он существенно варьирует: от 2,0 до 7,5 и ниже фонового на 20-60%. На постпирогенных почвах снижение экологического состояния отдельных почвенных свойств относительно оптимума проявляется почти в 80% случаев. Наиболее негативный вклад в снижение P_e вносит снижение мощности гумусового горизонта, и численность, и биомасса почвенной биоты. Вследствие изменившихся условий местообитания и прямого выжигания почвенной биоты ее состояние значительно ухудшается. Частные показатели уровня деградации ее численности и биомассы снижаются с 5 до 2-3 баллов. Кроме того, отмечается значительное ухудшение экологического состояния таких диагностических почвенных параметров, как запасы гумуса и мощность гумусовой толщи (от 7,5 до 3,0 баллов). Остальных свойства почв существенно не изменяются в результате пожаров.

Оценка потери лесными экосистемами и почвами их экосистемных услуг в результате пожаров обязательно должна в будущем перейти в стоимостную оценку. Это особенно

актуально для городских лесов в контексте расчета ущербов от лесных пожаров. Подобные стоимостные оценки ранее успешно проводились (Семенюк и др., 2019, 2021; Стома, Романова, 2019). Несомненно, стоимостная оценка экосистемных услуг городских лесов, затронутых действием лесного пожара, имеет важное прикладное значение в рамках пожарной безопасности, оценки рисков лесных пожаров и градостроительства и должна быть использована в качестве инструмента организации городской среды, регулирующего хозяйственную деятельность в городских лесах и экологическое состояние урбанизированных территорий.

Работа выполнена при поддержке Гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук № МК-4596.2022.1.4.

Работа посвящена 300-летию Санкт-Петербургского государственного университета.

Список литературы

Семенюк О.В., Бодров К.С., Стома Г.В., Яковлев А.С. (2019) Оценка стоимости экосистемных услуг природного парка "Битцевский лес", *Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение*, № 3, с. 23-29.

Семенюк О.В., Стома Г.В., Бодров К.С. (2021.) Оценка стоимости экосистемных услуг городских ландшафтов (на примере г. Москвы), *Почвоведение*, № 12, с. 1-14.

Стома Г.В., Романова Л.В. (2019) Экологическое состояние почв и древесной растительности в городских парково-рекреационных ландшафтах (на примере Екатеринского парка г. Москвы), *Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение*, № 4, с. 11-18.

Строганова М.Н., Прокофьева Т.В., Прохоров А.Н., Лысак Л.В., Сизов А.П., Яковлев А.С. (2003) Экологическое состояние городских почв и стоимостная оценка земель, *Почвоведение*, № 7, с. 867-875.

Экологические функции городских почв (2004) Отв. ред. А.С. Курбатова, В.Н. Башкин, М., Смоленск, Маджента, 232 с.

МОНИТОРИНГ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛОВ

MONITORING OF COAL DUMPS

Шушикин А.С., Мурзакматов Р.Т.

Shishikin A.S., Murzakmatov R.T.

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/28

Аннотация. Отвалы занимают большие площади земельного и лесного фондов. При этом они обладают большим рекреационным ресурсом, который не оценивается и не используется. Мониторинг с привлечением высококвалифицированных специалистов позволяет оценить негативные последствия и рекомендовать способ его снижения. При проведении мониторинга следует учитывать сукцессионные стадии их продолжительность и продуктивность. Для возвращения земель для с/х пользования следует признать не эффективным нанесение предварительно снятого потенциально плодородного слоя и передержанного его в отвале. Перспективно лесозарождение отвалов. Для этого следует использовать ранее разработанный нами способ рекультивации. Обращается внимание на негативную роль ведомственных НИИ, которые проводят оценку техногенного воздействия на окружающую среду, а не экологический аудит производства. Вместе с проектом рекультивации следует разрабатывать проект рекреационного использования отвалов.

Ключевые слова: отвалы угольных разрезов; патент; ведомственные НИИ; биологический мониторинг; сукцессионные стадии; педобионты.

Abstract. Dumps occupy large areas of land and forest funds. At the same time, they have a large recreational resource that is not evaluated and is not used. Monitoring with the involvement of highly qualified specialists allows you to assess the negative consequences and recommend a way to reduce it. When monitoring, the succession stages of their duration and productivity should be taken into account. For the return of land for agricultural use, it should be recognized that the application of a previously removed potentially fertile layer and overexposed it in the dump is not effective. Logging of dumps is promising. To do this, we should use the method of reclamation previously developed by us. Attention is drawn to the negative role of departmental research institutes that assess the anthropogenic impact on the environment, and not an environmental audit of production. Together with the reclamation project, a project for the recreational use of dumps should be developed.

Keywords: coal mine dumps; patent; departmental research institutes; biological monitoring; succession stages; pedobionts.

Отвалы угольных разрезов формируются железнодорожным или автомобильным транспортом. Они включают вскрышные и вмещающие породы, которые попадая на дневную поверхность разрушаются и становятся потенциально пригодными для лесозарождения (Манаков и др., 2017). В связи с привлечением специалистов высокого уровня мониторинг должен заканчиваться предложениями по снижению негативных последствий, иначе теряется смысл длительных, профессиональных наблюдений. При этом важно разделять неизбежные технологические нарушения, и косвенные без которых можно обойтись или организовать это природопользование с минимальными потерями для природы и традиционной жизни аборигенов. Следует обратить внимание, что мониторинговые работы окружающей среды и переданных земель прежним владельцам, осуществляют ведомственные НИИ. При этом, стоимость мониторинговых работ, выполненных этими учреждениями, на порядок превосходит академические и региональные затраты. Более того рекомендуются мероприятия не приемлемые для нарушаемых природных зон (посадка сосны в Норильске, фрезерование

тундры и посев южных трав при рекультивации). Поэтому наши результаты и рекомендации, несмотря на их высокий потенциал внедрения, по понятным причинам, не востребованы. Техногенные нарушения не всегда снижают продукционный потенциал трансформированного ландшафта, особенно если не настаивать (как требует действующее законодательство) на прежнем использовании нарушенных земель (с/х пользование). При отсутствии дефицита в Сибири пахотных земель (по данным космической съемки в подтайге 80% залежей и брошенных деревень) и учитывая длительность формирования почвы отвалов, их следует использовать для других целей (рекреации различных форм, рыборазведения, пчеловодства, охоты, региональных ООПТ и др.). Важно отслеживать ресурс (особенно дикоросы) по стадиям сукцессий. Соответственно технология рекультивации должна учитывать дальнейшее использование отвалов.

Ведется комплексный (вода, почво-грунты, растения, животные) биологический мониторинг (16 лет) отвалов Бородинского угольного разреза. Заложено 8 постоянных пробных площадей на отвалах разного возраста и технологии рекультивации, на которых ежегодно проводятся исследования: морфологии водоемов, скорости их заселения; флористические и фаунистические изучения видового состава, их сукцессий; фито- и зоомасса; технологическая мозаика почво-грунтов, растительности и животных; определялась естественная (ягоды, грибы, охотвиды) и искусственная продуктивности; проводилась экспериментальным посадкам с/х и лесных культур, а также официально рекомендованных травосмесей, удобрений и др. (Шишкин, 2015).

Обсуждение. В результате наблюдений на отвалах разного возраста и технологии рекультивации предложен свой способ быстрого восстановления биологического потенциала нарушенных земель (патент № 215533) (Шишкин, 2015а). При этом обращается внимание на долговременность создания объективных условия (почво-грунтовых) для разнообразного произрастания растений и обитания животных. К сожалению, простое нанесение плодородного слоя на отвалы с их предварительным выравниванием не повышает плодородие (экспериментальные посев и посадки), до формирование генетических горизонтов почвы (30-40 лет). Напротив, провоцируются плоскостная и овражная эрозии. В первые 2-3 года на отвалах и нанесенной «почве» разрастаются сорняка (лебеда, конопля), которые приводят к потере продуктивности и структуры верхнего горизонта. Поэтому, несмотря на действующее положение о возврате земель для прежнего использования и с той же продуктивностью, не перспективны (с/х направление биологической рекультивации затратна и не перспективна). Нельзя сформировать прежний рельеф и почву. Наивно полагать, что нанесение темной земли на горные отвалы, из отвалов хранения почвы, решает проблему формирования пахотного

слоя. Почва – биокосная система организмов и пока в ней не сформируются физические условия пригодные для обитания педобионтов (температура, грунтовая влажность, кислотность др.) она будет оставаться техногенным грунтом. В то же время естественное и искусственное лесовосстановление (без затрат на выравнивание горных отвалов и нанесение плодородного слоя) проходит успешно, исключается эрозия, повышается продуктивность отвалов, формируется собственный горизонт почвы и запускается естественный сукцессионный процесс (Шишкин, Ефимов, Мурзакматов, 2019; Шишкин, 2015б). При этом затраты минимальны, что не маловажно в современных условиях. Главная задача – исключить неуправляемые пожары.

Из нашего опыта следует, что мониторинг должен заканчиваться выявлением негативных последствий техногенного воздействия и разработкой рекомендаций по их уменьшению. Рекомендуемый способ рекультивации способствует естественному зарастанию отвалов и на долгое время (пока не выровняется агрофон) обеспечивает биоразнообразие растительности и животных. При прогнозе необходимо обращать внимание на сукцессионные процессы, продуктивность и длительность отдельных этапов (скорость прохождения).

Список литературы

Манаков Ю.А., Куприянов А.Н., Уфимцев В.И., Стрельникова Т.О. (2017) *Экологический мониторинг в районах угледобычи*, Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 208 с.

Шишкин А.С., Ефимов Д.Ю., Мурзакматов Р.Т. (2019) Биологические ресурсы горных отвалов (на примере Бородинского угольного разреза), *Сибирский лесной журнал*, № 5, с. 109-117.

Шишкин А.С., Мурзакматов Р.Т., Борисов А.Н. (2018) Особенности формирования насаждений на отвалах угольных разрезов в лесостепной зоне, *Сибирский лесной журнал*, № 1, с. 37-48.

Шишкин А.С. (2015а) Мелкобугристая и западная технология рекультивации, *Сб. инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора*, Кемерово-Новокузнецк, с. 175-178

Шишкин А.С. (2015б) Организация исследований техногенных территорий, *Сб. инновационных решений по сохранению биоразнообразия для угледобывающего сектора*, Кемерово-Новокузнецк, с. 102-119.

ВОЗМОЖНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО МЕТОДА

POSSIBILITIES OF THE REMOTE METHOD

Шушикин А.С., Пономарева Т.В. Люто А.А.

Shishikin A.S., Ponomareva T.V. Lyuto A.A.

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/28

Аннотация. Приводятся материалы, доказывающие направления использования дистанционных методов. На примере воздействия на компоненты экосистем водохранилищ ГЭС и полигонов по утилизации боеприпасов показана необходимость проведения полевых мониторинговых работ. Микроклиматическое воздействие водохранилищ проявляется в изменении направления прироста древесины. При подрыве взрывчатых веществ на грунте образуется три зоны воздействия ударной волны: сжатия, разрушения и сотрясения грунта. Прямое воздействие взрывов на животных проявляется в компрессионных травмах. Отмечено повреждение почек только у одной особи из 9 отловленных зверьков.

Ключевые слова: воронки, утилизация боеприпасов, почва, растительность, мелкие млекопитающие.

Abstract. The materials proving the directions of using remote methods are given. Using the example of the impact on ecosystem components of hydroelectric power station reservoirs and ammunition disposal sites, the need for field monitoring work is shown. The microclimatic effect of reservoirs is manifested in a change in the direction of wood growth. When explosives are detonated on the ground, three shock wave impact zones are formed: compression, destruction and ground shaking. The direct impact of explosions on animals is manifested in compression injuries. Kidney damage was noted in only one individual out of 9 captured animals.

Keywords: craters, ammunition disposal, soil, vegetation, small mammals.

Введение. В результате, микроклиматических изменений под действием водохранилищ образуется прирост древесины, не встречаемый на фоне. Эти вопросы возникают при дешифрировании снимков высокого разрешения и проведения полевых работ на объектах. Очевидно, что необходимо знать последствия техногенного воздействия и специфику естественного функционирования экосистемы. Поэтому при верификации данных космической съемки необходимо дифференцировать визуальное восприятие с действительными нарушениями и их последствиями. Однозначно можно говорить об использовании космической съемки для нахождения и контурного ограничения техногенного воздействия, а также о структурных изменениях ландшафта. Однако, верификация этих данных требует проведения комплексных полевых работ.

Материалы и методы. На постоянных объектах наблюдений проведено дешифрирование космической съемки высокого разрешения (Енисейский и Ангарский каскад водохранилищ, проектирования Н-Курейской и Эвенкийской ГЭС, полигоны по подрыву боеприпасов) сделана оценка изменения прироста деревьев различных пород в четырех заливах водохранилищ. В результате микроклиматического, структурного изменения деревьев по береговой линии и водного воздействия (подтопление, повышение уровня грунтовых вод), произошло изменение структуры и продуктивности насаждений, видового состава травянистых в зоне «сработки» (Ефимов, 2011). На двух объектах (Красноярская лесостепь и

подтайга Енисейского края) по подрыву боеприпасов, проанализировано воздействие ударной волны на компоненты экосистем (Шишкин и др., 2021).

Обсуждение. Многолетние исследования позволили выявить видовые и продукционные закономерности формирования прибрежных фитоценозов. Продолжились зоологические работы по изучению населения в зоне «сработки» водохранилища. Наиболее активно ответили на увеличение площади и времени существования наземных стадий род горцов (*Polygonum* sp.) и насекомые, в то время как мелкие млекопитающие посещали береговые биотопы ситуационно для поиска корма.

Представляет интерес анализ факторов, влияющих на видовой состав и фитомассу обсыхающей акватории, поскольку эксплуатация искусственных водоемов, в результате заиливания, конечна. Кроме того, интересен вопрос скорости формирования и адаптивной реакции растений на гидрологическое изменение среды.

Преимущества в формировании (периодически и на не большой срок) береговой растительности получают корневищные лесные злаки, оказавшиеся на опушке (мятлик, вейник, пырей, осоки и пр.). Бурное развитие злаков в связи с изменением освещения закономерно, поскольку они (или их зачатки) присутствуют в составе напочвенного покрова береговых насаждений. При контакте луговой растительности с мелководьем водохранилища (залив Сарагаш, Красноярское водохранилище) дополнительно преимущество получает лебеда (*Atriplex*, sp.).

Под действием волны происходит селекция почвы. Минеральная часть формирует пляжный берег, а органическая (более легкая) превращается в илы и оседает на дне водоема. Долевое участие этого процесса не известно и очевидно, зависит от водорастворимости береговых грунтов, но очевидно, что заиливание имеет тренд накопления и в итоге водохранилище перестает выполнять свою основную функцию.

Береговая растительность зрелого водохранилища (Саяно-Шушенское) кроме лесных опушечных видов и горцов (перечный и птичий) представлена: полынью обыкновенной (*Artemisia vulgaris*); лапчаткой гусиной (*Potentilla noanserina*); коноплей посевной (*Cannabis sativa*). Следует отметить, что на первом этапе (3-4 года) заполнения водохранилища (Саяно-Шушенского) доминировала череда (*Bidens tripartita*), что свидетельствует о сукцессионном процессе растительности береговой полосы искусственных водоемов и нарушении гомеостаза прибрежной экосистемы, которое касается всех компонентов. Для оценки ущерба водохранилищ часто преувеличиваются негативные последствия при этом исполнители основываются на общем представлении и не учитывают специальное воздействие искусственного водоема.

Береговые виды растений (гидрохоры и анемохоры) объединяются по корневищному строению, короткому вегетационному периоду созревания зачатков, высокой плодовитости и приживаемости, сохранности зачатков при временном погружении под воду. Указанные виды не являются лесными и могут мигрировать или по воде притоков или по береговой полосе водохранилища, но тогда встает вопрос времени, за которое формируется растительность свойственная зрелому водохранилищу (гомеостаз)?

Флористическая потенция притоков (р. Ус) оценивался на подпоре водохранилища по всходам растений на острове притока. Из общего количества (15 видов) только 40% участвовало в формировании береговой полосы из них три рода (мятлик, осока и вейник) отмечены под пологом береговых насаждений и им не нужно мигрировать.

Основная задача мониторинговых исследований сводилась к оценке изменения прироста древесины (лиственница (*Larix sibirica*), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*), пихта сибирская (*Abies sibirica*), ель сибирская (*Picea obovata*)) произрастающие в зоне климатического воздействия водохранилища.

Приведем только один пример. Водоохранилище (Саяно-Шушенское) создано 41 год назад и, если до этого прирост модельного дерева был больше на юго-запад (в соответствии с его положением в древостое), то с формированием искусственного водоема и при его микроклиматическом воздействии, прирост постепенно начал смещаться в его сторону.

При удалении от водохранилища (300-400 м по горизонтали и 50 м по вертикали) основное значение на прирост древесины оказывает влияние климат водоема. При этом, оно зависит от местопроизрастания дерева (уклона склона, богатства почвы, условий произрастания, от уровня заполнения водохранилища). Разные породы деревьев одинаково реагируют на микроклиматический режим водохранилища. При дешифрировании космоснимков эти изменения не определяются.

Исследования показали, что на береговой полосе не возникло накопление численности желающих мигрировать животных. Происходит биотопическая (кормовая) дифференциация населения животных (бурозубок, очевидно, привлекает береговая захламленность) в связи с появлением береговой полосы и ее зарастанием. Декларируемое нарушение миграционных потоков не подтвердилось.

Экологические последствия военных действий (утилизация боеприпасов) обычно не оцениваются, индикаторы и нормативы не определены, а рекультивация не предусматривается, что актуально при реальных боевых действиях. В тоже время воздействие ударной волны огромно по площади и по последствиям.

При взрыве часть среды (грунта) выбрасывается на поверхность и образуется конусообразная воронка, размеры которой характеризуются глубиной и радиусом. Вокруг воронки образуется три зоны: сжатия, разрушения, сотрясения. В результате сжатия грунт сдвигается и уплотняется. Разрушение приводит к потере структуры, подавление микробного комплекса и образование трещин. Сотрясение вызывает только колебательное движение частиц грунта без их разрушения.

Восстановительные стадии растительности рассматриваются по радиусу от эпицентра воронки – центральная гигрофильная часть, склоны, гребень и примыкающая территория разброса грунта при взрыве.

Разлет почво-грунта из воронки, зависит от физико-механических свойств и мощности взрыва или последующего использования воронок для следующего подрыва боеприпасов. На гребне воронки слой почво-грунта составляет около 55 см, постепенно уменьшаясь, сокращается до нуля на расстоянии 21 м. На удалении 3 м от периметра воронки материал почво-грунта снижается в 4-5 раз. На расстоянии более 15-18 м разбросанный взрывом почво-грунт располагается фрагментарно.

При удалении от воронки наблюдается постепенное увеличение твердости с максимумом на отметке 12 м (8-12 кгс/см²), затем по мере удаления снова снижается до 4-5 кгс/см², приближаясь к фону (2-7 кгс/см²). Минимальная твердость по краю воронки (4-5 кгс/см²). В зоне разрушения структура нарушается и повышается твердость почвенного покрова. Разлет фрагментов почво-грунтов совпадает с нормализацией твердости почвы и соответствует зоне воздействия взрывов на почву. Остается вопрос, насколько долго сохраняется твердость грунта после взрыва и, очевидно, тотальная гибель педобионтов. Это одна из задач мониторинговых исследований.

Первоначальная стадия заселения растительностью наблюдается в первые 1-3 года после прекращения взрывов. В центральных участках конусов воронок на объектах в лесостепной зоне формируются гидроморфные экотопы (атмосферное питание). Вначале на водопокрытом грунте могут формироваться колонии пресноводных зеленых водорослей (*Spirogyra* sp., *Ulotrix* sp.). На другом полигоне (сосновая подтайга Енисейского края) в центральной части воронок гидроморфные участки образуются реже, что связано с большей дренированностью каменистых грунтов и постоянным вторичным использованием воронок.

В лесостепи на первых этапах сукцессии склонов и примыкающих к воронкам нарушенных территориях отмечается индикаторная роль засухоустойчивых малолетников: солянка холмовая (*Salsola collina*), полынь веничная (*Artemisia scoparia*). В подтаежной зоне

(Енисейский кряж) пионерами выступают горец птичий (*Polygonum aviculare*) и трёхреберник непахучий (*Tripleurospermum inodorum*), формирующие редкие чистые группировки.

На следующей стадии в лесостепи, при сохранении гидроморфных условий, воронки заселяют водные многолетние растения местной гидрофильной флоры: рогоз широколистный (*Typha latifolia*) и рдест злаковый (*Potamogeton gramineus*). Значительно увеличивается покрытие водной поверхности колониями пресноводных зеленых водорослей. В подтаежной зоне зарастание центральных частей воронок, при формировании гидроморфных условий, инициирует длиннокорневищный многолетник – рогоз широколистный. На примыкающей минерализованной территории наряду с группировками горца птичьего и трёхреберника непахучего, поселяются сорные и рудеральные многолетники, характерные для лесной зоны, а также кустарники – шиповник иглистый (*Rosa acicularis*), малина обыкновенная (*Rubus idaeus*).

Животные испытывают воздействие ударной волны, от которого спасают укрытия. Из общего отлова (9 зверьков) сразу после взрывов только у молодой самки полевки-экономки отмечены поствзрывные летальные травмы почек.

Подрыв боеприпасов не несет химического загрязнения окружающей среде. Действие ударной волны, вызывает нарушение рельефа, гидрологического режима и структуры почвенного покрова. Косвенно изменяются условия обитания растительности и животного населения, включая педобионтов, не могут оцениваться при космической съемке. Очевидно, что воронки вносят сукцессионное и биотопическое разнообразие в условия обитания растений и животных.

Заключение. Дистанционные методы позволяют выявить техногенные нарушения, но они не могут оценить их воздействие на функционирование компонентов экосистемы. Соответственно нельзя прогнозировать ее состояние. Более того, возвращение в нормальное состояние может проходить без видимых изменений. Следовательно, при организации и ведении мониторинга дистанционные методы позволяют оценить количественные изменения ландшафта.

Список литературы

Ефимов Д.Ю. (2011) *Флора экосистем Усть-Илимского водохранилища*, Новосибирск, Академическое изд-во «Гео», 166 с.

Шишкин А.С., Пономарева Т.В., Ефимов Д.Ю., Люто А.А., Брюханов И.И. (2021) Воздействие утилизации боеприпасов на лесные экосистемы, *Сибирский лесной журнал*, № 2, с. 17-31.

ЗАПОВЕДНИКИ – ОСНОВА ПРИРОДНО-ЗОНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА? NATURE RESERVES – THE BASIS OF NATURAL-ZONAL MONITORING?

Шушикин А.С., Рассолов А.Г.

Shishikin A.S., Rassolov A.G.

Институт леса им. В.Н.Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок 50/28

Аннотация. Обращается внимание на уже существующую систему государственного (федерального) мониторинга естественных изменений в природе. Заповедники должны давать и нести ответственность за фоновую оценку и ее естественную динамику ландшафта, погодную амплитуду их состояния, а затем уже накладывается техногенное воздействие. Погоня за иностранными терминами (эконет, карбоновые полигоны, % ООПТ) отвлекает от уже сложившейся системы, понижает ее значимость, снижает финансирование. Они хороши, но в пределах разумного и учитывая национальный интерес и сложившуюся систему мониторинга. К сожалению, выделение федеральных ООПТ не имеет четких критериев, где бы указывалось их современное назначение. В итоге федеральные ООПТ больше выполняют заказы регионов, чем ведут государственный мониторинг.

Ключевые слова. Федеральные ООПТ, методика выделения, мониторинг.

Abstract. Attention is drawn to the already existing system of state (federal) monitoring of natural changes in nature. Reserves should give and be responsible for the background assessment and its natural dynamics of the landscape, the weather amplitude of the state, and then the technogenic impact is imposed. The pursuit of foreign terms (econet, carbon polygons, % of protected areas) distracts from the already established system, reduces its importance, reduces funding. They are good, but within reasonable limits and taking into account the national interest and the established monitoring system. Unfortunately, the allocation of federal protected areas does not have clear criteria where their current purpose would be indicated. As a result, federal protected areas fulfill the orders of the regions more than they conduct state monitoring.

Key words. Federal protected areas, allocation methodology, monitoring.

Если вынесенное в заголовок определение верно тогда почему в Прингарских сосняках (южная тайга) нет заповедника? Если речь идет о системе создания федеральных ООПТ, почему преобладает субъективный метод их выделения? Анализируя современную деятельность федеральных структур (заказников, нацпарков, заповедников) напрашивается вывод о необходимости изменения положения о них. Нельзя заниматься просвещением и одновременно игнорировать региональные мониторинговые исследования, на которых должны те основываться.

По задумкам создателей система федеральных ООПТ предполагалась решением двух основных проблем: создание функционально связанной сети ООПТ различных уровней, представляющих все природное многообразие, выполненных по согласованным методикам текущего мониторинга, отраженного в Летописи природы и охрана модельных территорий. Организация ООПТ обосновывалась функциональной связью с экономикой территорий, однако этим мечтам не удалось сбыться. Первоначальное создание сложившейся сети ООПТ обосновывалось охраной промысловых и редких животных или их реакклиматизацией (Соколов и др., 2022). В результате выведенная из хозяйственного оборота территория использовались узковедомственно. Однако, охрана промысловых видов осуществляется собственными законами. В условиях приватизации ресурсов и развития рынка (частной собственности), охрана и использование объектов хозяйственной деятельности должны

осуществляться владельцем в качестве обременения. В этом случае с помощью экологических служб государство только контролирует режим эксплуатации и предотвращает деградацию отдельного, хозяйственно-важного компонента ландшафта.

Создание ведомственных НИИ резко сократило потребность в академической, заповедной и других формах региональной науки. Мониторинг перестал быть государственным и не зависимым. Даже при равных условиях, приоритет на заказ выполнения хоздоговора получают ведомственные НИИ, которые бесспорно обладают большими техническими и социальными возможностями. В современных условиях (погоня за иностранными %) площади ООПТ продолжают выводиться из хозяйственной деятельности без видимой научной и практической пользы для регионов.

К сожалению, не все наши проектные решения были реализованы (НП «Алханай» Бурятия, ПП «Шанчи» Тува, кластер «Сангилен» Тува), и как нам кажется причина в низком профессиональном уровне исполнителей. В последнее время широко стала использоваться идея организации природных парков и образовательной деятельности заповедников в ущерб работы научных отделов, т.е. наметилась тенденция превалирования региональных над федеральными интересами.

Материал и методы. Многочисленные работы по арокосмическому устройству заповедников и национальных парков («Юганский», «Алханай», «Столбы», «Кузнецкий Алатау», «Убсунурская котловина» и др.). Участие в выполнении многих (ГЭС, газо- и нефтедобыча, карьерная золото- и угледобыча, дражная и гидромеханическая добыча россыпного золота, металлургическое производство, шахтное производство и др.) хоздоговорных тем по ОВОСу в различных природных условиях и оценке биоразнообразия.

Обсуждение. Анализ космической съемки позволяет оценивать структуру земной поверхности и дешифрировать отдельные компоненты экосистемы, создавая информационные слои различной тематики (Плешиков и др., 2001). Автоматическое дешифрирование в сочетании с верификацией снижает субъективность (Шишкин, 2006). Создание тематических слоев, последующее их наложение и согласование контуров дает возможность выделять ландшафты разного подчинения.

Пузаченко Ю.Г. (1999 г) предложил выделять ООПТ на основе расположения литогенных разломов – линеаментов. Автор допускал, что плотность разломов отражает уровень ООПТ. Степень объективности, предложенной методики проверялась на действующей сети ООПТ Красноярского края. Вывод – можно рекомендовать как слой характеризующий рельеф.

Предложены собственные критерии и принципы выделения ООПТ по совпадению тематических слоев. Совпадение контуров всех средообразующих компонентов экосистемы – заповедник. В методике на равных учитывались все компоненты. В дальнейшем развивая этот подход, было предложено федеральный заказник выделять в местах компактного проживания КМНС (Шишкин, Рассолов, 2022).

В настоящее время не следует «изобретать велосипед» и гнаться за новомодными терминами, которые отвлекают финансирование, создают эффект нашей ущербности и хоронят уже отработанную систему государственного мониторинга. Следует разработать на законодательном и методическом уровнях критерии организации федеральных ООПТ и следовать им. К сожалению, сейчас преобладает субъективный принцип – кому надо, тот и занимается, т.е. государство в лице профильных министерств не решают эти задачи. Ведомственные НИИ должны заниматься аудитом предприятий и не выполняют ОВОСы, которые призваны давать не зависимую оценку техногенного воздействия на окружающую среду. При этом результаты ОВОС должны быть доступны для ознакомления и критики.

Список литературы

Дежкин В. В., Пузаченко Ю. Г. (1999) *Концепция системы особо охраняемых природных территорий России*, Москва, WWF, 65 с.

Плешиков Ф.И., Рыжкова В.В., Черкашин В.П., Корец М.А. (2001) Анализ состояния и биоразнообразия лесных экосистем средствами ГИС, *ГИС в научных исследованиях заповедников Сибири: Материалы докладов международной научной конференции*, Красноярск, ЦОП «Принтрэйд», с. 108-116.

Соколов В. А., Власенко В. И., Втюрина О. П., Данилин И.М., Кузьмик Н.С., Онучин А.А., Распопин К.И., Шишкин А.С. (2022) *Организация особо охраняемых природных территорий*, Новосибирск, изд-во СО РАН, 264 с.

Шишкин А.С., Михайлова И.А. (2001) Оценка потенциальной продуктивности местообитаний промысловых видов Саяно-Шушенского заповедника, *ГИС в научных исследованиях заповедников Сибири, Материалы докладов международной научной конференции*, Красноярск, ЦОП «Принтрэйд», с. 163-169.

Шишкин А.С., Рассолов А.Г., Мурзакматов Р.Т. (2021) *Охрана коренных малочисленных народов Сибири, Ресурсы дичи и рыбы: использование и воспроизводство: материалы II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*, Краснояр. гос. аграр. ун-т., Красноярск, с. 246-251.

Шишкин А.С. (2006) *Ландшафтно-экологическая организация местообитаний охотничьих животных с Сибири*, автореф. дис. доктора биологических наук, Красноярск, ИЛ СО РАН, 44 с.

СЕКЦИЯ
«ДИСТАНЦИОННОЕ
ЗОНДИРОВАНИЕ»



**КАРТОГРАФИРОВАНИЕ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ КАСПИЯ ПО ОБЩЕДОСТУПНЫМ
КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ. ДИНАМИКА ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ
MAPPING THE CASPIAN COASTLINE USING PUBLICLY AVAILABLE SPACE
IMAGES. DYNAMICS OVER THE LAST 50 YEARS**

Алейников А.А.

Aleynikov A.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б.

Аннотация. Цель работы – с помощью открытых данных дистанционного зондирования низкого и среднего пространственного разрешения получить контур береговой линии и значения площадей залива Кара-Богаз-Гол и наиболее мелководного района Каспийского моря севернее 45°С.Ш. с 1972 по 2023 гг. Определить внутрисезонную динамику площадей мелководных участков Каспийского моря и залива Кара-Богаз-Гол.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, отступление Каспийского моря, колебание береговой линии залива Кара-Богаз-Гол, изменение климата.

Abstract. The goal of the work is to use open remote sensing data of low and medium spatial resolution to obtain the contour of the coastline and the area values of the Kara-Bogaz-Gol Bay and the shallowest region of the Caspian Sea north of 45°N. from 1972 to 2023 Determine the intraseasonal dynamics of the areas of shallow water areas of the Caspian Sea and the Kara-Bogaz-Gol Bay.

Keywords: remote sensing, retreat of the Caspian Sea, fluctuation of the coastline of the Kara-Bogaz-Gol Bay, climate change.

В настоящее время мультиспектральные спутниковые изображения являются универсальным, оперативным и общедоступным материалом для осуществления мониторинга окружающей среды. А по мере накопления за разные годы материалов дистанционного зондирования появляется возможность для комплексного изучения данной территории в динамическом развитии, построения и тестирования климатических моделей, составление прогнозов и сценариев развития для всего региона.

Для картирования береговой линии Каспия мы использовали открытые данные дистанционного зондирования низкого пространственного разрешения – MODIS (Terra/Aqua), данные которых доступно с 2000 года и среднего пространственного разрешения – семейство спутников Landsat, имеющий большой архив данных, начиная с 1972 г.

Дешифрирование береговой линии Каспийского моря выполнялось в полуавтоматическом режиме с использованием индекса NDWI (Normalized difference water index):

$$NDWI = (GREEN - NIR)/(GREEN + NIR)$$

Для спутника MODIS мы использовали четвёртый и второй спектральные каналы. Полученные значения в растрах разделялись на два класса, больше и меньше нуля, воду и сушу. Статистически обработанный сглаженный растр конвертировался в полигональный

векторный класс объектов и таким способом получалась маска водной поверхности. А для сравнения мелководной части Каспийского моря вектор обрезался южнее 45° с.ш., (рис. 139).

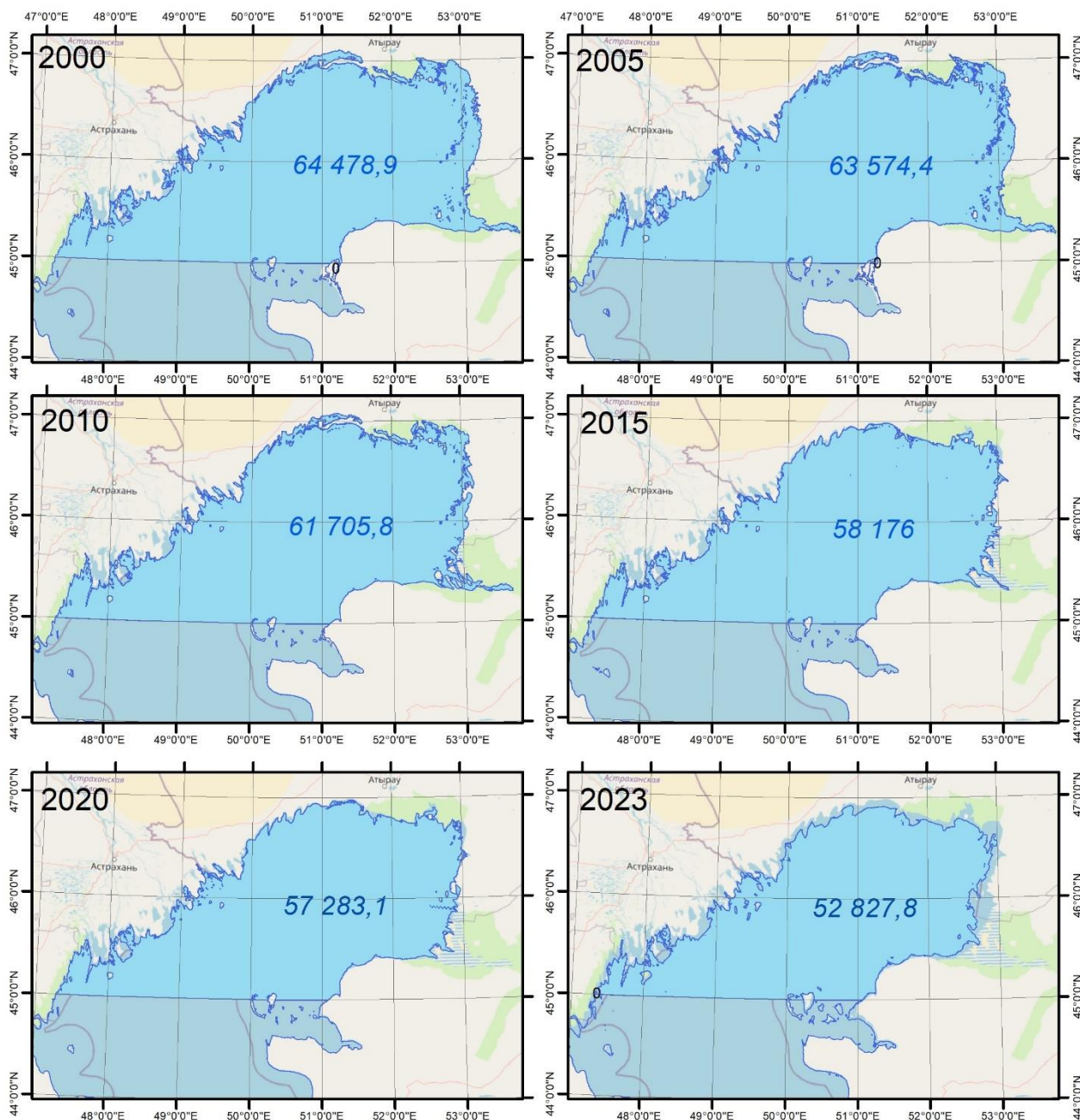


Рисунок 139. Отступление береговой линии северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°с.ш. с 2000 по 2023 гг. по снимкам Terra Modis
Значения площадей указана в км²

Картирование береговой линии залива Каро-Богаз-Гол осуществлялся методом спектральной классификации с использованием инфракрасных спектральных каналов (7:6:5 (Landsat 8) или 7:5:4 (Landsat 5-7)), а также данные спутника Метеор-природа (Новиков, Гоптарёв, 1983).

Таким образом, была получена серия карт водной поверхности для залива Каро-Богаз-Гол и северо-восточной, наиболее мелководной части Каспийского моря (рис. 139, рис. 140).

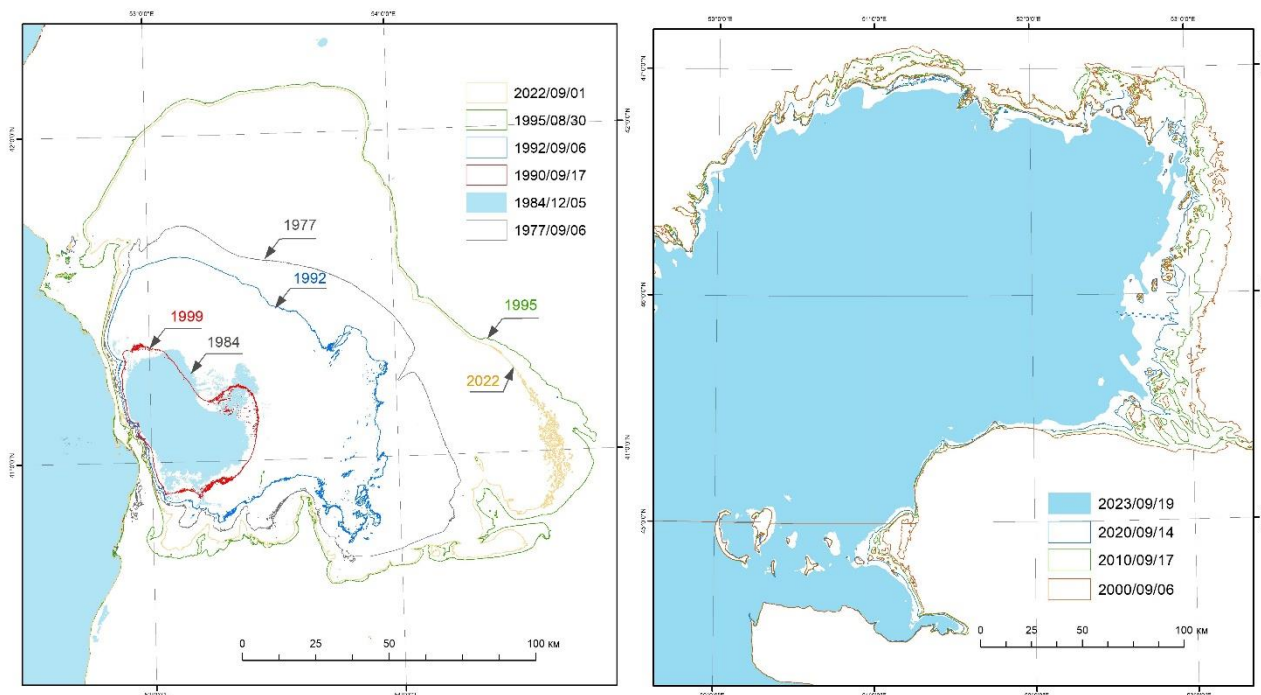


Рисунок 140. Положение береговой линии залива Кара-Богаз-Гол с 1977 по 2022 гг. (левый рисунок) и северо-восточной части Каспийского моря с 2000 по 2023 гг. (правый рисунок)

На графике изменения площади залива Кара-Богаз-Гол за последние 50 лет (рис. 141, левый) заметно, что в период опускания уровня Каспийского моря площадь залива была меньше современной. После строительства дамбы залив почти полностью пересох, но быстро восстановился после ее разрушения. Однако с начала нынешнего века вновь прослеживается устойчивый тренд к понижению уровня залива.

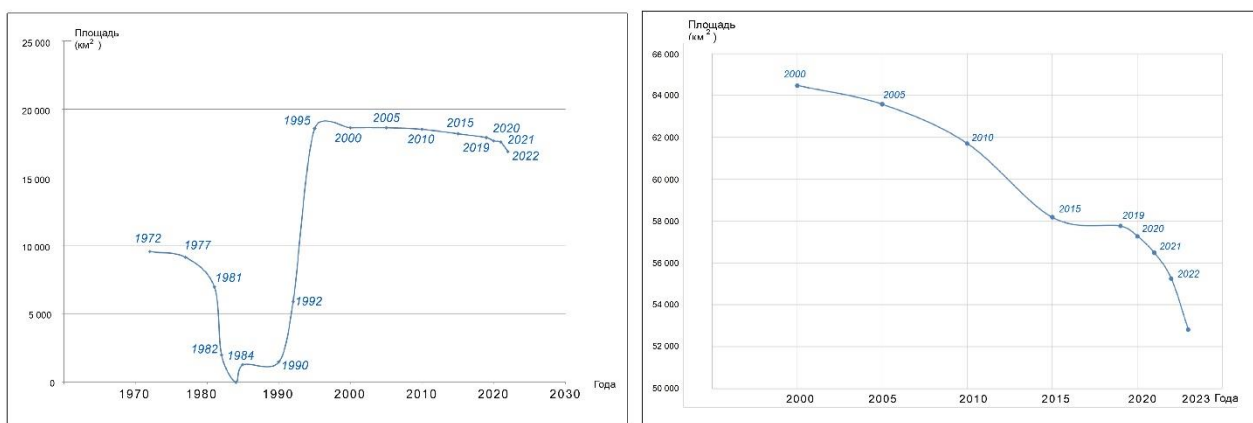


Рисунок 141. Изменение площади залива Кара-Богаз-Гол с 1972 по 2022 гг. (левый рисунок) и северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°с.ш. с 2000 по 2023 гг. (правый рисунок) по данным дистанционного зондирования

График изменения площади сектора Каспийского моря показывает устойчивое уменьшение площади водной поверхности с 2000 г по настоящее время (рис. 141, правый) и увеличение величин сокращения площади за последние 3 года.

Для корректного сравнения годовых колебаний площадей залива Кара-Богаз-Гол и мелководной части Каспийского моря было исследованы сезонные колебания за последние 3-4 года (рис. 142). Было установлено, что в сентябре-октябре зеркало водной поверхности наименее подвержено сезонным колебаниям уровня и поэтому для сравнения положения береговой линии (рис. 139-141) использовались космические снимки за осенний период.

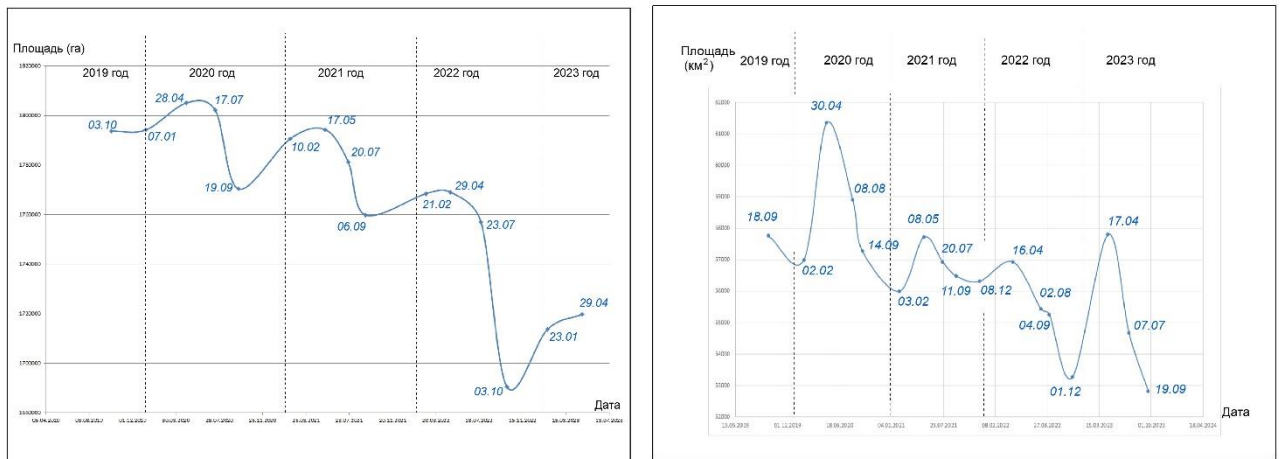


Рисунок 142. График сезонных колебаний площади залива Кара-Богаз-Гол (левый рисунок) и северо-восточной части Каспийского моря севернее 45°с.ш. (правый рисунок) с 2019 по 2023 гг.

На рис. 142 (левый) заметно, что наименьшая площадь акватории залива соответствует осенним датам, а наименьшая площадь мелководного участка Каспийского моря зимней межени Волги. Также прослеживается тенденция к понижению уровня залива с резким минимумом осенью 2022 г. А высокий уровень во время половодья 2023 года не повлиял на дальнейшее уменьшение площади Каспийского моря в 2023 г (рис. 142, правый).

Таким образом в результате обработки открытых космических снимков мы получили численные значения сокращения площади водной поверхности за последние 50 лет и увидели увеличение скорости сокращения за последние 3 года.

Список литературы

Новиков Ю.В., Гоптарёв Н.П. (1983) *Исследование динамики изменения залива Кара-Богаз-Гол по данным космических и аэровизуальных наблюдений*, Гидрометеоиздат, 8 с.

**ПРОМЫШЛЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОСТЬ АРКТИЧЕСКОЙ
ЗОНЫ: МОДЕЛЬ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВТОРОГО РОДА
INDUSTRIAL IMPACT ON VEGETATION IN ARCTIC ZONE: MODEL OF
SECOND ORDER PHASE TRANSITION**

Ковалев А.В.¹⁾, Суховольский В.Г.²⁾

Kovalev A.V.¹⁾, Soukhovolsky V.G.²⁾

¹⁾ Красноярский научный центр СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50

²⁾ Институт леса им.В.Н. Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

Аннотация. В работе рассмотрен метод оценки интенсивности и определения границ воздействия промышленных выбросов на окружающие растительные сообщества. Исходными данным для расчетов послужил вегетативный индекс растительности NDVI полученный с помощью спутниковых наблюдений. Для минимизации влияния облачности и локальных флуктуаций оценивалась сезонная динамика индекса NDVI. Итоговые показатели позволяют минимизировать полевые наблюдения в труднодоступных регионах Арктики и количественно определить границу существенных изменений растительной биоты под воздействием поллютантов.

Ключевые слова: воздушные поллютанты, Арктика, растительная биота, дистанционные зондирование земли.

Abstract. The paper examines a methodology to evaluate the intensity and determine the boundaries of the impact of industrial emissions on surrounding plant communities. The calculations were based on the vegetation index NDVI obtained from satellite observations. The seasonal dynamics of the NDVI index were estimated to decrease the impact of cloudiness and local fluctuations. The ultimate indices enable the reduction of field observations in remote areas of Arctic and the quantitative determination of the boundary of notable variations in the vegetation biota under the influence of pollutants.

Keywords: airborne pollutants, Arctic, vegetative biota, remote sensing of the earth.

Промышленные загрязнения оказывают сильное воздействию на растительность арктической зоны. В связи с этим при строительстве и эксплуатации промышленных объектов – нефтедобывающих предприятий, заводов по переработке руд металлов и т.п. необходимо для сохранения тундровых экосистем оценивать восприимчивость растительных объектов к воздействию поллютантов. В условиях Арктики наземные измерения реакции растений на воздействия поллютантов затруднительны по технически причинам (отсутствие дорог, сложные климатические условия) и для оценки состояния и реакции растений на воздействие поллютантов предпочтительнее использовать дистанционные методы.

В данной работе рассмотрены новые подходы к описанию изменений в экосистеме под воздействием поллютантов. Показано, что при достаточно простых предположениях о характере воздействия поллютанта на биоту можно рассматривать этот процесс как экологический аналог фазовых переходов второго рода. Для анализа и верификации предложенной модели использованы данные о состоянии лесных экосистем вблизи мощного точечного источника поллютантов – горно-металлургический комбинат г.Норильск.

На территории России в течение длительного времени проводятся исследования влияния загрязнителей на биоту вблизи ГМК «Норильский никель» (г. Норильск Красноярского края). (69°19'57.77"N; 88°12'57.56"E). Основными загрязнителями, загрязняющими атмосферный воздух вблизи металлургических комплексов являются диоксид серы (свыше 90%) и металлосодержащая пыль, состоящая из оксидов меди, цинка, никеля, соединений свинца и других веществ. Токсический эффект на растительные сообщества от выбросов металлургических производств заключается в совместном действии тяжелых металлов и сернистого ангидрида. Сернистый ангидрид, подкисляя среду, увеличивает подвижность и биологическую активность ионов металлов, что резко увеличивает их токсичное воздействие на биоту.

При построении теоретической модели любого экологического процесса обычно стремятся к универсальности описания этого процесса. Однако при моделировании системы «биота – загрязнитель» проблема заключается в том, что вид функции, описывающей воздействие загрязнителей, неизвестен. Конечно, на основе данных полевых наблюдений можно получить регрессионные уравнения, описывающие связь эффекта воздействия и расстояния до источника загрязнителей. Однако вид и параметры таких уравнений будут зависеть от конкретных характеристик источников загрязнителей и ландшафтных особенностей территории и не будут отвечать условию универсальности модельного описания.

Для получения универсальной модели воздействия загрязнителей на биоту будем полагать, что компоненты биоты могут находиться в одной из двух фаз – в невозмущенной фазе, при которой воздействия загрязнителей нет и состояние компонентов биоты определяется воздействием таких модифицирующих факторов, как климатические, и в импактной фазе, когда состояние биоты во многом определяется воздействием загрязнителей.

При этих достаточно естественных и простых предположениях воздействие загрязнителя на биоту можно рассматривать как экологический аналог фазового перехода второго рода (Ландау, Лифшиц, 1964). Ранее такие модели рассматривались для описания взаимодействия дерева и насекомых, сукцессии древесных пород в насаждении, высотной зональности растительности в горных условиях (Суховольский и др., 2014).

Простейшая модель фазового перехода второго рода рассматривает связь между некоторой макроскопической характеристикой состояния моделируемой системы – так называемым параметром порядка q (эту переменную необходимо определить с учетом конкретных свойств моделируемой системы), и внешним фактором X , воздействующим на

систему (Ландау, Лифшиц, 1964). Уравнение связи между этими переменными записывается следующим образом:

$$q^2 = \begin{cases} 0, & X > X_c \\ A - BX & X \leq X_c \end{cases} \quad (1)$$

где q – параметр порядка ($0 \leq q \leq 1$), A и B – некоторые свободные параметры, X_c – критическое значение внешнего фактора, по достижению которого происходит фазовый переход. На рис. 143 приведен вид функции (1).

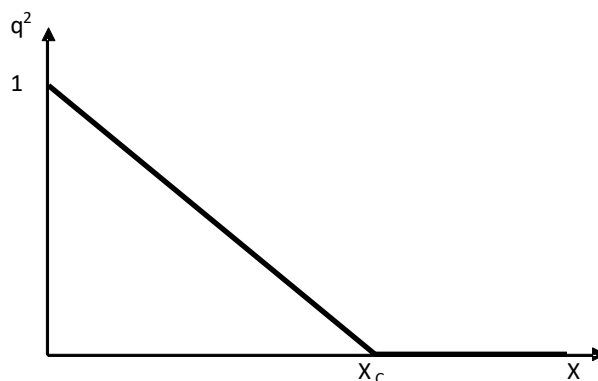


Рисунок 143. Зависимость величины параметра порядка q системы от уровня X внешнего воздействия согласно модели (1)

При адаптации общей модели фазового перехода второго рода к описанию воздействия поллютантов на лесные ценозы необходимо определить понятие параметра порядка и ввести показатели локальной концентрации и (или) продолжительности воздействия поллютанта.

В качестве показателей X воздействия поллютантов будем использовать расстояния L до источника поллютантов. В качестве показателя параметра порядка q , характеризующего реакцию лесных насаждений на воздействие поллютантов, будем использовать величину обратную $\max\text{NDVI}$ (максимум сезонной кривой нормированного вегетативного индекса). Чем выше продуктивность фитомассы растений на наблюдаемой спутником территории тем выше данный показатель, снижение показателя значимо связано с воздействием поллютантов.

Величина параметра порядка изменяется от 0 до 1. Коэффициент B можно определить как показатель восприимчивости биоты или ее компонентов к воздействию поллютантов:

$$\frac{\partial(q^2)}{\partial X} = \begin{cases} 0, & X > X_c \\ B, & X \leq X_c \end{cases} \quad (2)$$

Индекс $\max\text{NDVI}$ рассчитанный по спутниковым данным MODIS/Aqua (Продукт MYD09Q1) позволяет получить усредненную оценку состояния растительного покрова для территории 250x250 метров с периодом наблюдений 8 дней. Рассматривалась сезонная

динамика NDVI с 2003 по 2018 гг. Поскольку в показателях $\max NDVI$ не наблюдалось многолетних трендов, были взяты средние многолетние значения для каждой точки наблюдений.

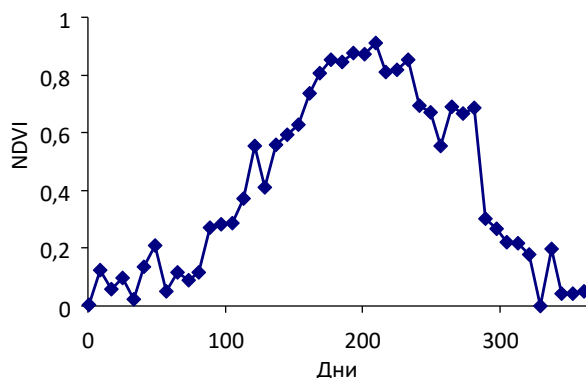


Рисунок 144. Типичный ряд годовой динамики NDVI (восьмидневный композит)

Были проведены точечные измерения по трансекте в юго-восточном направлении от Норильска вдоль р. Рыбная с шагом 10 км. Ранее было показано, что в этом направлении происходит гибель лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ldb.) (Кирдянов и др., 2014; Суховольский, Иванова, 2018). Для сравнения рассчитаны показатели вдоль трансекты в северо-западном направлении от Норильска. Основная разница этих двух направлений состоит в преобладании юго-восточных ветров.

Связь между расчетными параметрами порядка q^2 для лесного ценоза и расстоянием до источника поллютантов показана на рис. 145. По уравнению полученной линейной аппроксимации можно получить критическое расстояние, на котором происходит фазовый переход. Для юго-восточной трансекты это 51,4 км, для северо-западной – 27 км, что соответствует господствующей розе ветров.

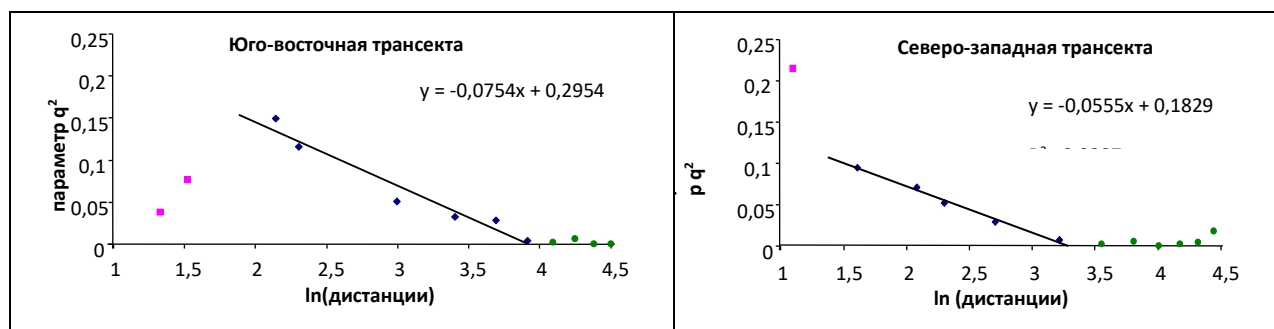


Рисунок 145. Расчетные показатели q^2 по спутниковым данным и модельные кривые уравнения фазового перехода для юго-восточной и северо-западной трансект

Использование этой модели позволяет оценить критические расстояния до источника, при котором поллютанты перестают значимо воздействовать на биоту. Конечно, значения параметров модели и критических показателей могут быть различными для различных

экосистем, однако во всех случаях зависимость между выбранными характеристиками эффекта и дозой воздействия описываются моделью фазового перехода второго рода.

Представленные расчеты показывают, что предложенная модель фазового перехода второго рода достаточно точно оценивает эффекты воздействия точечных источников загрязнителей и может быть использована для оценки критических расстояний до источника загрязнения. Также модель применима и для планирования размещения промышленных объектов на территории. При классификации территории по степени экологического риска воздействия загрязнителей, можно, используя модель фазового перехода второго рода, определить расстояние L_c – границу, за которой начинается фоновая зона. Можно также заметить, что описания воздействия на популяции в экосистеме регулирующих и модифицирующих факторов может оказаться полезным при моделировании влияния климатических изменений на биоту.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 22-24-00148).

Список литературы

Суховольский В.Г., Овчинникова Т.М., Бабой С.Д. (2014) Высотно-поясная зональность древесных пород в горных условиях Саян: модель экологических фазовых переходов второго рода, *Журнал общей биологии*, т. 75, № 1, с. 38-47.

Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. (1964) *Статистическая физика*, Москва, Наука, 317с.

Кирдянов А.В., Мыглан В.С., Пименов А.В., Кнорре А.А., Экарт А.К., Ваганов Е.А. (2014.) Динамика усыхания лиственницы сибирской в зоне влияния техногенных эмиссий предприятий Норильского промышленного района, *Сибирский экологический журнал*, т. 21(6), с. 945-952.

Суховольский В.Г., Иванова Ю.Д. (2018) Моделирование повреждений и гибели лесных ценозов под воздействием точечных источников загрязнений, *Журнал общей биологии*, т. 79, № 2, с. 148-158.

СЕКЦИЯ
«ПРИЗЕМНЫЙ КЛИМАТ»



**СЕЗОННЫЕ И РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ВРЕМЕННЫХ
РЯДОВ ПРИПОВЕРХНОСТНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ЗЕМНОГО ШАРА
SEASONAL AND REGIONAL FEATURES OF CHANGES IN TIME SERIES OF
SURFACE AIR TEMPERATURE**

Антипина У.И., Самохина О.Ф., Ранькова Э.Я.

Antipina U.I., Samohina O.F., Rankova E. Ya.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. По данным инструментальных наблюдений анализируются изменения температурного режима у поверхности Земного шара за период 1850-2022 гг.

Рассматриваются глобальные территории (Земной шар в целом, Северное и Южное полушария) и континенты/океаны северного полушария (Северная Америка, Европа, Азия, северные части Атлантического и Тихого океанов). Используются актуальные данные Великобритании о температуре приземного воздуха над сушей (SAT, только суша) и температуре воды на поверхности океанов (SST, только море). В качестве характеристик температурного режима каждого региона рассматривается доля его площади, занятая 5%-ми экстремумами холода (температура не выше 5-го перцентиля), 5%-ми экстремумами тепла (температура не ниже 95-го перцентиля) и температурой в пределах «климатической нормы» (температура не выше эмпирической моды (50-го перцентиля)).

В докладе приводятся временные ряды указанных характеристик для рассматриваемых регионов и анализируются полученные по ним оценки трендов для всех скользящих подпериодов с шагом 10 лет и длительностью (период оценки трендов) 30, 50 и 70 лет.

Ключевые слова: мониторинг приземной температуры, мониторинг климата, глобальное потепление, изменение климата, температурный режим.

Abstract. According to the data of instrumental observations, the changes in the temperature regime at the surface of the Globe for the period 1850-2022 are analyzed.

The global territories (the Globe as a whole, the Northern and Southern hemispheres) and the continents/oceans of the northern hemisphere (North America, Europe, Asia, the northern parts of the Atlantic and Pacific Oceans) are considered. The current UK data on surface air temperature over land (SAT, land only) and water temperature on the surface of the oceans (SST, sea only) were used. As characteristics of the temperature regime of each region, the proportion of its area occupied by 5% extremes of cold (temperature not higher than the 5th percentile), 5% extremes of heat (temperature not lower than the 95th percentile) and temperature within the "climatic norm" (temperature not higher than the empirical mode (50-th percentile)).

The report presents the time series of these characteristics for the regions under consideration and analyzes the trend estimates obtained from them for all moving subperiods in increments of 10 years and a duration (trend assessment period) of 30, 50 and 70 years.

Keywords: surface temperature monitoring, climate monitoring, global warming, climate change, temperature regime.

Последние исследования о состоянии климата и наблюдаемых экстремумах (WMO, 2022а,б, 2023; Berkeley, 2023; Hausfather, 2023; Vuyn, 2020 и др.) дают обширную картину наблюдаемых в настоящий момент изменений климата. Увеличение количества наблюдаемых экстремумов и их усиление оказывает значительное влияние на различные климатические процессы, глобальные и региональные (обновление температурных рекордов, экстремальные волны тепла, наводнения, засухи и др.). Период с начала века по настоящий момент можно определить как устойчивый экстремально теплый период, так как за все это время (22*12мес.) был лишь один случай (январь-февраль 2008 г.), когда текущее значение глобальной температуры оказалась ниже 70-го квантиля.

Мониторинг климатических изменений позволяет оценить текущее состояние климата на фоне исторического прошлого (конечно, в пределах доступных исторических данных), а также выявить происходящие изменения и оценить доминирующие тенденции (тренды). Это важно для оценки уровня изменений климата и предсказаний будущих тенденций, что, в свою очередь, помогает определить наиболее уязвимые регионы Земного шара. Так, на сегодняшний день наибольшая интенсивность потепления отмечается, в среднем, по Арктическому широтному поясу ($0,57^{\circ}\text{C}/10$ лет) и на территории Европы ($0,49^{\circ}\text{C}/10$ лет). В настоящем исследовании приведен анализ экстремальных температур, который входит в круг задач мониторинга глобального климата (ИГКЭ, 2022; Ранькова и др., 2022).

В работе использованы данные одного из наиболее авторитетных источников информации о приповерхностной температуре, создаваемые совместно Метеослужбой Великобритании (MetOffice Hadley Centre, UK) и Университетом Восточной Англии (CRU UEA, UK) – ниже они будут упоминаться как «данные Hadley/CRU»). Они включают данные наблюдений о приповерхностной температуре на глобальной сети 5-градусных боксов: массивы CRUTEM5 (SAT, температура приземного воздуха над сушей, версия 5.0.1.0), HadSST4 (SST, температура поверхностного слоя воды на акваториях океанов, версия 4.0.1.0) и HadCRUT5 (массив, совмещающий данные CRUTEM5 и HadSST4 на одной глобальной сетке, версия 5.0.1.0). Используются также глобальные временные ряды для Земного шара и обоих полушарий (GI, NH, SH), рассчитанные непосредственно производителем и поставляемые им ежемесячно вместе с сеточными массивами.

Данные Hadley/CRU (сеточные и глобально осредненные) первоначально были приведены к базовому периоду 1850-2022 гг. и осреднены по сезонам и за год. Затем, в узлах 5-градусных боксов для всех сезонов и года были рассчитаны вероятности непревышения температуры p (по локальным временным рядам за 1850-2022 гг.) и по ним, для каждого региона/сезона/года получены временные ряды трех показателей: доля площади с 5%-ми экстремумами холода ($p \leq 5\%$), тепла ($p \geq 95\%$) и с температурой ниже полной «нормы» ($p \leq 50\%$). Ниже представлены результаты, порознь для суши и океанов каждого полушария (рис. 146).

Рассматривается доля площади регионов, занятая аномалиями (сезонными и/или годовыми) трех определенных уровней: в нижней половине выборки и в нижних и верхних 5% выборки для периода с 1850 по 2022 гг.

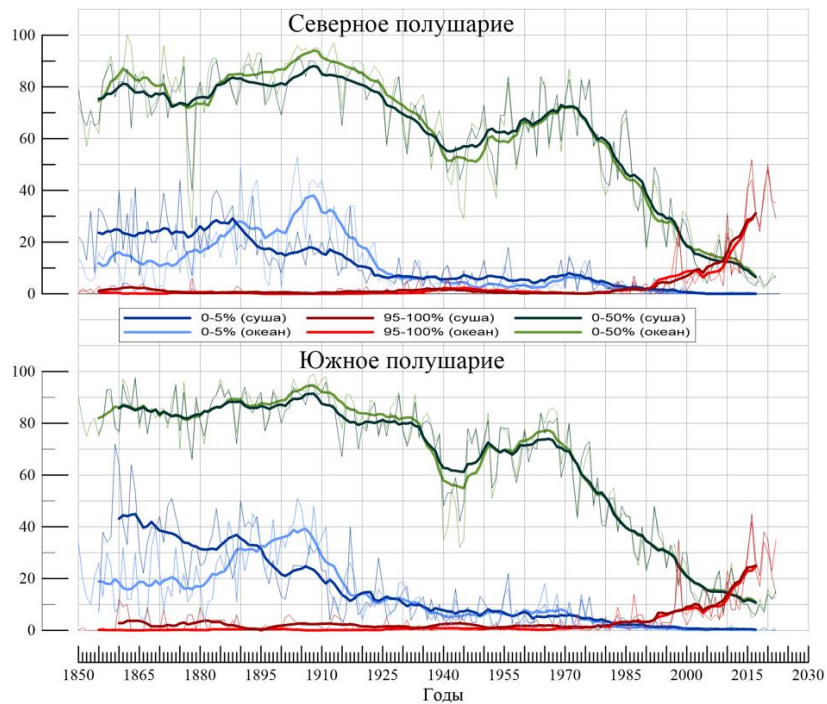


Рисунок 146. Доли площади Северного (вверху) и Южного (внизу) полушарий, занятые процентлями 0-5%, 0-50%, 95-100% (для суши и акваторий океанов порознь)

По данным SST (температура воды на поверхности океанов). Во всех рассмотренных регионах просматриваются два периода, когда «холодная половина всех локальных значений» ($p \leq 50\%$) охватывала 60-80% территории: 1895-1920 гг. и 1960-1990 гг. (в северной части Тихого океана в этом периоде доля площади составляла около 60% территории и лишь в отдельные годы летом и осенью была выше 80% территории). С начала 1970-х до настоящего времени эта величина уменьшилась с 60-80% территории до 20%, но в отдельные годы составляла более 40%. Сезонные особенности в океане проявляются слабо.

Соответственно, в эти два периода была велика доля площади под 5%-ми экстремумами холода ($p \leq 5\%$), особенно в Северном полушарии зимой 1895-1920 гг. Доля площади под экстремально высокими температурами (выше 95-го квантиля температуры) до 1975 года и в Северном, и в Южном полушариях составляла не более 10% территории, а в XXI веке около 30% в Северном полушарии и около 20% в Южном, притом, что зимой в обоих полушариях приблизительно на 5% больше.

По данным SAT (температура приземного воздуха, только суша). На суше четко выделить два периода с низкими температурами ($p \leq 50\%$) трудно, особенно в Южном полушарии. Можно лишь сказать, что до 1980 года площадь под такими температурами в Северном и Южном полушариях составляла 60-80% общей территории континентов (причем 60% - в Северном полушарии, в 1940-х годах), но к настоящему времени уменьшилась до 10%.

Что касается площади под экстремальными температурами (ниже 5-го и выше 95-го перцентилей), то здесь, в обоих полушариях, глобальная ситуация на континентах и акваториях океанов сходна: площадь под экстремумами холода была особенно большой в период до 1920 г. (около 20% территории в Северном полушарии и около 30% – в Южном), а под экстремумами тепла – резко увеличилась после 1975 года (до 30% в Северном полушарии и до 20% в Южном). Сезонные особенности на континентах, как и на поверхности океанов, проявляются слабо.

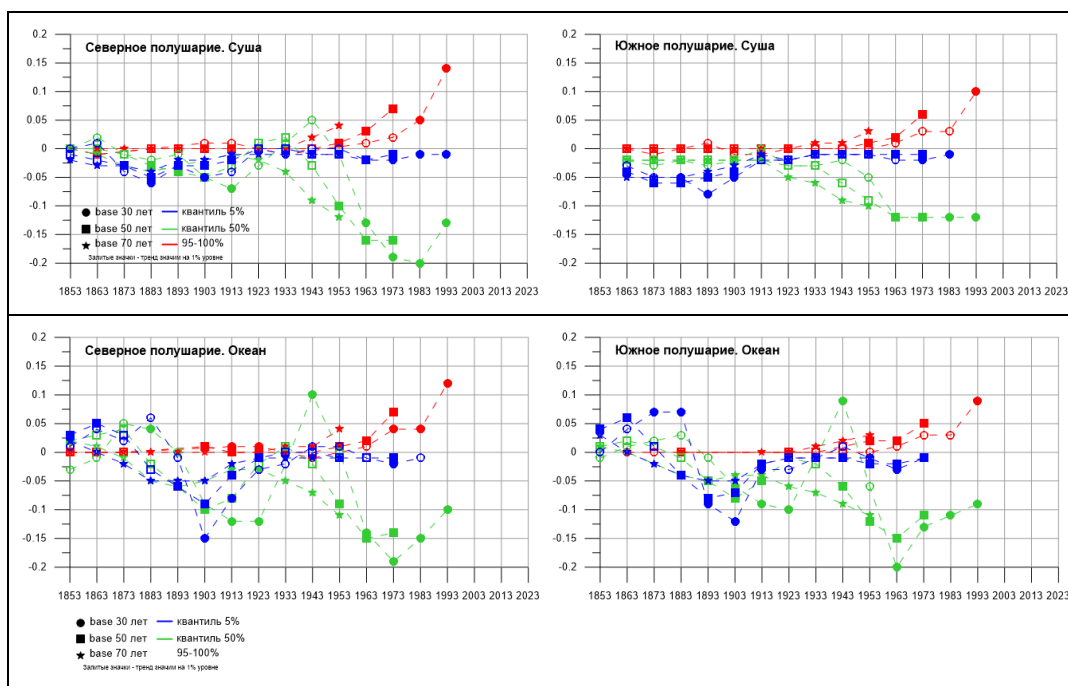


Рисунок 147. Скользящие тренды для суши и океана Северного и Южного полушарий с шагом 10 лет с периодами оценки трендов 30, 50 и 70 лет

Дополнительно, для рассмотренных выше временных рядов (изменение во времени доли площади под аномалиями разного уровня) рассчитаны скользящие тренды с шагом 10 лет с периодами оценки 30, 50 и 70 лет (рис. 147). Полученные оценки трендов подтверждают выявленные выше закономерности. Полезно отметить при этом, что практически во всех случаях, начиная с 1960-х годов, тренды статистически значимы на 1%-м уровне.

За поддержку исследований, оказанную этой работе, авторы выражают благодарность проекту: «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга». План научно-исследовательских и технологических работ НИУ Росгидромета на 2020-2024 гг. НИР 3.2.

Список литературы

Berkeley, Earth (2023) *Global Temperature Report for 2022*, Posted on January 12. 2023 by Robert Rohde, URL: <https://berkeleyearth.org/global->

WMO (2022a) *Provisional State of Climate in 2022. Eight warmest years record with a surge in climate change impacts*, Press Release, no. 06112022.

WMO (2022b) *State of Climate in 2022, Extreme events and major impacts*, Press Release, no. 1201202312.

WMO (2023) *State of the Global Climate in 2022*, WMO, no.1316, ISBN 978-92-63-11316-0.

IPCC (2022) *IPCC Sixth Assessment Report, Climate Change 2022, Impacts, Adaptation and Vulnerability*, URL: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>.

Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф., Антипина, У.И. Смирнов, В.Д. (2022) Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2022 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 2, с. 284-322, doi:10.21513/2410-8758-2023-2-284-322.

**МОНИТОРИНГ ГОЛОЛЕДНО-ИЗМОРОЗЕВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ: МЕТОДИКА И
РЕЗУЛЬТАТЫ ЕЕ ПРИМЕНЕНИЯ**
**MONITORING OF GLAZE-RIME DEPOSITS: METHODOLOGY AND RESULTS OF ITS
APPLICATION**

Аржанова Н.М.

Arzhanova N.M.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации - Мировой
центр данных»

Россия, 249035, г. Обнинск, ул. Королева, 6

Аннотация. Представлена методика ежегодного мониторинга каждого вида гололедно-изморозевых отложений (гололеда, кристаллической изморози, отложения мокрого снега). Указанная методика использована для мониторинга гололедно-изморозевых отложений на примере 2021 года. В рамках данной методики получены оценки современных тенденций в изменении основных характеристик гололедно-изморозевых отложений (числа случаев, продолжительности и веса) за период 1984-2021 гг.

Ключевые слова: мониторинг, гололед, кристаллическая изморозь, отложение мокрого снега, тренд.

Abstract. The methodology of annual monitoring of each type of glaze-rime deposits (glaze, crystal rime, wet snow) is presented. This methodology was used in monitoring of glaze-rime deposits with 2021 taken as an example. Within the framework of this methodology, the estimates of current trends for the change in major characteristics of glaze-rime deposits (incidence, duration and weight) are obtained for the period 1984-2021.

Key words: monitoring, glaze, crystal rime, wet snow deposit, trend.

Гололедно-изморозевые отложения (ГИО) при определенных размерах относятся к неблагоприятным и даже опасным явлениям погоды, могут нанести большой экономический ущерб погодозависимым отраслям экономики, таким как сельское и лесное хозяйства, энергетика и т.д. В 2022 году разработана методика мониторинга ГИО.

На протяжении нескольких лет проводились исследования по изучению климатологии и тенденций изменений характеристик ГИО с использованием данных (Bulygina, Arzhanova, 2015; Аржанова, Коршунова, 2019, 2021), создан уникальный специализированный массив «Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России» (свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016621682). В связи с этим давно назрела задача включения ГИО в национальную систему мониторинга. Созданная подсистема мониторинга выявляет и изучает региональные особенности в изменении характеристик ГИО. Результаты мониторинга ГИО опубликованы в ежегодном Докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации (Росгидромет, 2022).

Методика, помимо основных разделов, посвященных информационной базе и технологии мониторинга ГИО, содержит раздел с описанием наблюдений за гололедно-изморозевыми отложениями. Наблюдения за обледенением проводов гололедного станка достаточно специфичны, сложны и трудоемки, поэтому на регулярной основе проводятся не

езде. При возникновении отложения и до его окончания осмотр проводов станка должен производиться не только в сроки наблюдений, но и в промежутках между ними, не реже чем через полтора часа.

При разработке данной подсистемы мониторинга для оценки текущего состояния характеристик ГИО были впервые рассчитаны нормативные постанционные характеристики для каждого вида ГИО; гололеда, кристаллической изморози и мокрого снега. В состав информационной базы входят следующие нормативные характеристики по метеостанциям: среднемноголетние значения максимального числа случаев, максимальной продолжительности, максимального веса ГИО за период 1991-2020гг (по месяцам и за год). Помимо станционных данных, в состав информационной базы включены осредненные по всей территории России и по территории квазиоднородных климатических регионов характеристики.

Анализ основных характеристик ГИО по данным 1067 метеостанций осуществляется с октября прошедшего года по апрель текущего года. Октябрь и апрель включены в холодный период, поскольку в эти месяцы температура воздуха колеблется между положительной и отрицательной, создаются благоприятные температурно-влажностные условия, при которых ГИО могут достигать опасных значений.

Технология мониторинга климата включает следующие основные этапы:

1. Усвоение режимных данных об основных метеорологических параметрах, включая контроль данных.

2. Пополнение БД «Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России» данными текущего года: расчет производных характеристик; расчет регионально осредненных временных рядов; расчет оценок трендов по регионам.

3. Подготовка иллюстративных материалов годового бюллетеня (в соответствии с принятым регламентом выходной продукции).

4. Анализ материалов и подготовка раздела «Гололедно-изморозевые отложения на территории России».

В состав материалов мониторинга гололедно-изморозевых отложений входит иллюстративный материал (карты, графики, таблицы) и подготовленный на его основе текст, содержащий анализ текущих климатических аномалий и наблюдаемых изменений.

Результаты работы методики представлены на примере оценки аномалий числа случаев, продолжительности и веса гололеда, кристаллической изморози, отложения мокрого снега в рассматриваемый холодный сезон.

Особенностью прошедшего зимнего сезона являлось преобладание циклонического характера погоды и вынос теплого и влажного воздуха с Атлантики на восток европейской

части России и южные районы Уральского ФО, когда создавались благоприятные условия для образования гололеда (рис. 148, а). Кристаллическая изморозь, которая образуется при более низкой температуре, на ЕТР наблюдалась редко (рис. 148, б). Положительные аномалии числа случаев кристаллической изморози отмечаются на севере Камчатского края, востоке Магаданской области, западе Чукотки и в Амурской области (от 5 до 10 дней и более). Положительные аномалии преобладали в распределении числа случаев отложения мокрого снега (рис. 148, в), поскольку сезон 2020-2021 года выдался не только теплым, но и довольно снежным.

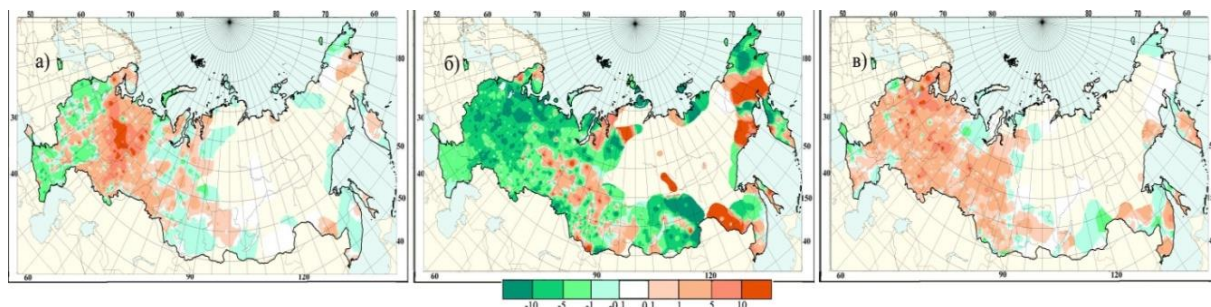


Рисунок 148. Аномалии суммарного за холодный период числа случаев (дни): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

На ЕТР распределение продолжительности гололеда носит пятнистый характер, однако можно отметить, что на 10-20 часов меньше сохранялся гололед в западных областях и на Южном Урале (рис. 149, а). Наибольшие положительные и отрицательные аномалии отмечаются у кристаллической изморози. Максимальная отрицательная аномалия фиксировалась в Забайкалье, на северо-западе Красноярского края, на севере Чукотки и составила 24-48 часов (рис. 149, б). Максимальные положительные аномалии отмечались на востоке Амурской и в Магаданской области (до 72 часов). На ЕТР и в Западной Сибири преобладали положительные аномалии продолжительности отложения мокрого снега (рис. 149, в).

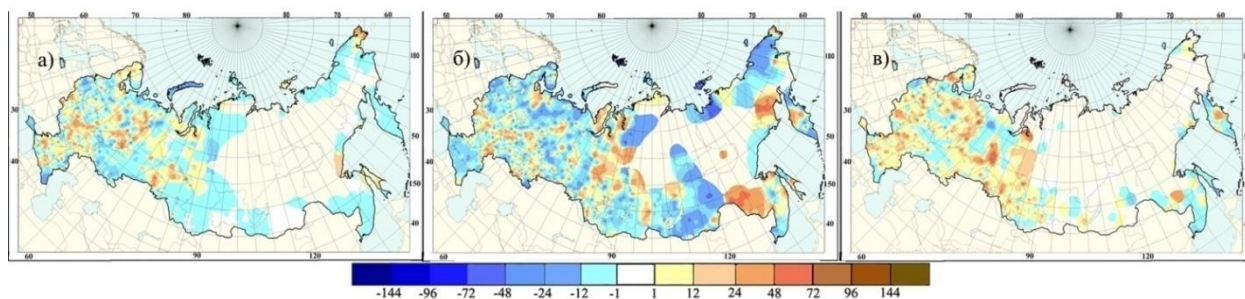


Рисунок 149. Аномалии суммарной за холодный период продолжительности (часы): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

Анализ пространственного распределения аномалий веса гололеда (рис. 150, а) показывает, что преобладали отрицательные аномалии веса гололеда. Положительные

аномалии отмечались в виде небольших очагов в Южном и Центральном федеральных округах (ФО), а также в Крыму, на Кольском полуострове и на востоке ЕТР (1.2-1.6 г/см). На рис. 150, б наиболее выраженные отрицательные аномалии веса кристаллической изморози (в отличие от гололеда) наблюдались на севере Урала и Западной Сибири, а также в Архангельской области, Ненецком А.О., на Кольском полуострове и севере Чукотки (1.2-1.6 г/см и более). Значительные положительные аномалии веса отложения мокрого снега (рис. 150, в) наблюдаются в Южном, на юго-западе Центрального ФО, на западе Республики Коми, отдельными очагами в Северо-Западном ФО и Западной Сибири (1.2-1.6 г/см и более).

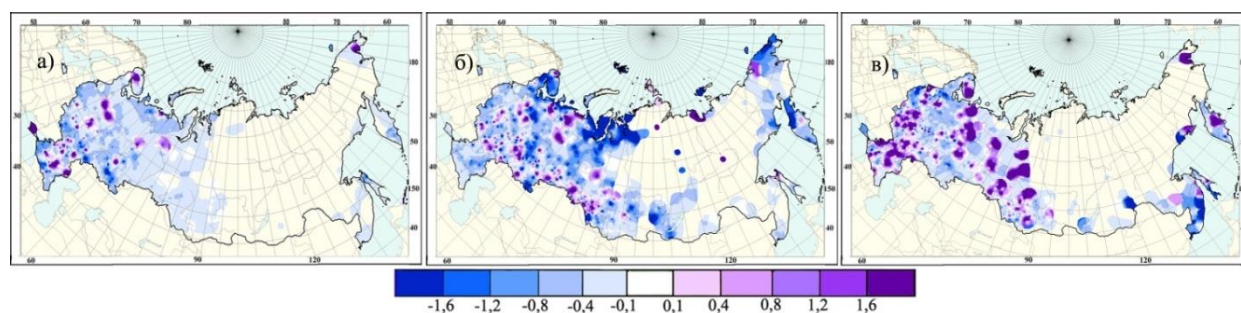


Рисунок 150. Аномалии среднего за холодный период веса (г/см): а) гололеда, б) кристаллической изморози, в) отложения мокрого снега

На сайте ВНИИГМИ-МЦД в разделе «Справочная информация о погоде и климате» в более полном объеме также размещаются результаты мониторинга различных компонентов климатической системы. Результаты ежегодного мониторинга могут быть использованы для выработки адаптационных мер и минимизации ущерба от такого неблагоприятного погодного явления как ГИО.

Разработанная технология мониторинга позволяет получить данные о ГИО на территории РФ и ее регионов в прошедшем году в сравнении с многолетним режимом и ранее наблюдавшимися экстремумами, а также обновленные оценки трендов на станциях и в регионах.

Список литературы

Bulygina O.N., Arzhanova N. M., Groisman P Ya. 2015: Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate *Environ. Res. Lett.* 10 025003 doi:10.1088/1748-9326/10/2/ 025003

Аржанова Н.М., Коршунова Н.Н. 2019: Характеристики гололедно-изморозевых явлений на территории России в условиях современных изменений климата. *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. Вып. 184. С. 33 – 44.

Аржанова Н. М., Коршунова Н. Н. 2021: Оценка многолетних изменений характеристик гололедно-изморозевых отложений на территории России // *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 188, с. 18-29.

Росгидромет. 2022: *Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 г.*, М: Росгидромет. 110 с.

ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕТНИХ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ И ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В Г. НАЛЬЧИКЕ

CHANGES IN SUMMER PRECIPITATION AND AIR TEMPERATURE IN NALCHIK

Ашабоков Б.А.^{1),2)}, Ташилова А.А.¹⁾, Кешева Л.А.¹⁾, Теунова Н.В.¹⁾

Ashabokov B.A.^{1),2)}, Tashilova A.A.¹⁾, Kesheva L.A.¹⁾, Teunova N.V.¹⁾

¹⁾ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»

Россия, 360030, г. Нальчик, пр. Ленина, д. 2

²⁾ Институт информатики и проблем регионального управления КБНЦ РАН

Россия, 360051, г. Нальчик, ул. И. Арманд, д. 37

Аннотация. Распределение осадков в мире меняется в соответствии с глобальными изменениями климата. По данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата увеличение средней глобальной температуры, скорее всего, приведет к изменениям влажности и количества атмосферных осадков, в том числе смещению в сторону более экстремальных осадков во время штормов. В данной работе проведен анализ изменений атмосферных осадков в предгорной зоне юга европейской территории России по данным м/станции Нальчик за последние 60 лет. В работе представлены результаты описательных статистик ряда суточных максимумов осадков в летний сезон, статистических оценок частотного распределения, результаты регрессионного анализа, и квантильного анализа по определению аномальных элементов ряда. Выявленный рост суточных максимумов осадков за последние 60 лет статистически значим, и происходит на фоне значительного и устойчивого роста, как средних температур, так и их абсолютных максимумов.

Ключевые слова: суточный максимум осадков, средняя температура, описательные статистики, экстремальные значения, периоды.

Abstract. The distribution of precipitation in the world is changing in accordance with global climate change. According to the Intergovernmental Panel on Climate Change, an increase in global average temperature is likely to lead to changes in humidity and precipitation, including a shift towards more extreme precipitation during storms. This paper analyzes changes in atmospheric precipitation in the foothill zone of the south of the European territory of Russia according to the Nalchik m/station data over the past 60 years. The paper presents the results of descriptive statistics for a series of daily precipitation maxima in the summer season, statistical estimates of the frequency distribution, the results of regression analysis, and quantile analysis to determine the anomalous elements of the series. The revealed increase in daily precipitation maxima over the past 60 years is statistically significant and occurs against the background of a significant and stable increase in both average temperatures and their absolute maxima.

Key words: daily maximum precipitation, average temperature, descriptive statistics, extreme values, periods.

За последние десятилетия изменения климата становятся все более заметными, в том числе в Кавказском регионе. Изменения климатических переменных стали более экстремальными: статистически значимый рост температуры сопровождается увеличением интенсивности выпадающих осадков, которые в последнее время получили название залповых ливневых осадков. Имеется большое количество работ, посвященных изменению средних характеристик и экстремальных значений метеопараметров (Бардин и др., 2013; Золина и др., 2016).

В настоящей статье проводится статистический анализ и анализ динамики осадков за последние 60 лет (1961-2020 гг.) по данным метеостанции Нальчик (Кабардино-Балкария, предгорная зона, 500 м н.у.м). Для анализа были использованы методы математической статистики (Excel), а также модули статистических пакетов SPSS и Past 4.08 (Бююль и др., 2002).

Режим осадков и температуры в различных климатических зонах Кавказского региона имеет свои особенности (Ашабоков и др., 2020). На метеостанциях, расположенных в равнинной зоне, годовая сумма осадков варьируется от 300 мм в прикаспийской зоне, 600 мм в степной зоне и до 1600 мм в причерноморской зоне. На предгорных и горных м/станциях разброс суммы осадков – от 400 до 900 мм. Для всех станций этой группы количество летних осадков превышает зимние. Во всех климатических зонах наблюдается как увеличение (65%), так и уменьшение (35%) сезонных и годовых сумм осадков, а также увеличение (70%,) и уменьшение (30%) суточных максимумов осадков, в основном эти тенденции статистически незначимы. Статистически значимый рост летних суточных максимумов осадков имел место лишь на м/станции Нальчик (1,67 мм/мес/10 лет, $R^2=0,076$ на 5%-ном уровне) на фоне незначимого роста летних сумм осадков (0,014 мм/мес/10 лет, $R^2=0,001$) (рис.151), что является показателем роста экстремумов, превосходящих рост средних.

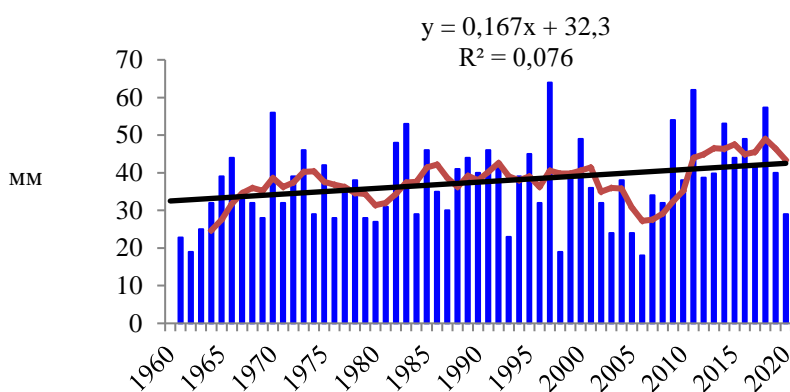


Рисунок 151. Динамика ряда суточных максимумов летних осадков с линейным трендом и 5-летним скользящим средним, 1961-2020 гг.

Воспользуемся модулем «описательные статистики» пакета SPSS для получения статистических характеристик суточных максимумов летних осадков. Среднее значение суточных максимумов летних осадков составило 37,6 мм (std. откл. 10,56 мм); нижняя и верхняя границы среднего при 95%-ном доверительном интервале соответственно – 34,87 мм и 40,33 мм. Среднее и медиана описывают положение центра выборки, вокруг которого группируются значения переменной. Однако среднее чувствительно к выбросам, которые вносят в нее сдвиг, медиана в этом случае является более устойчивой характеристикой. В нашем случае среднее значение (37,62 мм) совпадает с медианой (38,0 мм), что указывает на отсутствие аномальных элементов в летние сезоны ряда суточных максимумов осадков. Небольшие значения асимметрии $As=0,36$ и эксцесса $E=-0,16$ (<3) характеризуют нормальность распределения ряда.

Таблица 60. Описательные статистики ряда суточных максимумов летних осадков за 1961-2020 гг.

	Статистика	Стд. ошибка
Среднее	37,6	1,364
Нижняя граница 95%-го доверительного интервала	34,87	
Верхняя граница 95%-го доверительного интервала	40,33	
5% усеченное среднее	37,35	
Медиана	38,0	
Дисперсия	111,57	
Стандартное отклонение (стд. откл.)	10,56	
Минимум	18	
Максимум	64	
Размах	46	
Межквартильный размах	15	
Асимметрия	0,36	0,309
Экссесс	-0,16	0,608

Для выявления экстремальных значений можно воспользоваться нахождением их в ранжированном ряде – выше и ниже 95% и 5%-го процентилей соответственно, такие экстремальные значения определяются всегда (табл. 61). Из табл. 61 видно, что все высшие экстремумы имели место в период после 1976 г. (начало глобального потепления).

Таблица 61. Процентили ряда суточных максимумов летних осадков

Среднее	Процентили						
	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Суточный максимум осадков	19,2 мм (19 мм в 1962 и 1998 гг., 18 мм в 2006 г.)	24 мм	29,3 мм	38 мм	44 мм	53 мм	57 мм (64 мм в 1997г., 62 мм в 2011 г., 57 мм в 2018 г.)

Другой подход – выявление аномальных элементов, превосходящих рассчитанные нижние и верхние границы, например, квантильным методом. Аномальные элементы, определенные квантильным методом, это значения, удаленные более чем на полторы разницы (и более) между 75% и 25% квантилями ранжированного ряда (выбросы, экстремумы). Такие аномальные элементы выявляются в ряде не всегда. Признаком наличия аномальных элементов в ряде являются – высокая асимметрия, эксцесс, распределение, отличное от нормального. При нахождении аномальных элементов ряда суточных максимумов осадков в летний сезон, были определены аномальные элементы в июле.

Анализ по месяцам (июнь, июль, август) показал наличие двух выбросов суточных максимумов осадков в июле, прывышающие верхнее пороговое значение (≥ 62 мм), что видно на бокс-диаграмме (рис.152). Порядковый номер $np=37$ соответствует суточному максимуму 64 мм в 1997 г., и $np=51$ суточному максимуму 62 мм в 2011 г.

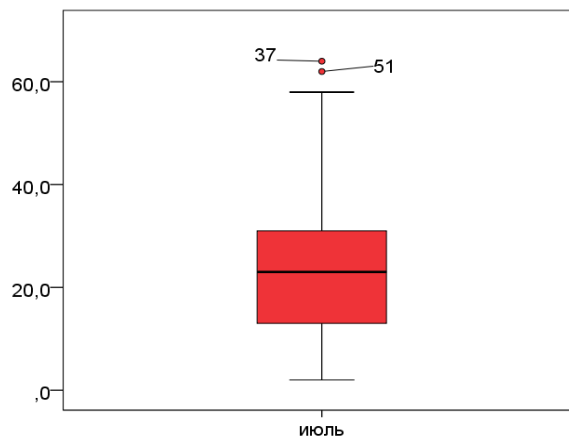


Рисунок 152. Бокс-диаграмма аномальных элементов ряда суточных максимумов осадков в июле, 1961-2020 гг.

Результаты статистических оценок частотного распределения (Excel) показали, что наибольшее количество лет (18 лет из 60) приходится на величину максимальных летних осадков (44,3 мм), превышающих среднее (37,6 мм), что значительно выше среднего. Ниже 10% процентиля – 6 сезонов с осадками 24,6 мм, ниже 5% процентиля – 1 сезон с осадками 18 мм. Выше 90% процентиля – 7 сезонов с осадками 57,4 мм, выше 95% – 2 сезона с 63,9 мм, итого по 7 сезонов с низшими и высшими экстремумами.

Статистически значимый рост суточных максимумов осадков происходил на фоне значимого и устойчивого роста средних температур, а также абсолютных максимумов температур в летний сезон. Скорость роста средних температур составила $0,47^{\circ}\text{C}/10$ лет с высоким вкладом в общую дисперсию $D=45\%$, при этом абсолютные максимумы летних температур увеличивались на $0,44^{\circ}\text{C}/10$ лет ($D=13\%$).

С целью выявления особенностей временной изменчивости был выполнен гармонический анализ (синусоидальная регрессия) рядов суточных максимумов осадков и средних летних температур (рис. 153), который показал, что вклад одной гармоники с периодом 2,4 года в общую дисперсию составил 18% ($R^2=0,18$), 2-я гармоника с периодом 21,5 года увеличила вклад до 32%. Восемь гармоник приблизили модель до исходного ряда на 70% ($T= 15,1; 8,9; 28,8; 2,9$ и $2,7$ лет). Для средних температур первая гармоника с периодом $T= 60,8$ лет дает высокий вклад в общую дисперсию (40%), вторая с периодом $T= 9,7$ лет увеличивает вклад до 52%, наилучшее соответствие с рядом (82%) дают 8 гармоник ($T= 5; 60,8; 2,9; 2,3; 2; 3,8$ лет). В первом приближении основные периоды, формирующие тенденции, короткие для осадков (2,4 года) и длинные для температур (61 год), имеют различную физическую природу, но, как видно, имеются и совпадения коротких периодов. Среди межгодовых колебаний 2-3-хлетний квазипериод выступает в качестве одного из основных

источников, влияющих на изменчивость, как максимальных осадков, так и средней температуры.

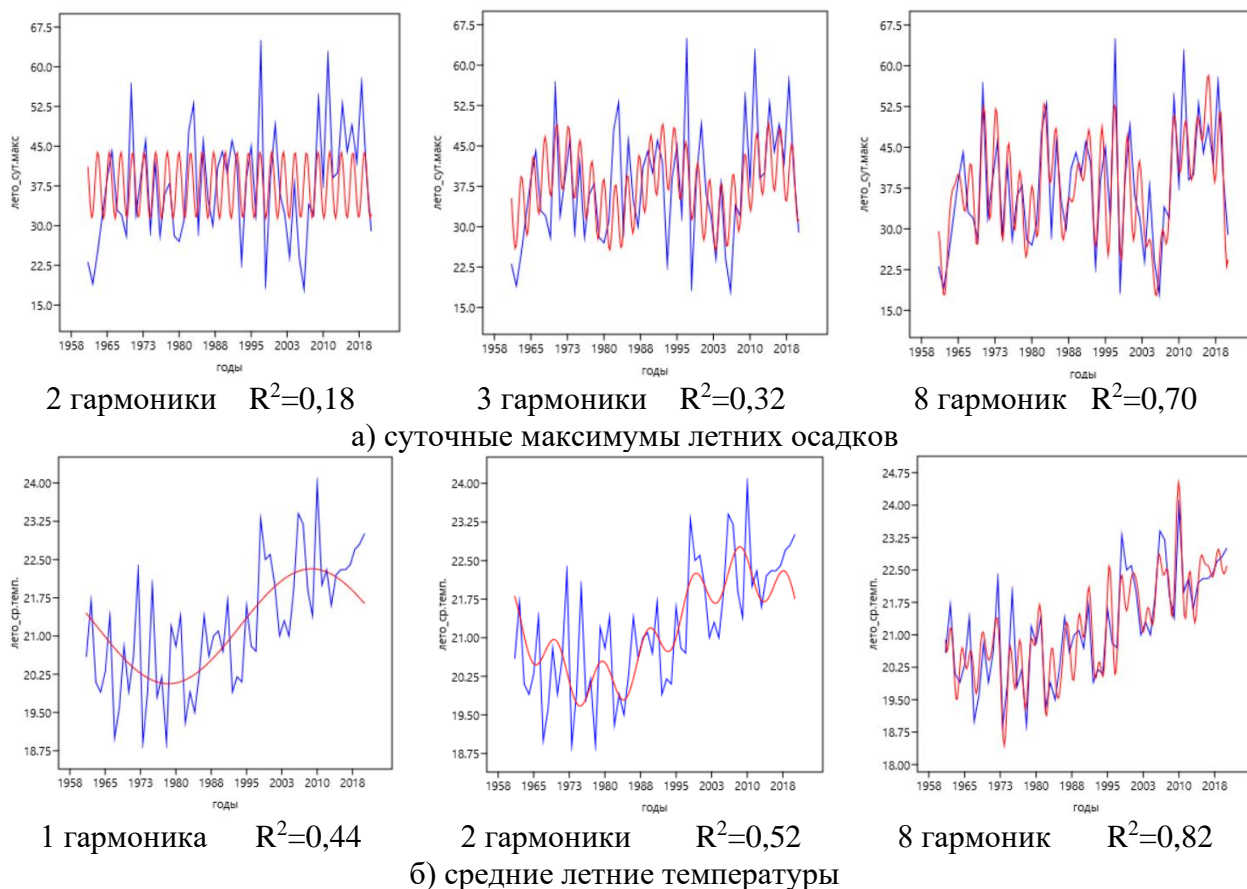


Рисунок 153. Синусоидальная регрессия осадков и температур

В целом, это исследование расширяет наше понимание сложной динамики, лежащей в основе усиления ливневых осадков, и дает потенциальные возможности для их дальнейшего прогнозирования.

Список литературы

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. 2020. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. Нальчик: Изд. «Фрегат». 476 с.

Бардин М.Ю., Платова Т.В. 2013. Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления. – Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Т. 25. – С. 71–93.

Бююль А., Цефель П. 2002. SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей. СПб.: ДиаСофтЮП. 608 с.

Золина О.Г., Булыгина О.Н. 2016. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России. – Фундаментальная и прикладная климатология. Т. 1. – С. 84–103.

**ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ОСАДКОВ КАК КЛИМАТООБУСЛОВЛЕННАЯ
ПРИЧИНА ТРАНСФОРМАЦИИ АРЕАЛОВ ВИДОВ
TEMPERATURE AND PRECIPITATION CHANGES AS A CLIMATE-RELATED CAUSE
OF SPECIES RANGES TRANSFORMATION**

Богданович А.Ю.

Bogdanovich A.Yu.

Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ»)
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б

Аннотация. Система RANGES на основе климатических данных температуры и осадков, а также рассчитанных на их основе значений климатических предикторов позволяет получить статистическую оценку уверенности в том, что заданная точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу вида. На основе рассчитанных значений были оценены климатические ареалы непарного шелкопряда и средиземноморской плодовой мухи для климата 1990-1999 гг., а также климатов будущего: 2030-2039 и 2050-2059 гг. в условиях различных сценариев изменения климата. Использовались результаты расчетов региональной модели ГГО им. А.И. Воейкова и глобальной модели ИВМ РАН.

Ключевые слова: система RANGES, климатический ареал, изменения климата.

Abstract. The RANGES system, used climate data of temperature and precipitation, as well as the values of climate predictors calculated on their basis, allows one to obtain a statistical assessment of the confidence that a given point in geographic area belongs to the climatic range of the species. Based on the calculated values, the climatic ranges of the gypsy moth and the Mediterranean fruit fly were estimated for the climate of 1990-1999, as well as future climates: 2030-2039 and 2050-2059 used different climate change scenarios. The results of calculations of the regional model of the Voeikov Main Geophysical Observatory and the global model of the Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS are used.

Key words: the RANGES system, climatic area, climate change.

Оценка последствий изменения климата для природных и хозяйственных систем, а также для здоровья населения, является важным аспектом математического моделирования климатических ареалов биологических видов. Под климатическим ареалом понимается географическая область, где климатические условия позволяют виду существовать устойчиво. Климатические предикторы, определяющие формирование климатического ареала, представлены климатическими факторами, которые количественно описываются прикладными климатическими индексами или метеорологическими величинами. Климатический ареал формируется на основе требований к значениям этих переменных.

Для поиска климатических предикторов, необходимых для исследования целевого объекта, проводятся фундаментальные биологические исследования. Если информация о климатических предикторах и их пороговых значениях отсутствует в специализированной научной литературе, то можно провести оценку пороговых значений на основе фактического (географического) ареала (Попов, 2016).

Система RANGES на основе данных моделирования климата или фактических данных климата, а также значений климатических предикторов позволяет оценить климатический ареал для конкретного вида. В настоящий момент система, реализованная в программе, логика

которой написана на языке программирования Fortran. Имеется возможность оценки климатических ареалов видов, используя для них следующие климатические индексы:

1. Средняя температура воздуха за несколько последовательных месяцев в пределах календарного года.
2. Сумма осадков за несколько последовательных месяцев в пределах календарного года.
3. Среднемесячная температура самого теплого месяца.
4. Среднемесячная температура самого холодного месяца.
5. Годовое значение суммы активных температур (САТ).
6. Годовое значение суммы пассивных температур (СПТ).
7. Годовое значение суммы эффективных температур (СЭТ).
8. Число суток в году со среднесуточной температурой воздуха выше определенного порогового значения.
9. Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) для определенного порогового значения среднесуточной температуры.
10. Среднесуточная температура самых теплых суток.
11. Среднесуточная температура самых холодных суток.

В работе (Semenov, Gelver, Yasyukevich, 2002) был предложен новый подход к определению климатического ареала вида, основанный на предикторах. Этот подход подробно описан в монографии (Семенов, Ясюкевич, Гельвер, 2006) и был дальше развит в статье (Семенов, Попов, Ясюкевич, 2020). Согласно этому подходу, климатический ареал вида, рассчитанный на основе данных о климате за определенный период времени (например, 10-30 лет), может изменяться со временем из-за изменений в климате. Далее, в статье (Семенов, Попов, Ясюкевич, 2020) работа была развита в направлении статистической оценки уверенности в том, что определенная точка в географическом пространстве принадлежит климатическому ареалу вида. Для получения такой оценки выполнение ограничений на значения климатических предикторов проверяется не для их средних климатических значений, а для каждого года рассматриваемого периода времени.

Пусть для заданной точки географического пространства для отрезка времени в I последовательных лет при оценке обнаружилось k благоприятных лет из общего числа N . Если речь идет о данных мониторинга, то $N = I$. Если делается оценка для будущего климата, и имеются L его модельных реализаций, то $N = IL$. Климат рассматриваемого I -летия считается благоприятным для вида, если доля благоприятных лет p больше некоторого порогового значения p_0 . Значение p_0 задается экспертами-экологами, а при отсутствии информации принимается равным 0.5. Для оценки уверенности непосредственно используется вероятность

того, что $\{p > p_0\}$. При этом функция $F(N, k; p)$ распределения p на отрезке $[0, 1]$ соответствует байесовскому подходу:

$$F(N, k; x) = \frac{B_x(k + 1, N - k + 1)}{B(k + 1, N - k + 1)},$$
$$B_x(a, b) = \int_0^x \theta^{(a-1)}(1 - \theta)^{b-1} d\theta$$

Здесь $B_x(a, b)$ – неполная бета-функция Эйлера.

Исходя из чисел k и N , гипотезу о том, что доля благоприятных лет p не превосходит порогового значения p_0 , можно отвергнуть для определенных уровней значимости $\varepsilon > 0$. Таким образом определяется, в каком из полуинтервалов $(0, 0,33]$, $(0,33, 0,66]$, $(0,66, 0,90]$, $(0,90, 0,99]$, $(0,99, 1,00]$ находится доверительная вероятность $PR = 1 - \varepsilon$, т. е. “уверенность” в том, что значение p превосходит p_0 . Эти диапазоны, в соответствии с рекомендациями Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) словесно характеризуются следующим образом: “маловероятно”, “средне-вероятно”, “вероятно”, “весьма вероятно”, “практически достоверно” (Mastrandrea et al., 2010). Таким образом, определяется степень уверенности в том, что определенная точка географического пространства принадлежит климатическому ареалу.

Для системы RANGES было разработано десктопное приложение, которое позволяет определить степень уверенности принадлежности точки географического пространства климатическому ареалу. Пользователь выбирает климатические предикторы, на основе которых будет производиться расчет, и вводит информацию о климатической модели, которую планируется использовать, а также о границах исследуемой области, основываясь на пространственных возможностях выбранной модели.

Для проведения региональных оценок климатических ареалов средиземноморской плодовой мухи (*Ceratitis capitata*) и непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* (L.)) в России, в работах (Bogdanovich et al., 2023) и (Богданович и др., 2023), использовались климатические данные, полученные с помощью региональной климатической модели (РКМ) Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО). Моделирование проводилось для периодов 1990-1999, 2030-2039 и 2050-2059 гг. Модельные оценки климата соответствуют сценариям RCP4.5 и RCP8.5. Данные по каждому периоду представлены 50 траекториями. Для минимизации расхождений с данными мониторинга климата о среднемесячных значениях температуры и месячных суммах осадков за 1990-1999 гг., введены поправки к этим массивам данных (используется массив CRU TS v. 4.04 (Harris et al., 2020)). Подробнее о климатических данных РКМ и поправках к ним можно найти в работе (Богданович и др., 2021). Кроме того, для глобальных оценок климатического ареала *L. dispar* (Богданович и др., 2023) был

использован расчет, основанный на данных климатической модели Института вычислительной математики РАН (ИВМ). При этом доступны модельные оценки в условиях сценария SSP2.6, SSP4.5, SSP7.0 и SSP8.5 (Семенов, Гладильщикова, 2022). К данным была применена та же процедура поправок, что и к данным расчета РКМ.

Оценка климатических ареалов биологических видов является весьма актуальной задачей, учитывая отсутствие систематического мониторинга ареалов на глобальном и региональном уровнях. Представленная система RANGES решает эту задачу, используя данные модельных климатических расчетов или фактических данных о климате. Однако необходима серьезная проработка методологии выбора климатических предикторов, которые описывают климатические ареалы.

Список литературы

Богданович А.Ю., Добролюбов Н.Ю., Крыленко С.В., Баранчиков Ю.Н., Липка О.Н., Семенов С.М. (2023) Климатический ареал непарного шелкопряда на территории России, соответствующий климатам конца 20 века и 21 века, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 9, № 1, с. 65-88.

Богданович А.Ю., Павлова В.Н., Ранькова Э.Я., Семенов С.М. (2021) Влияние изменений засушливости в России в XXI веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 20-35.

Попов И.О. (2016) *Климатически обусловленные изменения аутоэкологических ареалов иксодовых клещей Ixodes ricinus и Ixodes persulcatus на территории России и стран ближнего зарубежья*, дис. ... канд. биол. Наук, М., РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, 112 с.

Семенов С.М., Гладильщикова А.А. (2022) Сценарии антропогенных изменений климатической системы в XXI веке, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 1, с. 75-106.

Семенов С.М., Попов И.О., Ясюкевич В.В. (2020) Статистическая модель для оценки формирования климатогенных угроз по данным мониторинга климата, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 59-65.

Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. (2006) *Выявление климатогенных изменений*, М., Издательский центр «Метеорология и гидрология», 324 с.

Bogdanovich A.Yu., Andreeva A.P., Dobrolyubov N.Yu., Krylenko S.V., Lipka O.N., Semenov S.M. (2023) Possible Expansion of the Climatic Range of the Mediterranean Fruit Fly Being a Dangerous Fruit Pest, *Russian Meteorology and Hydrology*, vol. 48, no. 1, pp. 72-78.

Harris I., Osborn T.J., Jones P.D., Lister D. (2020) Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset, *Scientific Data*, vol. 7, no. 1, pp. 1-18.

Mastrandrea M.D., Field C.B., Stocker T.F., Edenhofer O., Ebi K.L., Frame D.J., Held H., Kriegler E., Mach K.J., Matschoss P.R., Plattner G.K., Yohe G.W., Zwiers F.W. (2010) *Guidance Note for Lead Authors of the IPCC Fifth Assessment Report on Consistent Treatment of Uncertainties. IPCC Cross-Working Group Meeting on Consistent Treatment of Uncertainties*, Jasper Ridge, CA, Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), URL: <http://www.ipcc.ch>.

Semenov S.M., Gelfer E.S., and Yasyukevich V.V. (2002) Temperature Conditions for Development of Two Species of Malaria Pathogens in the Vector Organism in Russia in the 20th Century, *Doklady Biological Sciences*, vol. 387, pp. 523-528, translated from *Doklady Akademii Nauk*, vol. 387, no. 1, 2002, pp. 131-136.

МОНИТОРИНГ ВЛАГОЗАПАСА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Воробьев В.А.¹⁾ Андреев Ф.А.²⁾ Коршунова Н.Н.³⁾

¹⁾ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

²⁾ НПО «Тайфун»,

Россия, 249038, г. Обнинск, ул. Победы, д.4

³⁾ ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных»

Россия, 249035, г. Обнинск, ул. Королева, д.6

Аннотация. Приведены результаты исследований современных изменений запасов воды в снеге на территории Российской Федерации по данным подсистемы мониторинга снежного покрова ВНИИГМИ МЦД. Рассчитаны коэффициенты линейных трендов высоты снежного покрова и запасов воды в снеге для периода 1976 – 2022 г. г. Рассмотрены дистанционные авиационные и беспилотные методы определения влагозапаса в снежном покрове с помощью гамма-съемки.

Ключевые слова: Снежный покров, наземные сети, дистанционный мониторинг.

Abstract. The results of studies of modern changes in water reserves in snow on the territory of the Russian Federation according to the data of the snow cover monitoring subsystem of the VNIIGMI WDC are presented. The coefficients of linear trends of snow cover height and water reserves in snow for the period 1976-2022 are calculated. Remote aerial and unmanned methods for determining the moisture content in snow cover using gamma imaging are considered.

Keywords: Snow cover, ground-based networks, remote monitoring

Для разработки прогноза изменения климата и адаптации к нему необходимо иметь надежные данные об основных метеоданных, в частности, о динамике снежного покрова на больших территориях (Липка, 2020). Существующие методы можно подразделить на методы, полученные с помощью наземной съемки и полученные в результате дистанционного зондирования. В работе представлен обзор исследований в области разработки и применения в Российской Федерации аппаратуры для дистанционного мониторинга снежного покрова. По наземным данным информационной базы ВНИИГМИ МЦД получены аномалии максимального запаса воды в снеге зимой 2021-2022 г. г., а также коэффициенты линейного тренда запаса воды в снеге за период 1976-2022 гг.

Мониторинг снежного покрова на территории России проводится по данным 958 метеорологических станций. По данным маршрутных снегомерных съемок сформированы ряды данных о влагозапасе и плотности снежного покрова по лесному и полевому маршрутам.

Во ВНИИГМИ МЦД создана подсистема мониторинга снежного покрова на основе данных Госфонда гидрометеорологической информации. Оперативные данные поступают по каналам связи в виде телеграмм «СИНОП». В качестве норм с 2022 года используются средние многолетние характеристики снежного покрова за период 1991-2020 гг., который рекомендован ВМО в качестве базового периода в климатических исследованиях

Аномалии на метеостанциях арифметически осредняются по квадратам сетки (1°N x 2°E), а затем с весовыми коэффициентами в зависимости от широты квадрата.

Оценки линейного тренда, показывают, что на значительной части страны в лесу на территории России преобладают тенденции уменьшения максимального за зиму запаса воды в снеге, а в поле – увеличения (рис. 154).

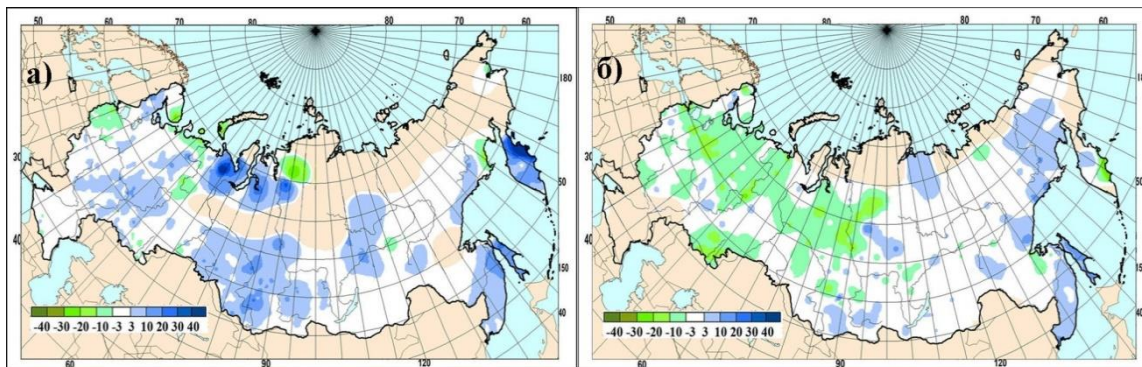


Рисунок 154. Коэффициенты линейного тренда (мм/10лет) в рядах запаса воды в снеге за зимний период в поле (а) и в лесу (б), 1976-2022 гг.

На настоящее время в НПО «Тайфун» обрабатывается технология дистанционного получения информации о динамике изменения водного эквивалента снежного покрова с помощью макета автоматизированного стационарного снегомерного поста (ССП), включающего блок детектирования с кристаллом NaI(Tl) 63x63мм (Изготовитель НПУП «Атомтех», Республика Беларусь.) Площадь сбора информации ограничена коллиматором детектора и составляет ~ 70-80 м². Измерения выполняются в постоянном режиме с заданной экспозицией осреднения (6, 12, 24...) часов. Расчет водного эквивалента снега выполняется по трем независимым параметрам: интегральному счету гамма-излучения в диапазоне энергий 0,02-3,00 мэВ и по счету в пиках прямого излучения с энергий 1460 кэВ (K-40) и 2614кэВ (Tl-208).

Основным дистанционным методом определения влагозапаса в снежном покрове, является, разработанный сотрудниками ИПГ-ИГКЭ авиационный гамма-метод, основанный на эффекте ослабления снежным покровом гамма-излучения естественных радиоактивных элементов почв и горных пород (Воробьев, 2022).

В НПО «Тайфун» Росгидромета разработан авиационный комплекс радиационной разведки (зарегистрирован в Госреестре под № 66245-16 как МР-44). Его назначение, как для радиационного обследования загрязненных территорий, так и для определения запаса воды в снежном покрове и влагозапаса в пахотном слое. В состав МР-44 входит гамма-спектрометр DespecProс высокого энергетического разрешения и сцинтилляционный детектор гамма-излучения с кристаллом NaI(Tl) 150x100 мм с многоканальным анализатором Digi BASE. Данный метод дает усредненные по площади данные, учитывая ледяные корки и талую воду на поверхности почвы. Анализ данных по различным физико-географическим регионам

показал, что при отсутствии оттепелей, погрешность самолетной гамма-съемки составляет 10-12 мм, т.е. близка к погрешности наземного метода снегосъемок. Самолетная гамма-съемка снежного покрова проводилась, начиная с 1962/63 г.г. С 2015 г. на протяжении пяти сезонов информация о влагозапасе снега в оперативном порядке передавалась в Башкирское УГМС.

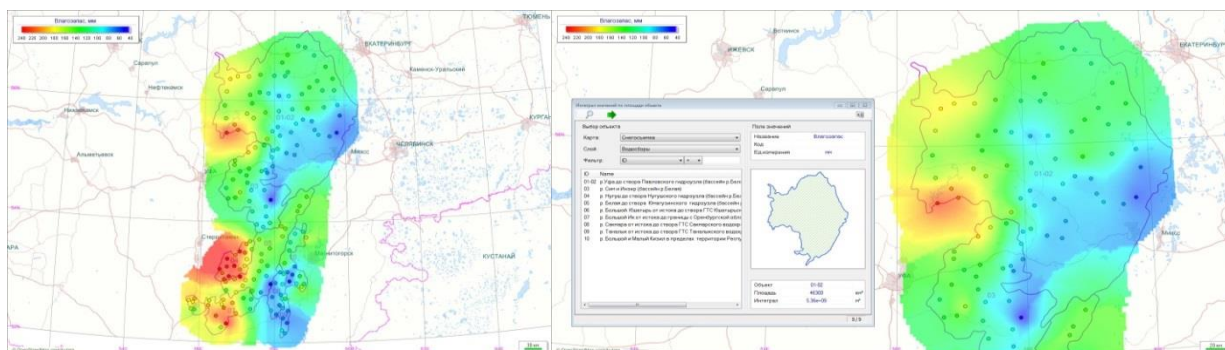


Рисунок 155. Влагозапас в снежном покрове в бассейне р. Белая и р. Урал

Хотя указанный способ обладает большой точностью, но в то же время он имеет ряд недостатков: 1. Высокие требования к точности повторных маршрутов, особенно в районах со сложной геологической обстановкой, где возможны значительные вариации содержания радиоэлементов в приповерхностном слое пород; 2. Необходима строгая идентичность параметров зимнего комплекта аппаратуры (постоянство геометрических характеристик, эффективности, спектральной чувствительности детектора). Для создания однопролетных методов измерения сотрудниками ИПГ, ИГКЭ было предложено несколько вариантов (Воробьев, 1971): Измерение интенсивности двух моноэнергетических гамма-линий одного радиоизотопа, одновременное измерение интенсивности гамма-излучения с помощью двух детекторов с разной диаграммой направленности, и измерение интенсивности одной моноэнергетической гамма-линии и рассеянного излучения с энергией близкой к первичной. Указанные методы не требуют сведений о содержании радиоактивных элементов в почве, и поэтому могут быть применены при однократном пролете над произвольной территорией, если только чувствительность детектора достаточна.

В НПО «Тайфун» проводятся работы в подготовке к экспериментальным испытаниям беспилотного аппаратно-программного комплекса с вертикальным взлетом и посадкой VolJetVT7. В его состав входит блок детектирования с кристаллом NaJ(Tl) Ø63x160 мм.

Последние десятилетия за рубежом для разведки радиационной обстановки, а также в поисковой геофизике стали применяться беспилотные летательные аппараты, оснащенные гамма-спектрометрами с детекторами на основе теллурида кадмия. Имели массу 60 г, размеры 10x10x10 мм с энергетическим разрешением 2% по линии 661 кэВ. Недостаток эффективности регистрации кристаллов малого объема компенсировался малыми высотами полета – до 1,5 м,

малыми скоростями – до 3,5 км/ч, густой сетью опробования – до 1,5 м. между профилями (Воробьев, 2020). Возможно, их применение может оказаться особенно полезным для однопролетного контроля снежных заносов на автотрассах в условиях сильно пересеченной местности. В этом могут быть заинтересованы службы МЧС и Росгидромета.

Исследование выполнено в рамках научной темы Росгидромет (ФГБУ ИГКЭ) «Мониторинг глобального климата и климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга».

Список литературы

Воробьев В.А., Банщикова Л.С. (2022) О дистанционном мониторинге снежного покрова. К 60-летию разработки методов аэрогамма-съемки в России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 4, с. 413-423.

Воробьев В.А., Фридман Ш.Д. (1971) О возможности определения толщины источников гамма-излучения и поглощающих сред по деформации жесткой части энергетического спектра, *Атомная энергия*, т. 30, вып. 4, с. 385.

Воробьев В.А., Керцман В.М. (2020) *Аэрогамма-съемке – 75 лет*, Евразийское научное объединение, № 5, с. 582.

Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. (2020) Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 65-90.

**О ЕЖЕМЕСЯЧНОМ МОНИТОРИНГЕ ЦИКЛОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ НА
ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ
ON MONTHLY MONITORING OF CYCLONE ACTIVITY IN THE EUROPEAN
TERRITORY OF RUSSIA**

Вязилова Н.А.

Vyazilova N.A.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных»
Россия, 249035, г. Обнинск, Калужской обл. ул. Королева, д.6

Аннотация. Представлены ежемесячные характеристики циклонической активности на Европейской территории России, рассчитанные автоматическим методом на основе синоптических данных реанализа NCEP-DOE. Основные характеристики циклонической активности, – траектории циклонов, индекс циклонической активности, плотность центров циклонов, в том числе с экстремально низким давлением и штормовой скоростью ветра, – размещаются на портале ЕСИМО с использованием цифровых технологий в виде карт пространственного распределения за календарный месяц и графиков временного изменения за период с 1979 по настоящее время.

Ключевые слова: циклоническая активность, траектории циклонов, штормовая скорость ветра, портал ЕСИМО.

Abstract. The cyclone activity monitoring over North Atlantic and Europa carried out as part of the applied task of the Unified State System of Information on the Global Ocean (ESIMO) project and includes the creating of maps of spatial distribution and graphs of temporal changes in the characteristics of cyclonic activity in selected areas of the region during period from 1979 to present: cyclone trajectories, cyclone center density, cyclonic activity index, storm wind speed frequency.

Keywords: cyclonic activity, cyclone trajectories, storm wind speed, portal ESIMO.

В решении проблемы мониторинга окружающей среды, приземного климата, загрязняющих и климатически активных веществ важное значение имеет регулярный анализ циклонической активности на территории России, так как именно крупномасштабная циркуляция и внетропические циклоны, как ее основные синоптические составляющие, обеспечивают перенос не только тепла и влаги, но также аэрозолей и различных загрязняющих веществ в атмосфере. В настоящей работе представлены ежемесячные характеристики циклонической активности на акватории Северной Атлантики и в европейском регионе, включая европейскую территорию России, рассчитанные автоматическим методом на основе синоптических данных реанализа NCEP-DOE (Kanamitsu, Ebisuzaki, Woollen, Yang, Hnilo, Fiorino, Potter, 2002) в рамках прикладной задачи Единой Системы Информации об обстановке в Мировом океане (ЕСИМО) за период с 1979 по настоящее время. Ежемесячный мониторинг включает регулярное обновление значений характеристик циклонической активности и представление этих характеристик на портале ЕСИМО [<http://portal.esimo.ru>] в виде карт пространственного распределения и графиков временного изменения.

Процедура идентификации центров циклонов проводится на основе синоптических 6-часовых данных минимального атмосферного давления на уровне моря (MSLP). Метод идентификации центров циклонов и алгоритм расчета траекторий смещения центров

циклонов подробно описан в статье (Вязилова, 2012) и, в основном, совпадает с основными критериями автоматической идентификации циклонов, используемыми в работах других исследователей (Алекперов, Мохов, 2010). В каждый срок наблюдения в районе каждого центра циклона выбирались максимальная скорость ветра и максимальная интенсивность осадков.

Параметры, рассчитываемые в рамках прикладной задачи мониторинга циклонической активности, можно разделить на показатели состояния циклонической активности на всей акватории Северной Атлантики и территории Европы в рассматриваемый календарный месяц, и региональные интегральные индикаторы циклонической активности в отдельных выбранных районах региона за каждый календарный месяц всего периода исследования. К первой группе показателей относятся плотность центров циклонов и значение индекса циклонической активности в узлах сетки за месяц, рассчитываемые, соответственно, как сумма центров циклонов и аномалий атмосферного давления в центрах в представляемый календарный месяц (рис. 156), а также плотность центров циклонов с экстремально низким давлением, штормовой скоростью ветра (рис. 157) и высокой интенсивностью осадков.

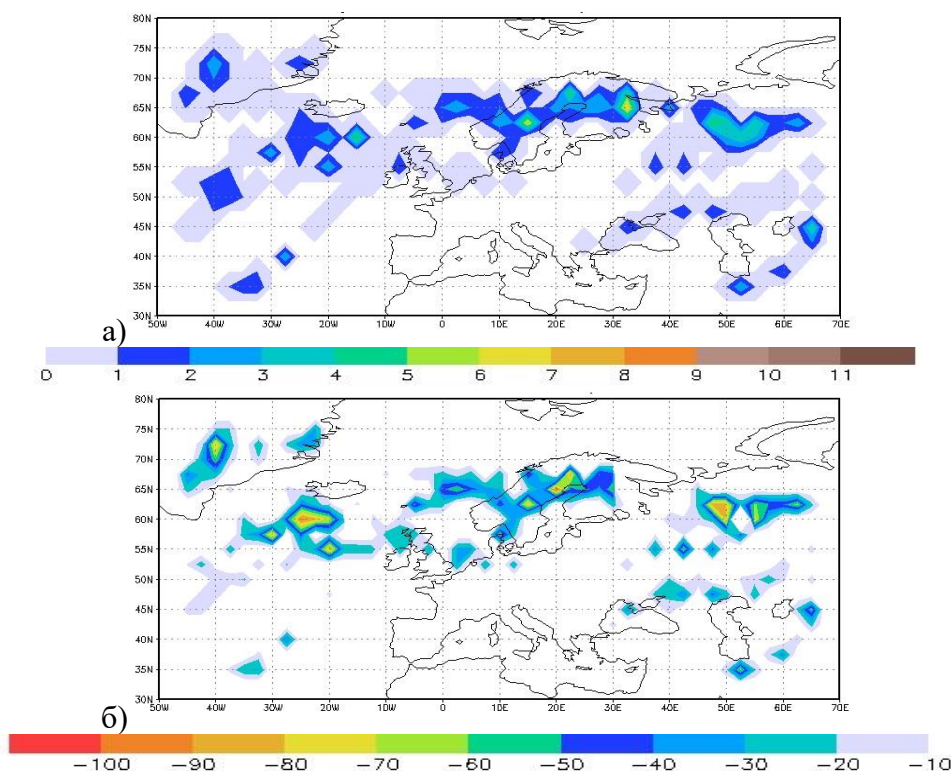


Рисунок 156. Пример пространственного распределения количества центров циклонов (а) и индекса циклонической активности (б) в мае 2023 г.

К первой группе показателей также относятся карты траекторий циклонов с индикацией значений атмосферного давления, максимальной скорости ветра и максимальной интенсивности осадков в центрах циклонов в каждый срок наблюдения (рис. 158),

позволяющие выявить особенности синоптической обстановки в отдельном выделенном районе в каждый срок наблюдения календарного месяца.

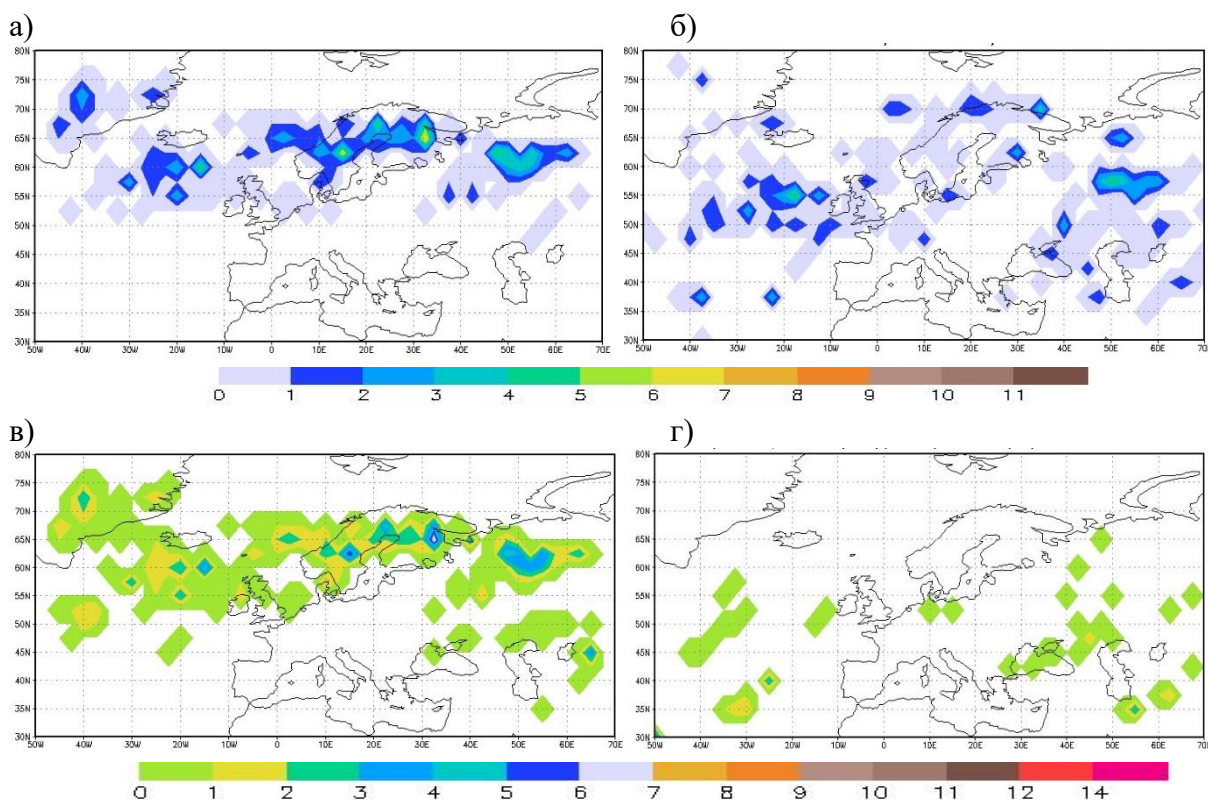
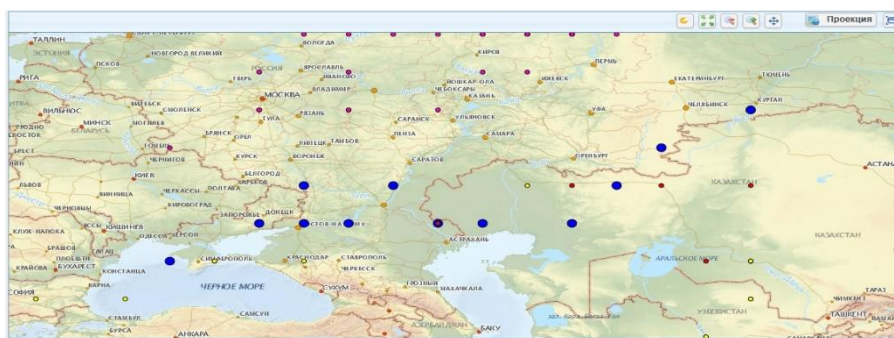


Рисунок 157. Пример пространственного распределения количества центров циклонов с атмосферным давлением от 980 гПа и менее (а), штормовой скоростью ветра от 17 м/сек (б), интенсивность осадков менее 24 мм/сутки (в) и более 24 мм/сутки (г) в мае 2023 г.

В качестве примера в работе представлены показатели циклонической активности в исследуемом регионе за май 2023 г. Анализ карт показывает активизацию циклонической активности в мае 2023 г. на акватории Северной Атлантики, в северных районах Европы, а также на европейской территории России (ЕТР). Экстремально низкое давление на ЕТР наблюдалось, в основном, в северных и центральных районах, и связано с циклонами, вышедшими на ЕТР в северной зоне шторм-трека. Однако, анализ траекторий циклонов показал также значительное количество вышедших на ЕТР южных циклонов, имеющих начало в районах Средиземноморского и Черного морей (рис. 158). Именно южные циклоны, вышедшие в южный и юго-восточные районы ЕТР, как показывают рис. 157 и рис. 158, обеспечили развитие в этих районах в мае 2023 г. штормовой скорости ветра и интенсивности осадков более 24 мм/сутки. Следует отметить, что развитие штормовой скорости ветра и повышенной интенсивности осадков в южных циклонах часто наблюдалось при отсутствии экстремально низкого давления в центре циклона.



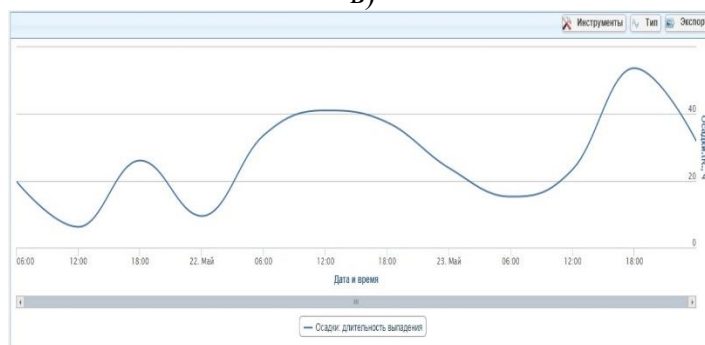
а)



б)



в)



г)

Рисунок 158. Пример представления на портале ЕСИМО траектории шторма, выходящего на европейскую территорию России в мае 2023 г.
 а) положение центров циклонов, б) график изменения атмосферного давления в циклоне (гПа), в) изменение максимальной скорости ветра, (м/сек), г) изменение интенсивности осадков (мм/сутки)

Для отдельных выделенных районов – европейской территории России, западной части Арктической зоны России и района Балтийского моря – для каждого календарного месяца

рассчитываются интегральные региональные показатели, представляющие суммарное количество траекторий циклонов, центров циклонов, интегральное значение индекса циклонической активности в выбранном районе. Интегральные показатели, представляются на портале ЕСИМО и позволяют получить графики временного изменения характеристик циклонической активности в выбранном районе. Ежемесячные значения показателей дают возможность получить климатическую оценку состояния и изменения циклонической и штормовой активности на ЕТР (Viazilova, Viazilov, 2020). На рис. 159, в качестве примера показано изменение интегрального индекса циклонической активности на ЕТР, рассчитанного для двух групп циклонов для зимнего сезона (с октября по март) за период с 1979 по 2023 гг. Анализ графиков позволяет подчеркнуть значительный вклад глубоких циклонов в циклоническую активность на ЕТР в зимний сезон в течение всего периода исследования, а также тенденцию ослабления циклонической активности в последние десять лет.

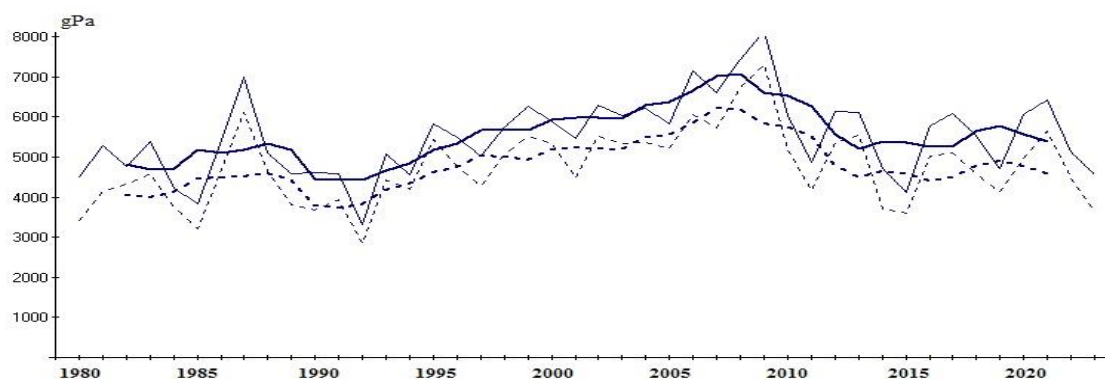


Рисунок 159. Изменение индекса циклонической активности (в гПа) на европейской территории России. Зимний сезон (с октября по март). Обозначение: сплошная линия – все циклоны, точка-тире – глубокие циклоны. Журная линия – скользящие средние за пять лет

Список литературы

- Алекперов М.Г., Мохов И.И. (2010) Сравнительный анализ методов идентификации внетропических циклонов, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 46, № 5, с. 620-637.
- Вязилова Н.А. (2012) Циклоническая активность и колебания циркуляции в Северной Атлантике, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 5-14.
- Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. (2002) NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2), *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, vol. 83, pp. 1631-1643.
- Viazilova N.A., Viazilov A.E. (2020) On climatology of storm cyclones entering European region of Russia, *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, vol. 611, no. 1, 012004.

**О ПРИРОДЕ СУТОЧНЫХ ВАРИАЦИЙ ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА
ЕКАТЕРИНБУРГА
ON THE NATURE OF DIURNAL VARIATIONS OF THE URBAN HEAT ISLAND
INTENSITY IN YEKATERINBURG**

Демежко Д.Ю., Горностаева А.А., Хацкевич Б.Д., Вдовин А.Г., Факаева Н.Р.

Demezhko D.Yu., Gornostaeva A.A., Khatskevich B.D., Vdovin A.G., Fakaeva N.R.

ФГБУН «Институт геофизики им. Ю.П.Булашевича УрО РАН»
Россия, 620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, 100

Аннотация. Предложен новый механизм формирования суточных вариаций интенсивности городского острова тепла (далее ГОТ). Рассмотрен температурный отклик на радиационное воздействие в условиях теплофизически неоднородной подстилающей поверхности. Показано, что особенности теплофизических разрезов в городе и селе определяют фазовый сдвиг между городской и сельской температурными волнами, в результате чего максимум интенсивности ГОТ сдвигается на ночное время. Модель верифицирована по метеоданным Екатеринбурга и его окрестностей.

Ключевые слова: климат города, городской остров тепла, подстилающая поверхность, теплофизические свойства грунтов.

Abstract. A new mechanism for the formation of diurnal variations of the urban heat island (UHI) intensity has been proposed. For this purpose, temperature response to radiative forcing in case when the underlying surface limits a medium with inhomogeneous thermal properties has been considered. It is shown that the features of the distribution of subsurface thermal properties in the city and the countryside determine the phase shift between the urban and rural temperature waves, which results in a shift of the maximum of the UHI intensity to nighttime. The model has been verified using weather data for Yekaterinburg and its environs.

Keywords: urban climate, urban heat island, diurnal cycle, underlying surface, soil thermal properties.

Феномен городского острова тепла (ГОТ) проявляется температурной аномалией в пределах городской агломерации относительно ближайших окрестностей. Обычно его изучают в поле температур приземного воздуха, измеренных на метеостанциях. Однако, это явление шире и охватывает несколько сотен метров атмосферы и подземной сферы, взаимодействующих между собой. В суточном цикле максимум интенсивности ГОТ в большинстве городов мира наблюдается после захода солнца (Goward, 1981; Oke, 1982; Kim, Baik, 2002; Lai et al., 2018 и др.).

S.N. Goward (1981), вероятно, первым указал на различия теплофизических свойств городских и сельских поверхностей как основную причину ночного максимума. В его простейшей модели рассмотрено влияние тепловой активности (тепловой инерции) на суточный температурный ход. Более высокая тепловая активность городских искусственных покрытий (асфальт, бетон) в сравнении с естественными сельскими обеспечивает более медленное нагревание городской поверхности, и, в то же время, более медленное ее охлаждение. Расчеты по этой модели противоречили опытным данным, и автору пришлось учитывать передачу скрытого тепла и тепловые неоднородности сред, правда, лишь путем расчета кажущейся (apparent) тепловой активности. Но и это не сняло всех противоречий, а

привело к заключению, что одними лишь различиями тепловых свойств невозможно объяснить суточный цикл (Stewart et al., 2021). Большинство исследователей вслед за Т.Р. Оке (1982) объясняет «ночной феномен» ГОТ влиянием геометрии города, препятствующей уходящей ночной радиации. Качественная модель Т.Р. Оке не учитывает, однако, того факта, что уходящее длинноволновое излучение выше днем и, следовательно, геометрический фактор также должен быть выше днем. Наконец, ряд исследователей объясняет ночной максимум ГОТ факторами, имеющими устойчивую суточную динамику, в том числе, погодными, более высокой ночной активностью в городах, влиянием микрочастиц в атмосфере городов. Распространенность «ночного феномена» ГОТ во всех климатических зонах предполагает существование универсального механизма его формирования. Мы предлагаем такой механизм, учитывающий различный характер теплофизических неоднородностей городских и сельских подстилающих поверхностей.

Рассмотрим формирование основной, 24-часовой гармоники переменной составляющей суточного цикла ГОТ. Колебания потока приходящей солнечной радиации порождают тепловой поток через земную поверхность. Колебания последнего происходят синхронно с вариациями солнечной радиации и достигают максимума в астрономический полдень. Колебания температуры земной поверхности в городе T_g и селе T_c имеют различную амплитуду и отстают от колебаний потока на величину, определяемую тепловыми неоднородностями среды – рис. 160.

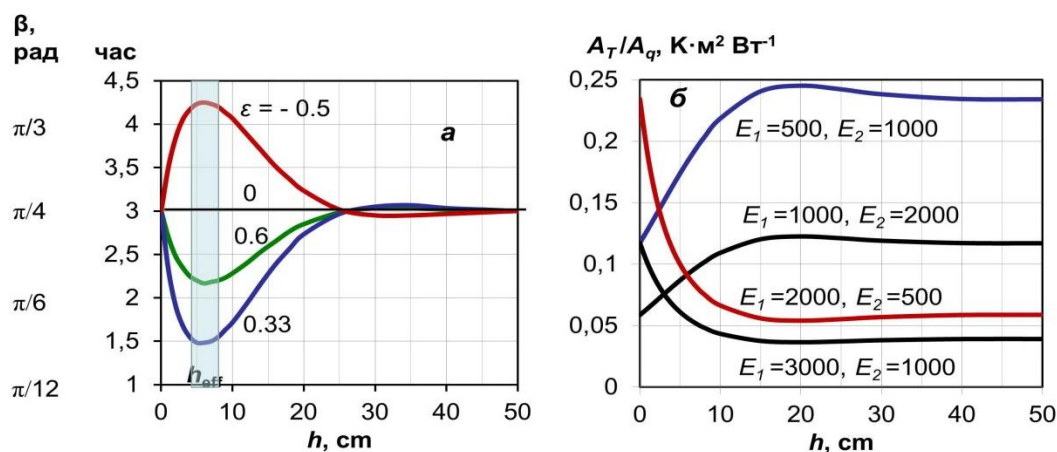


Рисунок 160. Зависимости фазового сдвига между вариациями теплового потока и температурным откликом (а) и относительной амплитуды колебаний температуры поверхности (б) от мощности верхнего слоя
Коды кривых: (а) – контраст тепловых активностей $\epsilon = (E_2 - E_1)/(E_2 + E_1)$, (б) – тепловые активности верхнего E_1 и нижнего E_2 слоев, Дж·м⁻²·К⁻¹·с^{-1/2} (Демежко и др., 2022)

В условиях однородной среды фазовый сдвиг составляет $\beta = \pi/4$, или 3 часа для суточной волны (Demezhko, Gornostaeva, 2015). Максимальное отклонение фазового сдвига от $\pi/4$ для суточной волны достигается при мощности верхнего, аномального по тепловым свойствам

слоя, равной $h_{\text{эфф}} \approx 6$ см (Gornostaeva et al., 2021; Демежко и др., 2022). Поскольку структура городских и сельских неоднородностей различна, температуры T_g и T_c колеблются в разных фазах – β_g и β_c . Интерференция городской волны и сельской (взятой с отрицательным знаком, или сдвинутой на величину π , поскольку при расчете ГОТ волны вычитаются, а не суммируются) порождает волну интенсивности ГОТ (ΔT) той же частоты, но сдвинутую по фазе на величину γ . Для ее расчета удобно использовать хорошо известные законы интерференции.

Хотя предложенная схема относится к температурам земной поверхности, мы полагаем, она применима и для описания вариаций температуры приземного воздуха, определяемой теплообменом с поверхностью, особенно в ясные дни с умеренным ветром. В доказательство рассмотрим суточный ход температур приземного воздуха в августе 2022 г. в центре Екатеринбурга и в поселке Верхнее Дуброво, расположенном в 28 км юго-восточнее (рис. 161, сплошные синяя и зеленая линии). Изменения интенсивности ГОТ в Екатеринбурге, рассчитанные как мгновенные разности температур, показаны красной сплошной линией. Как и в большинстве городов мира, максимальная интенсивность ГОТ в Екатеринбурге наблюдается ночью. Температурный максимум на основной гармонике в Екатеринбурге достигается в 16 час. 01 мин. Запаздывание температурного отклика на радиационное воздействие (с максимумом в астрономический полдень, или в 13 час. 04 мин. местного времени) составляет 2 часа 57 минут, что характерно для поверхностей, ограничивающих теплофизически однородное полупространство. Меньшее запаздывание (2 часа 24 мин) в пос. В. Дуброво указывает на присутствие верхнего слоя с аномально низкими тепловыми свойствами. Наличие здесь такого 8-см слоя дерна с теплопроводностью $0,8 \text{ Вт м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, залегающего на суглинках с теплопроводностью $1,5\text{-}2,3 \text{ Вт м}^{-1} \cdot \text{К}^{-1}$, было подтверждено экспериментальными исследованиями (Демежко и др., 2022). Таким образом, сельская температурная волна на 33 минуты опережает городскую. Вследствие этого максимум интенсивности ГОТ наступает на 9 час. 01 мин. позже максимума городской температуры, или в 1 час 06 мин. следующих суток.

Основная гармоника не объясняет локальных утреннего, вечернего минимумов и послеполуденного локального максимума интенсивности ГОТ в Екатеринбурге. Отчасти их можно отнести к влиянию высших гармоник в колебаниях суточной инсоляции. Однако вследствие малой амплитуды высших гармоник их фазовые соотношения определены недостаточно точно. Возможно, в формировании локальных минимумов принимает участие геометрия города – эффект «каньона» (Оке, 1982).

Предложенная нами модель формирования переменной составляющей суточного цикла интенсивности ГОТ достаточно универсальна: в большинстве городов мира широко распространены плотные покрытия с высокими тепловыми свойствами (асфальт, бетон). В сельской местности, напротив, верхний, обогащенный органикой слой обладает низкой тепловой активностью.

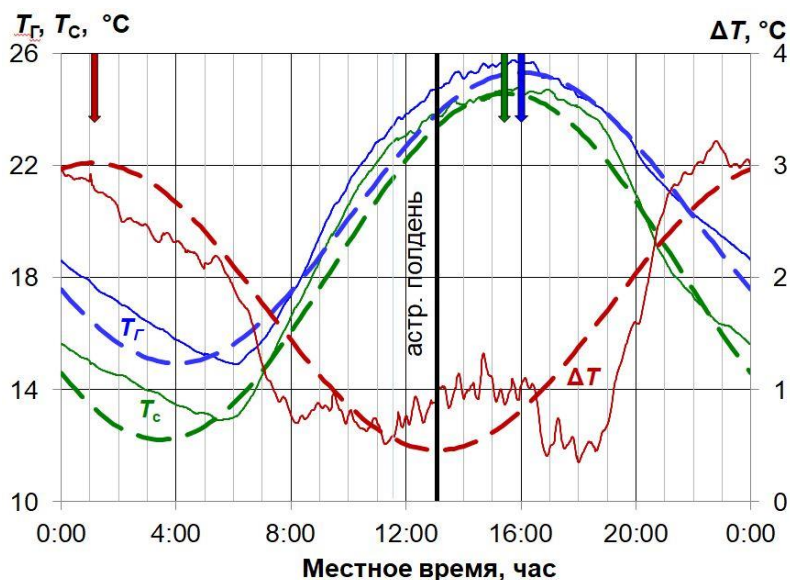


Рисунок 161. Усредненный суточный ход температур приземного воздуха в Екатеринбурге (T_G) и Верхнем Дуброво (T_C) в августе 2022 г. и интенсивности ГОТ (ΔT) – сплошные линии
Пунктир – 24-часовые гармоники. Стрелками обозначены моменты максимумов

Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 22-77-10018 (<https://rscf.ru/project/22-77-10018/>). Авторы выражают признательность ФГБУ «Уральское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» за предоставленные метеоданные минутного разрешения.

Список литературы

Демежко Д.Ю., Горностаева А.А., Антипин А.Н. (2022) Оценка фазовых соотношений между тепловыми потоками и температурой земной поверхности в суточном цикле по результатам мониторинга на ОГМС “Верхнее Дуброво”, *Литосфера*, т. 22 (2), с. 239-250.

Demezhko D.Y., Gornostaeva A.A. (2015) Late Pleistocene-Holocene ground surface heat flux changes reconstructed from borehole temperature data (the Urals, Russia), *Climate of the Past*, vol. 11 (4), pp. 647-652.

Gornostaeva A.A., Demezhko D.Y., Antipin A.N. (2021) Temperature Response to External Radiative Forcing: Verification of a Simple Model, *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*, vol. 57 (11), pp. 1381-1395.

Goward S.N. (1981) Thermal behavior of urban landscapes and the urban heat island, *Physical Geography*, vol. 2 (1), pp. 19-33.

Kim Y.H., Baik J.J. (2002) Maximum urban heat island intensity in Seoul, *Journal of Applied Meteorology*, vol. 41, pp. 651-659.

Lai J., Zhan W., Huang F., Voogt J., Bechtel B., Allen M., Peng S., Hong F., Liu Y., Du P. (2018) Identification of typical diurnal patterns for clear-sky climatology of surface urban heat islands, *Remote sensing of environment*, vol. 217, pp. 203-220.

Oke T.R. (1982) The energetic basis of the urban heat island, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 108(455), pp. 1-24.

Stewart I.D., Krayenhoff E.S., Voogt J.A., Lachapelle J.A., Allen M.A., Broadbent A.M. (2021) Time evolution of the surface urban heat island, *Earth's Future*, vol. 9 (10), e2021EF002178.

ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЛАЧНОСТИ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ CHANGE IN THE CHARACTERISTICS OF CLOUDS ON THE TERRITORY OF RUSSIA

Коршунова Н.Н., Дементьева Т.В

Korshunova N.N., Dementieva T.V.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
Россия, 249035, г. Обнинск Калужской обл., ул. Королева, д. 6

Аннотация. Исследуются такие характеристики облачности как повторяемость пасмурного (8-10 баллов) и ясного (0-2 балла) неба. Анализ сезонной повторяемости пасмурного (8-10 баллов) и ясного (0-2 балла) облачности позволил выявить некоторые региональные особенности. Для включения в национальную систему мониторинга облачности рассчитаны нормы за новый базовый период 1991-2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, повторяемости случаев с различным состоянием неба (ясное, полужасное, пасмурное) по общей и нижней облачности, а также нормы повторяемости различных форм облачности. Проанализированы многолетние изменения повторяемости ясного и пасмурного неба, которые выявили практически повсеместное уменьшение повторяемости ясного неба по общей облачности во все сезоны.

Ключевые слова: общая облачность, нижняя облачность, формы облачности, пасмурное небо, ясное небо.

Abstract. Such characteristics of cloud cover as the frequency of cloudy (8-10 points) and clear (0-2 points) skies are investigated. The analysis of the seasonal frequency of cloudy (8-10 points) and clear (0-2 points) skies revealed some regional features. To be included in the national cloud monitoring system, the norms for the new base period 1991-2020 were calculated for the average number of total and lower clouds, the frequency of cases with different sky conditions (clear, semi-cloudy, cloudy) for total and lower clouds, as well as the frequency norms for various forms of clouds. The long-term changes in the frequency of clear and cloudy skies are analyzed, which revealed an almost universal decrease in the frequency of clear skies for total clouds in all seasons.

Keywords: total cloud cover, lower cloud cover, cloud forms, cloudy sky, clear sky.

Облачность является важнейшим компонентом климатической системы, поскольку в значительной степени влияет на поступление солнечной радиации и обратное земное излучение. В связи с возросшей в последние годы изменчивостью климата необходимо вести постоянное наблюдение за состоянием климатической системы, учитывая максимальное число параметров, в том числе облачности. Необходимость включения облачности в национальную систему климатического мониторинга назрела давно.

В течение последних лет во ВНИИГМИ-МЦД проводились подготовительные работы по разработке подсистемы мониторинга облачности, которые начались с подготовки верифицированных массивов данных для информационной базы (Дементьева, 2020; Дементьева, Коршунова, 2020). Для включения в национальную систему мониторинга облачности рассчитаны нормы за новый базовый период 1991-2020 гг. по среднему количеству общей и нижней облачности, повторяемости случаев с различным состоянием неба (ясное, полужасное, пасмурное) по общей и нижней облачности, а также нормы повторяемости различных форм облачности. Климатические нормы для нового базового периода 1991-2020 гг. рассчитаны по реальным данным в соответствии с требованиями ВМО. Проанализировано изменение норм повторяемости ясного и пасмурного состояния неба, рассчитанных за два 30-

летних периода 1981 - 2010 гг. и 1991 - 2020 гг. Нормы повторяемости ясного состояния неба по общей облачности (рис. 162, б) изменились не более, чем на 1% (белый цвет). Нормы повторяемости облачности 0-2 балла нижнего яруса на большей части страны нормы за последнее 30-летие уменьшились (рис. 162, а), особенно заметное уменьшение наблюдается в Западной Сибири (3-4%). Нормы повторяемости пасмурного неба по общей и нижней облачности изменились незначительно на большей части РФ.

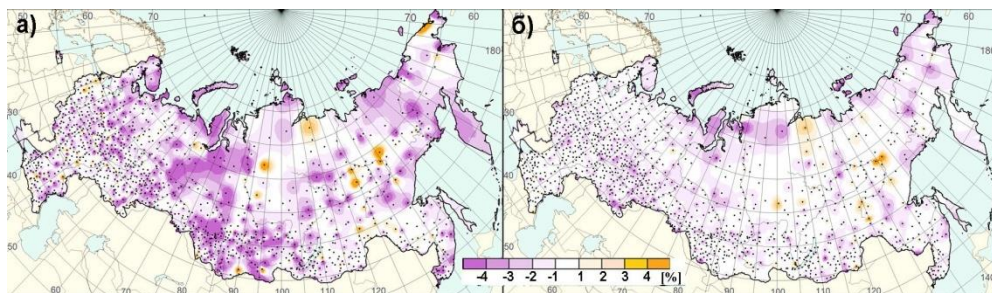


Рисунок 162. Разница норм за периоды 1991-2020 и 1981-2010 повторяемости ясного (0-2 балла) состояния неба по облачности нижнего яруса (а) и общей облачности (б)

Наиболее показательной и наглядной характеристикой облачности является повторяемость пасмурного (8-10 баллов) неба. Максимальная повторяемость пасмурного неба по общей облачности на территории России наблюдается осенью. На большей части страны, за исключением южных районов европейской территории (ЕТР), Забайкалья и дальневосточного юга, она составляет 60-70%, а на северо-востоке ЕТР, в Предуралье превышает 80%. На дальневосточном юге и Камчатке пасмурная погода чаще всего наблюдается летом, когда юго-восточный муссон выносит с океана большое количество водяного пара. Зона повышенной повторяемости пасмурного неба (60-70%) летом тянется вдоль всего арктического побережья, превышая 70% на севере Таймыра и арктических островах. Наименьшая повторяемость пасмурного неба (20-30%) летом отмечается на юге ЕТР и в Крыму, за исключением высокогорных районов Северного Кавказа. Зимой наибольшая повторяемость (60-70%) пасмурного неба по общей облачности наблюдается на всей европейской территории (ЕТР), включая Калининградскую область и Крым. На ЕТР выявлена тенденция увеличения повторяемости пасмурного неба, что обусловлено увеличением в последние годы повторяемости циклонов в регионе (Бардин, 1995; Попова, Шмакин, 2006). Значения повторяемости облачности нижнего яруса 8-10 баллов значительно ниже, чем общей облачности, но пространственно распределяются схожим образом во все сезоны, кроме зимы. Зимой на большей части Якутии, в восточных районах Забайкальского края и Амурской области значительно увеличилась повторяемость пасмурного неба по нижней облачности. Это связано с уменьшением в этих районах атмосферного давления (Коршунова, Швець, 2023)

вызванного ослаблением Сибирского антициклона и смещением его основного и вторичного центров (Ипполитов и др., 2008; Ипполитов и др., 2014).

Проанализированы многолетние изменения повторяемости ясного и пасмурного неба, которые выявили практически повсеместное уменьшение повторяемости ясного неба по общей облачности во все сезоны (рис. 163). Во все сезоны на территории России преобладают области, где выявлена тенденция увеличения повторяемости пасмурного неба. Особенно ярко эта тенденция выражена зимой на европейской территории, Урале и в примыкающих к нему районах Западной Сибири, что обусловлено увеличением в этих районах циклоничности. Летом и весной пространственное распределение трендов носит более очаговый характер. Наименьшие изменения повторяемости пасмурного неба происходят осенью, хотя области с положительными значениями коэффициентов линейного тренда преобладают.

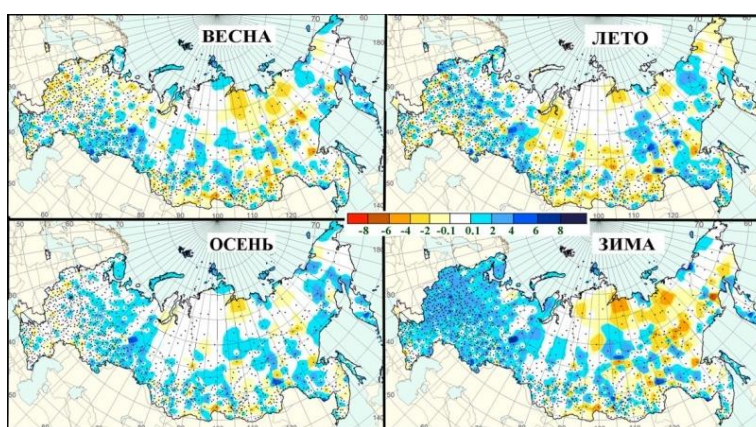


Рисунок 163. Коэффициенты линейного тренда (%-пункт/10 лет) повторяемости пасмурного (8-10 баллов) неба по общей облачности (значимые на 5% уровне)

В большинстве районов ЕТР преобладающей формой облачности являются облака нижнего яруса Sc (табл. 62). Выявлена значительно возросшая повторяемость этой формы облаков в Москве, что помимо климатических факторов, может быть связано со значительной урбанизацией Московского региона. На АТР преобладающей формой облачности являются облака верхнего яруса Ci. Однако в тех районах, где облака нижнего яруса наблюдаются реже, довольно значительна повторяемость и Cs.

Таблица 62. Повторяемость основных форм облаков (нормы 1991-2020)

Название станции	Форма облаков											ясно
	Ci	Cc	Cs	Ac	As	Cu	Cb	Sc	Ns	St	Frnb	
Европейская территория России												
Санкт-Петербург	29.6	2.8	7.5	37.9	14.8	12.1	6.2	44.5	10.4	7.5	11.5	12.5
Калининград	30.8	1.3	6.6	32.5	6.4	19.9	7.3	45.4	7.1	3.3	3.4	16.1
Москва	32.2	2.3	4.8	27.1	14.7	14.1	5.8	60.0	5.2	13.2	10.5	15.8

Казань	39.3	2.9	7.3	43.1	26.4	8.4	5.9	37.2	7.5	4.2	6.6	16.5
Симферополь	44.6	2.8	2.0	43.1	5.2	8.4	20.9	24.8	1.5	18.8	4.1	21.1
Сочи	57.0	9.3	8.7	45.8	4.3	20.7	30.2	39.9	0.3	2.9	5.3	18.7
Азиатская территория России												
Якутск	89.4	0.2	23.0	51.8	3.8	14.0	12.2	26.7	0.8	1.0	1.0	8.0
Тюмень	59.0	1.0	7.0	39.0	24.5	14.3	12.3	8.7	3.8	3.1	1.1	18.4
Минусинск	69.1	2.5	7.9	49.6	29.7	13.3	25.2	40.9	0.7	0.2	0.9	15.8
Чита	81.7	0.8	8.4	50.9	17.5	17.3	20.4	15.4	0.2	1.1	1.1	21.8
Владивосток	40.1	4.7	25.0	27.7	19.9	9.8	11.9	20.9	3.7	17.7	5.9	32.9
Петропавловск-Камч.	64.5	2.0	1.4	58.2	0.6	3.6	29.4	51.2	1.8	11.4	8.0	10.9

Наблюдаемые в последние десятилетия климатические изменения требуют постоянного мониторинга всех компонентов климатической системы, в том числе облачности. Созданная информационная база и проведенные исследования различных характеристик облачности позволят разработать методику мониторинга облачности.

Список литературы

Дементьева Т.В. *Среднемесячное количество общей облачности и облачности нижнего яруса* – Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020621717 от 18.09.2020

Дементьева Т.В., Коршунова Н.Н. 2020. Эмпирико-статистический анализ количества общей облачности и облачности нижнего яруса на территории России – *Труды ВНИИГМИ-МЦД*. Вып.187. С.197-204

Бардин М. Ю. 1995. Изменчивость характеристик циклоничности в средней тропосфере умеренных широт Северного полушария. – *Метеорология и гидрология*. № 11. С. 24–37

Попова В.В., Шмакин А.Б. 2006. Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия – *Метеорология и гидрология*. № 12. С. 15-25

Коршунова Н.Н., Швець Н.В. 2023. Региональные особенности изменения норм основных климатических параметров на территории России – *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*. № 1 (387). С.131-147 DOI:<https://doi.org/10.3762/2618-9631-2023-1-131-147>

Ипполитов И.И., Логинов С.В., Харюткина Е.В., Морару Е.И. 2014. Изменчивость климата Азиатской территории России в 1975-2012 гг. – *География и природные ресурсы*. № 4. С.13-21

Ипполитов И.И., Кабанов В.В., Логинов С.В., Харюткина Е.В. 2008. Структура и динамика метеорологических полей на азиатской территории России в период интенсивного глобального потепления 1975-2005 гг. – *Журнал Сибирского федерального университета. Биология*. №1(4). С. 323-344

**ОЦЕНКА ТРЕНДОВ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ ВЕТРА В РОССИЙСКОЙ
АРКТИКЕ ПО ДАННЫМ МОДЕЛЬНОГО АРХИВА COSMO-CLM RUSSIAN ARCTIC
HINDCAST ЗА ПЕРИОД 1980-2016**

**ESTIMATION OF EXTREME WIND SPEEDS TRENDS OVER RUSSIAN ARCTIC
BASED ON THE COSMO-CLM RUSSIAN ARCTIC HINDCAST FOR THE PERIOD
1980-2016**

Платонов В.С., Козлов Ф.А., Бойко А.П.

Platonov V.S., Kozlov F.A., Boiko A.P.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, кафедра метеорологии и климатологии
Россия, 119991, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1, ГСП-1

Аннотация. Оценка трендов приземных скоростей ветра в Российской Арктике проведена по модельному архиву COSMO-CLM Russian Arctic hindcast (1980-2016) с шагом сетки ~12 км, покрывающему атлантические моря Российской Арктики и Северную Атлантику. Для оценок использовались данные 95 российских метеостанций по скорости ветра на высоте 10 м, попадающих в пределы модельной области. Рассчитывались тренды средних и максимальных скоростей ветра, значений 0,90, 0,95, 0,99 квантилей, повторяемостей выше 20, 25, 30, 33 м/с – для всего года и 4-х месяцев. Среднегодовые скорости ветра и значения квантилей возрастают на севере Карского моря, снижаются – на западе Баренцева моря, в северной Атлантике. Экстремальные скорости ветра в январе возрастают на востоке Эвенкии и севере Якутии, снижаются на северо-востоке ЕТР. В июле отмечается рост значений 0,99 квантиля у побережья Гыданского полуострова, снижение – в приполярных районах, у побережья Белого и в Печорском море. В октябре максимальные скорости ветра снижаются на северо-западе ЕТР, востоке Таймыра, в Норвежском море, возрастают – над Восточно-Сибирским морем.

Ключевые слова: экстремальные скорости ветра, изменения климата Арктики, COSMO-CLM.

Abstract. The COSMO-CLM Russian Arctic hindcast was utilized to estimate trends of surface wind speeds over the Russian Arctic. It was created for the period 1980–2016 with ~12 km grid size, covering Northern Atlantic, Barents, Kara and Laptev Seas. The 10 m wind speed data from 95 Russian weather stations getting inside the model domain were used for estimations. Trends for mean and maximal wind speed, 0,90, 0,95 and 0,99 quantile values, occurrences of wind speed over 20, 25, 30 and 33 m/s thresholds were calculated for yearly and 4 months data. Yearly mean wind speed and quantiles values increases over northern Kara Sea, decreases over western Barents Sea and northern Atlantic. Extreme wind speed grows in January in the eastern Evenkia and northern Yakutia, declines over the north-eastern European Russia. The 0,99 values increase in July near Gyda peninsula coastline, decreases over polar regions, Pechora Sea and White Sea coastline. Maximal wind speed declines in October over the north-western European Russia, eastern Taymyr, Norway Sea, grows over the Eastern-Siberian Sea.

Keywords: extreme wind speeds, Arctic climate changes, COSMO-CLM.

В последние годы в связи с глобальным потеплением и сопутствующими изменениями природной среды наблюдается повышенное внимание к климату и экстремальным погодным явлениям в Арктическом регионе. Арктика особенно чувствительна к происходящим глобальным изменениям климата, здесь отмечается так называемое «арктическое усиление» (polar / Arctic amplification): рост температуры происходит почти в два раза быстрее, чем в среднем по миру (Screen et al., 2012). Сопутствующее сокращение площади морского льда на поверхности Северного Ледовитого океана приводит к увеличению повторяемости экстремальных ветров (увеличивается площадь «разгона» ветра над гладкой морской поверхностью, по сравнению с твердой поверхностью льда), что проявляется и в увеличении опасных явлений погоды (Laffineur et al., 2014). В прибрежных зонах часто отмечаются

увеличения скоростей ветра, такие как «tip jets» – “мысовые струи” (Noer et al., 2011; Shestakova, Repina, 2019), щелевые ветры, подветренные бури, «straight winds» – усиление ветров в проливах и др. (Shestakova, Repina, 2019). Кроме того, увеличение площади открытой воды приводит к росту вероятности возникновения и усиления ветрового волнения в морях (Francis, Vavrus, 2015). Как показали исследования особенностей ветрового режима западной части Российской Арктики, для определения экстремальных скоростей ветра необходимо учитывать мезомасштабные процессы, что горизонтальное разрешение глобальных климатических моделей не позволяет сделать (Кислов и др., 2015).

Поэтому в данной работе для оценки климатологических трендов экстремальных скоростей ветра в Российской Арктике использовался детализированный модельный архив COSMO-CLM Russian Arctic hindcast, созданный на основе региональной негидростатической модели COSMO-CLM 5.06 от глобального форсинга ERA-Interim, за период 1980-2016 гг. с шагом сетки ~12 км (Platonov, Varentsov, 2021). Модельный архив доступен онлайн (Platonov, Varentsov, 2020) и включает в себя около сотни гидрометеорологических характеристик с шагом по времени 1 час и покрывает регионы Северной Атлантики и морей атлантического сектора Российской Арктики (рис. 164а).

Предыдущие исследования качества воспроизведения модельным архивом приземных скоростей ветра показали, что по сравнению с реанализом ERA-Interim получена значительная детализация средних и экстремальных скоростей ветра (Platonov, Varentsov, 2021), а СКО при сравнении со стационарными данными составляют 2,4 м/с, отмечается завышение в среднем на 0,5-2 м/с. Экстремальные скорости по данным модельного архива почти повсеместно занижаются, ошибка может составлять -5...-8 м/с, наибольшие ошибки достигаются на станциях Малые Кармакулы и Зимнегорский маяк. Наилучшее воспроизведение экстремальных скоростей моделью отмечается для северных станций европейской территории России (Platonov, Voiko, 2022).

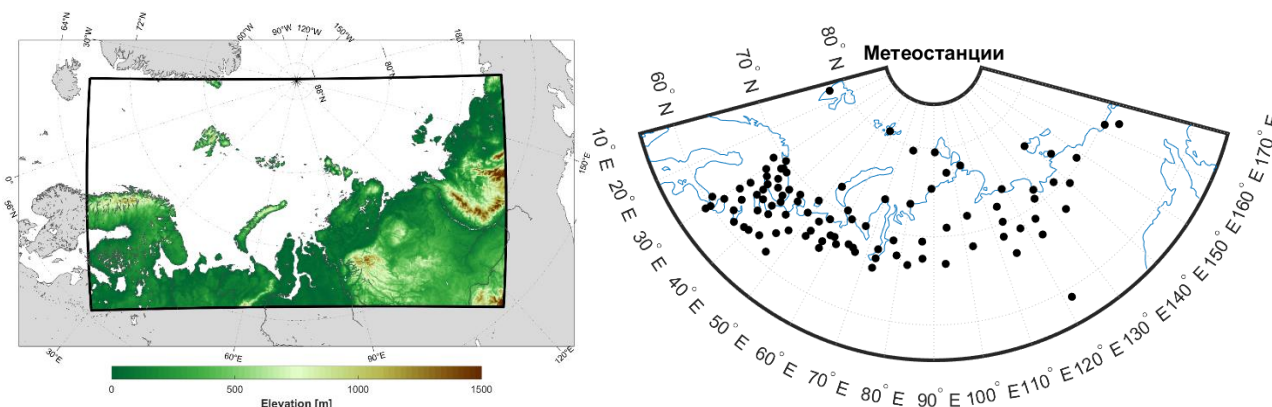


Рисунок 164. Схема модельного домена COSMO-CLM Russian Arctic hindcast ((Platonov, Varentsov, 2021), слева) и расположение метеостанций Росгидромета, использованных для оценок в данной работе

Для оценок использовались срочные данные 95 метеорологических станций Росгидромета по средней за 10 минут скорости ветра на высоте 10 м, попадающих в пределы области модельного архива (рис. 164б). Для станций и ближайших узлов модельной сетки рассчитывались тренды средних и максимальных скоростей ветра, значений 0,90, 0,95, 0,99 квантилей и повторяемости скоростей ветра выше 20, 25, 30 и 33 м/с для всего года и центральных месяцев сезонов: январь, апрель, июль, октябрь. Статистическая значимость трендов оценивалась по t-критерию Стьюдента на уровне 0,95.

Результаты. Данные модельного архива показывают, что значимые положительные тренды средних годовых скоростей ветра (рис. 165а) отмечаются на севере Карского моря, т.е. в одном из регионов с максимальной скоростью отступления морского льда в течение рассматриваемого периода (до 0,36 м/с за 36 лет). Значимые отрицательные тренды преобладают над западом Баренцева моря, северной Атлантикой и Эвенкией (до -0,8 м/с за 36 лет). В максимальных годовых скоростях ветра значимых трендов практически не наблюдается, за исключением слабых положительных на севере Баренцева моря. Значимые тренды экстремальных квантилей наблюдаются в тех же районах, что и для средних скоростей, а также отрицательные в приполярных районах (до -1,44 м/с за 36 лет для квантиля 0,99).

В январе область значимых отрицательных трендов средней скорости ветра над Баренцевым морем и Атлантикой расширяется (до -1,8 м/с за 36 лет), а положительных трендов не наблюдается. В распределении трендов максимумов и квантилей отмечается обширная зона значимых положительных трендов над востоком Эвенкии и северо-западом Якутии (до 3,6 м/с за 36 лет), подтверждающаяся и значимыми трендами на станциях региона. Эта зона при увеличении величины квантиля расширяется, а также появляется область отрицательных трендов на севере и северо-востоке ЕТР (рис. 165б).

В апреле значимых трендов средних скоростей ветра практически не отмечается, а максимальных – лишь небольшая область положительных трендов в центре Баренцева моря. Повторяемости скоростей ветра выше 30 м/с в апреле не выявлены. Тренды квантилей (в основном слабо отрицательные) модельным архивом недооцениваются, отмечается распределение трендов 0,99 квантиля схожее с январским.

Область значимых отрицательных трендов средней скорости ветра в июле располагается в приполярных областях к северу от Карского моря и моря Лаптевых (до -1,5 м/с за 36 лет). Максимальная скорость ветра демонстрирует небольшую область положительного тренда у побережья Гыданского полуострова (до 2,5 м/с за 36 лет), она же проявляется и в трендах квантиля 0,99. Повторяемости скоростей ветра выше 25 м/с в июле не выявлены. 0,90 и 0,95

квантили демонстрируют области значимых отрицательных трендов в приполярных районах, а также у побережья Белого и в Печорском море (до -1,8 м/с за 36 лет). Положительные тренды отмечаются в Финском заливе (до 1,5 м/с за 36 лет).

В октябре для средней скорости ветра наиболее заметны области значимых отрицательных трендов на северо-западе ЕТР и юго-востоке Таймыра (до -1 м/с за 36 лет) и положительных – над акваторией Восточно-Сибирского моря (до 1,5 м/с за 36 лет). Эта же последняя область проявляется в трендах максимальной скорости ветра (до 3 м/с за 36 лет), вместе с отрицательными трендами в Норвежском море (до -4 м/с за 36 лет). Повторяемости скоростей ветра выше 33 м/с в октябре не выявлены. Области значимых трендов квантилей в целом совпадают с областями для максимальной скорости ветра, со смещением зоны отрицательных трендов со Скандинавии на Норвежское море (до -2-4 м/с за 36 лет).

Тренды средней годовой скорости ветра

Тренды значений 0.99 квантиля скорости ветра в январе

Тренды максимальной скорости ветра в октябре

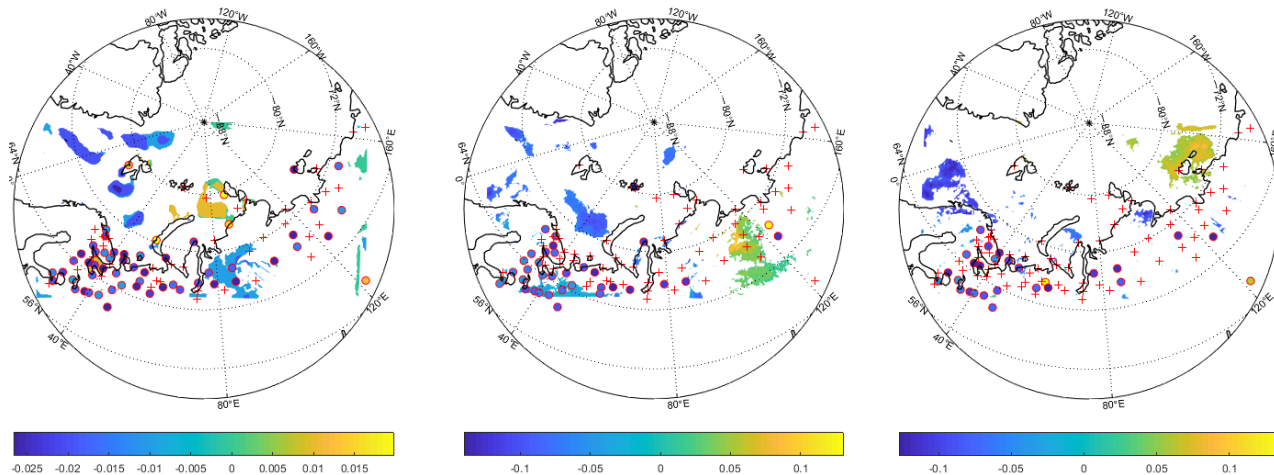


Рисунок 165. Величины трендов (м/с в год) для средней годовой скорости ветра (слева), 0,99 квантиля скорости ветра для января (в центре) и максимума скорости ветра в октябре (справа)

Цветовым полем нанесены значимые на уровне 0,95 по t-критерию Стьюдента тренды по модельному архиву, кружками в той же шкале – значимые тренды по данным метеостанций, крестиками – незначимые тренды по данным метеостанций

Следует отметить, что в континентальных районах значимые отрицательные тренды по станциям оказываются не всегда значимыми по модельному архиву, но при значимости обоих трендов их знак и величина как правило совпадают. Значимость положительных трендов, напротив, обычно переоценивается модельным архивом. В целом, можно сделать вывод о релевантности использования модельного архива COSMO-CLM Russian Arctic hindcast для оценки наблюдаемых трендов скоростей ветра, в том числе экстремальных, в Российской Арктике, в особенности над акваториями морей, не охваченных стационарными наблюдениями.

Благодарности. Исследование выполнено в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды» и выполнения г/б темы №121051400081-7.

Список литературы

Кислов А.В., Матвеева Т.А., Платонов В.С. (2015) Экстремумы скорости ветра в Арктике, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 2.

Francis J.A., Vavrus S.J. (2015) Evidence for a wavier jet stream in response to rapid Arctic warming, *Environmental Research Letters*, 10.

Laffineur T., Claud C., Chaboureau J.-P., Noer G. (2014) Polar lows over the Nordic seas: Improved representation in ERA-Interim compared to ERA-40 and the impact on downscaled simulations, *Mon. Weather Rev.*, 142, pp. 2271-2289.

Noer G., Sætra Ø., Lien T., Gusdal Y. (2011) A climatological study of polar lows in the Nordic Seas, *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, 137(660), pp. 1762-1772.

Platonov V., Boiko A. (2022) COSMO-CLM Russian Arctic hindcast, 1980-2016: Surface wind speed evaluation and future perspectives, *Environmental Sciences Proceedings*, 19(1), 39.

Platonov V., Varentsov M. (2020) *Russian Arctic COSMO-CLM hindcast over 1980-2016 period*, figshare. Collection, URL: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.c.5186714.v24>; https://figshare.com/collections/Arctic_COSMO-CLM_reanalysis_all_years/5186714.

Platonov V., Varentsov M. (2021) Introducing a New Detailed Long-Term COSMO-CLM Hindcast for the Russian Arctic and the First Results of Its Evaluation, *Atmosphere*, 12 (3), p. 350, URL: <http://dx.doi.org/10.3390/atmos12030350>.

Screen J.A., Deser C., Simmonds I. (2012) Local and remote controls on observed Arctic warming, *Geophysical Research Letters*, 39, 10.

Shestakova A.A., Repina I.A. (2019) Overview of strong winds on the coasts of the Russian Arctic seas, *Ecologica Montenegrina*, 25, pp. 14-25, doi:10.37828/em.2019.25.2.

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ») является научно-исследовательским учреждением Росгидромета. Институт ведет фундаментальные и прикладные научные исследования, выполняет работы и оказывает услуги в области гидрометеорологии и климатологии и смежных с ними областях, в области мониторинга состояния окружающей среды, включая ее загрязнение. Целью этих работ является удовлетворение потребностей государства, общества, юридических лиц и граждан в информации о состоянии климата и окружающей среды, его изменениях, включая:

- мониторинг глобального климата, климата Российской Федерации и ее регионов, включая Арктику. Развитие и модернизация технологий мониторинга;
- антропогенные воздействия на глобальный климат;
- глобальные и региональные изменения климата, обусловленные антропогенными и естественными причинами, их экологические, социальные и экономические последствия, а также возможности адаптаций и стабилизации климата;
- загрязнение окружающей среды, оценка его последствий и возможностей предотвращения;
- валидация и верификация экологической информации