МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ: АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

Москва – 2025

УДК 551.50+005.584.1

ББК 26.23

М77

М77 Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата. Материалы IV всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 24-28 ноября 2025 г. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2025. 367 с.

Целью Конференции является обсуждение проблем и результатов мониторинга состояния и загрязнения экосистем. В 2025 году конференция посвящена вопросам мониторинга изменений климата и опасных гидрометеорологических явлений, последствий климатических изменений, а также широкому кругу вопросов, связанных с адаптацией к изменениям климата, включая синергию со смягчением антропогенного воздействия на климатическую систему.

Ответственный редактор: *Липка О.Н.*

Редактор: *Журавлева Н.С.*

Фото: *Андреева А.П., Липка О.Н., ПАО «Северсталь»*

Дизайн: *Богданович А.Ю., Журавлева Н.С.*

ISBN 978-5-6055264-0-7

© Коллектив авторов, 2025

© ФГБУ «ИГКЭ», 2025

Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата

Материалы IV всероссийской научной конференции с международным участием

24-28 ноября 2025 г.

Москва – 2025 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ 9

Буйволов Ю.А., Липка О.Н.
АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ И ПРИКЛАДНЫЕ РЕШЕНИЯ 10

Володин Е.М., Грицун А.С., Брагина В.В., Черненков А.Ю., Тарасевич М.А.
ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ И ВЕРОЯТНЫХ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИВМ РАН 16

Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В.
ЛЕСА В КРИОЛИТОЗОНЕ: УПУЩЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА 18

Козлова Л.Ф., Стерин А.М.
АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ВЫСОТЫ ТРОПОПАУЗЫ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ 22

Константинов А.В., Бурцев Д.С.
СИНЕРГИЯ МЕР АДАПТАЦИИ И МИТИГАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ 27

Липка О.Н., Андреева А.П., Журавлева Н.С., Кононенко А.К.
ПРИОРИТЕТНЫЕ ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛЕСНЫХ БИОМАХ РОССИИ 32

Ранькова Э.Я., Антипина У.И., Самохина О.Ф., Платова Т.В., Смирнов В.Д.
СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА (С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ПО ТЕРРИТОРИИ РФ). СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ 37

Романовская А.А.
ДИСПРОПОРЦИИ В РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ В РОССИИ 43

Черногаева Г.М.
ОЦЕНКИ ВОДНОГО БАЛАНСА КРУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА 49

Чернокульский А.В.
КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ 55

СЕКЦИЯ «МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ» 58

Воронцов А.А., Баталкина С.А., Булыгин А.М., Нефедова Г.И.
МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЧЕРНОГО МОРЯ 59

Вязилова Н.А.
О РАЗВИТИИ ЭЛЬ-НИНЬО В 2023-2024 ГГ. И ЕГО ВЛИЯНИИ НА АТМОСФЕРНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ В ЕВРО-АТЛАНТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ 64

Гаврилова Е.В., Гонтовая И.В.
ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ 69

Гайнутдинова Г.Х.
СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА 74

Груздев А.И., Лобанов В.А.
БУДУЩИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ ЯНВАРЯ И ИЮЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ 79

Ермакова О.Д.
ДИНАМИКА СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В МАРТЕ – ОКТЯБРЕ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ 84

Иванова Ю.Р., Янцер О.В.
ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В 2024 ГОДУ ПО ДАННЫМ НАУЧНОГО ВОЛОНТЕРСТВА 89

Махныкина А.В., Кукавская Е.А., Панов А.В., Арясов В.Е., Прокушкин А.С.
ОЦЕНКА ЭМИССИОННОГО И ОБМЕННОГО ПОТОКА CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ 94

Моргунова А.А., Семенов В.А.
ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ВО ВРЕМЯ ВОЛНЫ ТЕПЛА 2010 Г. 97

Решоткин О.В.
МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ 101

Чернокульский А.В.
ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИВНЕВЫХ И ОБЛОЖНЫХ ОСАДКОВ В РОССИИ 106

Янченко Н.И.
ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ И ДИНАМИКА ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ИРКУТСКА 110

СЕКЦИЯ «МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА» 115

Алейников А.А.
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ) 116

Андреева А.П.
ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ ОПАСНЫМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ 122

Веремчук Л.В., Виткина Т.И.
ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТЕОРЕАКЦИИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У НАСЕЛЕНИЯ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ 128

Виткина Т.И., Черенков Д.Н.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОИЗВОДНЫМИ ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ 133

Даниленко А.О., Коваленко А.А.
ДИНАМИКА ВЫНОСА СУЛЬФАТОВ АРКТИЧЕСКИМИ РЕКАМИ В КАРСКОЕ МОРЕ 138

Даниленко А.О., Косменко Л.С., Ковалева В.В.
МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГЛАВНЫХ ИОНОВ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО СТОКА Р. ВОЛГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА 144

Лазарева Н.С., Преображенская Е.С.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ ЛЕСАХ ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ: ИТОГИ 40 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ 150

Левшин Д.Г., Запевалов М.А., Бурков А.И.
ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПХБ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ 155

Манакова О.И., Мешалкина Ю.Л., Сорокин А.С.
ВКЛАД ЛОКАЛЬНОГО ВАРЬИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ В НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОЦЕНОК ЗАПАСОВ ГУМУСА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УОПЭЦ «ЧАШНИКОВО») 160

Махрова Т.Г., Кухта А.Е., Шуйская Е.А., Шерстнева Е.А.
О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБОРИГЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ 165

Морозова Е.А., Алейникова А.М., Алейников А.А.
ПОТЕПЛЕНИЕ В ПРИБАЙКАЛЬЕ В XXI ВЕКЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ 171

Токталиева Г.Р., Жантемирова К.К.
ОРГАНИЗАЦИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ 175

Целищева Е.М.
ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА ЗООПЛАНКТОН КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ 180

Черенкова Е.А., Семенов В.А., Чернокульский А.В.
СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ 185

СЕКЦИЯ «МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ» 191

Богданович А.Ю.
РАСЧЕТНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ АРЕАЛЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ОПАСНЫХ ПЕРЕНОСЧИКОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА: АЗИАТСКОГО ТИГРОВОГО КОМАРА И ТАЕЖНОГО КЛЕЩА 192

Калугин А.С.
МОДЕЛИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ДО СЕРЕДИНЫ 21 ВЕКА 196

Парфенова Е.И., Баранчиков Ю.Н., Чебакова Н.М.
ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АРЕАЛОВ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА И ЕГО КОРМОВЫХ ХВОЙНЫХ ПОРОД ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА В СИБИРИ 199

Попов И.О., Попова Е.Н.
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ САМШИТОВОЙ ОГНЕВКИ *CYDALIMA PERSPECTALIS* В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НАЧАЛА 21 ВЕКА 204

Рахимов Р.Р., Гареев Р.Ф.
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ 209

Романенко В.А., Семенов В.А.
СЕНТЯБРЬСКИЙ МИНИМУМ ПЛОЩАДИ АРКТИЧЕСКИХ МОРСКИХ ЛЬДОВ 2012 Г. В СОПОСТАВЛЕНИИ С ДАННЫМИ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ CMIP6 213

СЕКЦИЯ «НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА, В ТОМ ЧИСЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСНОВАННЫХ НА ПРИРОДЕ РЕШЕНИЙ» 219

Ахмаева Э.Э.
НАУЧНАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ И РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА – ОСНОВА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ 220

Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Барекова М.В., Кешева Л.А., Теунова Н.В.
АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ 225

Барекова М.В., Ашабоков Б.А., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В.
АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ ОТРАСЛЕВОГО УРОВНЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА 230

Журавлева Н.С.
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧАСТОТА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БИОМАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА 235

Куксин Г.В., Крючковская Л.А.
ОБНАРУЖЕНИЕ И ТУШЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ (ТРАНССЕЗОННЫХ) ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА 241

Сорокина Д.Д.
ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ: ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ПОДВЕРЖЕННОСТЬ, УЯЗВИМОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ 246

Ташилова А.А., Ашабоков Б.А., Барекова М.В., Кешева Л.А., Теунова Н.В.
АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА: ЗАДАЧИ ПЛАНА АДАПТАЦИИ, МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ 252

Чалая Т.В., Куксин Г.В.
ОСУШЕННЫЕ ТОРФЯНИКИ: НЕЙРОСЕТЕВАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ 256

СЕКЦИЯ «СИНЕРГИЯ АДАПТАЦИИ И МИТИГАЦИИ» 260

Алексеева Н.Н., Садртинов К.Д.
ВОЗМОЖНОСТИ СМЯГЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ КИТАЯ 261

Ахметова Б.Р., Безденежных В.А.
ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ПРЕДИКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РЕГИОНА 266

Банчева А. И., Алексеева Н.Н., Попова Ю.С.
ДИНАМИКА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СМЯГЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ (НА ПРИМЕРЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ) 268

Вертянкина В.Ю.
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАК СПОСОБ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА 273

Грабар В.А., Лытов В.М.
О МЕРАХ ПО МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ В ТРАНСПОРТНОМ СЕКТОРЕ РОССИИ 277

Добровольская В.А., Мешалкина Ю.Л., Горбачева А.Ю.
ОТ ГЛОБАЛЬНЫХ БАЗ К НАЦИОНАЛЬНЫМ: КАК ИСТОЧНИК ВХОДНЫХ ДАННЫХ ФОРМИРУЕТ ПРОГНОЗ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА ПАХОТНЫХ ПОЧВ 282

Козлова Е.Н., Саратовцева Е.Е., Позднякова Е.А.
НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕЛЯХ МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА 288

Козлова Е.Н., Позднякова Е.А.
О ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ МЕР ПО МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА 294

Медведева М.А., Коротков В.Н. 299
ЭФФЕКТЫ ОТ ОБВОДНЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ

Пожидаева А.Е., Вертянкина В.Ю.
УТОЧНЕНИЕ ОЦЕНОК ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ (ВОЗДЕЛЫВАЕМЫЕ ЗЕМЛИ, СЕНОКОСЫ И ПАСТБИЩА) 303

СЕКЦИЯ «АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА ООПТ» 308

Благовидов А.К., Голыбина А.В., Очагов Д.М., Петров Т.А., Стишов М.С.
ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ВЕДЕНИЮ ЛЕТОПИСИ ПРИРОДЫ В ЗАПОВЕДНИКАХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА 309

Бондарев А.И., Бондарь М.Г.
МОНИТОРИНГ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЭКОТОНЕ «ЛЕС-ТУНДРА» НА ТЕРРИТОРИИ ТАЙМЫРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА 314

Буйволов Ю.А., Истомин А.В., Иванов Д.Г., Куричева О.А., Моченов С.Ю., Сандлерский Р.Б., Суворов Г.Г., Шуйская Е.А.
АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ 319

Воропай Н.Н., Будунов А.А., Василенко О.В., Маноле А.А.
КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И АДАПТАЦИЯ К НИМ НА ТЕРРИТОРИИ ТУНКИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА 325

Дроздов В.В., Сидельникова Е.О.
ЭКОСИСТЕМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА 328

Кочуров Б.И., Чубченко Н.В., Иванов А.И., Баркалов А.О.
КОМПЛЕКСНЫЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ СТАЦИОНАР НА УГРЕ: ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ 334

Крючковская Л.А., Куксин Г.В., Потапкин А.Б., Кудрявцев П.П.
ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ ЮЖНОГО УРАЛА В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО УСЫХАНИЯ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ: ОЦЕНКА И ВЫРАБОТКА РЕШЕНИЙ 340

Линкевич Е.В., Гуляева Е.Н., Родин А.Ю., Прокопюк В.М.
ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БОРЕАЛЬНОГО БОЛОТА НА ВЫБРОСЫ CO_2 С ЕГО ПОВЕРХНОСТИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ) 345

Майорова Ю.А., Рыльков О.В., Ефремова О.Н., Жуковская И.П.
ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА» 350

Смагин А.И., Тумелевич М.Л.
АНТРОПОГННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДИНАМИКУ УРОВНЯ ОЗЕРА УВИЛЬДЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА 355

СЕКЦИЯ «АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА КОРПОРАТИВНОМ УРОВНЕ» 360

Карпачевский М.Л., Яницкая Т.О., Шматков Н.М.
ДОБРОВОЛЬНАЯ ЛЕСНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА И АДАПТАЦИИ К НЕМУ ЛЕСОВ 361

ПЛЕНАРНОЕ ЗАСЕДАНИЕ

АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ: НАУЧНЫЕ АСПЕКТЫ И ПРИКЛАДНЫЕ РЕШЕНИЯ

CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN PROTECTED AREAS: SCIENTIFIC ASPECTS AND APPLIED SOLUTIONS

Буйволов Ю.А.[1,2], Липка О.Н.[1]

Buyvolov Yu.A.[1,2], Lipka O.N.[1]

[1] ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *ybuyvolov@xmail.ru*
[2]Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник
Россия, Тверская обл., пос. Заповедный

Аннотация. В докладе обосновано предложение по выделению адаптации к изменениям климата на охраняемых природных территориях в комплексное научно-прикладное направление, включающее три основных научных аспекта: изучение естественной адаптация экосистем и мониторинг динамики их основных характеристик; упреждающая адаптация мер территориальной охраны природы к климатическим изменениям; адаптационные изменения в практике управления, в применении мер регулирования нагрузки допустимого использования природных ресурсов и реабилитации экосистем и их компонентов. Предложена типология мероприятий по адаптации на особо охраняемых природных территориях (ООПТ) в составе 6 основных направлений: совершенствование территориального планирования и использования земель; упреждающие и профилактические мероприятия мер территориальной охраны; снижение уровня антропогенной нагрузки в границах ООПТ, контроль рекреационной нагрузки; меры по ликвидации или снижению ранее нанесенного ущерба; модернизация экологического мониторинга и развитие специальных научных исследований климатических изменений; просвещение населения и посетителей ООПТ.

Ключевые слова: упреждающая адаптация к изменению климата, особо охраняемые природные территории, ООПТ, экосистемы, территориальное планирование.

Abstract. This report justifies the proposal to integrate climate change adaptation at natural protected areas into comprehensive scientific and applied area, encompassing three main scientific aspects: the study of ecosystem natural adaptation and monitoring of their key characteristics dynamics; proactive climate change adaptation in nature conservation; and adaptive changes in management practices, including implementation of regulatory measures on the allowable use of natural resources and rehabilitation of ecosystems and their components. A typology of adaptation measures for specially protected natural areas (SPNAs) is proposed, consisting of six main directions: improving spatial planning and land use; proactive and preventive measures for territorial protection; reducing anthropogenic pressure within SPNAs and controlling recreational impact; measures to eliminate or decrease previously inflicted damage; modernization of ecological monitoring and development of specialized scientific research on climate change; and educating the local communities and visitors at SPNAs.

Keywords: proactive climate change adaptation, specially protected natural areas, SPNAs, ecosystems, spatial planning.

До фиксации современных климатических сдвигов и прогнозов их нарастания, утрата биоразнообразия связывалась, преимущественно, с превышением норм эксплуатации человеком видов, трансформацией ландшафтов, а также загрязнением природной среды. Но, по современным прогнозам, последствия изменения климата для биоразнообразия превзойдут другие угрозы в течение 21-го века как посредством прямых воздействия, так и опосредовано в связи с изменениями других климатогенных драйверов (например, уровень моря, площадь ледников, частота и площадь растительных пожаров и др.). Последствия антропогенного изменения климата были задокументированы для растений и животных в морских, наземных и пресноводных экосистемах. Они охватывают все основные биомы, от тропических лесов и пустынь до водно-болотных угодий и от прибрежных морских районов до океанских глубин.

Воздействие изменения климата на виды проявляется в различных масштабах (от генов и отдельных особей до популяций), уже происходят массовые изменения ареалов многих видов, глобальные движения видов, освоение ими новых регионов, вторжение в устоявшиеся экосистемы и их модификация (IPCC, 2023).

Таким образом, в последние десятилетия исследованиями ученых разных стран доказано, что изменения климата наносят ущерб биоразнообразию и могут приводить к исчезновению многих видов, нарушению функционирования природных экосистем, запуская процесс климатогенной сукцессии и видообразования, по тематике изданы обширные обзоры и прогнозы изменений (IPBES, 2018; Pörtner et al, 2021; Третий…, 2022).

Для противодействия негативным антропогенным угрозам создавались и создаются охраняемые природные территории различных статусов и категорий на ценных с точки зрения сохранения биоразнообразия и окружающей природной среды участках. Особо ценные участки законодательством России отнесены к особо охраняемым природным территориям (ООПТ), нуждающимся в особом управлении и заботе государства.

Процесс приспособления природных и антропогенных систем в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие изменений климата или его последствий, которое позволяет снизить вред или использовать благоприятные возможности определяется как адаптация к изменениям климата (IPCC, 2023). Указом Президента Российской Федерации 26 октября 2023 года № 812 утверждена новая Климатическая доктрина Российской Федерации, в которой усилен аспект воздействия климата на окружающую среду и необходимости адаптации: «Важнейшей составляющей при разработке и планировании мер по адаптации является оценка: а) уязвимости экономики, населения и окружающей среды к неблагоприятным последствиям изменения климата и связанным с ними ожидаемым потерям» (Указ…, 2023). Этим указом задача упреждающей адаптации к изменениям климата поставлена и перед системой охраны природы.

Глобальное воздействие изменения климата на биоразнообразие и необходимость адаптации к изменению климата в сфере сохранения биоразнообразия отмечена в Куньминско-Монреальской рамочной программе (2022). Глобальная задача 8 включает «сведение к минимуму последствий изменения климата и закисления океана для биоразнообразия и повышение его устойчивости путем принятия мер по смягчению последствий, адаптации и снижению риска бедствий, в том числе с помощью решений, основанных на природных факторах, и/или других экосистемных подходов, при сведении к минимуму негативного и стимулировании позитивного воздействия действий по борьбе с изменением климата на биоразнообразие».

В этой связи адаптацию к изменению климата на ООПТ можно выделить в отдельное научное прикладное направление, включающее три основных аспекта изучения и разработки практических мер:

- изучение естественной адаптация экосистем ООПТ, мониторинг динамики основных характеристик под воздействием, преимущественно, или с вкладом, изменений климата;

- упреждающая адаптация мер территориальной охраны природы к климатическим изменениям;

- адаптационные изменения в практике управления ООПТ, в том числе в мерах регулирования нагрузки допустимого использования природных ресурсов на ООПТ и мерах по реабилитации экосистем и их компонентов на ООПТ.

Хотя в нормативной базе и практике управления большинства ООПТ в России адаптация к изменению климата – это совершенно новый вид деятельности, но в настоящее время уже имеются положительные сдвиги и успешные пионерные проекты. Отдельные аспекты проблемы рассмотрены на Конференции в секции «Адаптация к изменениям климата на ООПТ» на примере ООПТ различных категорий и статусов, расположенных в различных природных зонах России. Среди них арктический Таймырский заповедник, сибирские ООПТ (Тункинский национальный парк и Катунский биосферный заповедник), Уральский регион представлен национальными парками «Таганай» и «Зигальда», памятник природы «Озеро Увильды»), в лесной зоне Европейской части России исследования проводились в национальных парках «Угра» (Калужская область), «Куршская коса» (Калининградская область), Центрально-Лесном биосферном заповеднике (Тверская область), государственном природном заповеднике «Кивач» (Республика Карелия), заказниках и памятниках природы Ленинградской области.

Адаптационные изменения необходимы в различных сферах управления ООПТ. В их числе регулирование рекреационной нагрузки, реабилитация экосистем и их компонентов на ООПТ, негативных последствия для природных комплексов и деятельности по сохранению в связи с учащением опасных и катастрофических природных явлений, вызванных изменением климата. Одним из видов допустимого использования ООПТ является проведение научных исследований и экологического мониторинга. Климатические изменения неизбежно вызывают необходимость модернизации программ экологического мониторинга и тематики исследований.

Изучение естественной адаптация экосистем ООПТ и мониторинг динамики основных характеристик под воздействием, преимущественно, изменений климата важны не только как новые научные знания, но и с практической точки зрения. При невмешательстве человека адаптация экосистем ООПТ может носить естественный характер и заключаться в

приспособлении биотической составляющей природных сообществ к изменяющимся условиям внешней среды, как в пределах ее естественной изменчивости, так и в результате эволюционного сдвига характерной нормы реакции видов и с последующей структурной и функциональной перестройкой сообществ. Так как в обществе господствует парадигма сохранения существующего биоразнообразия, то вмешательство человека может способствовать снижению негативных последствий для отдельных видов или сообществ, замедлить или направить изменения в благоприятное с общественной, человеческой точки зрения русло.

Для редких, исчезающих видов неблагоприятные изменения климата являются фактором, накладывающимся на сложившуюся систему других негативных воздействий и противопоставленных им мер по сохранению видов, включая систему ООПТ. Добавление направленного тренда изменения абиотических условий может стать последней каплей для выживания вида, а в случае благоприятных изменений, для вида создаются дополнительные возможности для сохранения на данной территории (акватории) и расширения ареала. В случае неблагоприятных климатических воздействий, местообитания могут стать частично или полностью непригодными как для самого вида, так и для его кормовой базы и сохранение вида на ООПТ в долгосрочной перспективе возможно только при условии понимания трендов изменения абиотических условий и возможности вида к ним приспособиться. Если же комплекс намеченных мероприятий и стратегия сохранения вида не учитывает такие изменения, то возможно, что затраченные усилия и ресурсы будут потрачены впустую.

Напрашивается проведение типологии мер по адаптации к изменению климата на ООПТ. На примере Арктической зоны Российской Федерации были уже выделены основные направления упреждающей адаптации в Арктике (Эдельгериев, Романовская, 2020). Опираясь на предложенные новые подходы в адаптации к изменению климата, можно наметить основные направления адаптации к изменению климата на ООПТ.

1. Совершенствование территориального планирования и использования земель, в том числе создание новых ООПТ и их охранных зон на основе прогноза климатических изменений, в том числе создание экологических коридоров для миграции видов, увязанных в экологические сети, изменение режима ООПТ и совершенствование зонирования национальных парков, изменение статуса и категории действующих ООПТ.

2. Упреждающие и профилактические мероприятия мер территориальной охраны, планирование противопожарных и биотехнических мероприятий, в том числе по защите от природных катастрофических явлений, создание питомников, центров передержки животных и др.).

3. Снижение уровня антропогенной нагрузки внутри ООПТ, в том числе мониторинг и контроль рекреационной нагрузки.

4. Меры по ликвидации или снижению ранее нанесенного ущерба от пожаров и иных катастрофических явлений, связанных с изменением климата.

5. Модернизация программы экологического мониторинга с учетом воздействия климатических изменений и развитие специальных научных исследований.

6. Просвещение населения и посетителей ООПТ по вопросам изменений климата, региональных и глобальных последствий, этих изменений, мерам по митигации (смягчение климатических изменений, в том числе через снижение выбросов парниковых газов) и адаптации.

Первые два направления можно отнести к упреждающей адаптации мер территориальной охраны природы, а остальные четыре направления относятся к вопросам хозяйственного управления ООПТ, регулированию состояния природных комплексов и допустимого использования ресурсов.

Изучение естественной адаптации видов и экосистем, мониторинг динамики основных характеристик под воздействием изменений климата является приоритетной задачей для научный исследований на ООПТ. Именно здесь антропогенное воздействие сведено к минимуму, соответственно, вклад климатических процессов проявляется наиболее явно. Для проведения оценок и составление прогнозов необходимо моделирование природных процессов, которое эффективно достигается в партнерских отношениях учреждений, осуществляющих управление ООПТ, с профильными научно-исследовательскими институтами. Результаты прогнозов в совместных исследованиях необходимы для долгосрочного планирования деятельности на ООПТ.

Таким образом, в России подготовлена нормативная база, разработаны научные основы и имеются примеры адаптации управления ООПТ к изменению климата, настал период развития научных основ и тиражирования успешных проектов.

Список литературы

Куньминско-Монреальская глобальная рамочная программа в области биоразнообразия. Утверждена на Пятнадцатом совещании Конвенции о биологическом разнообразии, часть II, Монреаль, Канада, 7-19 декабря 2022 года.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. 2022. / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии. – 676 с.

Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2023 № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации». [Электронный ресурс] URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910

Эдельгериев Р.С-Х., Романовская А. А., 2020. Новые подходы к адаптации к изменению климата на примере Арктической зоны Российской Федерации // Метеорология и гидрология. – № 5. – С. 12–28.

IPBES. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia / Rounsevell M., Fischer M., Torre-Marin Rando A., Mader A. (eds.). Bonn: IPBES secretariat, 2018. 892 p.

IPCC, 2022. Pörtner H.-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., ... Rama B., eds. Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2022. 3056 p.

Pörtner H.-O., Scholes R. J., Agard J., Archer E., Arneth A., Bai X., Barnes D., Burrows M., Chan L., Cheung W. L. (William)., Diamond S., Donatti C., Duarte C., Eisenhauer N., Foden W., Gasalla M. A., Handa C., Hickler T., Hoegh-Guldberg O., … Ngo H., 2021. Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change (Версия 5).

ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ И ВЕРОЯТНЫХ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С ПОМОЩЬЮ КЛИМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИВМ РАН

SIMULATION OF PRESENT AND POSSIBLE FUTURE CLIMATE CHANGES WITH CLIMATE MODEL OF INM RAS

Володин Е.М., Грицун А.С., Брагина В.В., Черненков А.Ю., Тарасевич М.А.

Volodin E.M., Gritsun A.S., Bragina V.V., Chernenkov A.Yu., Tarasevich M.A.

ФГБУ «Институт вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН»
Россия, 119333, Москва, Губкина 8; *volodinev@gmail.com*

Аннотация. Рассматривается воспроизведение современных и будущих изменений климата в мире и на территории России с помощью климатической модели ИВМ РАН. Показано, что модель хорошо воспроизводит наблюдаемый тренд температуры и осадков в России в 1980-2020г. Ожидаемые изменения климата в 21 веке по четырем сценариям, согласно модели, находятся примерно в середине интервала неопределенностей для современных моделей климата. Рассматривается возможность воспроизведения моделью компонент углеродного цикла.

Ключевые слова: модель, климат, изменение, температура, осадки, сценарий, углеродный цикл.

Abstract. Simulation of present day and possible future climate changes in the world and in Russian Federation (RF) with INM RAS climate model is considered. Model is capable to reproduced observed temperature and precipitation trend in RF in 1980-2020. Possible future climate changes in 21st century according to four scenarios are approximately in the middle of uncertainty interval for present climate models. A possibility to simulate components of carbon cycle is considered.

Keywords: model, climate, change, temperature, precipitation, scenario, carbon cycle.

Рассматривается воспроизведение изменений климата в численных экспериментах с моделью климатической системы ИВМ РАН (Gritsun et al., 2024) для исторического периода (1850-2014) и сценариев ssp1-2.6, ssp2-4.5, ssp3-7.0, ssp5-8.5 до 2100 г. В частности, показано, что модель хорошо воспроизводит наблюдаемый в последние десятилетия тренд температуры около 0.5 градуса за 10 лет и осадков около 2% за 10 лет на территории России (рис. 1 и 2), изменение площади арктического морского льда. Показывается необходимость ансамблевого подхода при воспроизведении изменений климата. В современной версии модели равновесная чувствительность к удвоению CO_2 составляет около 3 градусов, что находится примерно в середине диапазона для всех моделей. Поэтому и оценки ожидаемых изменений климата в 21 веке находятся, как правило, примерно в середине диапазона неопределенности для климатических моделей.

Рассматривается углеродный цикл модели, воспроизведение моделью накопления углерода экосистемами, в том числе на территории России, и оценки вероятного состояния углеродного цикла в будущем.

Рассматривается участие модели в программе CMIP7, в частности изменение форсингов по сравнению с аналогичными данными CMIP6 и сценарии будущего изменения климата.

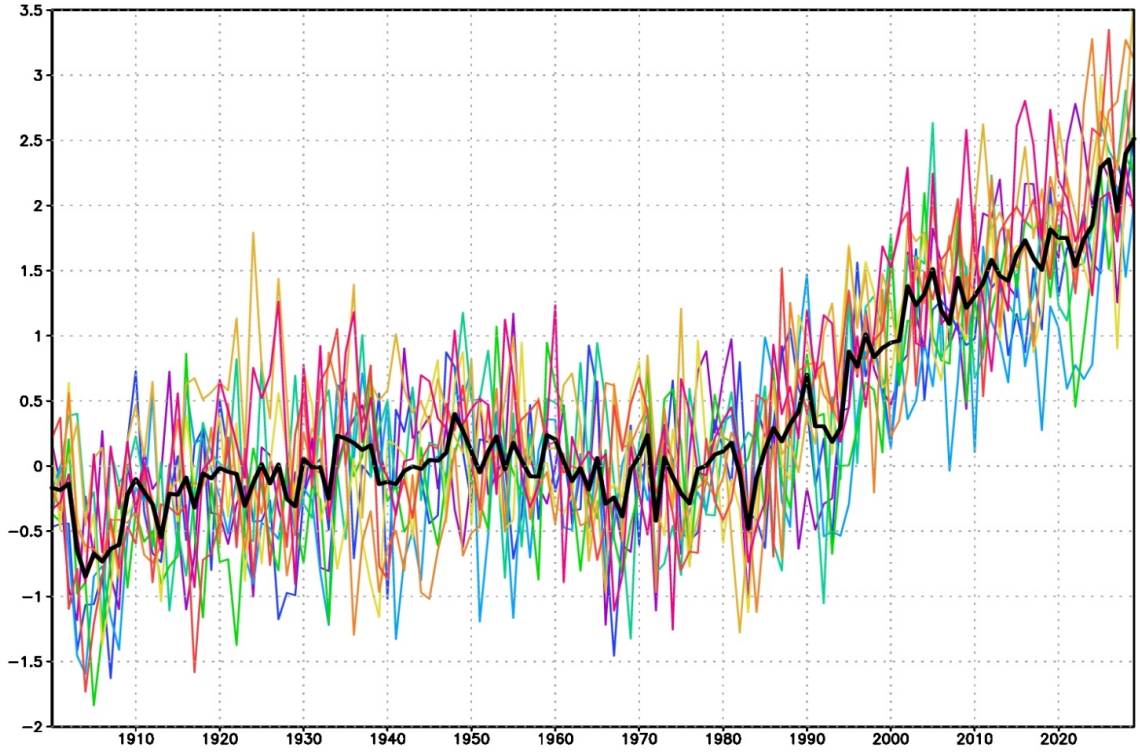


Рисунок 1. Отклонение среднегодовой температуры (К) на территории России от среднего за 1960-1990 гг. по данным модельного ансамбля. Среднее – черная линия, отдельные члены ансамбля – цветные линии

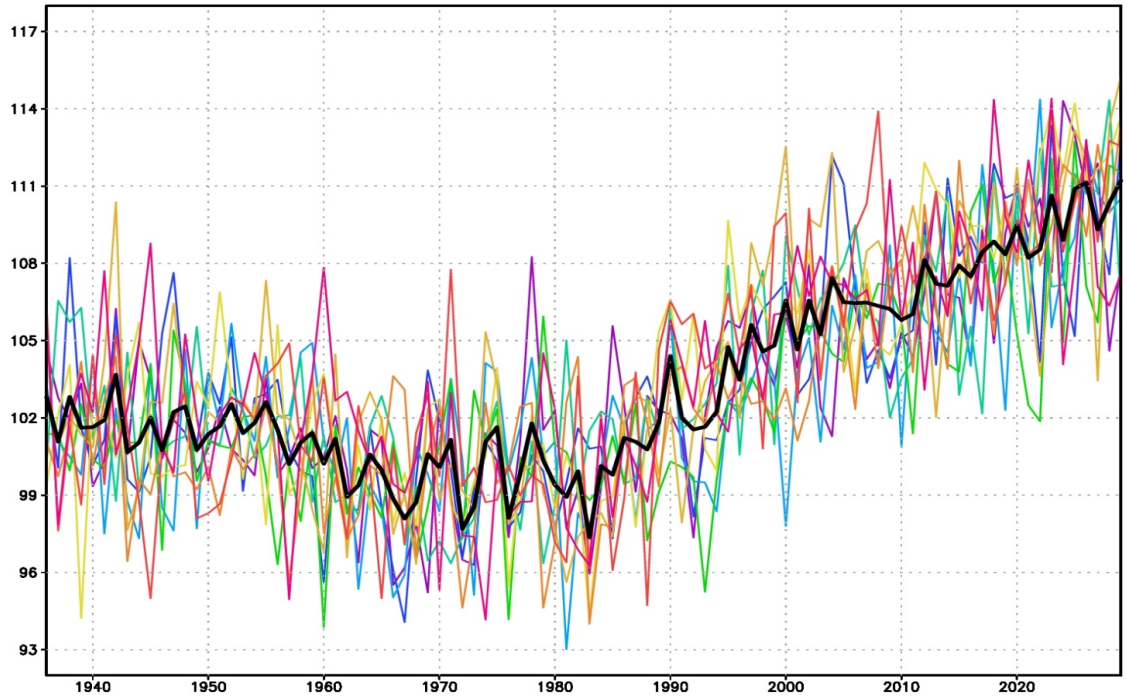


Рисунок 2. Отклонение среднегодовых осадков на территории России от среднего за 1960-1990 гг. (проценты) по данным модельного ансамбля. Среднее – черная линия, отдельные члены ансамбля – цветные линии

Список литературы

Gritsun A.S., Volodin E.M., Bragina V.V., Tarasevich M.A. Simulation of modern and future climate by INM-CM6M. Russian J. Numer. Anal. math. Modelling. – 2024. – Vol. 39, No. 6. – P. 329–341.

ЛЕСА В КРИОЛИТОЗОНЕ: УПУЩЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

FORESTS IN PERMAFROSTZONE: MISSED ISSUE OF ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Замолодчиков Д.Г. [1], Иванов А.В. [2]

Zamolodchikov D.G.[1], Ivanov A.V.[2]

[1] Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов имени А. С. Исаева РАН
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14; *dzamolod@cepl.rssi.ru*
[2] Институт геологии и природопользования ДВО РАН
Россия, 675000, г. Благовещенск, пер. Рёлочный, д. 1; *aleksandrgg86@mail.ru*

Аннотация. Проведение мероприятий по адаптации лесного хозяйства к изменениям климата предписывается лесными планами регионов России. Структура адаптационных мероприятий задается типовой формой лесного плана, которая не в полной мере учитывает пространственную специфику воздействия изменений климата на леса. В Сибири и на Дальнем Востоке значительные площади лесов находятся на многолетней мерзлоте, испытывающей деградации при потеплении. Нарушения лесного покрова, в том числе рубки, могут привести к развитию термокарстовых процессов вплоть до образования котловин. Для территорий с повышенной геокриологической опасностью предлагается ввести новую категорию защитных лесов – «леса с ограничением лесоэксплуатации в местах распространения многолетней мерзлоты».

Ключевые слова: криолитозона, леса, термокарст, изменение климата, адаптация, защитные леса.

Abstract. Carrying out measures to adapt forestry to climate change is prescribed by the forest plans of the regions of Russia. The structure of adaptation measures is set by the standard form of the forest plan, which does not fully take into account the spatial specificity of the impact of climate change on forests. In Siberia and the Far East, significant areas of forests are located on permafrost, which is degrading during warming. Disturbances in the forest cover, including logging, can lead to the development of thermokarst processes up to the formation of depressions. For areas with increased geocryological hazard, it is proposed to introduce a new category of protective forests - "forests with limited forest exploitation in areas of permafrost."

Keywords: permafrost zone, forests, thermokarst, climate change, adaptation, protective forests.

Современное потепление климата приобретает все более выраженный характер, воздействуя на природные и социальные системы. Это воздействие часто носит неблагоприятный характер, особенно по отношению к уязвимым системам. Лесное хозяйство крайне уязвимо к изменениям климата, поскольку погодно-климатические условия влияют на рост и жизненное состояние лесных насаждений, лесовозобновление, пожарные режимы, вспышки вредителей и прочие важные процессы в лесах. Приспособляемость природных и антропогенных систем к изменениям климата, которая позволяет уменьшить уязвимость и использовать благоприятные условия, называют адаптацией. Вопрос об адаптации лесного хозяйства России к изменениям климата долгое время был предметом обсуждения научной общественности и природоохранных организаций. Однако ситуация изменилась после издания приказа Минприроды России от 20.12.2017 № 692 «Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений». Типовая форма включает Приложение 21 «Планируемые мероприятия по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов». В этом приложении выделено 5 групп рисков, вызванных

климатическими изменениями, а именно: 1) изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры; 2) изменения в видовом (породном) составе лесов; 3) увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами; 4) увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах; 5) увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах. Для указанных рисков в типовой форме приводится 2-4 адаптационные меры, в рамках которых регионы указывают конкретные мероприятия и их объемы. В качестве примера приведем несколько адаптационных мероприятий из Лесного плана Хабаровского края (Лесной план, 2018). Мероприятия включают изучение роста ранее не свойственных для лесов края древесных растений, проведение выборочных рубок с целью формирования разновозрастных с высоким биологическим разнообразием древостоев, выращивание посадочного материала целевых пород с высокими адаптационными свойствами, разработка и корректировка планов тушения лесных пожаров с учетом изменения пожарной опасности в лесах, внедрение методов дистанционного зондирования земли в систему лесопатологического обследования, проведение выборочных рубок с целью формирования биологически устойчивых насаждений к неблагоприятным экстремальным погодным явлениям.

Введение в практику лесного хозяйства мер по адаптации к изменениям климата является позитивным фактором, однако стандартизация этих мер по всем регионам не позволяет в полной мере учесть специфику воздействия изменений климата. Существенной особенностью природных условий Сибири и Дальнего Востока является широкое распространение многолетней мерзлоты. Многолетняя мерзлота распространена более чем на 60% территории России, подавляющая часть площади мерзлоты находится в Азиатской части страны. В условиях потепления повсеместно отмечается деградация многолетней мерзлоты. Мерзлый грунт с большим содержанием льда разрушается наиболее интенсивно, что приводит к процессам термокарста, солифлюкции, эрозии. Эти негативные процессы в настоящее время охватывают все большие площади на территории Сибири и Дальнего Востока. Температурный режим криогенных ландшафтов в значительной степени определяется состоянием и динамикой растительного покрова. Лесные экосистемы выступают мощным буфером, экранирующим мерзлоту от атмосферного тепла и солнечной радиации. Лесной растительный покров изменяет альбедо поверхности, меняет структуру баланса влаги, перераспределяет твердые осадки. Толщина и свойства снежного покрова и лесной подстилки, в свою очередь, определяют тепловой режим почвы.

В контексте взаимодействия лесного покрова, мерзлоты и потепления климата показательна история развития Батагайского «кратера» на севере Якутии (Шепелев, 2019). В

первой половине 1960-х гг. на месте образования будущего кратера была произведена рубка участка леса, вследствие этого произошло нарушение почвенно-растительного покрова, а также термического режима грунтов. В 1970-х гг. случился локальный пожар, в результате появилась просадка грунта, размываемая водой из ручья, что привело сначала к образованию оврага, а затем деградации всего ледового комплекса. Ныне кратер представляет самую крупную в Северном полушарии термокарстовую котловину длиной более 1500 м и шириной 800 м (Алиев, 2020). Средняя глубина кратера составляет 60 м, а в районе термоэрозионного котла она достигает 100 м, варьируя в зависимости от льдистости исходного грунта и связанной с этим активностью термокарста. За последние два десятилетия выявлена связь между скоростью роста Батагайского кратера и потеплением климата. Активизация таяния многолетней мерзлоты на фоне климатических изменений после проведения рубок отмечена и на других лесных территориях (Fegorov, 2019).

Конечно, далеко не вся территория криолитозоны может превратиться при потеплении в подобие Батагайского «кратера». Катастрофическая ситуация развивается при наличии мощных пластов высокольдистой мерзлоты. В условиях современного потепления климата можно говорить об изменении характера климатозащитной роли северных лесов. Ранее она состояла в защите от вторжения холодных арктических воздушных масс, и с этой целью были выделены притундровые леса в составе защитных (Желдак, 2013). Ныне возрастает роль лесного покрова по предотвращению деградации многолетней мерзлоты на фоне потепления климата. В этой связи авторы предлагают ввести новую категорию защитных лесов – «леса с ограничением лесоэксплуатации в местах распространения многолетней мерзлоты» (Замолодчиков, 2022а, 2022б). Выделение таких участков может быть сделано на основе предварительного геокриологического обследования, выявляющего территории с повышенной геокриологической опасностью. Прогрессирующее потепление неизбежно рано или поздно приведет к деградации мерзлоты на территориях повышенного риска. Однако лесной покров способен отложить срок интенсивной деградации мерзлоты, возможно, вплоть до того времени, когда скажутся меры по сохранению глобального климата, предпринимаемые международным сообществом.

Доклад поддержан темой ГЗ ЦЭПЛ РАН «Биоразнообразие и экосистемные функции лесов» (Регистрационный номер НИОКТР 124013000750-1).

Список литературы

Алиев Р.Г., Медведков А.А. Анализ климатогенной динамики Батагайского термоденудационного «кратера» с использованием данных дистанционного зондирования // ИнтерКарто. ИнтерГИС. 2020. Т. 26. № 2. С. 366-375.

Желдак В.И. Чижов Б.Е., Гаркунов Г.А., Захаров А.И. О лесоводственных мероприятиях в притундровых лесах Западной Сибири // Лесоведение. 2013. № 3. С. 19-29.

Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Иванов А.В. Защитные леса Ямало-Ненецкого автономного округа // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. 2022а. № 2 (115). С. 78-97.

Замолодчиков Д.Г., Иванов А.В., Грабовский В.И., Юст Н.А., Тимченко Н.А. Средообазующие функции защитных лесов Амурской области // Сибирский лесной журнал. 2022б. № 6. С. 12-21.

Лесной план Хабаровского края на 2019-2028 гг. Хабаровск, 2018. 262 с.

Шепелев А.Г., Черепанова А.М. Мерзлотные ландшафты Верхоянского района на примере Батагайского провала и Кисиляхской гряды (северная Якутия) // Современные проблемы территориального развития. 2019. № 3. Статья № 4.

Fedorov A.N., Konstantinov P.Y., Vasilyev N.F., Shestakova A.A. The influence of boreal forest dynamics on the current state of permafrost in Central Yakutia // Polar Science. 2019. V. 22. Art. No 100483.

АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ВЫСОТЫ ТРОПОПАУЗЫ ПО ДАННЫМ РАДИОЗОНДИРОВАНИЯ

ANALYSIS OF LONG-TERM DYNAMICS OF TROPOPAUSE HEIGHT BASED ON RADIOSONDE DATA

Козлова Л.Ф., Стерин А.М.

Kozlova L.F., Sterin A.M.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации — Мировой центр данных»,
Россия, 249035, Калужская область, г. Обнинск, ул. Королева, д. 6; *lida_mail@mail.ru*

Аннотация. В работе представлен анализ многолетней динамики высоты тропопаузы по радиозондовым данным на территории Российской Федерации. Исследование охватывает период 1978–2024 гг. и включает обработку статистических характеристик тропопаузы по 12 аэрологическим станциям. Особое внимание уделено выявлению сезонных и межгодовых изменений, а также региональных особенностей формирования тропопаузы.
Ключевые слова: тропопауза, радиозондирование, многолетняя динамика, сезонная изменчивость, климатические тренды.

Abstract. The paper presents an analysis of the long-term dynamics of tropopause height based on radiosonde data over the territory of the Russian Federation. The study covers the period from 1978 to 2024 and includes the processing of statistical characteristics of tropopause for 12 aerological stations. Special attention is paid to identifying seasonal and interannual changes, as well as regional features of tropopause formation.
Keywords: tropopause, radiosonde observations, long-term dynamics, seasonal variability, climate trends.

Тропопауза является важной границей в вертикальной структуре атмосферы, определяющей верхний предел тропосферных процессов и начало стратосферной циркуляции. Высота тропопаузы подвержена значительным сезонным и географическим изменениям, что имеет существенное значение для авиационной метеорологии, климатических исследований и прогнозирования погоды. Данная работа посвящена анализу этих изменений на примере станций, расположенных в различных климатических зонах России.

Данные и методы

Для расчёта характеристик тропопаузы были использованы массивы данных АЭРОСТАБ и АЭРОСТАС (Алдухов и др., 1990; Руденкова, 2009), содержащие актуальные результаты радиозондовых наблюдений, регулярно собираемых ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» в рамках функционирования глобальной сети аэрологических станций. Архив данных включает значения давления, геопотенциальной высоты, температуры и ряда других метеорологических параметров на различных изобарических уровнях, в том числе на уровне тропопаузы. Данные прошли комплексный физико-статистический контроль качества на этапе формирования первичного массива данных АЭРОСТАС/АЭРОСТАБ, включая гидростатический, горизонтальный и вертикальный контроль качества (Алдухов и др., 2016).

Исследование проводилось за период 1978-2024 гг. для 12 относительно полных и длиннорядных аэрологических станций территории Российской Федерации, входящих в

состав Глобальной системы наблюдений за климатом (ГСНК). Станции показаны на карте ниже (рис. 3).

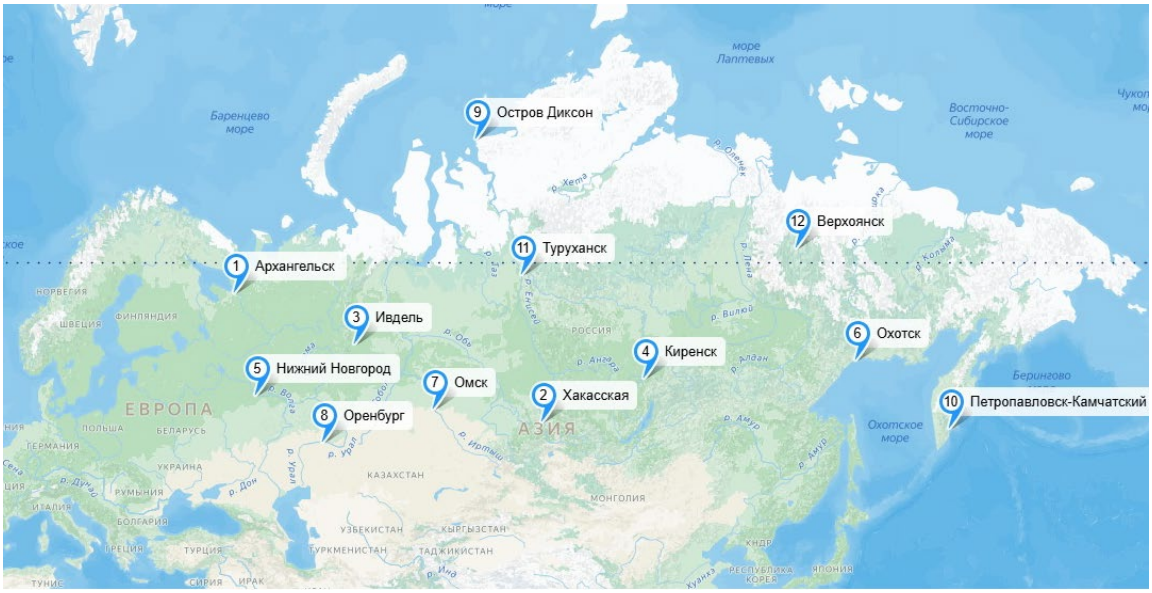


Рисунок 3. Аэрологические станции ГСНК, для которых проводилось исследование

В процессе формирования массива данных осуществлялась проверка соответствия информации на уровне тропопаузы критериям, установленным Всемирной метеорологической организацией (ВМО). В соответствии с этими требованиями, определение тропопаузы базировалось на анализе значений и изменении вертикального градиента температуры (Маховер, 1983).

Результаты анализа

На основе полученных статистических данных для каждой станции был проведен анализ годового хода высоты тропопаузы. Общие тенденции включают:

1. Сезонная изменчивость

Минимум высоты тропопаузы: наблюдается в зимние и весенние месяцы (декабрь-март) для большинства станций. Например, для станции о.Диксон (20674) средняя высота в марте составляет 8,37 км, а для Туруханска (23472) в апреле – 8,84 км.

Максимум высоты тропопаузы: фиксируется в летние месяцы (июнь-август). Станция Киренск (30230) демонстрирует летний максимум в июле – 11,24 км, а Оренбург (35121) – 11,17 км в августе.

Переходные сезоны: Весна и осень характеризуются постепенным ростом и снижением высоты тропопаузы соответственно, с большей вариативностью, что отражается в повышенных значениях стандартного отклонения и асимметрии.

2. Географические особенности

Арктические и субарктические станции (о. Диксон (20674), Верхоянск (24266), Туруханск (23472), Архангельск (2254)) характеризуются более низкими среднегодовыми значениями высоты тропопаузы. Минимальные значения зимой могут опускаться до 5-6 км (например, на о. Диксон минимум в марте 5,16 Гпкм). Летние максимумы обычно не превышают 10-10,5 Гпкм.

О.Диксон (20674) демонстрирует наименьшие среднегодовые значения и наименьшую амплитуду сезонных колебаний, что типично для высоких широт.

Станции Верхоянск и Туруханск расположены в континентальных районах Сибири и показывают более выраженную сезонность, чем арктические станции, но с более низкими летними максимумами по сравнению со станциями, расположенными южнее.

Континентальные станции умеренных широт (Омск (28695), Ивдель (23921), Нижний Новгород (27459), Киренск (30230)) демонстрируют выраженную сезонную изменчивость с более высокими летними максимумами (до 11-11, 2 Гпкм).

Киренск показывает одни из самых высоких летних значений и значительную асимметрию в летние месяцы (например, A = -0.73 в июле), указывающую на наличие редких, но очень высоких уровней тропопаузы. По данным станции Омск фиксируются умеренные значения и выраженная сезонность.

Южные и восточные станции (Оренбург 35121, Петропавловск-Камчатский (32540), Охотск (31088), Хакасская (29862)) характеризуются одними из самых высоких среднегодовых значений и наибольшей амплитудой сезонных колебаний.

Оренбург показывает высокие летние максимумы (до 11,17 Гпкм в августе) и значительную отрицательную асимметрию летом (например, A = -0.87 в мае), что свидетельствует о частом достижении высоких уровней тропопаузы. Станция Петропавловск-Камчатский расположена на Дальнем Востоке и демонстрирует высокие летние значения (до 11,43 Гпкм в июле), а также значительную положительную асимметрию в зимние месяцы, что может быть связано с влиянием тихоокеанских циклонов. Охотск также показывает высокие летние значения (до 11,31 Гпкм в июле) и значительную отрицательную асимметрию летом.

3. Вариативность и статистические характеристики

Стандартное отклонение (std): Наибольшие значения наблюдаются в летние месяцы и переходные сезоны, что отражает высокую изменчивость высоты тропопаузы, связанную с конвекцией и фронтальными процессами. Зимние месяцы, как правило, характеризуются меньшей вариативностью.

Асимметрия (A): Отрицательные значения асимметрии, особенно летом, указывают на наличие "вытянутого хвоста" распределения в сторону более высоких значений тропопаузы.

Положительные значения асимметрии, встречающиеся зимой, могут свидетельствовать о более частом достижении низких уровней тропопаузы.

Эксцесс (E): Значения эксцесса колеблются, но положительные значения часто встречаются в летние месяцы, что может указывать на более "острое" распределение высот тропопаузы с более выраженными пиками.

Анализ годового хода высоты тропопаузы по радиозондовым данным на территории России выявил четкую сезонную зависимость и значительные географические различия. Высота тропопаузы достигает минимальных значений зимой и максимальна летом. Северные станции характеризуются более низкими значениями и меньшей амплитудой сезонных колебаний, в то время как южные и континентальные станции демонстрируют более высокие летние максимумы и большую вариативность. Статистические показатели, такие как стандартное отклонение, асимметрия и эксцесс, предоставляют дополнительную информацию о характере распределения высоты тропопаузы и помогают оценить экстремальные значения. Полученные результаты подтверждают влияние широтных и континентальных факторов на формирование высоты тропопаузы (Seidel et al., 2006) и могут быть использованы для дальнейших исследований в области атмосферной физики и климатологии.

Для каждой станции также были рассчитаны линейные тренды месячных аномалий высоты (ΔH), температуры (ΔT) и давления (ΔP) тропопаузы. Для большинства станций ГСНК выявлен положительный тренд высоты тропопаузы и отрицательный тренд давления. Максимальные значения подъёма высоты тропопаузы отмечены в Охотске (+0,11 Гпкм/10 лет), Оренбурге (+0,09 Гпкм/10 лет), Архангельске и Петропавловске-Камчатском (+0,07 Гпкм/10 лет). Исключения: Туруханск (отрицательный тренд, -0,02 Гпкм/10 лет), Омск и Хакасская (ΔH ≈ 0). В Туруханске наблюдается предельный сигнал похолодания при отрицательном тренде по высоте, что указывает на локальную гетерогенность в поведении верхней тропосферы/нижней стратосферы вблизи Арктики. На большинстве станций зафиксирован отрицательный тренд температуры тропопаузы: Архангельск (-0,18 °C/10 лет), Верхоянск (-0,23 °C/10 лет), о. Диксон (-0,26 °C/10 лет). Полученные данные демонстрируют согласованный паттерн: подъём высоты тропопаузы, одновременное похолодание на её уровне и снижение давления. Эти изменения согласуются с глобальными климатическими процессами (потепление тропосферы, охлаждение стратосферы) и региональными перестройками атмосферной циркуляции. Сильные и статистически значимые сигналы на арктических и дальневосточных станциях (о. Диксон, Архангельск, Верхоянск, Киренск, Охотск, Петропавловск-Камчатский, Оренбург) могут свидетельствовать о влиянии арктического усиления и региональных особенностей циркуляции.

По полученным данным сформирован специализированный массив характеристик тропопаузы, демонстрационная версия которого представлена на портале meteo.ru. Этот массив расширяет существующую базу данных (Козлова и др., 2022) и будет пополняться актуальными данными ежегодно.

Список литературы

Авиационно-климатический атлас-справочник СССР / Под ред. З. М. Маховера. М.: НИИАК, 1969. Вып. 5.

Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Том.1. Контроль качества и обработка данных. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД». Обнинск. 2013. 306 с.

Алдухов О.А., Черных И.В. Принципы контроля качества массивов результатов радиозондирования атмосферы // Метеорология и гидрология. 2016. № 3. С. 92–101.

Архив текущей аэрологической информации «АЭРОСТАБ». Описание архива / Составители: О. А. Алдухов, В. А.Оржеховская, Т. О. Садовникова, Т. В. Руденкова. Обнинск, 1990.

Козлова Л.Ф., Хохлова А.В., Руденкова Т.В. База данных: «Климатические характеристики тропопаузы в арктическом и полярном регионах РФ по аэрологическим наблюдениям». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022622189. РФ. Москва. Федеральная служба по интеллектуальной собственности. 2022. Регистрационный номер НИОКТР АААА-А20-120071090073-0. Регистрационный номер РИД 622110800115-3. Регистрационный номер состояния правовой охраны РИД 822111000015-9.

Маховер З.М. Климатология тропопаузы. Л.: Гидрометеоиздат, 1983. 254 с.

Описание символьного формата хранения данных аэрологических наблюдений, поступающих по каналам связи для ПЭВМ (формат АЭРОСТАС) / Составители: Т.В. Руденкова. – Обнинск, 2009.

Руденкова Т.В. Формат архивации текущих аэрологических данных, поступающих по каналам связи для ПЭВМ // Труды ВНИИГМИ-МЦД. 2010. Вып. 174. С. 41–63.

Seidel D.J., Randel W.J. Variability and trends in the global tropopause estimated from radiosonde data // Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 2006, Vol. 111, D21101.

СИНЕРГИЯ МЕР АДАПТАЦИИ И МИТИГАЦИИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

SYNERGY OF ADAPTATION AND MITIGATION MEASURES IN FORESTRY OF THE RUSSIAN FEDERATION

Константинов А.В., Бурцев Д.С.

Konstantinov A.V., Burtcev D.S.

ФБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства»
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пр., 21; *science@spb-niilh.ru*

Аннотация. Целью исследования явилось изучение текущего состояния, эффективности и перспектив развития системы адаптационных мероприятий в лесном хозяйстве Российской Федерации в условиях изменения климата. Анализ реализованных мероприятий за период 2019–2024 гг. свидетельствует о формировании и развитии российской системы адаптации лесного хозяйства, что подтверждается переходом от разрозненных, точечных мер к более широкому внедрению адаптационных мер. Общий объём адаптационных мероприятий по пяти ключевым климатическим рискам увеличился на 47%. В целом, наблюдается рост затрат на выполнение адаптационных мероприятий, однако эта динамика носила достаточно вариативный характер. Сохраняется высокая фрагментарность применения мероприятий и значительная региональная дифференциация. Наибольшее внимание уделялось снижению риска лесных пожаров и изменению видового состава лесов, в то время как мероприятия по профилактике распространения вредителей и мониторингу состояния лесных экосистем остаются недостаточно распространёнными. Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки федеральной стратегии адаптации с унификацией терминологии, стандартизацией мониторинга и оценкой эффективности мероприятий.

Ключевые слова: адаптация, митигация, климатический риск, лесное хозяйство.

Abstract. The aim of the study was to examine the current status, effectiveness, and development prospects of the adaptation system in the Russian forestry sector in the face of climate change. An analysis of measures implemented between 2019 and 2024 demonstrates the formation and development of the Russian forestry adaptation system, as evidenced by a transition from isolated, targeted measures to broader implementation of adaptation measures. The total volume of adaptation measures for five key climate risks increased by 47%. Overall, an increase in the cost of implementing adaptation measures was observed, but this trend was quite variable. High fragmentation in the implementation of measures and significant regional differentiation persist. The greatest attention was paid to reducing the risk of forest fires and changing forest species composition, while measures to prevent the spread of pests and monitor the condition of forest ecosystems remain insufficiently widespread. The study results highlight the need to develop a federal adaptation strategy that standardizes terminology, standardizes monitoring, and evaluates the effectiveness of measures.

Keywords: adaptation, mitigation, climate risk, forestry.

Реализация адаптационных мероприятий в лесах Российской Федерации является ключевым элементом климатической политики и долгосрочной стратегии устойчивого лесопользования. Лесные экосистемы занимают особое место в обеспечении углеродного баланса, поддержании биоразнообразия и устойчивости хозяйственной деятельности, однако возрастающая частота и интенсивность климатически обусловленных нарушений существенно повышают их уязвимость. В этих условиях адаптация лесного хозяйства становится не только экологической, но и социально-экономической необходимостью (Акентьева, 2022; Липка и др., 2021; Константинов, 2023).

Целью настоящего исследования явилось изучение текущего состояния, эффективности и перспектив развития системы адаптационных мероприятий условиях изменения климата, реализуемых в Российской Федерации и являющихся, в свою очередь,

необходимым, наряду с митигацией, компонентом общей стратегии государственной климатической политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

Исследовательские задачи решались на основе данных федерального статистического наблюдения «1-адаптация» за 2024 г., охватывающего сведения по пяти ключевым климатическим рискам в лесах Российской Федерации, а также аналогичных статистических данных за 2019-2023 гг., содержащихся в соответствующих базах данных (Недбаев и др., 2023, 2024).

Анализ реализованных мероприятий за период 2019–2024 гг. свидетельствует о формировании и развитии российской системы адаптации лесного хозяйства, что подтверждается переходом от разрозненных, точечных мер к более широкому внедрению адаптационных мер. Общий объём адаптационных мероприятий по пяти ключевым климатическим рискам увеличился на 47% (табл. 1).

Таблица 1. Изменение количественного распределения видов адаптационных мероприятий, направленных на снижение климатических рисков в период 2019–2024 гг. в разрезе климатических рисков

№	Климатический риск	Изменение в % к предыдущему году					Изменение 2024 года в % к 2019 году
		2020	2021	2022	2023	2024	
1	Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков	-4	-17	+43	+82	73	+51
2	Изменения в видовом (породном) составе лесов	+1	+3	+12	+69	+19	+134
3	Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	-1	+2	+14	+26	-8	+32
4	Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	-	-19	+36	+15	-5	+21
5	Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	-2	+2	+22	+16	+4	+48
	Итого	-1	-4	+21	+36	94	+47

Выявлены существенные различия в распределении затрат на адаптационные мероприятия в зависимости от климатического риска (табл. 2), а также выраженную динамику

расходов в период 2019–2024 гг. Общие затраты по всем видам рисков варьируются от 10 980,2 млн руб. в 2019 году до пика в 53 745,1 млн руб. в 2023 г.

Наиболее значительные расходы традиционно приходятся на мероприятия, направленные на снижение риска «Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами», с пиком в 21 604,9 млн руб. в 2022 г. и 19 335,6 млн руб. в 2023 г. Затраты на адаптационные мероприятия по риску «Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах» демонстрируют выраженную волатильность: минимальные значения наблюдаются в 2021 г. (709,1 млн руб.), пиковые – в 2023 г. (21 320,9 млн руб.). Сравнительно умеренные, но устойчивые расходы наблюдаются по риску «Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадаемых осадков», а также по риску «Изменения в видовом (породном) составе лесов». Их динамика характеризуется периодическими пиками в 2023–2024 гг. Отмечен рост расходов в 2023 г. до 1 605,3 млн руб. в части снижения риска «Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах.

В целом, наблюдается рост затрат на выполнение адаптационных мероприятий, однако эта динамика носила достаточно вариативный характер. Сохраняется высокая фрагментарность применения мероприятий и значительная региональная дифференциация. Наибольшее внимание уделялось снижению риска лесных пожаров и изменению видового состава лесов, в то время как мероприятия по профилактике распространения вредителей и мониторингу состояния лесных экосистем остаются недостаточно распространёнными.

Таблица 2. Динамика общих затрат на адаптационные мероприятия, направленных на снижение климатических рисков в период 2019-2024 гг.

Климатический риск	Затраты на адаптационные мероприятия, млн руб.					
	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков	1 839,5	4 508,4	3 418,4	2 469,6	5 504,0	2 580,6
Изменения в видовом (породном) составе лесов	1 644,1	2 053,9	1 707,8	2 554,1	5 979,2	5 227,8
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	4 409,1	4 801,8	7 524,2	21 604,9	19 335,6	14 301,0
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	705,7	489,1	439,1	1 165,3	1 605,3	1 105,2
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	2 381,8	2 022,2	709,1	3 717,8	21 320,9	4 390,4
Всего затрат на мероприятия по всем рискам	10 980,2	13 875,4	13 798,5	31 511,7	53 745,1	27 605,0

Наблюдаются существенные разрывы между последствиями реализации климатических рисков, текущими объёмами и затратами на адаптационные меры (табл. 3), особенно в субъектах с высоким и чрезвычайно высоким уровнем риска. Недостаточный уровень планирования и системности наблюдается в большинстве регионов, что затрудняет достижение комплексной устойчивости лесных экосистем. Диспропорции в финансировании усиливают неравномерность реализации: значительная часть затрат сосредоточена на мероприятиях по снижению риска пожаров, в то время как другие направления, включая профилактику и мониторинг, демонстрируют низкий уровень финансового обеспечения.

Таблица 3. Количество субъектов Российской Федерации, имеющих разрыв между последствиями реализации климатических рисков и текущим ежегодным объёмом адаптационных мероприятий

Климатический риск	Уровень риска				Всего
	Умеренный	Опасный	Весьма опасный	Чрезвычайно опасный	
Изменение продуктивности лесов в связи с изменениями средних значений температуры и количества выпадающих осадков	6	17	21	8	52
Изменения в видовом (породном) составе лесов	2	12	19	27	60
Увеличение частоты возникновения (лесных) пожаров в лесах и площадей, пройденных пожарами	4	13	5	35	57
Увеличение частоты вспышек массового размножения вредных организмов в лесах	2	21	19	20	62
Увеличение частоты проявления последствий экстремальных погодных явлений в лесах	1	34	19	9	63

Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки федеральной стратегии адаптации с унификацией терминологии, стандартизацией мониторинга и оценкой эффективности мероприятий. Дифференцированный региональный подход и комплексное управление рисками остаются ключевыми факторами успешной реализации мероприятий. Особое значение имеют цифровизация, подготовка кадров и использование прогнозов климатических сценариев для стратегического планирования и принятия управленческих решений.

Дальнейшие перспективы данного исследования включают продолжение систематического сбора и анализа данных по форме федерального статистического наблюдения «1-адаптация» с одновременным повышением качества и сопоставимости информации; развитие инструментов цифрового мониторинга и прогнозирования климатических рисков; внедрение унифицированной методологии оценки эффективности адаптационных мероприятий с учётом весовых коэффициентов и интеграцию результатов в федеральное и региональное стратегическое планирование.

Исследование выполнено в рамках государственного задания Федерального агентства лесного хозяйства от 26.12.2024 №053-00005-25-00 по теме «Разработка системы планирования, реализации и оценки эффективности мер государственной климатической политики в лесном секторе Российской Федерации» (шифр: 2-Д24 климатическая политика).

Список литературы

Константинов, А. В. Сценарный подход к адаптации лесных экосистем российской федерации в условиях изменений климата / А. В. Константинов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. – 2023. – Т. 87, № 4. – С. 558-567. – DOI 10.31857/S2587556623040039. – EDN VJTUSW.

Роль лесов в адаптации природных систем к изменениям климата / О. Н. Липка, М. Д. Корзухин, Д. Г. Замолодчиков [и др.] // Лесоведение. – 2021. – № 5. – С. 531-546. – DOI 10.31857/S0024114821050077. – EDN OWSSBF.

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023670040 Российская Федерация. Информация о фактическом выполнении мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов за период с 2019 по 2022 годы: № 2023670056: заявл. 01.09.2023: опубл. 14.09.2023; заявитель ФБУ "Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства".

Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624781 Российская Федерация. Информация о фактическом выполнении мероприятий по сохранению экологического потенциала лесов, адаптации к изменениям климата и повышению устойчивости лесов за 2023 год: № 2024624230: заявл. 08.10.2024: опубл. 30.10.2024 / И. С. Недбаев, А. В. Константинов, Е. И. Семенова, А. О. Сорока; заявитель ФБУ "Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства". – EDN OVJIHV.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Е. М. Акентьева, А. М. Алейникова, Г. В. Алексеев [и др.]. – Санкт-Петербург: Издательство «Наукоемкие технологии», 2022. – 676 с.

ПРИОРИТЕТНЫЕ ОПАСНЫЕ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ЛЕСНЫХ БИОМАХ РОССИИ

PRIORITY DANGEROUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA IN RUSSIAN FOREST BIOMES

Липка О.Н. [1], *Андреева А.П.* [1], *Журавлева Н.С.* [1], *Кононенко А.К.* [2]

Lipka O.N. [1], *Andreeva A.P.* [1], *Zhuravleva N.S.* [1], *Kononenko A.K.* [2]

[1]ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *olipka@igce.ru*
[2]ФГБОУ ВО РГУ им. А.Н. Косыгина
Россия, 119071, Москва, ул. Малая Калужская д. 1

Аннотация. Для 17 лесных биомов выполнена оценка частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений: очень сильный дождь, очень сильный снег, высокий снежный покров, аномально жаркая и аномально холодная погода. Учитывалось два пороговых уровня интенсивности: начиная с которого явление становится опасным, и начиная с которого последствия носят катастрофический характер. К приоритетным с точки зрения охраны природы и адаптации к изменениям климата природных систем в каждом биоме были отнесены явления, характеризующиеся высокой интенсивностью и частотой не менее одного раза в 5 лет. Аномально холодная погода наблюдается ежегодно почти во всех биомах (в Сибири достигает второго порогового уровня как минимум один раз в 5 лет). В большинстве биомов аномально жаркая погода отмечается каждые 5 лет и чаще, но второго порогового уровня достигает крайне редко. Сильные осадки относятся к приоритетным опасным явлениям для горных и приморских биомов (на отдельных станциях отмечаются ежегодно). Высокий снежный покров (40 см и выше) может формироваться ежегодно почти во всех лесных биомах, при этом второй порог достигается как минимум один раз в 5 лет.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, биом, частота опасных явлений, интенсивность опасных явлений.

Abstract. An assessment of the frequency and intensity of dangerous hydrometeorological phenomena was performed for 17 forest biomes: very heavy rain, very heavy snow, high snow cover, abnormally hot and cold weather. Two threshold levels of intensity were taken into account: starting from which the phenomenon becomes dangerous, and starting from which the consequences are catastrophic. From the point of view of nature conservation and climate change adaptation natural systems in each biome were prioritized as phenomena characterized by high intensity and frequency at least once every 5 years. Abnormally cold weather is observed annually in almost all biomes (in Siberia it reaches the second threshold level at least once every 5 years). In most biomes, abnormally hot weather is observed every 5 years and more often, but it rarely reaches the second threshold level. Heavy precipitation is a priority hazard for mountain and coastal biomes (it is observed annually at some stations). High snow cover (40 cm and above) can form annually in almost all forest biomes, with the second threshold reached at least once every 5 years.

Keywords: dangerous hydrometeorological phenomena, biome, frequency of dangerous phenomena, intensity of dangerous phenomena.

Современные изменения климата характеризуются, в том числе, увеличением частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений (ОЯ). Наносить ущерб в виде повреждения, гибели живых организмов, деградации экосистем ОЯ начинают с определенного уровня интенсивности. Может быть выделен второй уровень (катастрофический), если нарушения носят массовый, в том числе необратимый характер.

С точки зрения охраны природы и адаптации к изменениям климата приоритетное внимание целесообразно уделять ОЯ, характеризующимся не только высокой интенсивностью, но и высокой частотой на территории биома или отдельной его части. Регулярность повторения ОЯ препятствует восстановлению экосистем или их компонентов,

или не допускает закрепления видов, для которых по средним климатическим характеристикам (тепло- и влагообеспеченность) территория может казаться благоприятной.

Оценка приоритетности ОЯ была выполнена для 17 горных и равнинных лесных биомов, репрезентативно охватывающих природные зоны от лесотундры до лесостепи и субтропических лесов. Была использована концепция биомного разнообразия географического факультета МГУ им. Ломоносова с границами по состоянию на начало XXI века (Биоразнообразие биомов…, 2022). В выбранных биомах 14–20 ОЯ достигают первого порогового уровня интенсивности (наибольшее количество зафиксировано в Южнозабайкальском биоме), и 9–17 – второго (наименьшее количество отмечено в Котуйско-Ленском, наибольшее – в Алтае-Саянском и Южнозабайкальском биомах; Липка и др., 2024). Для каждого биома обрабатывались данные 3–5 метеорологических станций за всю историю наблюдений, которые затем осреднялись для территории.

Наиболее длинные ряды наблюдений в открытых архивах ВНИИГМИ-МЦД соответствуют суточным данным о температуре, осадках и снежном покрове (Булыгина и др., 2014а, б). Пороговые значения для ОЯ были определены на основе оценки уязвимости компонентов природных систем (значение в скобках соответствует второму пороговому уровню):

- очень сильный дождь – 50 (100) мм в сутки для равнин и 30 (60) мм в сутки для горных территорий;

- очень сильный снег – не менее 20 (40) мм/сут.;

- высокий снежный покров – количество дней в году с высотой снежного покрова не менее 40 (60) см;

- аномально жаркая и аномально холодная погода – температура в течении не менее 5 последовательных дней на 7 (15) ^{o}C выше/ниже месячной нормы.

Для оценки приоритетности на основе рассчитанной средней частоты ОЯ определенной интенсивности в год было принято среднее время возвращения (return time): ежегодно; как минимум раз в 5 лет; в 10 лет; в 20 лет; в 50 лет; реже, чем раз в 50 лет. К приоритетным для территории биома можно отнести ОЯ, для которых по крайней мере интенсивность первого порогового значения наблюдается каждые 5 лет и чаще.

Для равнинных биомов очень сильные дожди первого порога интенсивности отмечаются каждые 5 лет и чаще приоритетным только в Западнокамчатском субокеаническом северотаежном и Смоленско-Приволжском широколиственно-хвойнолесном биомах. В горных районах очень сильные дожди фиксируются каждые 5 лет, а вблизи морских побережий, оз. Байкал и на Алтае – ежегодно на отдельных станциях. Второго порового значения на равнинах в лесных биомах очень сильные дожди не достигают, или

достигают реже, чем раз в 50 лет. Приоритетным явление можно считать только для ряда приморских биомов: Камчатско-Курильского и Сахалино-Сихотэ-Алиньского (каждые 5 лет), Крымско-Новороссийского и Сочинского (ежегодно или каждые 5 лет на разных станциях) (рис. 4).

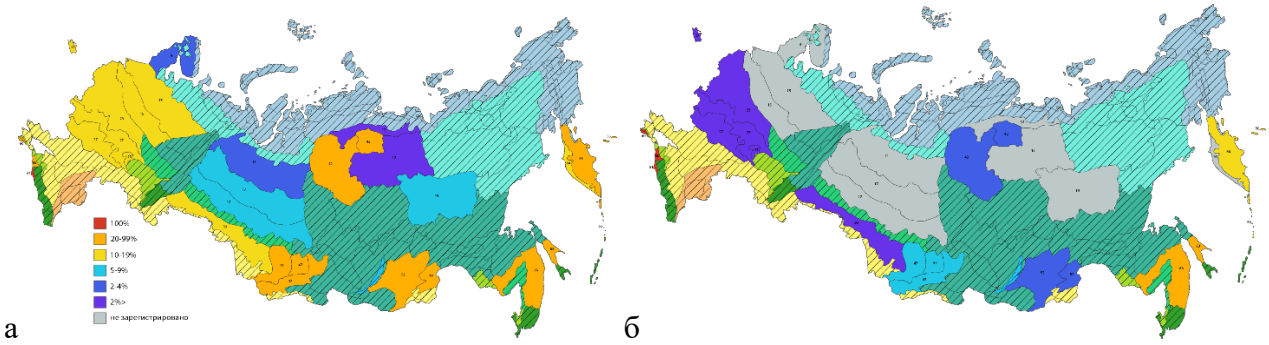


Рисунок 4. Среднее время возвращения сильных дождей в лесных биомах: а – интенсивность достигает первого порогового значения, б – второго

Очень сильный снег выпадает раз в 5 лет и чаще в высокогорьях Сочинского биома, в Алтае-Саянском экорегионе, на Дальнем Востоке и Камчатке. Второе пороговое значение достигается регулярно в приморских биомах Дальнего Востока, а также на Алтае (рис. 5).

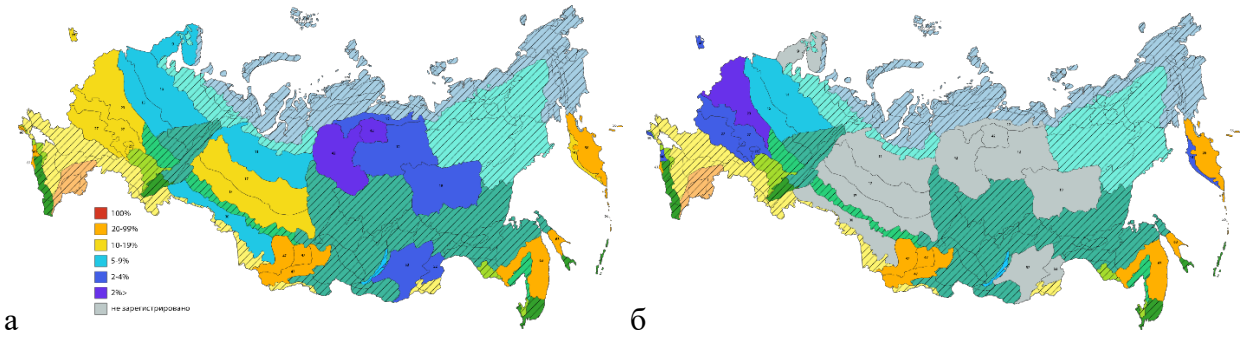
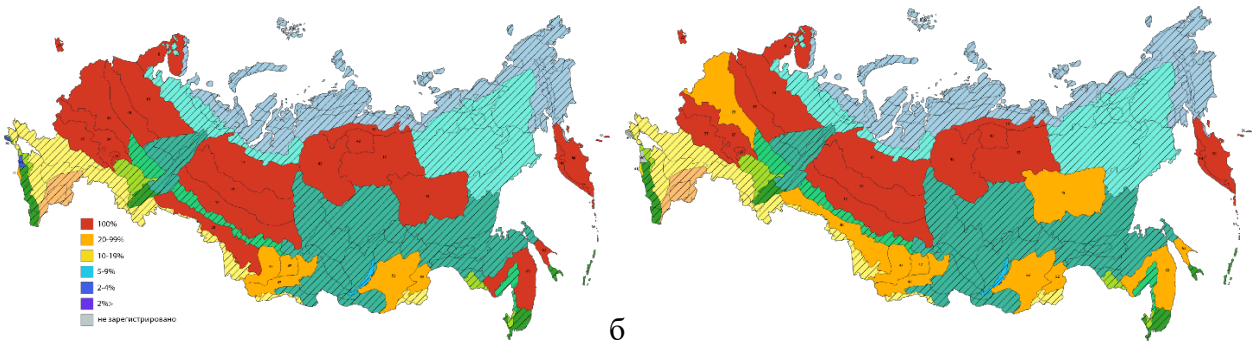


Рисунок 5. Среднее время возвращения сильных снегопадов в лесных биомах: а – интенсивность достигает первого порогового значения, б – второго

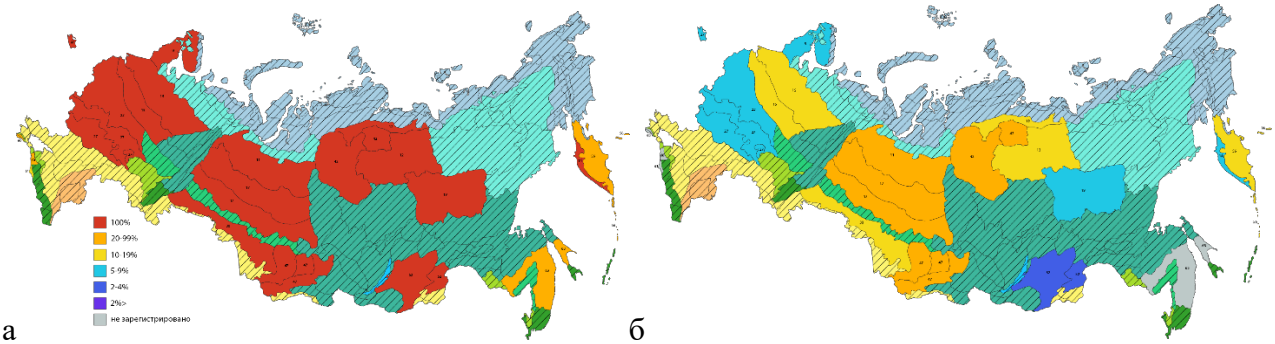
Высокий снежный покров, глубиной 40 см и более, в среднем формируется хотя бы на один день ежегодно во всех биомах, за исключением Саяно-Южнозабайкальского (зимний минимум осадков) и Крымско-Новороссийского (большинство осадков зимой выпадает в жидкой фазе), Сочинского (характерен в высокогорьях и отсутствует на побережье). Исходя из среднего числа дней с высоким снежным покровом второго порогового уровня, хотя бы на одной из станций он отмечается в большинстве лесных биомов (рис. 6).



а б

Рисунок 6. Среднее время возвращения высокого снежного покрова в лесных биомах: а – интенсивность достигает первого порогового значения, б – второго

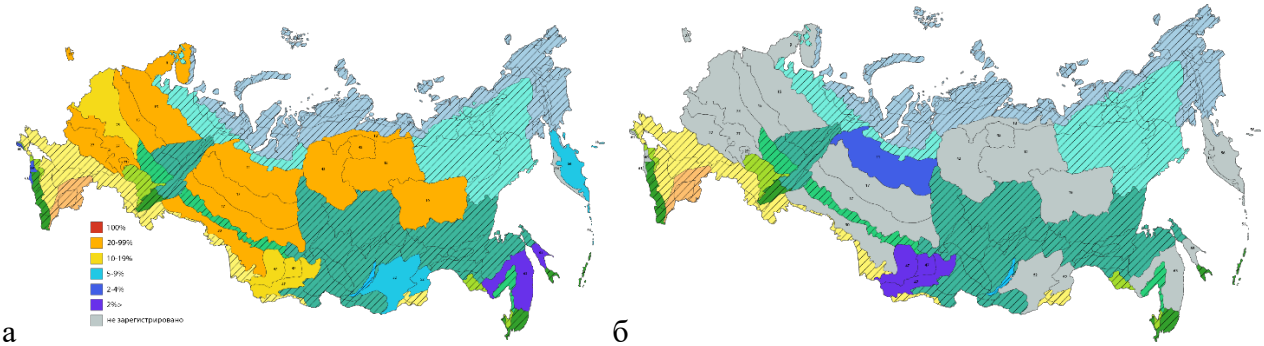
Аномально холодная погода в среднем наблюдается ежегодно почти во всех лесных биомах. Исключение составляют некоторые из приморских регионов, что связано с отепляющим воздействием крупных водоемов. В Западной и Восточной Сибири второй пороговый уровень достигается каждые 5 лет и чаще (рис. 7).



а б

Рисунок 7. Среднее время возвращения аномально холодной погоды в лесных биомах: а – интенсивность достигает первого порогового значения, б – второго

Аномально жаркая погода, в отличие от аномально холодной, наблюдается в лесных биомах каждые 5 лет и чаще. Исключением являются биомы Черноморского побережья (средние значения летних температур высоки) и приморских биомов Дальнего Востока (смягчающее воздействие океана). Превышение месячной температуры на 15ºС и более отмечено только в Западносибирском северном лесотундрово-северотаежном и Алтае-Саянском биоме как единичное явление (рис. 8).



а б

Рисунок 8. Среднее время возвращения аномально жаркой погоды в лесных биомах: а – интенсивность достигает первого порогового значения, б – второго

Таким образом, с точки зрения потенциально возможного ущерба для природных систем наиболее приоритетной является аномально холодная погода для всех биомов, включая второй катастрофический уровень. Также большую часть лесов каждые 5 лет и чаще охватывают волны жары. Сильные осадки и высокий снежный покров относятся к приоритетным опасным явлениям на Европейской территории России и для приморских биомов Дальнего Востока.

Исследование выполнено в рамках темы НИТР Росгидромета 125030703339-4. Благодарим Богдановича А.Ю. и Мазманянца Г.А. за помощь в обработке данных.

Список литературы

Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы. Под ред. Г.Н. Огуреевой. – М., ИГКЭ. – 623 с.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (TTTR)». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620942 от 2 июля 2014 г. – 2014а.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных характеристик снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201 от 26 августа 2014 г. – 2014б.

Липка О.Н., Андреева А.П., Стишкина С.А. Подверженность природных систем суши опасным гидрометеорологическим явлениям и пороговые значения их воздействий // Фундаментальная и прикладная климатология, 2024. – Т. 10, № 3. – С. 329-377.

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ИЗМЕНЕНИЙ ГЛОБАЛЬНОГО КЛИМАТА (С ДЕТАЛИЗАЦИЕЙ ПО ТЕРРИТОРИИ РФ). СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ГЛОБАЛЬНОГО ПОТЕПЛЕНИЯ

GLOBAL CLIMATE CHANGE MONITORING SYSTEM (WITH DETAILING FOR THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION). CURRENT STATE OF GLOBAL WARMING

Ранькова Э.Я.[1], Антипина У.И.[1,2], Самохина О.Ф.[1], Платова Т.В.[1], Смирнов В.Д.[1]
Rankova E.Ya.[1], Antipina U.I.[1,2], Samokhina O.F.[1], Platova T.V.[1], Smirnov V.D.[1]
[1] Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20б
[2]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской академии наук,
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3; *ant.uly@yandex.ru*

Аннотация. Система мониторинга глобального климата (далее - МК), разработанная в ИГКЭ и функционирующая с 2015 г. (по территории России – с 1998 г.), представляет собой комплексную систему оценки климатических параметров, позволяющую отслеживать как общие тенденции изменения климата, так и региональные особенности климатических изменений, включая циркуляционные режимы и экстремальные режимы температуры и осадков. На глобальном уровне основной особенностью приземного климата 20-21 столетия является глобальное потепление, которое проявляется в устойчивом повышении (примерно с конца 1970-х гг.) приповерхностной температуры, осредненной по территории крупных регионов мира (Земной шар, полушария, континенты, океаны, основные широтные пояса), но характеризуется значительной пространственной неоднородностью. Его интенсивность в Арктике и Европе почти вдвое превосходит среднее значение по Земному шару, а скорость потепления над сушей (температура приземного воздуха - SAT) значительно выше скорости потепления поверхности океанов (температура поверхностного слоя воды - SST). На сегодняшний день, 2024 год, в целом по суше Земного шара, стал самым теплым в истории инструментальных наблюдений (потепление относительно доиндустриального периода 1850-1900 гг. составило +1.437°C). В среднем по территории РФ, самым теплым годом оказался 2020 г. (аномалия 2,02ºC), а в 2024 г. аномалия относительно 1991-2020 гг. составила +1,21ºC – вторая величина в ранжированном по убыванию ряду наблюдений. Экстремально тепло (значения выше 95-го процентиля на станциях) было как в Европейской части России (ЕЧР, +1,36ºC, ранг 2), так и в Азиатской (АЧР, +1,16ºC, ранг 2). В докладе представлены новейшие данные о пространственно-временной структуре глобального потепления и его динамике на протяжении постиндустриального периода (1901-2024) по данным максимально доступных инструментальных наблюдений.

Ключевые слова: климат, мониторинг климата, изменение климата, приземная температура, линейный тренд, глобальное потепление.

Abstract. The Global Climate Monitoring System developed at the Institute of Global Climate and Ecology (IGCE) and operational since 2015 (for the territory of Russia — since 1998), represents an integrated framework for assessing climatic parameters. The system enables the tracking of both global trends in climate change and regional climatic features, including circulation regimes and extreme temperature and precipitation regimes. At the global scale, the dominant characteristic of near-surface climate variations during the 20th–21st centuries is global warming, manifested as a persistent increase (beginning approximately in the late 1970s) in near-surface air temperature averaged over large regions of the world (the globe, hemispheres, continents, oceans, and major latitudinal zones). This warming, however, exhibits pronounced spatial heterogeneity. Its intensity in the Arctic and Europe is nearly twice the global mean, while the rate of warming over land (surface air temperature, SAT) markedly exceeds that over the oceans (sea surface temperature, SST). As of 2024, the mean SAT reached the highest level in the history of instrumental observations, with warming relative to the pre-industrial period (1850–1900) amounting to +1.437°C. Across the Russian Federation, the warmest year on record was 2020 (temperature anomaly +2.02°C), while 2024 ranked second, with an anomaly of +1.21°C relative to the 1991–2020 baseline. Exceptionally high temperatures (95th percentile extremes at meteorological stations) were observed both in the European part of Russia (EPR, +1.36°C, rank 2) and in the Asian part of Russia (APR, +1.16°C, rank 2). The report presents the latest data on the spatiotemporal structure of global warming and its dynamics throughout the post-industrial period (1901–2024), based on the most comprehensive set of available instrumental observations.

Keywords: climate, climate monitoring, climate change, near-surface temperature, linear trend, global warming.

Мониторинг климата Земного шара, осуществляемый ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ИГКЭ), представляет собой интегрированную систему наблюдений и анализа, направленную на оценку состояния и тенденций изменения приземного климата Земного шара. Основные характеристики (объекты мониторинга): приповерхностная температура (над сушей и на акваториях океанов) и атмосферные осадки, характеристики их экстремальных режимов (в соответствии с рекомендациями ВМО) и показатели вихревой (циклонической и антициклонической) активности.

Данные мониторинга (на примере 2024 г.)

По данным глобального мониторинга ИГКЭ (GCCM), 2024 г. стал самым тёплым за всю историю инструментальных наблюдений: аномалия относительно доиндустриального уровня 1850–1900 гг. составила +1,437ºС (в среднем над сушей Земного шара). Тот же вывод опубликован NOAA (NOAA NCEI, 2024а; 2024б: на 0,10 °С выше предыдущего рекорда 2023 г. и на 1,29°С выше среднего показателя XX столетия) и повторен в годовых обзорах ВМО (WMO, 2024; 2025) на основе шести всемирно признанных наборов данных. 2024 г. был первым годом, когда глобальная температура максимально приблизилась к порогу (+1,5°С), установленному Парижским соглашением (Парижское соглашение, 2015).

Скорость современного потепления (1976-2024 гг.) характеризуется ярко выраженной пространственной неоднородностью. В Арктике и Европе она вдвое выше средней по Земному шару (+0,33 и 0,41°С/10 лет против +0,19°С/10 лет), причём темпы роста ускорились после 2010 года. На суше темпы повышения температуры значительно превышают таковые над океанами (тренд за 1976-2024 гг. для суши ЗШ в целом: 0,301/0,297 против 0,157 ºС/10 лет на акваториях океанов).

Согласно (WMO, 2025; BoM, 2024; Copernicus 2024), 2024 год сопровождался экстремальными волнами жары, усилением засушливости в тропических и субтропических регионах, рекордными значениями теплосодержания Мирового океана и потеплением его поверхности и, как результат, увеличением количества экстремально тёплых дней и сокращением продолжительности холодных периодов.

В России 2024 год был, в целом, тёплым. Среднегодовая температура приземного воздуха в среднем по РФ, ЕЧР, АЧР была на 1,21, 1,36, 1,16ºС выше нормы 1991-2020 — вторые величины в соответствующих рядах с 1936 года. Из сезонов более теплыми были лето и осень (аномалия +0,97, +1,80ºС, ранг 2, 3, соответственно). Скорость потепления на территории РФ за 1976–2024 гг. составляет, в среднем, +0,50°С/10 лет, что в 1,75 раза выше средней по суше Земного шара (0,301/0,296ºС ºС/10 лет по данным T3288/CRUTEM5). Наибольшие значения тренда зафиксированы вдоль побережья Северного Ледовитого океана

(+0,8–1,1°C/10 лет). На фоне потепления климата отмечается также тенденция к увеличению годовых сумм осадков (1,8%/10 лет при вкладе в дисперсию 36%).

Ход глобальной температуры, 1901-2024 (рис.9, HadCRUT5, суша+море)

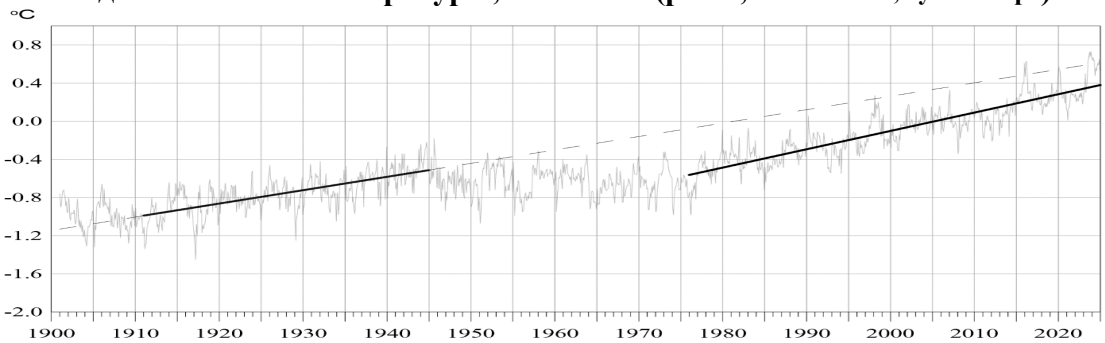


Рисунок 9. Временной ряд среднемесячных аномалий глобальной температуры с шагом 1 месяц (HadCRUT5, (суша+море), 1901-2024 гг. *Деления на шкале ОХ соответствуют годам (месяцы не показаны). Прямыми линиями показаны восходящие тренды за периоды 1911-1944 и 1976-2024.*

Глобально, с начала 20-го века, выделяются два периода потепления: 1911–1945 гг. и современный, начавшийся с середины 1970-х. Они заметны практически во всех крупных регионах и отражают ключевые вехи температурного режима: минимум 1910-х годов, максимум 1940-х, вторичный минимум 1970-х и последующее устойчивое потепление, продолжающееся до настоящего времени. Между двумя волнами потепления отмечается 30-летний период ненаправленных колебаний (1946–1975), характеризующийся слабым и статистически незначимым нисходящим трендом (рис. 9).

Пространственно-временные особенности процесса потепления (рис. 10)

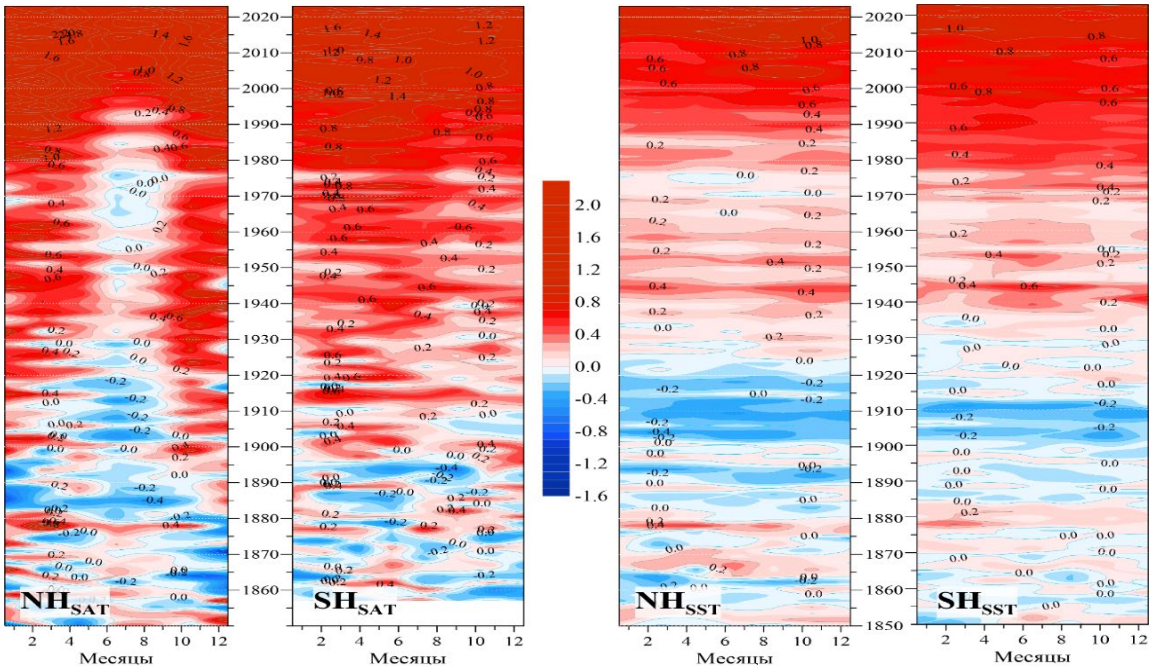


Рисунок 10. Двумерные изоплеты (год-месяц) среднемесячных аномалий глобальной температуры приземного воздуха SAT и поверхностного слоя воды SST для Северного (NH) и Южного (SH) полушарий, 1850 – 2024 гг. *Использованы данные Hadley/CRU (CRUTEM5, SAT; HadSST, SST). Аномалии рассчитаны для каждого месяца относительно 1850-1900 гг. (доиндустриальный период)*

В соответствии с рис.10, к особенностям потепления следует отнести: (1) почти полное отсутствие сезонного хода в океанах; (2) потепление 1940-х, известное как «потепление Арктики» и отмеченное в океанах обоих полушарий: Северного (+0.176 ºC/10 лет) и Южного (+0.136 ºC/10 лет); (4) которое фиксируется уже в начале 1970-х в Южном полушарии и до 1990-2000 гг. протекает здесь более активно, особенно на океанических акваториях.

ВременнАя структура потепления (рис. 11). Для анализа временной структуры многолетних изменений глобальной температуры ниже используются скользящие оценки в некоторой окрестности интересующих нас временных масштабов, причем оценки не только трендов, но, как минимум, еще и средних. Метод сродни вейвлетному анализу, но алгоритмически более простой и более наглядный для интерпретации. Выбранная статистика (среднее или коэффициент линейного тренда) рассматривается как функция двух переменных f(x,y) и отображается на двумерной диаграмме, координатами которой служат: x – конечный год периода оценивания, y – длина периода оценивания. ***В этом случае каждая точка диаграммы (x0, y0) характеризует состояние климата на конкретном отрезке времени [x0-y0+1, x0], а в случае аномалий – изменение климата за этот период относительно базового периода***. Данный подход был использован нами в (Груза и др., 2016), по данным ИГКЭ (T3288, суша) за период 1901-2015 гг. Ниже анализ выполнен по данным о глобальной температуре HadCRUT5 (суша+море) за 1901-2024 гг.

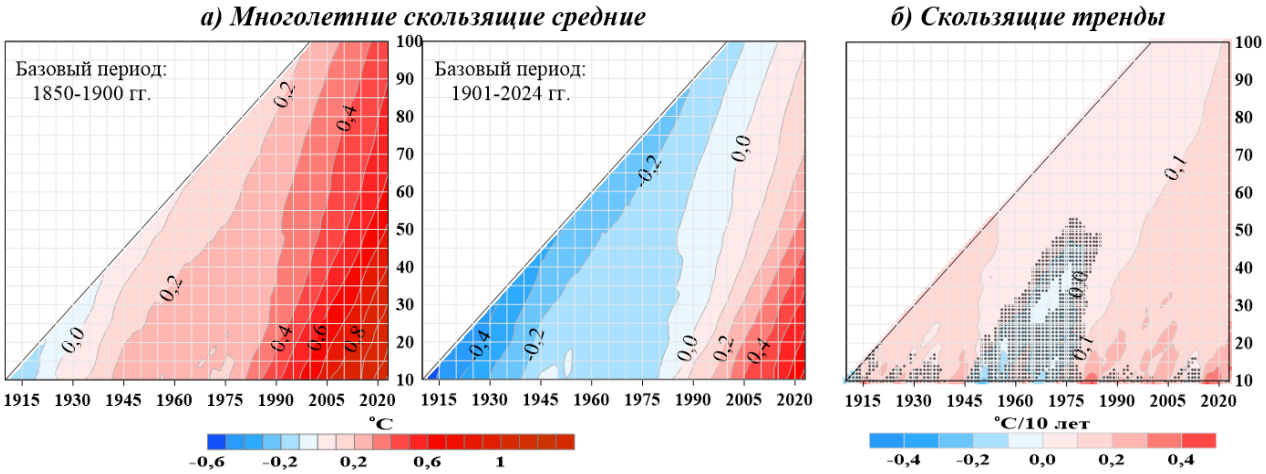


Рисунок 11. Многолетние средние (а) и коэффициенты линейного тренда (б) аномалий приповерхностной глобальной температуры Земного шара в зависимости от длины периода оценивания (oX) и его конечного года (oY)

Средняя многолетняя аномалия глобальной температуры стала положительной около 1930 г., превысив доиндустриальный уровень и больше к нему не возвращаясь. За период 1901–2024 гг. десятилетняя средняя температура повысилась с -0,13 °C до +1,18 °C, а последние 10 лет (2015–2024) оказались теплее начала XX века на 1,3 °C. Последние полвека были теплее доиндустриального климата более чем на 0,7 °C, а последние сто лет – на 0,47 °C.

Скользящие аномалии (рис. 11) показывают, что все многолетние средние с конца 1970-х гг. превышают средний уровень за весь период наблюдений, а скользящие тренды, также с конца 1970-х, устойчиво положительны. ***На интервалах длительностью от 10 до 100 лет, заканчивающихся не раньше середины 1970-х, восходящий тренд статистически значим (на уровне 5%), что указывает на начало активной фазы современного глобального потепления именно в этот период.***

О мониторинге экстремальных режимов температуры и осадков на территории РФ. *(*В соответствии с рекомендациями ВМО.) Технологическая линия апробирована на данных 2020-2023 гг. и рекомендована ЦМКП к использованию в МК на регулярной основе (ЦМКП, 2025)

О мониторинге индексов вихревой (циклонической и антициклонической) активности в Северном полушарии. Технологическая линия апробирована на данных 2020-2023 гг. и рекомендована ЦМКП к использованию в МК на регулярной основе (ЦМКП, 2025).

О сопряжении глобальных полей приповерхностной температуры *(SAT+SST)* Полученные результаты показывают высокую согласованность с одноименными глобальными полями по данным Hadley/CRU. Процедура предназначена к использованию в МК для предоставления полной картины распределения температуры над сушей и океанами.

Список литературы

Груза Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В., Самохина, О.Ф. (2016) Климатические особенности температурного режима у поверхности Земли в 2015 г., Фундаментальная и прикладная климатология, № 1, с. 104-136.Ранькова и др. Особенности температурного режима у поверхности Земного шара в 2024 году //Фундаментальная и прикладная климатология. – 2025. – Т. 11. - № 2. – С. 237-279.

ИГКЭ (2023) Мониторинг изменений климата Земного шара, электронный ресурс, URL: http://www.igce.ru/climatechange

Парижское соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (2015), электронный ресурс, URL: https://unfccc.int/files/meetings/paris_nov_2015/ application/pdf/paris_agreement_russian_.pdf

BoM (2024) Australian Government Bureau of Meteorology, State of the Climate 2024, available at: http://www.bom.gov.au/state-of-the-climate/

Copernicus (2024) The 2024 Annual Climate Summary, Global Climate Highlights 2024, Copernicus, Climate Change Service, available at: https://climate.copernicus.eu/global-climate-highlights-2024

IPCC (2021) Climate Change 2021 The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-

Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, available at: doi 10.1017/9781009157896

NASA (2024) Temperatures Rising: NASA Confirms 2024 Warmest Year on Record. Jan 10, 2025, available at: https://www.nasa.gov/news-release/temperatures-rising-nasa-confirms-2024-warmest-year-on-record/

NOAA NCEI (2024a) National Centers for Environmental Information, Global Climate Report. Annual 2024, available at: https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202413

NOAA NCEI (2024б) National Centers for Environmental Information, Assessing the Global Climate in 2024, available at: https://www.ncei.noaa.gov/news/global-climate-202413

TCC JMA (2025) Global temperature for 2024 was the highest since 1891, Tokyo Climate Center, Japan Meteorological Agency, TCC News, Winter 2025, No. 79, available at: https://www.data.jma.go.jp/tcc/data/news/tccnews79.pdf

The State's Comprehensive Planning Agency. List of Worldwide Scientific Organizations, Governor's OPR (2024), available at: https//www.opr.ca.gov/facts/list-of-scientific-organization

WMO (2024) WMO confirms 2024 as warmest year on record at about 1.55°C above pre-industrial level. 10 января 2025, ВМО, электронный ресурс, URL: https://wmo.int/news/media-centre/wmo-confirms-2024-warmest-year-record-about-155degc-above-pre-industrial-level

WMO (2025) State of the Global Climate 2024, World Meteorological Organization, Publication Series, 19 March 2025, available at: https://wmo.int/publication-series/state-of-global-climate-2024

ДИСПРОПОРЦИИ В РАЗРАБОТКЕ И РЕАЛИЗАЦИИ МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ В РОССИИ

DISPROPORTIONS IN THE DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF MITIGATION AND ADAPTATION IN RUSSIA

Романовская А.А.

Romanovskaya A.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *an_roman@igce.ru*

Аннотация. Рассматривается нормативная база для реализации мероприятий по митигации и адаптации в Российской Федерации. Выполнен анализ пробелов в эффективном регулировании этих мероприятий. В частности, для успешной реализации митигации недостает соответствия утвержденных национальных целей данным национального кадастра антропогенных выбросов и поглощений парниковых газов и научно-обоснованным сценариям достижения целей Парижского соглашения. Кроме того, отсутствуют национальный план мероприятий по реализации Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года, а также отраслевые и корпоративные обязательства по сокращению выбросов. В области адаптации к изменениям климата основным пробелом является отсутствие количественных целей по адаптации на национальном уровне, а также сведение адаптации к уровню региональных, отраслевых и локальных мероприятий, в то время как наиболее эффективные меры должны быть реализованы на федеральном уровне. Составлена балльная оценка эффективности реализации митигации и адаптации в России, которая показывает пропорциональное соотношение 1:2 в пользу адаптации.

Ключевые слова: митигация, адаптация, пробелы в регулировании, эффективность мероприятий.

Abstract. This article examines the regulatory framework for implementing mitigation and adaptation measures in the Russian Federation. A gap analysis of the effective regulation of these measures is conducted. Specifically, for successful mitigation implementation, there is a lack of alignment between the approved national targets and the national inventory of anthropogenic greenhouse gas emissions and removals and science-based scenarios for achieving the goals of the Paris Agreement. Furthermore, there is no national action plan for the implementation of the Strategy for the Socioeconomic Development of the Russian Federation with Low Greenhouse Gas Emissions until 2050, nor are there industry and corporate commitments to reduce emissions. In the area of adaptation to climate change, the main gap is the lack of quantitative adaptation targets at the national level, as well as the reduction of adaptation to regional, sectoral, and local level, while the most effective measures should be implemented at the federal level. A point-based assessment of the effectiveness of mitigation and adaptation in Russia has been compiled, showing a proportional ratio of 1:2 in favor of adaptation.

Keywords: mitigation, adaptation, gaps in regulation, effectiveness of measures.

В Российской Федерации развивается законодательная и нормативная база для реализации климатических действий в области митигации (смягчение антропогенного воздействий на климатическую систему) и адаптации к изменениям климата.

В части митигации основополагающими национальными документами являются указы Президента России по утверждению климатической доктрины, предусматривающей достижение баланса выбросов и поглощения парниковых газов (ПГ) не позднее 2060 г., и национальным целевым показателям сокращения выбросов до 75% к 2020 г., 70% к 2025 и 65-67% к 2035 г. от уровня 1990 г. с учетом нетто-поглощения в экосистемах и при выполнении ряда экономических условий (Указ, 2013, 2020, 2023, 2025). Эти целевые показатели положены в основу определяемых на национальном уровне вкладов Российской Федерации (ОНУВ) в рамках Парижского соглашения. Федеральный закон по ограничению выбросов ПГ (ФЗ 296, 2021) предусматривает полномочия и обязанности ответственных органов

исполнительной власти, а также формирует основу отчетности предприятий по выбросам ПГ и реализации климатических проектов. Региональный эксперимент (ФЗ 34, 2022) закладывает основы квотирования выбросов ПГ в отдельных субъектах РФ (Сахалинская обл.). В 2021 г. была утверждена Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 г. (Стратегия, 2021), предусматривающая основные мероприятия по сокращению выбросов в различных отраслях экономики.

В области планирования и разработки мероприятий по митигации наиболее серьезной проблемой является несогласованность утвержденных целевых показателей и текущего уровня нетто-выбросов ПГ в России (рис. 12).

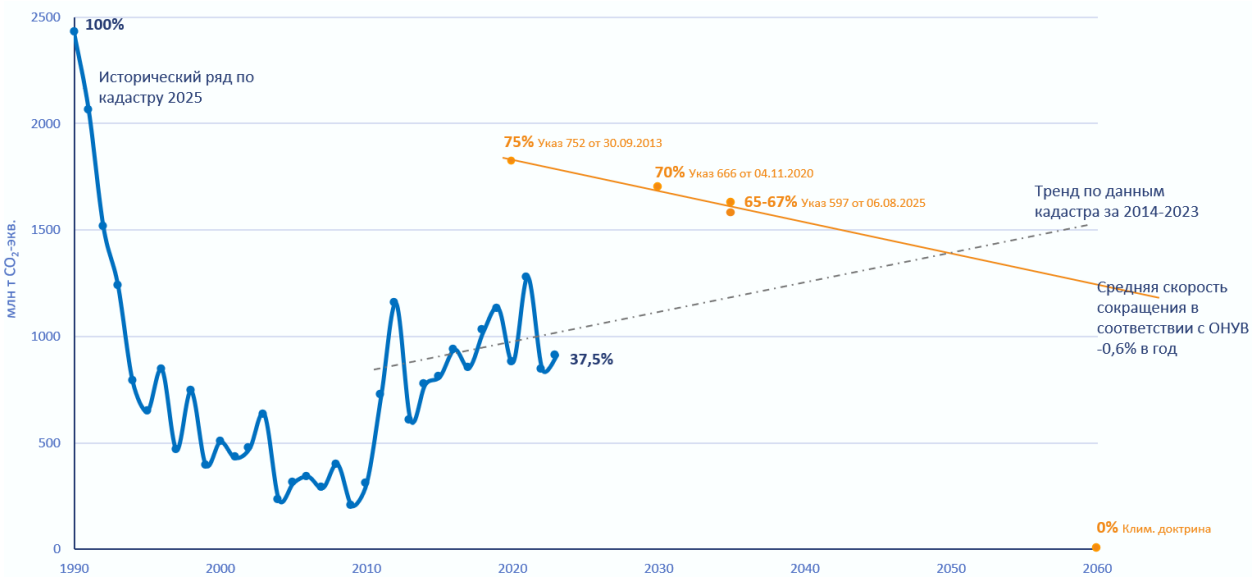


Рисунок 12. Исторический и прогнозный ряд по нетто-выбросам ПГ: исторический ряд по данным национального кадастра антропогенных выбросов и поглощений ПГ; прогнозный линейный тренд нетто-выбросов по данным кадастра за 2014-2023 гг.; желтым обозначены утвержденные целевые показатели сокращения выбросов ПГ

По результатам реализации ВИП ГЗ (ВИП ГЗ, 2022) данные национального кадастра антропогенных выбросов и поглощений ПГ (НДК, 2025) были существенно пересчитаны по сравнению с кадастрами предыдущих лет (Романовская и др., 2025). В частности, оценка антропогенных нетто-выбросов ПГ в России за 2021 г. сократилась от 1,7 до 1,1 млрд т. CO_2-экв. В 2023 г. антропогенные нетто-выбросы оценены равными 0,9 млрд т CO_2-экв., что соответствует 37,5% от уровня 1990 г. Даже в случае отсутствия дополнительных мероприятий по митигации (сценарий «бизнес как обычно») линейный тренд нетто-выбросов ПГ, построенный по данным за последние 10 лет кадастра, показывает, что целевые показатели 2030 и 2035 гг. недостижимы, как было и в случае с 2020 г. Целевые показатели, предусматривающие рост выбросов ПГ вместо их сокращения, не соответствует сценариям

выбросов ПГ, разработанным МГЭИК для реализации цели Парижского соглашения по непревышению увеличения средних температур на 1,5-2°C (IPCC, 2021).

Скорость ежегодного сокращения выбросов ПГ на основе утвержденных целевых показателей соответствует примерно 0,6 процентных пункта (п.п.). Для выполнения цели национальной климатической доктрины и достижения нулевых нетто-выбросов в 2060 г. после 2035 г. придется сокращать выбросы со средней скоростью 2,6 п.п. в год, в то время как в случае сокращения выбросов уже от настоящего времени скорость будет сопоставима с тем, что предусмотрено в ОНУВ (1,0 п.п. в год).

Помимо проблем с согласованностью целевых показателей для эффективного регулирования митигации необходим национальный план реализации Стратегии, разработка соответствующих целевых показателей по отраслям экономики и дезагрегация их по отдельным предприятиям. Уровень отчетности по выбросам ПГ в стране пока низкий: добровольная отчетность субъектов имеет гриф ДСП и недоступна для анализа, отчетность предприятий в реестре выбросов ПГ не проходит обязательную независимую верификацию (за исключением регионального эксперимента). Имеются существенные пробелы в нормативном регулировании добровольного углеродного рынка и климатических проектов.

В рамках адаптации в России утверждены национальные планы мероприятий первого и второго этапов (План, 2019, 2023) со сроком действия 3 года (2020-2022 и 2023-2025). Разработаны и однажды уже актуализированы отраслевые планы по адаптации (10 шт.) и 82 региональных плана по адаптации. Минэкономразвития России разработаны методологические документы по оценке климатических рисков и оценке возможного ущерба от их воздействия.

Среди наиболее существенных пробелов в регулировании адаптации можно выделить отсутствие национальных количественных целей, индикаторов и показателей эффективности адаптации. Несмотря на то, что на международном уровне активно разрабатывается набор индикаторов для количественного определения Глобальной цели по адаптации в рамках Парижского соглашения, такие показатели на национальном уровне в РФ отсутствуют. Соответственно, отчетность по адаптации основывается на количестве разработанных планов, а не реальной эффективности мер. Последняя должна основываться на мониторинге ежегодной величины потерь и ущерба от изменений климата, которая в условиях эффективной адаптации, как минимум, не увеличивается.

Значительный потенциал для совершенствования адаптации в стране является разработка сутевого национального плана, содержащего собственно мероприятия по адаптации на федеральном уровне. Сведение мероприятий по адаптации на низкие уровни, региональный, локальный, уровень предприятий может привести к маладаптации

(псевдоадаптации), когда изолированно применяются дорогостоящие мероприятия защиты того или иного объекта, в то время как более эффективные масштабные меры не входят в охват мероприятий. Например, необходимы межрегиональные, межотраслевые мероприятия на основе грамотного территориального планирования крупных регионов страны, в частности, при адаптации к проблемам низкой водообеспеченности регионов, паводков и наводнений, вечной мерзлоты, развитию опустынивания и деградации экосистем (Эдельгериев и Романовская, 2020). Пока в России среди лиц, принимающих решения, не сформировано понимание ограничений в адаптации к изменению климата и росту стоимости таких мероприятий при нарастании негативных последствий изменения климата в будущем. В то время как именно эти факты определяют необходимость сбалансированной реализации мер по митигации и адаптации.

На основе выполненной балльной оценки эффективности планирования и реализации мероприятий по митигации и адаптации в стране составлена диаграмма (рис. 13). Анализ показывает, что наибольшие пробелы относятся к национальному уровню: в области наличия количественных целей (адаптация) и их соответствия научно-обоснованным сценариям (митигация и адаптация).

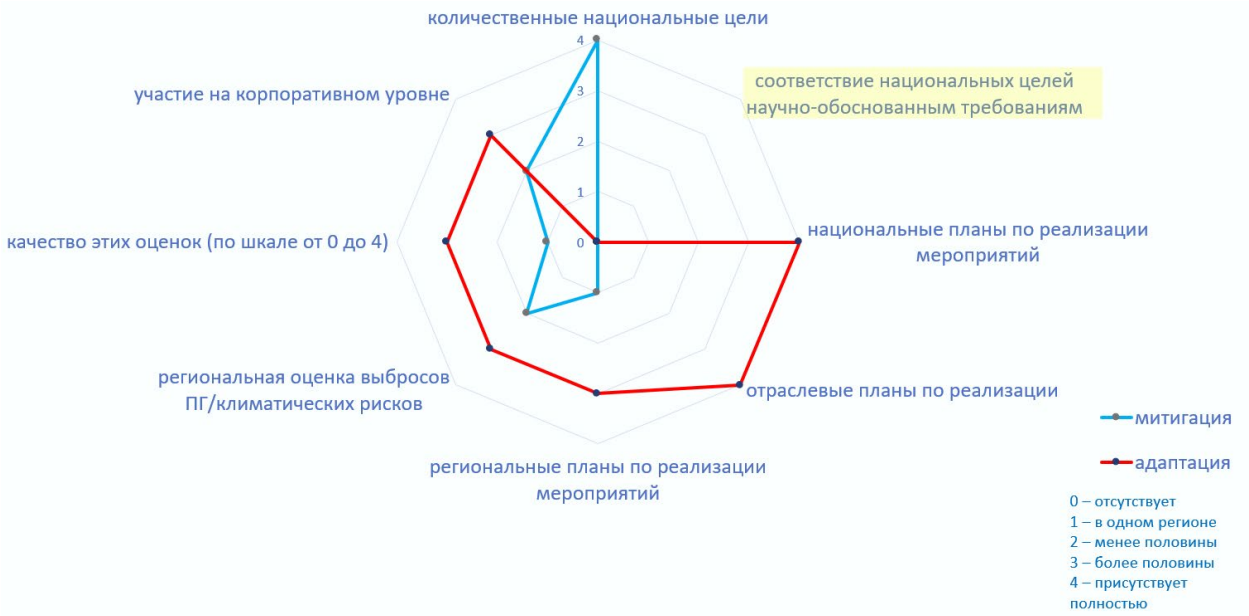


Рисунок 13. Сопоставление эффективности планирования и реализации митигации и адаптации в России

Полученная пропорция по суммарным баллам показывает соотношение 10:20. Таким образом, развитие и реализация адаптации в России в настоящее время можно оценить примерно в 2 раза более успешнее, чем в области митигации.

Список литературы

ВИП ГЗ, 2022. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2022 № 3240-р (ред. от 20.04.2024) «Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" и плана мероприятий ("дорожной карты") по реализации его первого этапа (2022 - 2024 годы)».

НДК, 2025. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов за 1990-2023 годы. Часть 1. Москва, Росгидромет, ФГБУ «ИГКЭ» 2025. 422 стр.

План, 2019. Национальный план мероприятий первого этапа адаптации к изменениям климата на период до 2022 года, утв. Распоряжением Правительства РФ от 25 декабря 2019 года №3183-р.

План, 2023. Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года, утв. Распоряжением Правительства РФ от 11 марта 2023 г. № 559-р.

Романовская А.А., Гинзбург В.А., Гладильщикова А.А., Коротков В.Н., Бабиков И.В., Бакурова Э.Ю., Вертянкина В.Ю., Говор И.Л., Зайнулин С.М., Зеленова М.С., Имшенник Е.В., Козлова Е.Н., Лытов В.М., Нахутин А.И., Пожидаева А.Е., Позднякова Е.А., Полумиева П.Д., Попов Н.В., Самохвалов Д.М., Сорокина Д.Д., Трунов А.А., Шепелёва И.С. Антропогенные потоки парниковых газов в России. Метеорология и гидрология. 2025, №9, стр. 58- 83. DOI: 10.52002/0130-2906-2025-9-58-83

Стратегия, 2021. Распоряжение Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года».

Указ, 2013. Указ Президента РФ от 30.09.2013 № 752 «О сокращении выбросов парниковых газов».

Указ, 2020. Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 г. № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».

Указ, 2023. Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации».

Указ, 2025. Указ Президента Российской Федерации от 06.08.2025 № 547 «О сокращении выбросов парниковых газов».

ФЗ 296, 2021. Федеральный закон «Об ограничении выбросов парниковых газов» от 02.07.2021 № 296-ФЗ.

ФЗ 34, 2022. Федеральный закон «О проведении эксперимента по ограничению выбросов парниковых газов в отдельных субъектах Российской Федерации» от 06.03.2022 г. № 34-ФЗ.

Эдельгериев Р.С.Х., Романовская А.А. Новые подходы к адаптации к изменению климата на примере Арктической зоны РФ. Метеорология и гидрология. 2020. №5, стр. 12 -28.

IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp. doi:10.1017/9781009157896

ОЦЕНКИ ВОДНОГО БАЛАНСА КРУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

ESTIMATES OF THE WATER BALANCE OF LARGE ARCTIC RIVERS IN A CHANGING CLIMATE

Черногаева Г.М.

Chernogaeva G.M.

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

Аннотация. Изменение климата в XXI веке в наибольшей степени проявляется в арктической зоне восточного и западного полушарий планеты. На примере р. Лена (Россия) и р. Маккензи (Канада) - крупнейших арктических рек, испытывающих минимальную антропогенную нагрузку, проведено междисциплинарное исследование водного баланса и выявлены проблемы, которые мешают их эффективной оценке.

Ключевые слова: палеогеографические условия, атмосферные осадки, температура воздуха, водные ресурсы, взвешенные вещества, криолитозона, экологическое состояние.

Abstract. Climate change in the 21st century is most pronounced in the Arctic zone of the eastern and western hemispheres of the planet. Using the example of the Lena River (Russia) and the Mackenzie River (Canada), the largest Arctic rivers experiencing minimal anthropogenic stress, an interdisciplinary study of the water balance was conducted and problems that hinder their effective assessment were identified.

Keywords: paleogeographic conditions, precipitation, air temperature, water resources, suspended solids, cryolithozone, ecological status.

Изменение климата в XXI веке в наибольшей степени проявляется в арктической зоне. Однако анализ научно-технической отечественной и зарубежной литературы свидетельствует о неадекватных оценках воздействий изменения климата в арктической зоне на поступление пресных речных вод в Северный Ледовитый океан, вынос с ними химических и взвешенных веществ и общую оценку состояния крупных экосистем речных бассейнов (р. Лена и р. Маккензи).

Реки Лена и Маккензи являются крупнейшими реками арктической зоны восточного и западного полушарий Земли. Обе реки текут с юга на север, пересекая одни и те же климатические пояса (рис. 14, 15).

Несмотря не некоторое сходство физико-географических характеристик бассейнов имеются значительные различия в оценках речного стока и выноса в океан химических и взвешенных веществ (табл. 4).

Рисунок 14. Бассейн Лена (Большая российская энциклопедия, 2004)

Рисунок 15. Бассейн р. Маккензи (Карта водосборного бассейна…, 2025)

Таблица 4. Физико-географические характеристики рек Лена и Маккензи (Большой атлас…, 2004; Гельфан и др., 2021; Долгополова и др., 2021; Daqing Yang et al., 2014; Stewart B. Rood et al, 2016)

Параметры		**Лена**	**Маккензи**
Координаты истока: с. ш. / в. д.		53°55'57" / 108°05'05"	61°11'37" / 117°20'52"
Площадь бассейна, млн км^2		≈2,49	≈1,8
Длина реки, км		≈ 4294	≈ 1700
Q, м^3/сек		≈ 16800	≈ 9630 - 11000
W, мм/год		≈530	≈300
W_R,млн т/год		≈ 22,5	≈ 120
Плотность населения, чел./км^2		менее 1	
Климатические пояса		Арктический, субарктический, гумидный (умеренный)	
P, мм/год		≈ 200 - 800 (в зависимости от местоположения метеостанции: равнина, горы)	
T, °C	декабрь	≈ -25 до -43; ≈-32 до -36	≈ -25 и ниже; ≈ -24 до -30
	июль	≈17 до 30; ≈4 до 8	≈ 16; ≈4 до 8
	среднегодовая	≈-15	≈ -11

≈ в отдельных исследованиях данные могут быть ниже или выше приведенных в таблице значений

Рост среднегодовой температуры наблюдается в Российской Арктике с 1970-х гг. и резко ускоряется в 21 веке, в целом 0,70˚С/10 лет (рис. 16). Из сезонов самое быстрое потепление отмечалось весной (0,85˚С/10 лет).

За период с 1976 по 2024 гг. наблюдается рост среднегодовых осадков в целом по Российской Арктике: 2,2% нормы за 10 лет (рис. 17). Рост весенних осадков составляет 5,3% нормы за 10 лет. Зимой и летом изменений в режиме выпадения осадков не наблюдается (Обзор…, 2020-2024).

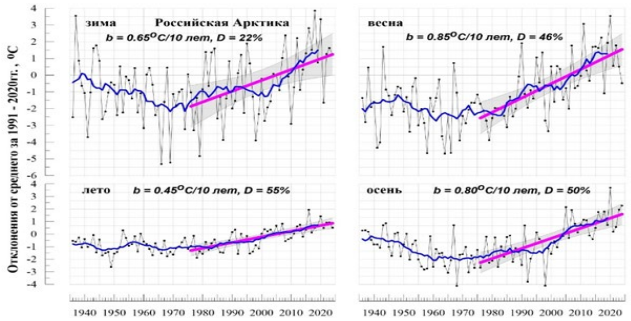


Рисунок 16. Сезонные аномалии температуры воздуха в Российской Арктике в 1936-2024 гг. Жирная синяя кривая – 11-летнее скользящее среднее. Показан линейный тренд за 1976-2024 гг. (Обзор…, 2024)

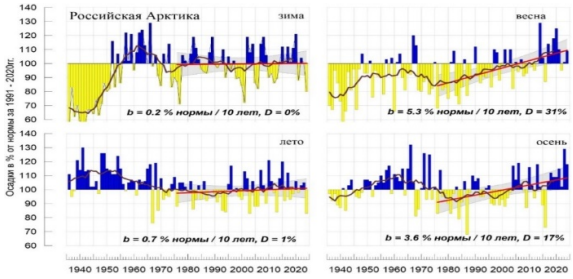


Рисунок 17. Сезонные суммы осадков (% нормы) в Российской Арктике в 1936-2024 гг. Жирная темная кривая – 11 летнее скользящее среднее. Красная прямая – линейный тренд за 1976-2024 гг. (Обзор…, 2024)

Средние многолетние и сезонные изменения температуры воздуха и атмосферных зависят не только от выбора временного ряда, но также и от методических подходов к оценке этих параметров.

Специфика гидрологических характеристик в бассейне Лены во многом определяется комплексом связанных между собой факторов. Прежде всего, несмотря на выраженную в его равнинной части широтную географическую зональность и высотную поясность в горных частях территории, северным в целом положением бассейна, предопределяющим суровость климата, следствием чего являются низкие среднегодовые значения температуры воздуха, длительный зимний и короткий летние периоды. В результате практически на всей территории распространена вечная (многолетняя) мерзлота с небольшой величиной деятельного (оттаивающего) слоя, что препятствует инфильтрации.

На рис. 18 представлены среднесуточные осадки по участкам бассейна в целом в среднем по водности 2014 г. Расчеты подтверждают, что большая часть осадков, формирующих сток, выпадает в виде жидких в теплый период года.

На рис. 19 представлены средние суточные температуры воздуха (˚С) по участкам бассейна и бассейну р. Лена в целом по средней водности 2014 г.

Разность между днями с отрицательными температурами в истоке и низовьях Лены составляет более месяца, как и разность в датах наступления максимальных расходов воды в половодье между участками бассейна в среднем по водности году. Средняя годовая температура воздуха в текущем столетии в Арктике повысилась, однако пока неясно, как это сказалось на величине годового стока (Черногаева и др., 2025).

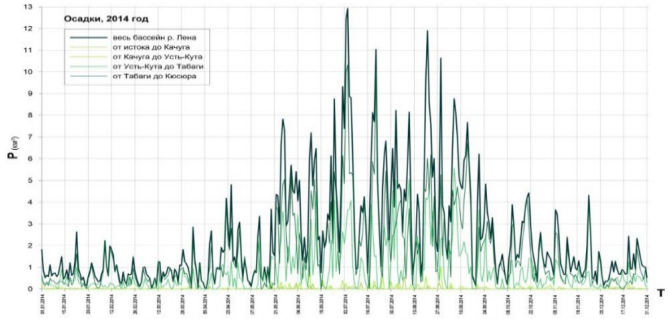


Рисунок 18. Средние суточные осадки (км^3) по участкам бассейна р. Лена и бассейну в целом (Черногаева и др., 2025)

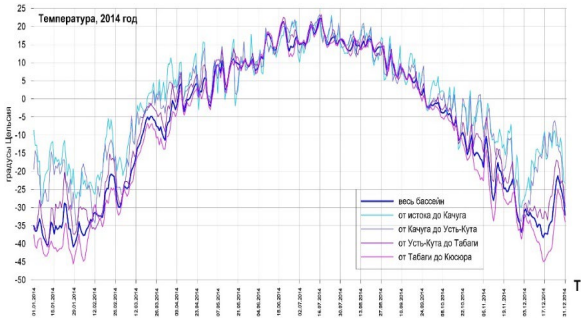


Рисунок 19. Средние суточные температуры воздуха (˚С) по участкам бассейна и бассейну р. Лена в целом

ВМО для стран участниц предложила за базовый период в отношении температуры и осадков использовать период 1991-2020 гг. Для получения средних годовых значений осадков за этот период использовался массив R3288m - месячных значений осадков на 3288 станциях мира с 1901 по 2024 гг. Сначала был получен массив многолетних среднемесячных осадков (норм) на 3288 станциях за 30-летний период 1991-2020 гг., а затем получены многолетние годовые суммы осадков на 3288 станциях (рис. 20, 21). Плотность метеостанций в бассейне р. Лена значительно выше, чем в р. Маккензи.

В соответствии со шкалой осадков, очевидно, что правая горная сторона бассейна р. Лена увлажняется в 2,5 раза больше, чем левая, в основном, равнинная, в связи с чем приточность воды справа выше.

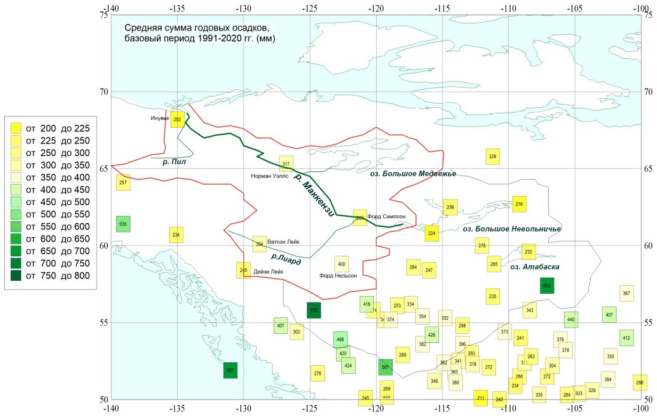


Рисунок 20. Карта среднегодовых осадков р. Маккензи

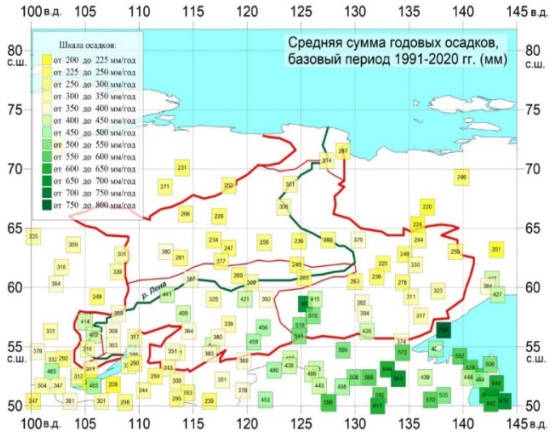


Рисунок 21. Карта среднегодовых осадков р. Лена

В речных бассейнах наблюдается асимметрия речных долин. В бассейне Лена с востока хребты перекрывают поступление теплых воздушных масс с Тихого океана, а в бассейне Маккензи Скалистые горы и горы Маккензи - с западной стороны.

Наличие высокогорной преграды для широтной циркуляции воздушных масс является причиной того, что смена природных зон на Североамериканском континенте происходит в

двух направлениях: с севера на юг (широтная зональность) и от океанических окраин к центральным районам (меридиальная зональность). Таким же образом изменяются водобалансовые характеристики континента – осадки, испарение с поверхности суши и речной сток (рис. 22).

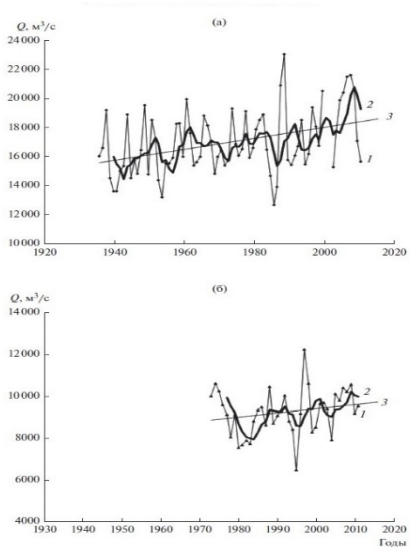


Рисунок 22. Многолетние изменения расхода воды Лены (г/п Кюсюр) (а) и Маккензи (г/п Ред-Арктик-Ривер) (б). *1 – среднегодовые расходы воды, 2 – осредненные за 5 лет, 3 – многолетний тренд* (Долгополова и др., 2021)

Значительное влияние на водный баланс, и в первую очередь на сток оказывает геологическое строение, характер почв, наличие оледенения. Арктические острова, большая часть Аляски, северная и центральная части (до 50°с. ш.) Канады являются районами сплошного и островного развития многолетнемерзлых пород. Широкое распространения мерзлых грунтов, ледниковый рельеф, близкое залегание к поверхности водоупорных пород (Канадский кристаллический щит) в сочетании с достаточной увлажненностью способствовали интенсивному развитию поверхностных вод – рек и озер, заболоченности, слабой эрозийной деятельности рек и скудности подземных вод.

Основной сток наносов в обеих реках происходит в период прохождения половодья или паводков. Средний многолетний сток взвешенных наносов р. Лены (г/п Кюсюр) составляет 22,5 млн т/год, а р. Маккензи ~128 млн т/год (Долгополова и др., 2021). Сток наносов в р. Маккензи более чем в 6 раз больше стока наносов в р. Лена, несмотря на почти вдвое больший сток воды Лена, в результате того, что Канадский кристаллический щит перекрыт достаточно мощным слоем легко размывающихся аллювиальных пород (пески, гравий, глина).

Изменение климата в Арктике происходит быстрее, чем в среднем по миру, поэтому необходимы дальнейшие исследования для определения возможных изменений характеристик сезонного стока арктических речных систем, питающих Северный Ледовитый океан. Как указано выше, необходимые исследования речных бассейнов должны носить

междисциплинарный характер с учетом всего комплекса определяющих факторов: географическое положение, рельеф, характеристики ландшафтов, гидрографической сети с учетом геоморфологических особенностей; данных прямых наблюдений – осадков, температуры, расходов, гидрохимических и гидробиологических показателей качества воды.

Список литературы

Большой атлас России. М., Астрель, 2004, 153 с.

Большая российская энциклопедия (2004) URL: https://old.bigenc.ru/geography/text/3937543/

Гельфан А.Н., Фролова Н.Л., Магрицкий Д.В., Киреева М.Б., Григорьев В.Ю., Мотовилов Ю.Г., Гусев Е.М. Влияние изменения климата на годовой и максимальный сток рек России: Оценка и прогноз // Фундаментальная и прикладная климатология, 2021, т.7. №1, с. 36–76.

Долгополова Е.Н., Исупова М.В. Условия формирования стока и гидролого-морфологичеких процессов в дельтах криолитозоны: дельты рек Лены и Маккензи // Водные ресурсы, 2021, т.48. №4, с. 390–406.

Карта водосборного бассейна реки Маккензи, включая притоки и крупные озера; Северо-Западные территории, Канада (2025). URL: https://www.reddit.com/r/MapPorn/comments/4qhaqp/map_of_mackenzie_watershed_including_tributaries/?tl=ru

Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации // Ежегодное издание. Отв. ред. Г.М. Черногаева - М., Росгидромет. 2000-2024.

Черногаева Г.М. и др. Факторы формирования стока и состояния экосистемы реки Лена в XXI веке. Часть 1. Природно-климатические и антропогенные факторы формирования стока Лены в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2025, №4, с.121-133.

Черногаева Г.М. и др. Факторы формирования стока и состояния экосистемы реки Лена в XXI веке. Часть 2. Качество воды реки Лена в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2025, №4, с.134-146.

Daqing Yang, Xiaogang Shi, Philip MarshVariability and extreme of Mackenzie River daily discharge during 1973–2011 // Quaternary International // Polar Science 8, 2014, 232-241.

Stewart B. Rood, SobadiniKaluthota, Laurens J. Philipsen, Neil J. Rood and Karen P. Zanewich Increasing discharge from the Mackenzie River system to the Arctic Ocean// Hydrological processes, 2016. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/hep.10986.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ РИСКИ В РОССИЙСКИХ РЕГИОНАХ

CLIMATE RISKS IN THE RUSSIAN REGIONS

Чернокульский А.В.[1,2,3]

Chernokulsky A.V.[1,2,3]

[1] ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1
[2] ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29
[3] ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
a.chernokulsky@ifaran.ru

Аннотация. Последствия изменений климата формируют климатические риски для населения, экосистем и разных отраслей экономики России. В докладе обсуждаются различные подходы к оценке климатических рисков и существующие открытые вопросы в данной области. Приводятся результаты оценки климатических рисков для регионов России.

Ключевые слова: климатические риски, опасность, подверженность, уязвимость, изменение климата, российские регионы.

Abstract. The consequences of climate change pose climate risks to the population, ecosystems and various sectors of the Russian economy. The report discusses various approaches to climate risk assessment and existing open questions in this area. It presents the results of climate risk assessments for Russian regions.

Keywords: climate risks, hazard, exposure, vulnerability, climate change, Russian regions.

Изменение климата проявляется, в том числе, в повышении средней глобальной температуры, подъеме уровня Мирового океана и росте кислотности океана, изменении режима выпадения осадков, таянии ледников и морских льдов, деградации вечной мерзлоты, увеличении числа ряда погодных аномалий и опасных гидрометеорологических явлений. Последствия этих изменений провоцируют возникновение т.н. физических климатических рисков (имеющих природный характер[1]), связанных с воздействием изменений в окружающей среде на здоровье человека, сельское хозяйство и землепользование, обеспеченность водными ресурсами, инфраструктуру, городскую среду, туризм и т.д.

В связи с наличием физических климатических рисков, у федеральных, региональных и муниципальных органов исполнительной власти, коммерческих компаний, инвесторов, кредиторов, потребителей и других заинтересованных сторон возникает потребность в оценке подобных рисков и в разработке эффективных методов управления ими. В том числе это нашло отражение как в нормативных документах, так и в современных международных стандартах и руководствах – например, в приказе Минэкономразвития РФ №267, содержащий методические рекомендации по оценке и учету климатических рисков, в международном стандарте ISO 14091, адаптированный в качестве Национального стандарта РФ «Адаптация к

[1] В отличие от рисков перехода, тоже относящихся к климатическим, но имеющих экономический характер и обусловленных переходом экономики на путь социально-экономического развития с низкими выбросами в атмосферу парниковых газов для уменьшения антропогенного воздействия на климат и смягчения климатических изменений

изменениям климата, в рекомендациях Целевой группы по раскрытию финансовой информации, связанной с климатом.

При этом, сохраняются следующие открытые научно-практические вопросы в области оценки физических климатических рисков:

- фрагментарность (или полное отсутствие) данных по ущербу, что затрудняет оценку ущерба из-за климатических опасностей и формализацию функций ущерба для компаний, для разных отраслей экономики и регионов вследствие воздействия той или иной опасности;
- отсутствие формализованных сценариев стресс-теста для объектов оценки рисков в зависимости от их рода деятельности и расположения;
- ограничения использования модельных данных для оценки экстремальных явлений (с учетом особенностей воспроизведения мелкомасштабных процессов, разной чувствительности моделей и т.д.);
- отсутствие понятных, однозначных и согласованных методик построения ансамбля «лучших» климатических моделей;
- отсутствие математического аппарата для количественной оценки хронических физических климатических рисков (связанных с медленными изменениями окружающей среды под воздействием климатических изменений).

Решению проблемы оценки хронических физических климатических рисков отчасти посвящена работа (Гинзбург и др., 2022) предложен подход по выявлению количественных показателей климатического воздействия, превышение которых указывает на возникновение климатических рисков и, как следствие, потребности в превентивной адаптации.

Решению проблемы получения оценок климатических рисков в условиях отсутствия подробной статистики по ущербу посвящен цикл работ (Макаров и Чернокульский, 2023; Makarov and Chernokulsky, 2024; Chernokulsky et al., 2025), в которых предлагается реализовывать подход по ранжированию объектов по степени риска. Подобный подход был реализован для субъектов Российской Федерации на примере нескольких рисков в работе, в том числе на примере влияния аномальной жары на городское население, влияния водного стресса на сельское хозяйство, влияния интенсификации лесных пожаров на лесное хозяйство, влияния усиления осадков на инфраструктуру и населения, влияния деградации вечной мерзлоты на жилищно-коммунальное хозяйство. Природный климатический риск при этом оценивался, как среднее геометрическое компонентов риска (опасности, подверженности и уязвимости), а компоненты характеризовались одним или несколькими индикаторами, которые нормировались на диапазон от нуля до единицы. В случае, если одну компоненту характеризовало несколько индикаторов, то проводилось их арифметическое осреднение.

Подобный подход позволил ранжировать субъекты РФ по климатическим рискам и приоритизировать регионы по необходимости адаптации к рассмотренным рискам.

Исследование выполнено в том числе при поддержке Программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ. Часть данных также была подготовлена в рамках выполнения работ государственному заданию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (FMWR-2025-0006).

Список литературы

Гинзбург А.С., Александров Г.А., Чернокульский А.В. Климатические критерии необходимости превентивной адаптации // Известия РАН. Физика атмосферы и океана, 2022, Т. 58, № 6, С. 626–637.

Макаров И.А., Чернокульский А.В. Влияние изменения климата на экономику России: рейтинг регионов по необходимости адаптации // Журнал Новой экономической ассоциации, 2023, № 4 (61). С. 145–202.

Chernokulsky A.V., Makarov I.A., Aniskina T.A., Chistikov M.N., Kraev G.N., Kurichev N.K., Sheludkov A.V., Smolovik E.V., Vinogradova V.V., Yudova O.A. Heuristic relative assessment of climate risks in Russian regions // Science of the Total Environment, 2025, V. 987, P. 179721

Makarov I.A., Chernokulsky A.V. Climatic risks in Russia: Ranking of regions by adaptation needs // Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics, 2024, Vol. 60, Suppl. 3, pp. S362–S371.

СЕКЦИЯ
«МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ОПАСНЫХ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ»

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА ЧЕРНОГО МОРЯ

MONITORING CLIMATE CHANGE IN THE BLACK SEA

Воронцов А.А.[1], Баталкина С.А.[1], Булыгин А.М.[1,2], Нефедова Г.И.[1]

Vorontsov A.A.[1], Batalkina S.A.[1], Bulygin A.M.[1,2], Nephedova G.I.[1]

[1] ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД»
Россия, 249035, Обнинск Калужской обл., Королева, 6; *vorv10921@gmail.com*
[2] ФГБУ «ГОИН»
Россия, 119034, Москва, Кропоткинский пер., 6; *bam524@mail.ru*

Аннотация. В условиях глобального потепления растет актуальность мониторинга климатических характеристик не только воздушной среды, но и морских территорий. Для оптимизации мониторинга климатических характеристик морской природной среды было принято решение о подготовке и выпуске ежегодного издания Бюллетень гидрометеорологического состояния Черного моря. С 2019 года этот Бюллетень, ориентированный на максимально возможный круг потребителей такого рода информационной продукции, издается в электронном и бумажном видах. Помимо Бюллетеня периодически готовится морской климатический справочник по Черному морю в Интернет-среде, тем самым, обеспечивая расширенный мониторинг изменений морской природной среды. В статье рассмотрен расширенный состав справочных изданий, в которых учтены запросы разного рода потребителей этой продукции.

Ключевые слова: климат, мониторинг, бюллетень, морской справочник, Черное море.

Abstract. In the context of global warming, the relevance of monitoring the climatic characteristics of not only the air environment, but also marine areas is growing. In order to optimize the monitoring of the climatic characteristics of the marine environment, it was decided to prepare and publish an annual publication: the Bulletin of the hydrometeorological condition of the Black Sea. Since 2019, this Bulletin, aimed at the widest possible range of users of this type of information product, has been published in electronic and paper form. In addition to the Bulletin, a marine climate reference book for the Black Sea is periodically prepared in the Internet, thereby providing expanded monitoring of changes in the marine environment. The article discusses the expanded composition of reference publications, which take into account the requests of various types of users of these products.

Keywords: climate, monitoring, bulletin, marine reference book, Black Sea.

В последнее время в связи с изменением климата мониторинг окружающей среды стал весьма и весьма актуальным, причем проводится контроль различных характеристик не только воздушной среды, но и морской среды. На региональном уровне для информационной поддержки мониторинга морских и прибрежных территорий было принято решение (Грузинов и др., 2021) о подготовке и издании ежегодного Бюллетеня гидрометсостояния морей (в первую очередь было выбрано Черное море). Для морских отраслей и экологического мониторинга основной интерес представляют метеорологические (температура воздуха, ветер, атмосферное давление) и гидрологические (уровень моря, волнение, течения, температура и соленость морской воды, ледовые условия) показатели состояния морской среды. При этом, при создании Бюллетеня, были учтены не только традиционные требования со стороны потребителей сведений о состоянии морской природной среды, но и ряд новых дополнительных характеристик с учетом рекомендаций ВМО (Руководящие указания…, 2017). Естественно, были выбраны гидрометхарактеристики, представляющие наибольшую информационную значимость для потребителей. В целом, основной перечень параметров режимного состояния морской среды следующий:

- средние значения (среднее многолетнее значение, среднемесячное и т.п.);

- математическое ожидание, СКО, коэффициенты асимметрии и эксцесса данной характеристики и ошибки их оценок для каждого месяца/сезона;

- эмпирическая функция распределения;

- оценки параметров изменчивости: межгодовой (как регулярной, в виде многолетних трендов, так и нерегулярной) и синоптической;

- повторяемость комплексов различных физических, химических и биологических характеристик состояния морской среды, либо коэффициенты корреляции между ними;

- временные автокорреляционные функции, характеризующие тесноту связи между значениями данной океанографической или метеорологической величины в разные моменты времени (в случае эквидистантных временных рядов);

- спектры временных колебаний океанографических и метеорологических величин, характеризующие значения дисперсии колебаний в заданном диапазоне длин волн (в случае эквидистантных временных рядов);

- средняя непрерывная продолжительность значений характеристики выше и ниже заданного уровня для различных месяцев или сезонов (в случае эквидистантных временных рядов).

Первый выпуск ежегодного Бюллетеня гидрометеорологического состояния Черного моря (Бюллетень..., 2020) состоялся в 2020 г. для характеристик 2019 г. К настоящему времени подготовлено и выпущено шесть изданий. Отметим, что к Бюллетеню по Черному морю уже добавился Бюллетень по Азовскому морю.

Для издания Бюллетеня были использованы следующие данные:

- морских гидрометеорологических станций и постов;

- прибрежных метеорологических станций международного обмена;

- метеостанции Росгидромета;

- океанографических наблюдений;

- наблюдений штурманским составом (попутные судовые наблюдения);

- дистанционного зондирования с помощью искусственных спутников Земли.

Для подготовки Бюллетеня по Черному морю, были взяты традиционные гидрометпараметры (ежечасный уровень моря, уровень моря по рейке, температура и-солёность морской воды, высота и период волн, температура воздуха, скорость и направление ветра, атмосферное давление на уровне моря, опасные гидрометявления (ОЯ), – горизонтальная видимость). По составу Бюллетень содержит измеренные данные и их статистики, табличный, графический и картографический материал, сведения об ОЯ и аналитический обзор по полученным результатам.

В целом, Бюллетень включает в себя два больших раздела: гидрологический режим моря и метеорологический режим прибрежных зон моря, и обширное приложение с детальными расчетными материалами (как правило, на CD).

Гидрологический режим моря описывается термическими и гидрохимическими условиями на акватории моря и в прибрежных зонах моря в текущем году. Дополнительно представлены рассчитанные скорости поверхностных течений, динамика уровня моря, оцененная по данным наблюдений на береговых станциях и измерениям со спутников, изменчивость волнения по данным наблюдений и модельным расчетам, ледовитость моря зимой, а также описание экологической ситуации в прибрежных зонах моря.

Метеорологический режим прибрежных зон моря представлен характеристиками ветра, изменчивостью термобарической ситуации и перечнем зафиксированных опасных гидрометеорологических явлений. По открытому морю даны обзоры синоптических ситуаций по сезонам.

В качестве примера выходной продукции Бюллетеня приведен график годового хода среднемесячных, максимальных и минимальных за месяц температур воздуха в Ялте (рис. 23).

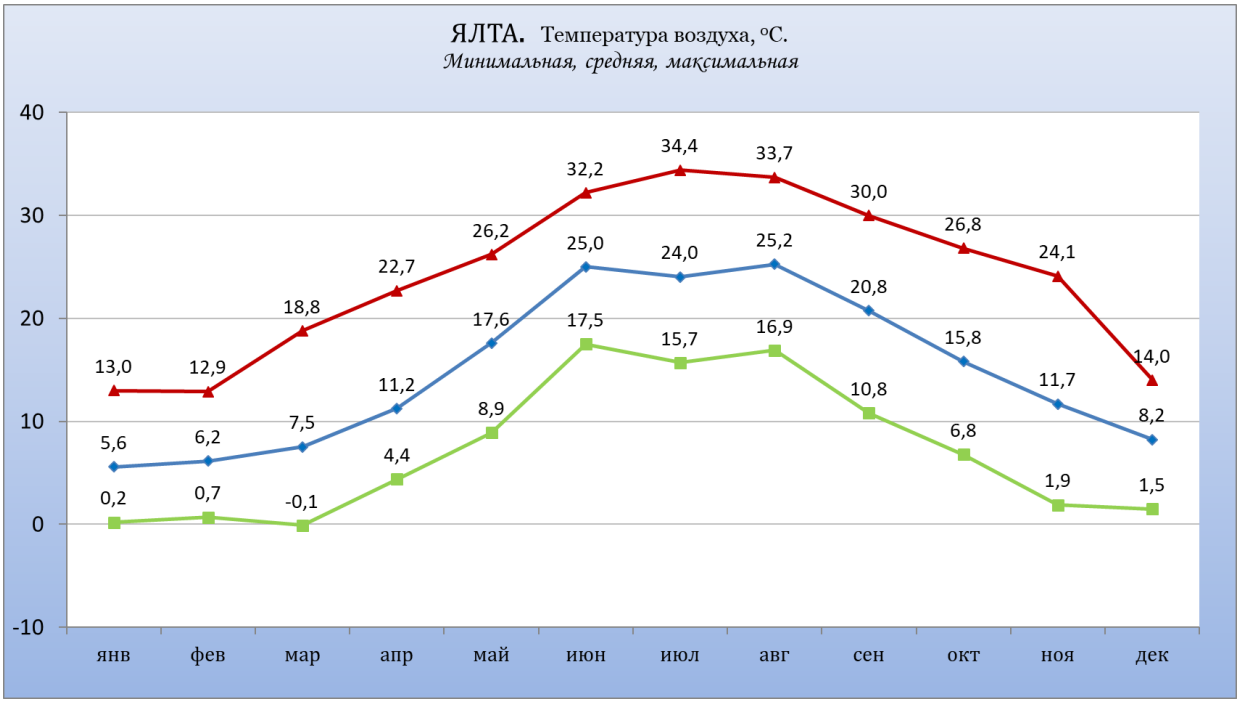


Рисунок 23. График годового хода среднемесячных, максимальных и минимальных за месяц температур воздуха

Типовая таблица (табл. 5) статистик гидрометеорологических параметров содержит ряд рассчитанных статистик и оценок статистической погрешности вычислений.

Таблица 5. Статистики скорости ветра по данным станции Евпатория

Месяц	Среднее (м/с)	Ошибка среднего	С.К.О.	К-т асимметрии	К-т эксцесса	К-т вариации	Минимум	Максимум	Дата наступления максимума
1	4.49	0.281	1.563	0.338	-0.417	0.348	1.0	10.0	23.01.2019
2	4.91	0.380	2.013	0.587	-0.404	0.410	0.0	11.0	08.02.2019
3	4.16	0.255	1.421	0.631	-0.619	0.341	1.0	14.0	01.03.2019
4	4.55	0.398	2.179	0.704	-0.648	0.479	1.0	12.0	20.04.2019
5	3.35	0.183	1.019	1.779	3.790	0.305	0.0	11.0	16.05.2019
6	4.86	0.359	1.968	0.251	-1.208	0.405	1.0	11.0	14.06.2019
7	3.37	0.149	0.831	0.696	1.584	0.247	0.0	10.0	03.07.2019
8	4.70	0.347	1.930	0.331	-0.967	0.411	0.0	11.0	13.08.2019
9	5.25	0.510	2.794	0.990	-0.549	0.532	1.0	14.0	10.09.2019
10	3.47	0.239	1.331	0.289	0.072	0.384	0.0	8.0	16.10.2019
11	6.02	0.678	3.713	1.133	0.861	0.617	1.0	18.0	21.11.2019
12	4.18	0.499	2.779	1.220	1.155	0.665	0.0	15.0	13.12.2019
год	4.43	0.117	2.243	1.547	3.624	0.506	0.0	18.0	21.11.2019

Для мониторинга климата с учетом современных климатических периодов и в продолжение развития морских справочных изданий была было принято решение о подготовке нового морского климатического справочника (МКС) для повышения эффективности информационного обеспечения морской деятельности (Воронцов и др., 2021).

На основе анализа потребностей пользователей гидрометеорологической информации, положений различных РД и рекомендаций ВМО по климатическому обслуживанию были разработаны формы/форматы предоставления климатических и обобщенных характеристик морской среды для обеспечения различных сфер деятельности (строительство, транспортные операции, добыча углеводородов, портовая деятельность, рыболовство, энергообеспечение прибрежных территорий и др.). МКС включает как общепринятые нормы, экстремальные значения, характеристики долгопериодной изменчивости, так и назначаемые руководствами ВМО по климатическому обслуживанию, нормативными документами по строительству (СНИП), РД по проектированию объектов в прибрежной зоне, морским операциям и др.

Наибольшую практическую значимость имеют сведения о режимном состоянии следующих характеристик: метеорологические характеристики (температура воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, осадки, облачность, влажность воздуха, типы синоптических ситуаций, горизонтальная дальность видимости), гидрологические характеристики (температура, соленость и плотность воды, уровень моря, течения, морской лед, волнение, прозрачность и цветность воды), гидрохимические характеристики (растворенные газы: кислород, сероводород, углекислый газ, биогенные вещества: соединения фосфора, азота и кремния, водородный показатель (pH) и щелочность), загрязняющие вещества (синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ),тяжелые металлы (ТМ), хлорорганические пестициды (ХОП), нефтяные углеводороды (НУ).

С точки зрения области применения, то режимная информационная продукция о состоянии Мирового океана и морей РФ используется в целом ряде областей государственного управления и экономической деятельности (охрана окружающей среды, фундаментальные и стратегические исследования, гидрографические изыскания и картографирование, судоходство, буксировка и навигация, портовые операции, подводное плавание, оборона, спасательная служба, в т.ч. защита от наводнений, строительство, включая строительство морских платформ и др. сооружений, прокладка кабелей и трубопроводов, производство энергии, разведка и добыча природных ресурсов, рыболовство и др.). Основной подход в МКС – применение унифицированных форм представления режимной информации.

Практическая реализация МКС – последовательная подготовка справочников на основе данных Государственного фонда данных. Стартовый выпуск морских справочных изданий – это МКС по Черному морю, который помещен и доступен в Интернет-среде (Морской климатический справочник…, 2020).

Список литературы

Бюллетень гидрометеорологического состояния Черного моря в 2019 году. – Обнинск: Артифекс, 2020. – 194 с.

Воронцов А.А., Грузинов В.М., Баталкина С.А., Булыгин А.М., Нефедова Г.И. Практическая реализация морского климатического справочника на примере Черного моря // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2021. – Вып. 189. – С. 167–174.

Грузинов В.М., Булыгин А.М., Воронцов А.А., Дьяков Н.Н. Ежегодный гидрометеорологический бюллетень по Черному морю и его практическая реализация // Труды ГОИН. – 2021. – Вып. 222. – С. 198–212.

Морской климатический справочник по Черному морю [Электронный ресурс]. – URL: /http://www.esimo.ru/atlas/spravochnik/

Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. – ВМО-№1203, 2017. – 32 с.

О РАЗВИТИИ ЭЛЬ-НИНЬО В 2023-2024 ГГ. И ЕГО ВЛИЯНИИ НА АТМОСФЕРНУЮ ЦИРКУЛЯЦИЮ В ЕВРО-АТЛАНТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

ON THE DEVELOPMENT OF EL NIÑO IN 2023-2024 AND ITS IMPACT ON ATMOSPHERIC CIRCULATION IN THE EURO-ATLANTIC REGION

Вязилова Н.А.

Viazilova N.A.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных»
Россия, 249035, Обнинск, Королева, 6; *nav@meteo.ru*

Аннотация. Характер и интенсивность аномалий климатической системы, наблюдаемых в экваториальном районе Индийского и Тихого океанов в течение 2023 г., позволяют отнести Эль-Ниньо 2023-2024г. к группе экстремальных теплых событий, отмеченных за период с 1979 по 2025 гг. Влияние Эль-Ниньо на атмосферную циркуляцию в Евро-Атлантическом регионе проявилось в виде развития интенсивной положительной фазы восточно-атлантического колебания в осенние и зимние месяцы, сопровождавшейся развитием положительной фазы северо-атлантического колебания в зимние месяцы, что отразилось в интенсификации циклонической активности, как на акватории Северной Атлантики, так и в Европейском регионе, в том числе на европейской территории России.

Ключевые слова: Эль-Ниньо, атмосферная циркуляция, циклоническая активность.

Abstract. The nature and intensity of the climate system anomalies observed in the equatorial region of the Indian and Pacific Oceans during 2023 allow us to classify El Niño 2023-2024 as a group of extreme warm events observed during the period from 1979 to 2025. The influence of El Niño on the atmospheric circulation in the Euro-Atlantic region manifested itself in the form of the development of an intense positive phase of the East Atlantic Oscillation in the autumn and winter months, accompanied by the development of a positive phase of the North Atlantic Oscillation in the winter months, which was reflected in the intensification of cyclonic activity both in the North Atlantic and in the European region, including the European territory of Russia.

Keywords: El Niño, atmospheric circulation, cyclonic activity.

О развитии Эль-Ниньо в 2023-2024 гг. Наиболее значимой модой изменчивости климатической системы океан-атмосфера в тропическом регионе является Эль-Ниньо – Южное колебание (ЭНЮК). Исследования показывают, что влияние ЭНЮК, как теплых явлений, Эль-Ниньо, так и холодных, Ла-Нинья, на погоду и климат проявляется в различных районах Земного шара. Для идентификации явления Эль-Ниньо (Ла-Нинья) во многих исследованиях используется океанический индекс ЭНЮК (Oceanic Nino Index - ONI), который рассчитывается, как скользящее среднее за три месяца отклонение температуры поверхности океана от нормы в экваториальной части Тихого океана, в районе Nino 3-4, с координатами (120º з.д. – 170º з.д., 5º с.ш. – 5º ю.ш.), и публикуется на сайте Американского Метеорологического Центра. Знак и величина океанического индекса превышала +1, начиная с июля 2023 г. вплоть до апреля 2024 г., что позволяет отнести Эль-Ниньо 2023-2024г. к группе наиболее интенсивных теплых событий ЭНЮК, отмеченных за период с 1979 по 2024 год. Максимальных значений аномалии температуры поверхности океана (ТПО) в экваториальном районе Тихого океана достигли в осенние месяцы 2023 и наблюдались восточнее линии смены дат, что говорит о каноническом типе данного Эль-Ниньо.

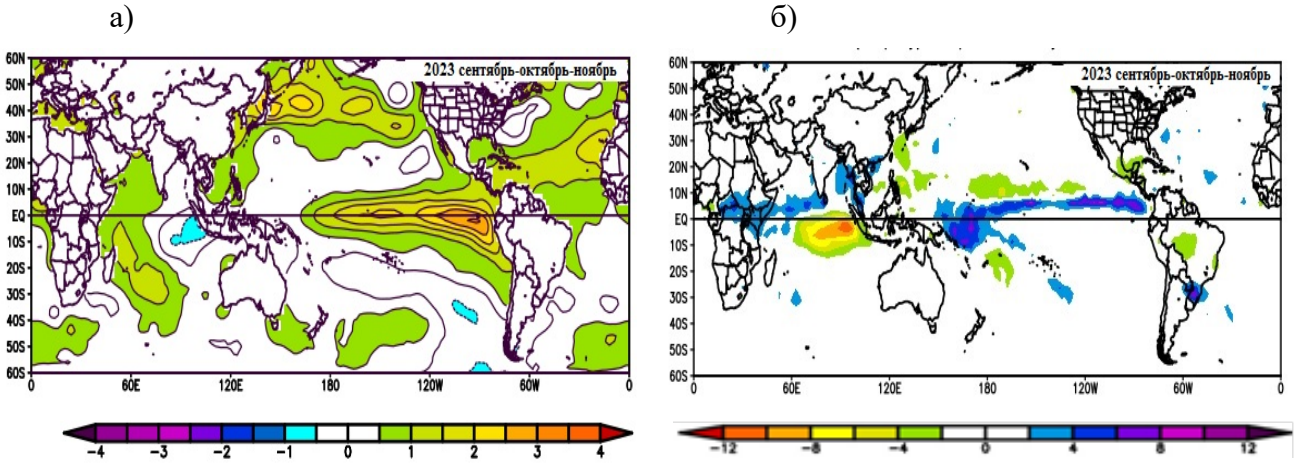


Рисунок 24. Пространственное распределение средних значений аномалий температуры поверхности океана в °C (а) и атмосферных осадков в мм/сутки (б) в осенний сезон 2023 г., рассчитанных, соответственно, по данным архивов ERSST.v5 SST (Huang et al., 2017) и Arkin-Xie Precipitation STD - CMAP (Xie and Arkin, 1997)

Важной особенностью характера климатических аномалий в тропиках Индийского океана в течение 2023 г. является развитие положительной фазы Индийского диполя в летние и осенние месяцы, которая проявилась в виде положительных значений индекса Dipole Mode Index – DMI (Saji et al., 1999), а также подтверждается характером аномалий ТПО и атмосферных осадков, а именно, развитием отрицательных аномалий ТПО и ослаблением атмосферных осадков в восточной части экваториального района Индийского океана и положительных аномалий ТПО и усилением осадков - в западной части океана. Анализ вертикальных сечений распределения аномалий удельной влажности и потенциальной температуры в течение 2023 г. показывает (рис. 25), что начиная с летнего и вплоть до зимнего сезона в экваториальной атмосфере Индийского и Тихого океанов наблюдалось значительное увлажнение нижних и средних слоев атмосферы с максимальными значениями аномалий удельной влажности в районах аномальных осадков. В районах максимального увлажнения средних слоев тропосферы в верхней тропосфере наблюдалось аномальное нагревание с максимальными значениями аномалий потенциальной температуры в зимний сезон 2023-2024 гг.

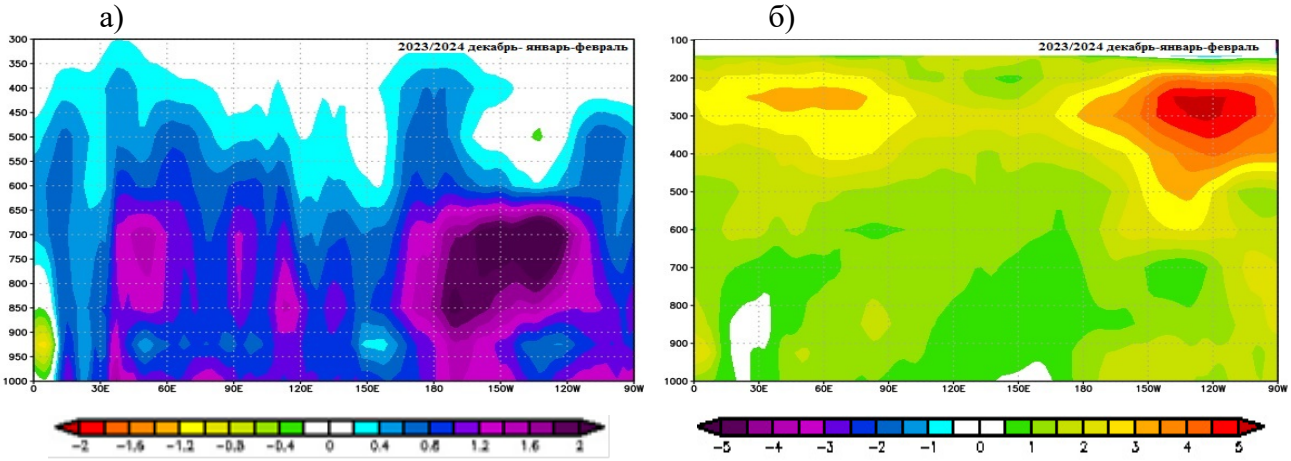


Рисунок 25. Вертикальное распределение аномалий удельной влажности в г кг$^{-1}$ (а) и потенциальной температуры атмосферы в °К (б), осредненных в полосе широт (10° ю.ш. – 10° с.ш.) экваториального региона Индийского и Тихого океанов в зимний сезон (декабрь-январь-февраль) 2023-2024 гг., рассчитанных по данным архива NCEP-DOE (Kanamitsu et al., 2002)

О циклонической активности в Евро-Атлантическом регионе (ЕАР) в 2023 гг. Оценка циклонической активности выполнена на основе анализа повторяемости и интенсивности циклонов, рассчитываемых, соответственно, как количество центров циклонов и сумма аномалий давления в центрах циклонов относительно климатических значений в узлах сетки в календарный месяц по данным реанализа NCEP-DOE (Kanamitsu et al., 2002). Центры циклонов и траектории их смещения рассчитаны на основе метода автоматической идентификации по 6-часовым данным атмосферного давления на уровне моря (Вязилова, 2012). Для анализа отбирались циклоны с длиной жизни от 3 сроков наблюдения и более.

Анализ пространственного распределения характеристик циклонической активности в ЕАР показывает интенсификацию циклонов на восточной акватории океана и на европейском континенте в осенние месяцы 2023 г. (рис. 26), что характерно для интенсивной положительной фазы восточно-атлантического колебания (Вязилова, 2023). В последующие зимние месяцы 2023 г. наблюдалась значительная интенсификация циклонической активности в основной зоне шторм-трека, как на акватории океана, так и в северных районах Европы, что, обычно происходит, при интенсивной положительной фазе Северо-атлантического колебания (САК), и в случае совпадения положительных фаз САК и восточно-атлантического колебания (ВАК) (Вязилова, 2023). Согласно индексам NAO и EA (табл. 6), в осенние месяцы и 2023, наблюдалась отрицательная фаза северо-атлантического колебания (САК) и интенсивная положительная фаза восточно-атлантического колебания (ВАК), в последующие зимние месяцы – интенсивная положительная фаза и САК, и ВАК.

а) б)

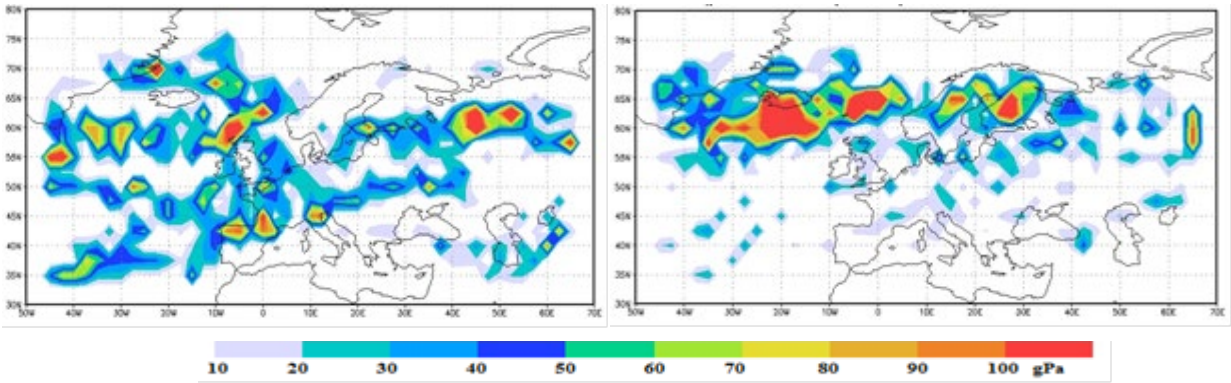


Рисунок 26. Пространственное распределение индекса циклонической активности (гПа) в Евро-атлантическом регионе в осенний сезон 2023 г.(а) и последующий зимний сезон 2023-2024 гг. (б)

Таблица 6. Ежемесячные значения индексов северо-атлантического колебания (NAO) и восточно-атлантического колебания (EA) в период с июня 2023 г. по февраль 2024 г.

Индексы	**Год и месяц**					
	2023/09	2023/10	2023/11	2023/12	2024/01	2024/02
NAO	-0.44	**-2.03**	-0.32	**1.94**	0.21	**1.09**
EA	**2.72**	**1.20**	**1.19**	**1.51**	**2.58**	**1.7**

О влиянии Эль-Ниньо на атмосферную циркуляцию в ЕАР. В настоящее время в научной литературе преобладают две гипотезы взаимосвязи между климатическими аномалиями в экваториальном регионе Тихого океана и атмосферной циркуляцией в ЕАР - через стратосферную циркуляцию (Ineson, Scaife, 2009) и посредством «тропосферного» механизма, включающего наличие субтропического струйного течения, которое активизируется при развитии Эль-Ниньо (Yu, Lin, 2016). Анализ карт пространственного распределения аномалий зонального переноса в верхней тропосфере показывает значительное усиление зонального переноса на уровне струйного течения в субтропическом регионе Южной Азии и Тихого океана в зимний сезон 2023-2024 гг. (рис. 27), при этом, зона усиления западного переноса в Евро-Атлантическом регионе распространилась на обширный район Северной Атлантики и северные районы Европы. Можно предположить, что согласно гипотезе «тропосферного моста», интенсивные климатические аномалии в системе океан-атмосфера обусловили формирование источника аномального тепла в верхней тропосфере в экваториальном районе Индийского и Тихого океанов в летний и осенний сезон и последующую модификацию субтропического южно-азиатского струйного течения. Активизация струйного течения над Северной Атлантикой в свою очередь играет важную роль в развитии экстремально глубоких внетропических циклонов и интенсификации циклонической активности в восточных районах акватории океана (Deveson et al., 2002).

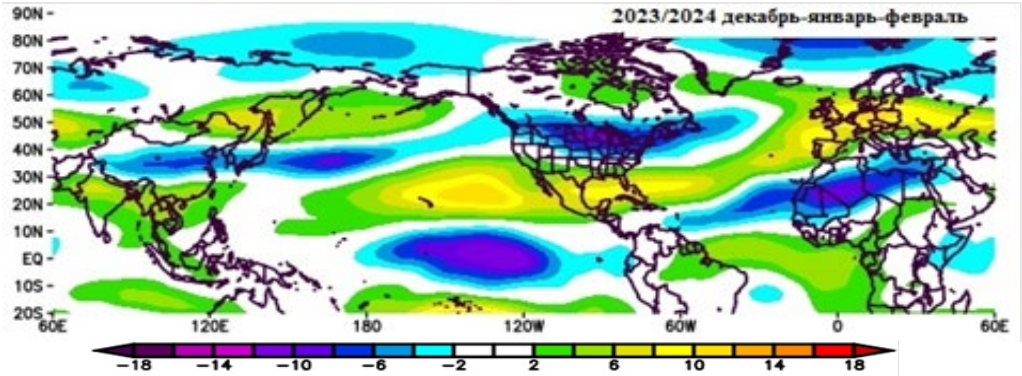


Рисунок 27. Среднемесячные аномалии зонального переноса (в м сек$^{-1}$) в верхней тропосфере (250гПа) в зимний сезон 2023-2024 гг., рассчитанные по данным реанализа NCEP-DOE (Kanamitsu et al., 2002)

Список литературы

Вязилова Н.А. Об экстремальной циклонической активности в Северной Атлантике // Метеорология и гидрология. – 2012. – № 11. – С. 5–17.

Вязилова Н.А., Вязилов А.Е. Циклоническая активность в Северной Атлантике по данным реанализа ERA5 и колебания атмосферной циркуляции // Труды ВНИИГМИ-МЦД. – 2023. – Вып.191. – С .99–110.

Deveson A. C. L., K. A. Browning, T. D. Hewson. A classification of FASTEX cyclones using a height-attributable quasi-geostrophic vertical-motion diagnostic // Quart. J. Roy. Meteor. Soc. – 2002. – Vol. 128, Is. 579. – P.93–117.

Ineson, S., Scaife A. A. The role of the stratosphere in the European climate response to El Nino // Nat. Geosci. – 2009. – Vol.2. – P. 32–36.

Huang B., Trorne P.W., Banzon V.F., et al. Extended Reconstructed Sea Surface Temperature, Version 5 (ERSSTv5): Upgrades, Validations, and Intercomparisons // J. Climate. – 2017. – Vol. 30. – P. 8179–8205.

Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J., Yang S.-K., Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 2002. – Vol. 83. – P. 1631–1643.

Saji N.H., Goswami B.N., Vinayachandran P.N., Yamagata T. A Dipol Mode in the Tropical Indian Ocean // Nature. – 1999. – Vol. 401. – P.360–363.

Yu B., Lin H. Tropical atmospheric forcing of the wintertime North Atlantic Oscillation // J. Climate. – 2016. – 29. – P. 1755–1772.

Xie P., Arkin P.A. Global precipitation: a 17-year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs // Bull. Amer. Meteor. Soc. – 1997. – Vol. 78. – P. 2539–2558.

ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ НА ТЕРРИТОРИИ АСТРАХАНСКОЙ ОБЛАСТИ

TRENDS OF CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN THE TERRITORY OF ASTRAKHAN REGION

Гаврилова Е.В., Гонтовая И.В.

Gavrilova E.V., Gontovaya I.V.

ФГБУ «Каспийский морской научно-исследовательский центр»
Россия, 414045, Астрахань, ул. Ширяева, 14; *irinagontovaya7_74@mail.ru*

Аннотация. В статье приведены результаты исследования режима температуры воздуха и атмосферных осадков, проанализированы пространственные закономерности распределения климатических параметров на территории Астраханской области за период 1961-2020 гг. В течение рассматриваемого периода отмечается положительный линейный тренд для среднегодовой и сезонной температуры воздуха. Наблюдающиеся изменения в режиме годовых сумм осадков имеет циклический характер, в последние годы отмечается тенденции к уменьшению годовых сумм осадков. Распределение осадков по сезонам довольно неравномерное, с преобладанием в теплый период года.

Ключевые слова: Астраханская область, климатическая характеристика, норма, температура воздуха, атмосферные осадки, коэффициент линейного тренда.

Abstract. The article presents results of study of air temperature regime and atmospheric precipitation, analyzes spatial patterns of distribution of climatic parameters in the territory of the Astrakhan region for the period 1961-2020. There is a positive linear trend for average and seasonal air temperatures during the period under review. The observed changes in the annual rainfall pattern are cyclical, with a tendency to decrease in recent years. The distribution of rainfall over the seasons is quite uneven, with a predominance in the warm season.

Keywords: Astrakhan region, climatic characteristic, norm, air temperature, atmospheric precipitation, coefficient of linear trend.

Целью работы является оценка современного изменения климата на территории Астраханской области. Для достижения цели сформированы следующие задачи:

– оценить многолетние изменения средней температуры воздуха по месяцам, сезонам и за год, выявить пространственную изменчивость по территории Астраханской области и определить тенденции изменений температуры с помощью линейных трендов;

– оценить многолетние изменения режима атмосферных осадков по территории Астраханской области, построить тренды.

Климатические условия отдельных регионов складываются под влиянием протекающих над ним синоптических процессов. Астраханская область расположена на юго-востоке Восточно-Европейской равнины в пределах северо-западной части Прикаспийской низменности, Волго-Ахтубинской поймы и дельты Волги (Новый Каспий…, 2008). Большая часть территории области лежит ниже уровня Мирового океана. Территория Астраханской области имеет своеобразную конфигурацию. Протяжённость с севера на юг составляет более 500 км, а с запада на восток – около 180 км (Вознесенская, 2009). В течение года над территорией области господствуют континентальные воздушные массы. Поэтому термический режим отличается большой контрастностью, как во времени, так и по

территории. Температура воздуха имеет ярко выраженный годовой ход (Вознесенская, Бесчетнова, 2002) – с высокими температурами летом, низкими зимой, большими годовыми и летними суточными амплитудами температуры воздуха, малым количеством осадков и большой испаряемостью (Новый Каспий…, 2008).

В настоящее время на территории Астраханской области систематические наблюдения за погодой проводят на семи метеостанциях. Для характеристики климатических изменений в соответствии с географическим положением и административно-территориальным делением Астраханская область условно была разделена на три района. Для каждого района выбраны метеостанции с наиболее полными рядами наблюдений. Метеостанция (М) Верхний Баскунчак относится к северному, Харабали – к центральному, Астрахань, Досанг, Лиман – к южному району области. Средние годовые значения температуры воздуха рассчитывались за календарный год, сезонные – по календарным сезонам (зимний сезон включает декабрь предыдущего года). Годовая сумма атмосферных осадков рассчитывалась за календарный год, сезонные – за холодный (XI-III) и теплый (IV-X) периоды года. Для выявления климатических изменений рассматривались разные периоды. Вычислены нормы по температуре воздуха за четыре 30-летних периода с шагом в 10 лет: 1961-1990 гг., 1971-2000 гг., 1981-2010 гг., 1991-2020 гг. (ВМО-№ 1203, 2017). Проведен анализ произошедших изменений температурного режима путем сравнения значений относительно базового периода (1961-1990 гг.). Анализ режима атмосферных осадков проводился по десятилетним периодам с 1961 по 2020 год. В качестве показателя изменения температуры воздуха и осадков был определен коэффициент линейного тренда, характеризующий среднюю скорость изменения и коэффициент детерминации, характеризующий долю учтенной трендом дисперсии ряда за весь период наблюдений.

Анализ температуры воздуха выявил тенденции в увеличении климатических норм среднегодовой, среднемесячной и среднесезонной температуры воздуха по всей территории Астраханской области. Наибольшие климатические изменения произошли в современный период (1991-2020 гг.). Анализ среднегодовой температуры воздуха за 30-летние периоды с шагом в 10 лет показал, что потепление периода 1991-2020 гг. наиболее существенным оказалось в холодное время года, максимальные положительные отклонения наблюдались с января по март в южном районе области на 1,9-2,4°С и 2,1-2,6°С в центральном и северном районе. Повышение температуры воздуха происходило в основном за счет увеличения температуры зимой. Относительно нормы (1961-1990 гг.) в современный период зима стала теплее на 1,4-1,7°С, весна – на 0,7-1,1°С, лето – на 1,1-1,3°С, осень – на 0,3-0,7°С.

В течение рассматриваемого периода (1961-2020 гг.) по всем метеостанциям Астраханской области отмечается положительный линейный тренд, среднегодовая

температура воздуха за период наблюдений увеличивалась с интенсивностью 0,30-0,37°С/10 лет, вклад тренда в суммарную дисперсию составил 27-37%, скорость повышения средних сезонных температур варьировала от 0,09 до 0,54°С/10 лет.

Наиболее интенсивное потепление наблюдается зимой, весной и летом на севере Астраханской области (М В. Баскунчак), особенно быстрый рост наблюдался для зимних температур – 0,54°С/10 лет. Осенью максимальный темп роста температуры наблюдался на М Астрахань (0,24°С/10 лет), минимальный – на М Харабали (0,09°С/10 лет). По данным метеостанции В. Баскунчак, средняя годовая температура воздуха за 1991-2020 гг. по сравнению с базовым периодом повысилась на 1,2°С, по данным метеостанций, расположенных в южном и центральном районах, повышение составило 0,9-1,0°С. Среднеквадратичные отклонения (СКО), рассчитанные по среднегодовым данным за период 1961-2020 гг., равномерно распределены по территории Астраханской области и составляют 1,0-1,2°С. В июле значения СКО меняются в пределах 1,4-2,0°С, в январе – от 3,4-3,8°С на юге области и до 4,0°С на севере, что свидетельствует о более неустойчивом характере температурного режима зимой, чем летом.

Изменение режима температуры воздуха зимой и летом отразилось на амплитуде годового хода. Повышение среднемесячной температуры в январе и июле отмечалось на всех станциях области. Максимум повышения среднемесячной температуры в январе отмечен на М В. Баскунчак, за современный климатический период (1991-2020 гг.) температура повысилась на 2,3°С, в Астрахани – на 1,9°С. Амплитуда годового хода по сравнению с базовым периодом уменьшилась на 1,0-1,1°С.

Максимальное повышение температуры воздуха в июле наблюдалось на М Досанг и В. Баскунчак, относительно базового климатического периода средняя температура повысилась на 1,0 и 1,1°С. В среднем интервал изменения трендов по Астраханской области за период с 1961 по 2020 год составил: в январе 0,56-0,65 °С/10 лет (D = 7-8%), июле 0,33-0,37°С/10 лет (D = 11-17%). Наибольшие изменения в повышении температуры воздуха происходят с юга на север.

Важной характеристикой климата являются атмосферные осадки. В Астраханской области значения среднегодового количества осадков за период 1961-2020 гг. колеблется от 217-229 мм на юге и до 271 мм на севере.

Анализ режима атмосферных осадков проводился по десятилетним периодам с 1961 по 2020 год. В период 1971-1980 гг. наблюдалось уменьшение количества осадков на территории Астраханской области, больше всего дефицит осадков (41-79% нормы) отмечался на юге области. Аномально сухим был 1972 год (38-54% нормы). По данным метеостанций, разность составила 3,9 мм в Астрахани, 52,1 мм в Лимане, 20,9 мм в В. Баскунчаке. В следующие два

десятилетия (1981-1990 и 1991-2000 гг.) наметилась тенденция к повышению среднегодовых сумм осадков. Высокий уровень увлажнения отмечен в 1991-2000 гг. В два последующих десятилетия наблюдается заметное снижение осадков.

Средняя величина годовых сумм осадков по десятилетним периодам, дает только общую характеристику наблюдающихся изменений, сглаживая значительные отклонения (аномалии) в отдельные годы. На рисунке представлен график годовых сумм осадков по данным метеостанций Лиман и В. Баскунчак за период с 1961 по 2020 гг. (рис. 28). Как видно из графика, в течение рассматриваемого периода наблюдались значительные межгодовые колебания, что указывает на цикличность в изменении годовых сумм осадков. Полиномиальная линия тренда четвертой степени показывает, что увеличение годового количества осадков в начале 1960-х годов сменилось уменьшением в 1968-1976 гг. В большинстве лет этого периода годовые суммы осадков были значительно ниже нормы. В конце 1970-х годов прослеживается тенденция к их увеличению, с 2017 г. наблюдается уменьшение годовых сумм осадков.

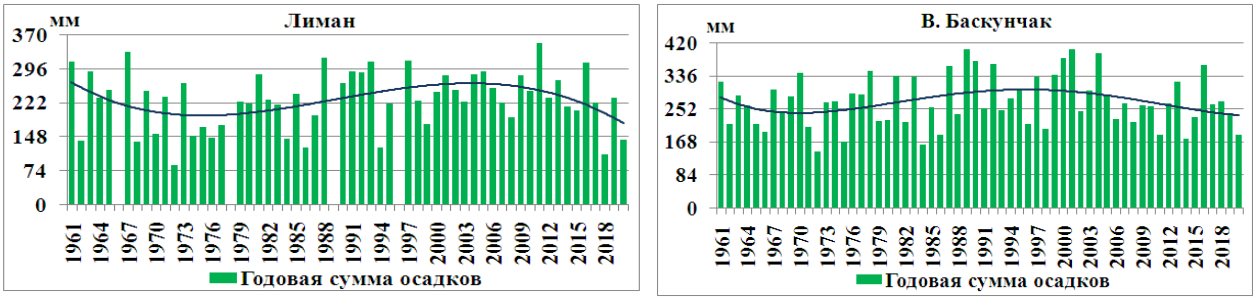


Рисунок 28. Годовые суммы осадков за период с 1961 по 2020 гг.

Межгодовые колебания годовых сумм осадков изменяются в значительных пределах. В некоторые годы максимальная годовая сумма осадков превышает средние значения в 1,5-1,7 раза, а минимальная сумма осадков может быть меньше средней величины в 1,9-2,9 раза. Максимальное годовое количество осадков отмечено на юге области в 2016 г. по данным М Астрахань (372,3 мм), в 2011 г. – М Лиман (351,6 мм), в 1989 г. в северном районе на М В. Баскунчак (405,1 мм). Минимальное годовое количество осадков отмечено повсеместно в 1972 г.: 76-87 мм на юге и 143,9 мм севере области.

Распределение осадков по сезонам неравномерное. По данным метеостанций Астрахань и Лиман, 76 и 79 % нормы осадков приходится на холодный период (XI-III) и 142 и 149 % нормы на теплый (IV-X); по данным В. Баскунчак, в холодный период года выпадает 112 % нормы, в теплый – 159 % нормы. В холодный период года наибольшее количество осадков наблюдается в декабре, в теплый период – в мае.

По результатам исследования повышение температуры воздуха наблюдается на всей территории Астраханской области, годовые величины тренда температуры воздуха положительны, что свидетельствует об устойчивой тенденции к потеплению. Увеличение средней годовой температуры в значительной мере обусловлены ростом температур зимних месяцев. Потепление более интенсивно выражено на севере Астраханской области, чем на юге. Наблюдающиеся изменения в режиме увлажнения на территории Астраханской области имеет циклический характер, наблюдаются периоды пониженного и повышенного увлажнения, в последние годы отмечается тенденции к уменьшению годовых сумм осадков. Динамика изменения среднегодового количества атмосферных осадков по районам Астраханской области имеет синхронный ход, разница в величине.

Список литературы

ВМО-№ 1203. Руководящие указания ВМО по расчету климатических норм. – Женева-Швейцария, 2017. – 21 с.

Вознесенская Л.М., Бесчётнова Э.И. Агроклиматические ресурсы Астраханской области. – Астрахань: Астраханский университет, 2009. – 114 с.

Вознесенская Л.М., Бесчётнова Э.И. Климатические особенности и опасные явления погоды Астраханской области в XX веке. – Астрахань: Нова, 2002. – 109 с.

Новый Каспий. География, экономика, политика / И. С. Зонн, С. С. Жильцов. – М.: Восток – запад, 2008. – 544 с.

СРАВНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ПО ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

COMPARISON OF TEMPERATURE DATA FROM REANALYSIS AND SURFACE OBSERVATIONS IN THE FAR EASTERN FEDERAL DISTRICT

Гайнутдинова Г.Х.

Gaynutdinova G.Kh.

Gaynutdinova.g@gmail.com

Аннотация. Проведён анализ оценки качества данных реанализа ERA5 для территории Дальневосточного федерального округа России. Исходные данные о температуре воздуха получены с 180 метеорологических станций за период 1974–2024 годов. Проведен подробный сравнительный анализ с продуктивными наборами данных ERA5, оценивая основные статистические метрики: систематическое смещение (Bias), среднеквадратичную ошибку (RMSE) и коэффициент корреляции Пирсона (r). Показано, что ERA5 обеспечивает совпадаемость воспроизведения долгосрочных климатических трендов, совпадая с наземными наблюдениями по направлению и величине изменения температуры. Вместе с тем выявлены значительные сезонные различия в воспроизведения абсолютных значений температуры. Наибольшие расхождения отмечены зимой и весной, что вызвано сложностью моделирования приземных инверсий и недостаточностью учета особенностей местности. В целом, данные ERA5 признаны пригодными для изучения долгосрочных климатических изменений в регионе, однако требуют осторожности при анализе конкретных краткосрочных событий и региональной детализации.

Ключевые слова: реанализ ERA5, приземная температура воздуха, валидация, статистический анализ.

Abstract. An analysis of the quality assessment of ERA5 reanalysis data for the territory of the Far Eastern Federal District of Russia was conducted. The initial air temperature data were obtained from 180 meteorological stations for the period 1974–2024. A detailed comparative analysis with productive ERA5 datasets was carried out, evaluating the main statistical metrics: systematic bias (Bias), root mean square error (RMSE), and Pearson correlation coefficient (r). It is shown that ERA5 ensures the coincidence of reproducing long-term climate trends, coinciding with ground-based observations in the direction and magnitude of temperature changes. At the same time, significant seasonal differences in reproducing absolute temperature values were revealed. The largest discrepancies were noted in winter and spring, which is caused by the complexity of modeling surface inversions and insufficient consideration of terrain features. In general, ERA5 data are recognized as suitable for studying long-term climate changes in the region; however, caution is required when analyzing specific short-term events and regional detailing.

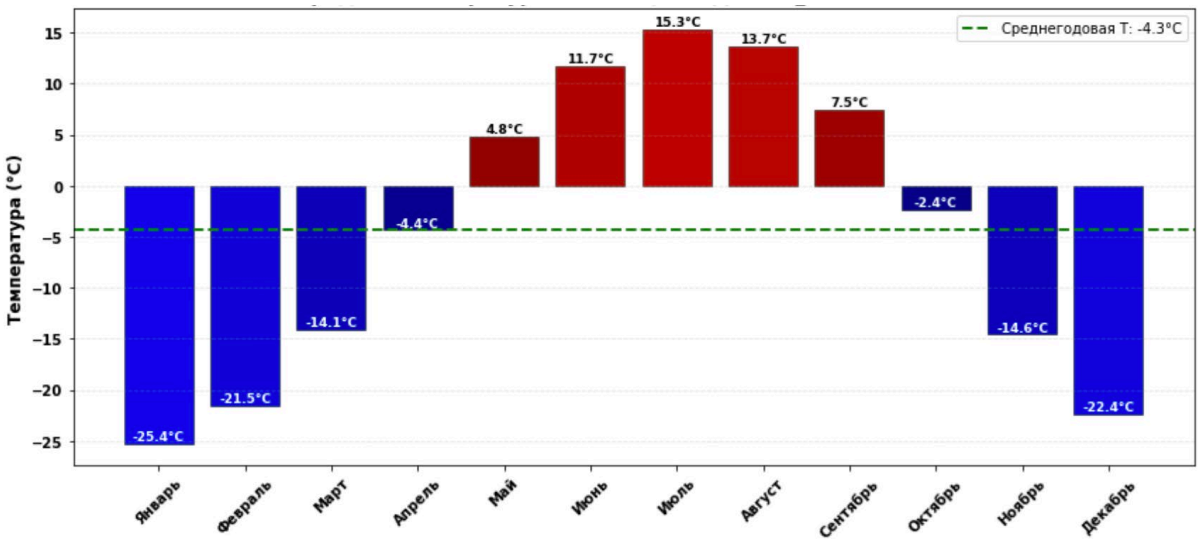
Keywords: ERA5 reanalysis, surface air temperature, validation, statistical analysis.

Продукты реанализа атмосферы, такие как ERA5 (Bell et al., 2021), стали фундаментальным инструментом в современных климатических исследованиях и науках об окружающей среде. Они предоставляют глобальные, пространственно- и временно-согласованные наборы данных, что особенно ценно для труднодоступных и слабо охваченных прямыми наблюдениями регионов, к которым относится Дальневосточный федеральный округ (ДФО) России. Однако, будучи результатом сложного математического моделирования, ассимилирующего данные наблюдений, реанализы содержат неопределенности и систематические ошибки. Их величина и характер напрямую зависят от сложного рельефа, разнообразия ландшафтов (побережье, горные системы, равнины) и наличия спутниковых данных для ассимиляции, что особенно выражено в условиях ДФО (Титкова, Ананичева, 2023; Lei et al. 2022). Поэтому для обеспечения достоверности климатических исследований необходима комплексная верификация данных реанализа с помощью наземных измерений.

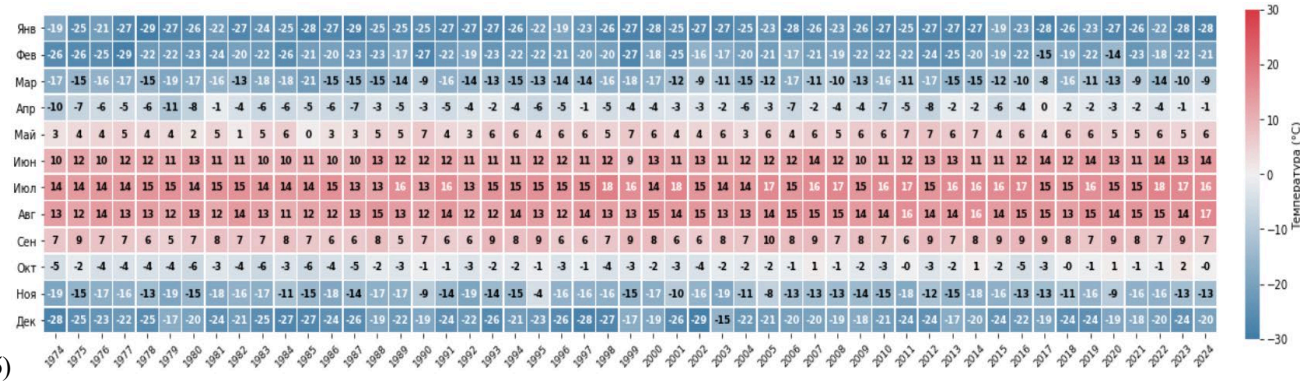
Для верификации данных ERA5 использованы наземные измерения с 180 метеостанций ВНИИГМИ-МЦД. Сравнение проводилось с месячными значениями температуры из набора ERA5 (разрешение 0.25°) за период 1974-2024 гг, полученные из Хранилища климатических данных Службы изменения климата «Коперник».

Целью работы является количественная оценка расхождений и выявление систематических расхождений данных реанализа ERA5 по сравнению с данными наземных наблюдений.

Для оценки расхождений между массивами данных использовались три ключевые метрики: систематическое смещение (Bias), показывающее среднюю ошибку; среднеквадратическая ошибка (Root Mean Square Error, RMSE), отражающая общую точность с учётом случайных и систематических погрешностей; и коэффициент корреляции Пирсона (r), характеризующий силу линейной связи между данными.



а)



б)

Рисунок 29. Температуры по наземным станциям на территории ДФО (1974-2024): а) средняя температура; б) тепловая карта месячных температур

Климат Дальнего Востока России характеризуется экстремальной континентальностью (годовая амплитуда 40,7°C) с муссонными чертами (рис. 29). Зима продолжительная и

холодная (средняя температура января: -25,4°C), лето короткое, но относительно тёплое (июль: +15,3°C). Период с положительными температурами длится всего 5 месяцев (май–сентябрь).

Среднегодовая температура составляет -4,3°C, что классифицирует регион как район с экстремально холодным климатом. Однако анализ многолетней динамики выявляет интенсивный тренд на потепление. Разница между самым холодным (1985, -6,5°C) и самым тёплым (2020, -2,4°C) годом составляет 4,1°C, что значительно превышает среднемировые показатели и указывает на высокую чувствительность климата к глобальным изменениям. Данное явление согласуется с феноменом арктического усиления, поскольку регион частично относится к субарктической и арктической климатическим зонам (Латонин и др., 2020).

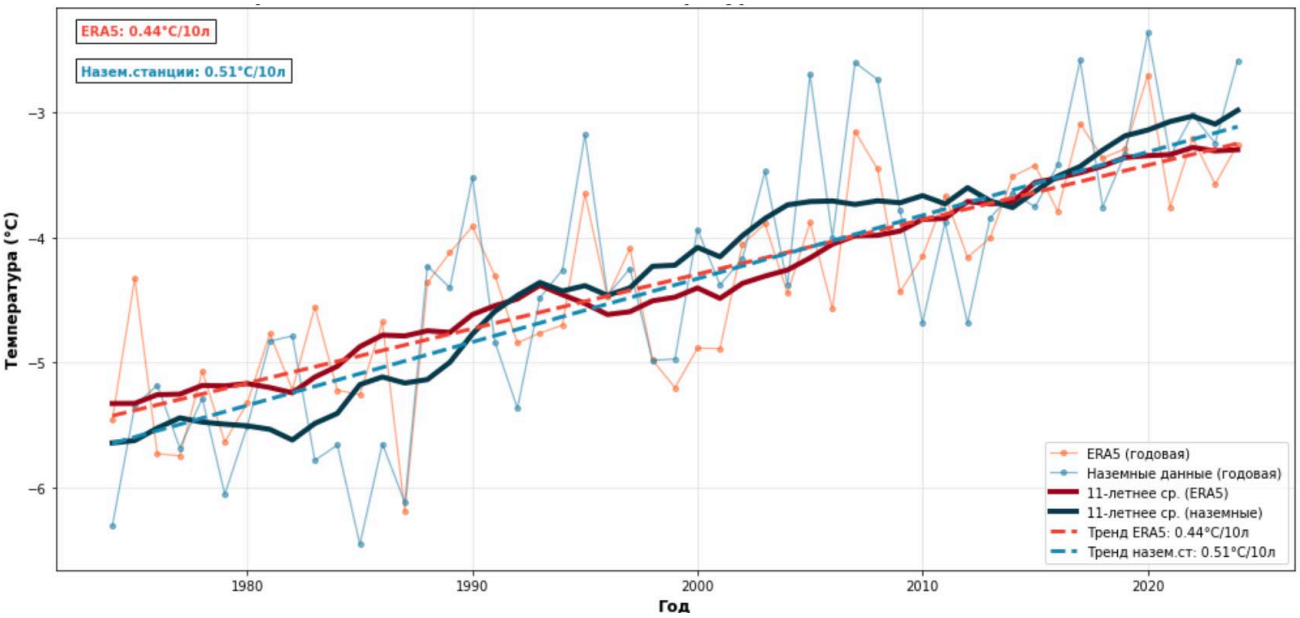


Рисунок 30. Сравнение многолетней динамики температуры по данным наземных наблюдений и реанализа ERA5 (1974–2024 гг.)

Статистический анализ наземных данных за 50-летний период выявил высоко значимый ($p < 0.001$) положительный тренд среднегодовой температуры величиной +0.51°C/10 лет, что составило абсолютное потепление на +2.21 °C (рис. 30). Это значение более чем в полтора раза превышает среднемировые показатели потепления (IPCC, 2021).

Данные ERA5 демонстрируют высокую согласованность с наземными измерениями, показывая статистически значимый тренд потепления +0.44 °C/10 лет, что всего на 14% меньше наблюдений, и подтверждают свою надежность для климатического анализа. Таким образом, ERA5 достоверно воспроизводит многолетний климатический тренд, что подтверждается крайне незначительным расхождением и очень сильной статистической

связью (r = 0.875, p < 0.001), делая его надежным инструментом для климатических исследований (табл. 7).

Таблица 7. Статистический анализ данных ERA5 и наземных наблюдений (1974-2024 гг.)

Параметр	**Годовые данные**	**Зима**	**Весна**	**Лето**	**Осень**
Корреляция (r)	0.875	0.650	0.805	0.783	0.740
Систематическое смещение (Bias), °C	-0.025	+0.398	-0.017	-0.381	-0.101
Среднеквадратическая ошибка (RMSE), °C	0.534	1.273	1.079	0.722	1.044
Тренд ERA5, °C/10 лет	0.44	0.30	0.52	0.37	0.55
Тренд наземных данных, °C/10 лет	0.51	0.51	0.80	0.46	0.55
Разница трендов, °C/10 лет	0.07	0.21	0.28	0.09	0.00

Данные таблицы 7 позволяют провести сравнительный анализ температурных данных реанализа ERA5 и наземных наблюдений по двум ключевым аспектам: точность абсолютных значений и способность воспроизводить долгосрочные тренды.

Точность абсолютных значений. Данные реанализа ERA5 демонстрируют наивысшее совпадение весной и осенью, где систематическое смещение (bias) близко к нулю, а корреляция с наземными наблюдениями превышает 0.74. Наименьшее совпадение характерно для зимы, где систематическое завышение температур на +0.398°C и самая низкая корреляция (r = 0.650). Данное расхождение объясняется фундаментальными трудностями моделирования устойчивых приземных инверсий в холодный период (Medeiros, 2011). Летом наблюдается умеренное отрицательное смещение (-0.38°C), указывающее на стабильное, но незначительное занижение температур моделью, что вероятно связано с недостаточным учетом эффекта городского теплового острова (Nogueira et al., 2022).

Способность воспроизводить климатические тренды. Наибольшее расхождение с наземными наблюдениями наблюдается весной: реанализ существенно недооценивает интенсивное потепление, зафиксированное станциями (+0.52 против +0.80 °C/10 лет). Зимой ERA5 также показывает более слабый тренд по сравнению с данными наблюдений (+0.30 против +0.51 °C/10 лет), что связано с фундаментальными сложностями моделирования приземных процессов (Kouki et al. 2023). В то же время осенью тренды совпадают (+0.55 °C/10 лет), а летнее расхождение является незначительным (0.09°C/10 лет).

ERA5 является надежным инструментом для анализа долгосрочных климатических трендов в регионе, однако для работы с абсолютными значениями температур, особенно зимой и весной, необходимо применять поправку на выявленные систематические смещения.

Наивысшее совпадение значений достигается для годовых данных и переходных сезонов (весна, осень).

Список литературы

Латонин М.М., Башмачников И.Л., Бобылёв Л.П. Явление арктического усиления и его движущие механизмы // Фундаментальная и прикладная гидрофизика. – 2020. – Т. 13, № 3. – С. 3-19. DOI:10.7868/S2073667320030016

Титкова Т.Б., Ананичева М.Д. Использование реанализа ERA5–Land и данных метеостанций в горных районах России для оценки изменения ледниковых систем Восточной Сибири и Дальнего Востока // Лёд и Снег. – 2023. – Т. 63, № 2. – С. 199-213. DOI: 10.31857/S2076673423020163

Bell B., Hersbach H., Simmons A., Berrisford P. et al. The ERA5 global reanalysis: Preliminary extension to 1950 // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2021. – Vol. 147, Is. 741. – P. 4186-4227

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.). – Cambridge University Press, 2021. – P. 1300.

Kouki K., Luojus K., Riihelä A. Snow cover properties in ERA5 and ERA5-Land reanalyses as evaluated with satellite observations over the Northern Hemisphere in spring 1982–2018 // The Cryosphere. – 2023. – Vol. 17. – P. 5007–5026. DOI:10.5194/tc-17-5007-2023.

Lei Y., Pan J., Xiong C., Jiang L., Shi, J. Snow depth and snow cover over the Tibetan Plateau observed from space in against ERA5: matters of scale // Climate Dynamics. – 2022. – Vol. 60, Iss. 5-6. – P. 1523–1541. DOI:10.1007/s00382-022-06376-0

Medeiros B., Deser C., Tomas R.A., Kay J.E. Arctic Inversion Strength in Climate Models // Journal of Climate. – 2011. – Vol. 24, Iss. 17. – P. 4733–4740. DOI:10.1175/2011JCLI3968.1

Nogueira M., Hurduc A., Ermida S., Lima D.C.A., Soares P.M.M., Johannsen F., Dutra E. Assessment of the Paris urban heat island in ERA5 and offline SURFEX-TEB (v8.1) simulations using the METEOSAT land surface temperature product // Geoscientific Model Development. – 2022. – Vol. 15, Iss. 14. – P. 5949–5965.

БУДУЩИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ОСАДКОВ ЯНВАРЯ И ИЮЛЯ НА ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

FUTURE CLIMATIC CHANGES IN AIR TEMPERATURE AND PRECIPITATION IN JANUARY AND JULY IN SAINT PETERSBURG AND LENINGRAD REGION

Груздев А.И., Лобанов В.А.

Российский государственный гидрометеорологический университет
Россия, *192007, Санкт-Петербург, Воронежская ул.,79; gruzdev2542022@mail.ru*

Аннотация. Рассматриваются многолетние ряды среднемесячных температур воздуха и осадков января и июля на 22 метеорологических станциях на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области для анализа и оценки их будущих климатических изменений. Объединена информация из трех разных климатических архивов, увеличена продолжительность рядов и восстановлены пропуски наблюдений. Для оценки будущих изменений выбраны наиболее подходящие климатические модели проекта CMIP6, и по разработанной методике проведены корректировки сценарных значений. Получены пространственные распределения сценарных значений температур воздуха и осадков выбранных месяцев и проведено сравнение с их современными значениями.

Ключевые слова. Оценка будущего климата, Ленинградская область, осадки, среднемесячная температура, проект CMIP6, Санкт-Петербург, сценарии.

Abstract. The long-term series of average monthly air temperatures and precipitation in January and July at 22 meteorological stations in St. Petersburg and the Leningrad Region are considered for the analysis and assessment of their future climatic changes. Information from three different climatic archives was combined, the duration of the series was increased and observation omissions were restored. To assess future changes, the most suitable climatic models of the CMIP6 project were selected, and the scenario values were adjusted according to the developed methodology. Spatial distributions of scenario values of air temperatures and precipitation of selected months were obtained and compared with their current values.

Keywords. assessment of future climate, precipitation, mean monthly temperature, CMIP6 project, Leningrad Region, Saint Petersburg, scenarios.

В современный период по всему миру, в том числе и в России (Третий оценочный доклад, 2022) происходят климатические изменения, поэтому необходимо изучать и проводить оценку климатического состояния, не только всей климатической системы, но и различных регионов в отдельности. Изучение индивидуально взятых территорий, помогает детальнее выявить особенности происходящих изменений.

В Ленинградской области и в Санкт-Петербурге расположены важнейшие административные и промышленные центры, функционирование которых находится в высокой зависимости от климата и его колебаний.

Результаты оценки будущего климата могут быть применены при разработке программ и планов развития сельского, лесного, водного хозяйства и других региональных отраслей экономики, региональных стратегий по борьбе с изменением климата и адаптации к ним и для охраны окружающей среды.

*П*роведена оценка надежности и совместимости данных трех архивов: архив Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных в г. Обнинске (ВНИИГМИ-МЦД), архивов института Годдарда

(NASA) и справочно-информационного портала "Погода и климат", включающая сравнение наблюдений за совместный период в среднем 95 лет для температуры воздуха и 75 лет для осадков. При анализе рассчитанных коэффициентов корреляции (R) между рядами наблюдений из архива ВНИИГМИ-МЦД и с сайта "Погода и Климат" получено, что для температур января и июля данные практически идентичны на всех станциях и R=0,99-1,0, а для осадков R=0,98-1,0. Корреляционная связь между данными архива Обнинска и института Годдарда также высока, R=0,99-1,0 для рядов температуры воздуха, и для осадков R=0,97-0,99.

В итоге сформирована региональная база данных многолетних рядов наблюдений продолжительностью, в среднем, около 110 лет с последним годом наблюдений 2025 г. для среднемесячной температуры воздуха и 80 лет для осадков, состоящая из 22 пунктов наблюдений.

Расположение метеостанций за рассматриваемыми характеристиками приведено на рисунке 31.

Рисунок 31. Расположение метеостанций с наблюдениями за температурой воздуха и осадками

Выполненное исследование эмпирических распределений температуры воздуха и осадков показало, что большинство экстремумов однородны. Восстановление пропусков наблюдений успешно для всех месяцев, и ряды увеличены на 10-30%.

Исследование будущих изменений климата осуществляется на основе физико-математических моделей общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) (IPCC, 2013).

Была использована методика, успешно применяемая во многих исследованиях, посвященных климатическим изменениям в различных регионах мира (Лобанов, Кириллина, 2019; Шукри и др., 2018), которая основана на объединении результатов оценки современного

изменения климата по статистическим моделям и оценок климата по физико-математическим моделям с корректировкой их результатов.

Для оценки будущего климата были использованы результаты сценарных оценок по 15 физико-математическим моделям климата проекта CMIP6. Рассматривались сценарии RCP со стабилизацией общего антропогенного воздействия в 2100 году на уровнях: 2,6, 4,5 и 8,5 Вт/м^2.

Наиболее подходящими моделями для Ленинградской области оказались модель CSIRO-ESM центра атмосферных исследований Австралии для температур января (среднее абсолютное отклонение от данных наблюдений за многолетний период ΔT = 1,1°C) и канадская модель CANESM5 для температур июля (ΔT = 0,8°C), японская модель MIROC6 для осадков января (ΔO = 15 мм) и июля (ΔO = 10 мм). Критерием является минимальная средняя по абсолютной величине разность по всем метеостанциям в районе (Δср) между наблюденными и смоделированными средними за выбранные интервалы времени.

На рисунке 32 приведены карты пространственных распределений будущих сценарных средних январских температур по 30-летним периодам для модели CSIRO и трех сценариев RCP2,6, 4,5 и 8,5 Вт/м^2.

Из рисунка 32 видно, что в настоящее время имеет место меридиональное изменение среднемесячных температур января с максимумом на западе (о. Гогланд, -5,7°C) и минимумом на северо-востоке (ст. Вознесенье). По благоприятному сценарию RCP2.6 рост температуры к 2100 г. составит около 3°C по сравнению с современной (1981-2010 гг.), а по среднему сценарию RCP4.5 потепление составит 3,5-4°C.

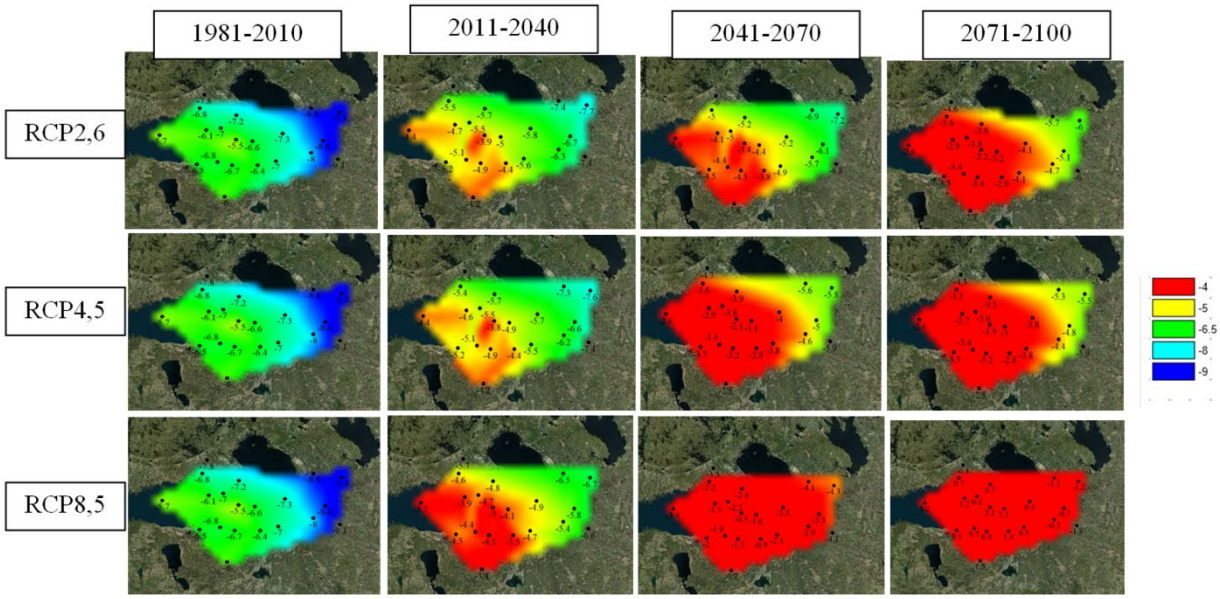


Рисунок 32. Пространственные распределения современных и будущих сценарных средних январских температур по 30-летним периодам для модели CSIRO и трех сценариев RCP2,6, 4,5 и 8,5 Вт/м^2

По неблагоприятному сценарию RCP8,5 уже к середине этого столетия рост январской среднемесячной температуры на территории Ленинградской области составит, в среднем, 4,5°С, а к концу 21 века – на более чем половине территории среднемесячная температура перейдет через 0°С, и рост составит 7,5-8°С.

Для среднемесячной температуры июля получено, что имеет место равномерное потепление, и в зависимости от выбранной траектории оно составит 2, 3,5 и 7°С, соответственно.

Изменение осадков по сравнению с современными значениями (1991-2020 гг.) менее 15-25% статистически не значимо, т.к. они имеют большую естественную изменчивость. По сценарию RCP2,6 отмечается статистически значимое уменьшение осадков января в западной части Ленинградской области (до 35%), в восточной части отмечается незначительный рост осадков (15%). По сценарию RCP4,5 отмечается уменьшение количества осадков, статистически значимое на всей территории (15-25%), за исключением юго-восточной части области. По сценарию RCP8,5 отмечается значимое увеличение количества осадков по всей территории с максимумами в восточной части области.

Для осадков июля выявлено, что по сценариям RCP2,6 и 4,5 отмечается статистически значимое уменьшение (15-30%) в центральной и юго-восточной частях Ленинградской области и в г. Санкт-Петербург. По сценарию 8,5 уменьшение июльских осадков статистически значимо на всех станциях (30-45%).

Исследование выполнено в научной Лаборатории «Экология и климат» Российского государственного гидрометеорологического университета за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20034 «Обоснование и разработка адаптационных мероприятий к изменениям климата и их последствиям для успешного развития агломерации Санкт-Петербурга и Ленинградской области с учетом экосистемных особенностей водно-зеленого каркаса, функционирования сельского хозяйства, транспортной и энергетической инфраструктуры и возникающих экологических рисков» при поддержке Санкт-Петербургского научного фонда.

Список литературы

Лобанов В.А., Кириллина К.С. Современные и будущие изменения климата Республики Саха (Якутия). – СПб.: РГГМУ, 2019. – 157 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.

Шукри О.А.А., Лобанов В.А., Хамид М.С. Современный и будущий климат Аравийского полуострова. – СПб.: РГГМУ, 2018. – 190 с.

IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge, New York: Cambridge University Press, 2013. – 1535 p.

ДИНАМИКА СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В МАРТЕ – ОКТЯБРЕ В ЮЖНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ

DYNAMICS OF AVERAGE DAILY AIR TEMPERATURE IN MARCH – OCTOBER IN THE SOUTHERN BAIKAL REGION

Ермакова О.Д.

Ermakova O.D.

ФГБУ «Байкальский государственный заповедник»
Россия, 671220, пос. Танхой, Красногвардейская, 34; *olerm@list.ru*

Аннотация. В настоящей работе представлена динамика среднесуточной температуры воздуха в Южном Прибайкалье за восемь месяцев, с марта по октябрь. Период исследований составил 54 года (1971–2024). Для многолетних рядов проведён статистический анализ и определены линейные тренды. Выяснено, что наименьшая стабильность среднесуточной температуры воздуха характерна для марта, апреля и октября. Из летних месяцев постоянством среднесуточной температуры воздуха отличается август. Для сентября также свойственна равномерность температурного фона. Как показывает линейный тренд, к настоящему времени для всех исследованных месяцев прослеживается одинаковая тенденция к повышению среднесуточной температуры воздуха.

Ключевые слова: среднесуточная температура воздуха, многолетние ряды, линейный тренд.

Abstract. The dynamics of the average daily air temperature in the Southern Baikal region for eight months, from March to October, is presented in this article. The research period was 54 years (1971–2024). Statistical analysis was carried out for multi-year series and linear trends were determined. The lowest stability of the average daily air temperature is characteristic of March, April and October. Of the summer months, August is distinguished by its constant average daily air temperature. September is also characterized by uniform temperature background. According to the linear trend, the same tendency towards an increase in the average daily air temperature has been observed for all the months studied to date.

Keywords: average daily air temperature, long-term series, linear trend.

Природная среда очень уязвима к воздействию различных внешних факторов, поэтому изучение влияния климатических процессов на развитие экосистем является актуальным и своевременным. Характеристика погоды является неотъемлемой частью Летописи природы, ежегодного научного отчёта заповедников.

В настоящей работе представлен анализ многолетних рядов среднесуточной температуры воздуха за восемь месяцев, с марта по октябрь. Использовались первичные материалы метеостанции «Танхой», расположенной в одноимённом посёлке на высоте 472 м н.у.м. Период исследований составил 54 года (1971–2024). Статистический и графический анализ осуществлялся с использованием компьютерной программы Microsoft Excel.

Степень вариации оценивалась согласно стандартному отклонению (Рокицкий, 1973) и коэффициенту вариации с учётом общепринятых рекомендаций (Лакин, 1990). Варьирование считается слабым, если коэффициент вариации не превосходит 10%; средним, если он равен 11–25%; значительным, если он более 25%.

Как свидетельствуют материалы исследований (табл. 8; рис. 33), наименьшая стабильность среднесуточной температуры воздуха характерна для марта, апреля и октября. Из летних месяцев постоянством среднесуточной температуры воздуха отличается август. Для сентября также свойственна равномерность температурного фона.

Таблица 8. Статистические характеристики среднесуточной температуры воздуха (°С) за март – октябрь*

Месяц n= 54	$\overline{X}$	X_{min}	X_{max}	σ^2	σ	V, %	$S_{\overline{X}}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Март	-8,9	-15,5	-4,8	5,167	2,273	25,3	0,31
Апрель	-0,018	-4,7	3,8	3,583	1,893	10221,6	0,24
Май	6,4	4,4	9,1	1,159	1,076	16,8	0,14
Июнь	11,5	8,6	14,5	1,476	1,215	10,5	0,16
Июль	15,6	12,7	20,6	2,446	1,564	10,0	0,21
Август	14,4	11,8	16,7	1,381	1,175	8,1	0,16
Сентябрь	8,6	6,7	11,0	0,873	0,934	10,8	0,12
Октябрь	2,0	-1,1	5,0	1,835	1,354	66,6	0,18

**Примечание: 1 - месяц и объём совокупности; 2 - среднее арифметическое значение; 3 - минимальное значение; 4 - максимальное значение; 5 - средний квадрат отклонений показателя от средней арифметической; 6 - среднее квадратическое отклонение (или стандартное отклонение); 7 - коэффициент вариации; 8 - ошибка средней арифметической.*

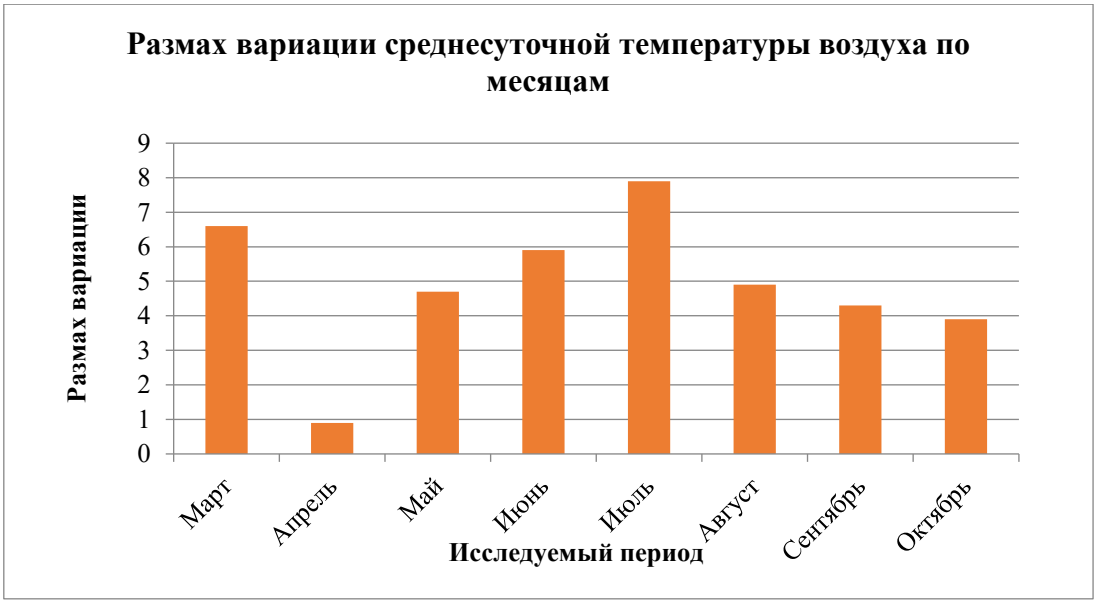


Рисунок 33. Размах вариации среднесуточной температуры воздуха (°С) по месяцам

Ниже (рис. 34–41) показаны тренды, отражающие направленность изменения среднесуточной температуры воздуха с марта по октябрь более чем за полувековой период.

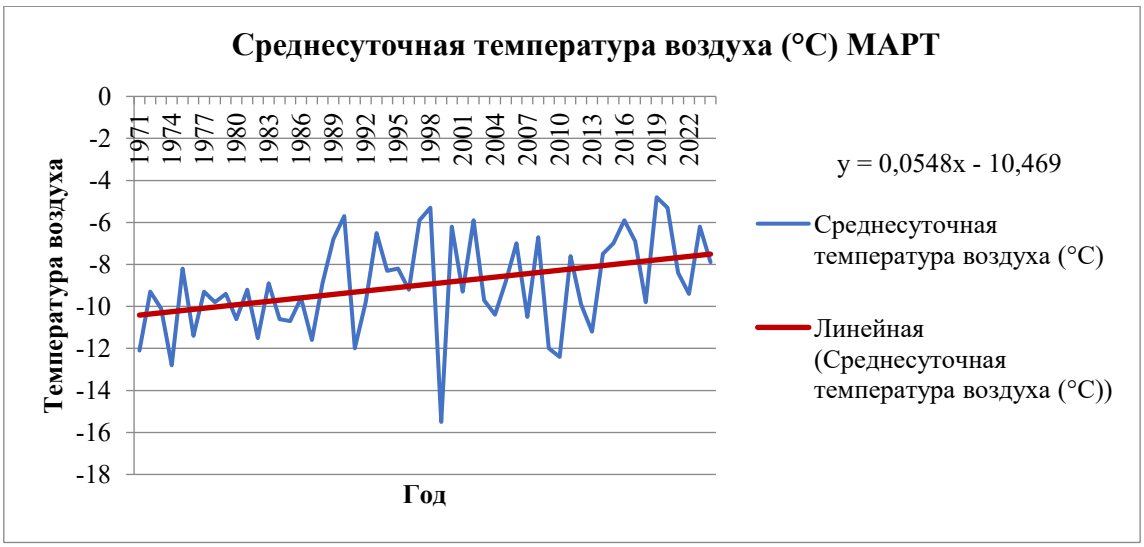


Рисунок 34. Среднесуточная температура воздуха (°C). Март

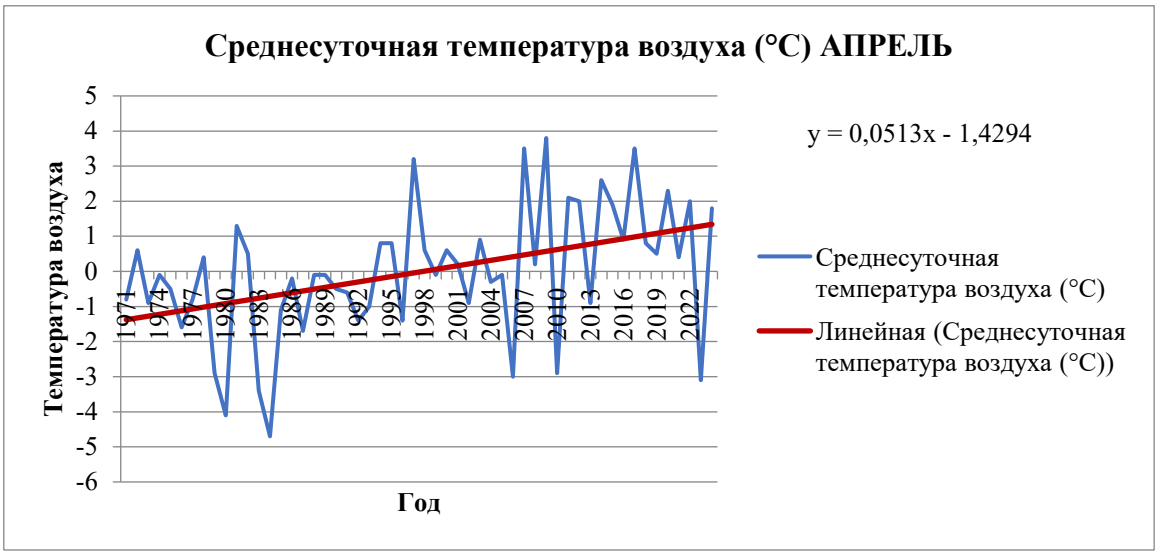


Рисунок 35. Среднесуточная температура воздуха (°C). Апрель

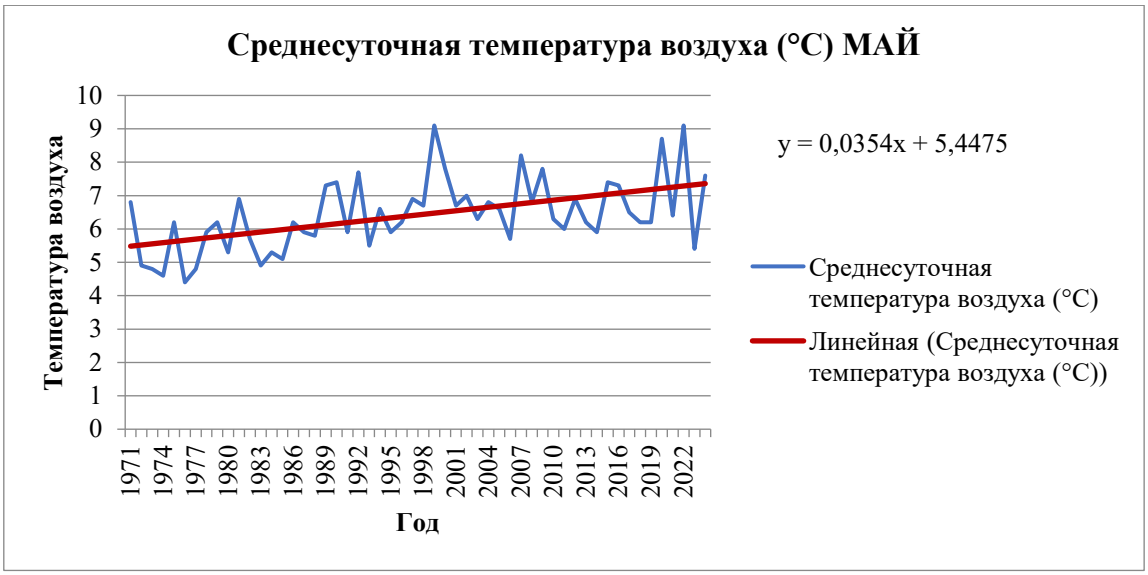


Рисунок 36. Среднесуточная температура воздуха (°C). Май

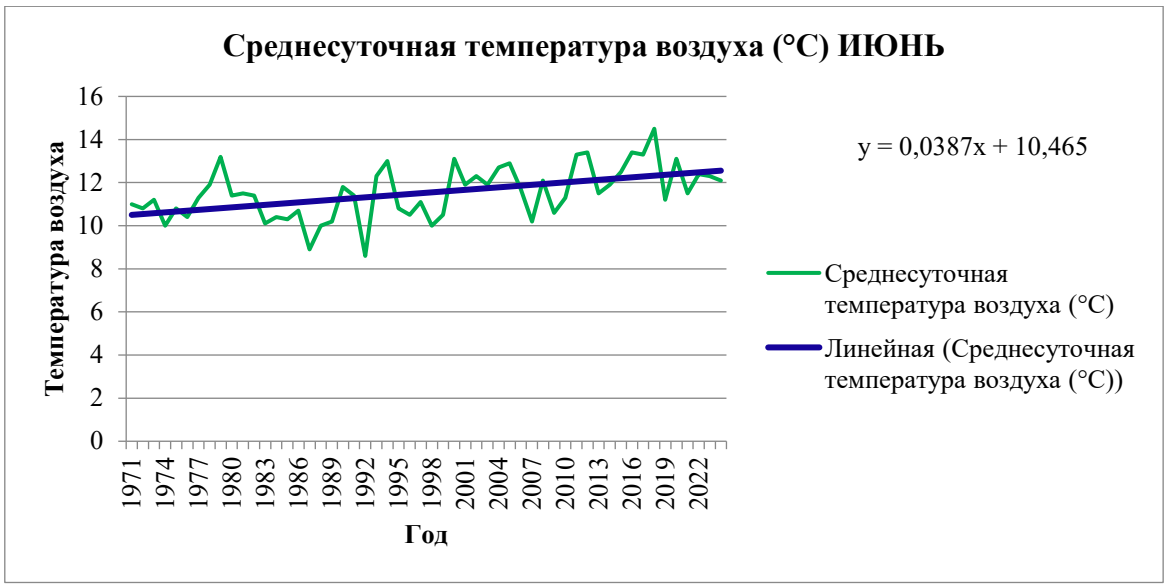


Рисунок 37. Среднесуточная температура воздуха (°C). Июнь

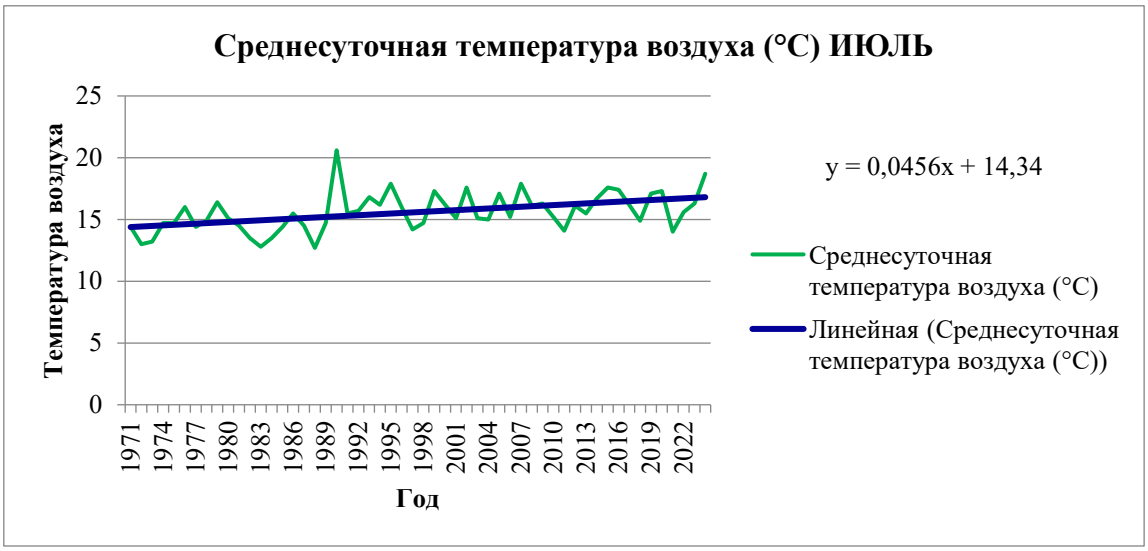


Рисунок 38. Среднесуточная температура воздуха (°C). Июль

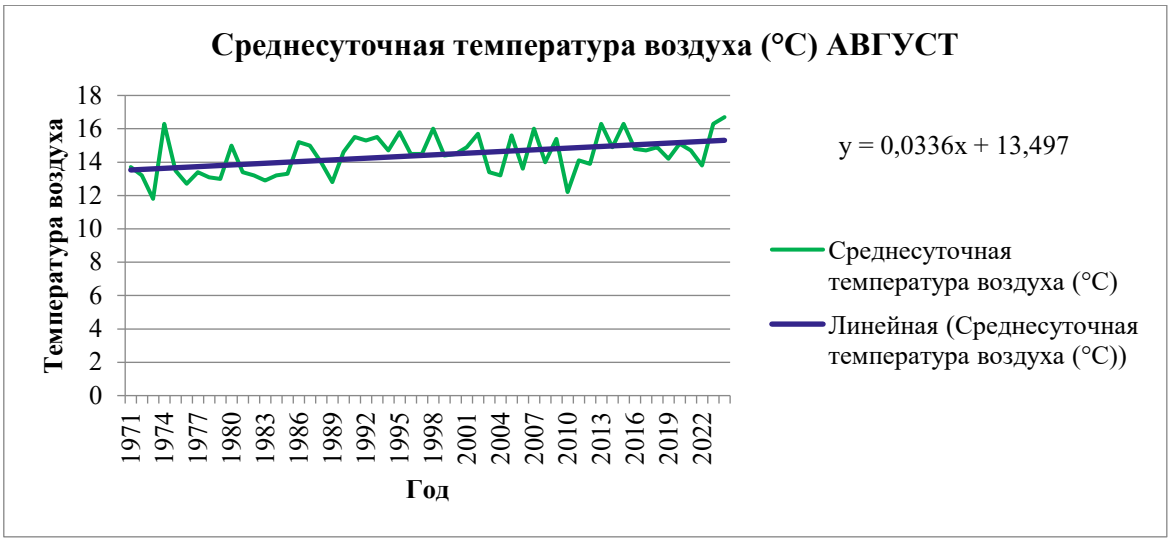


Рисунок 39. Среднесуточная температура воздуха (°C). Август

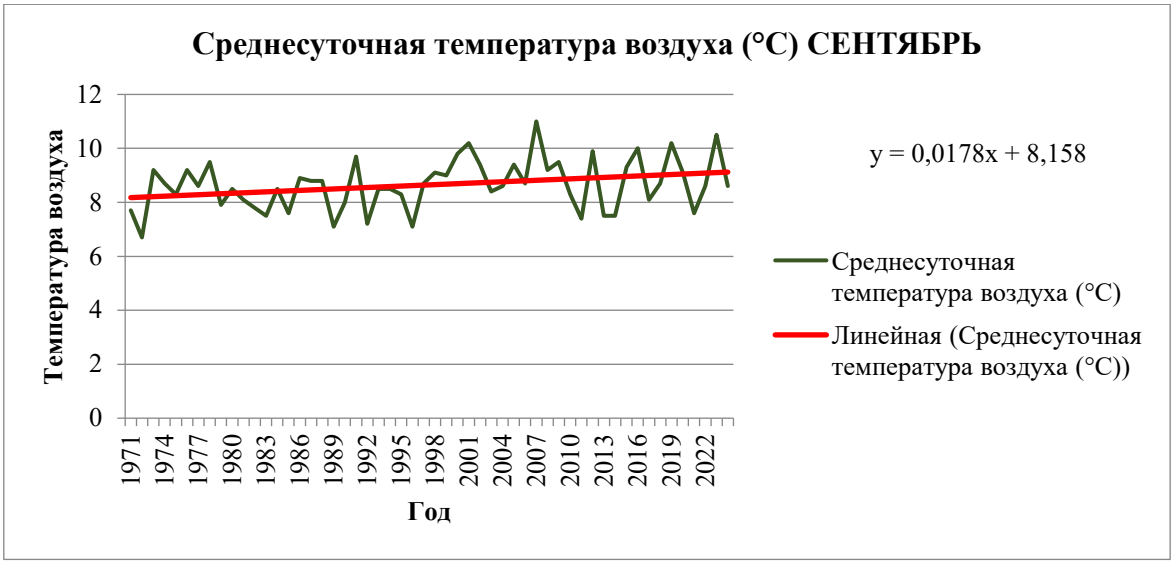


Рисунок 40. Среднесуточная температура воздуха (°C). Сентябрь

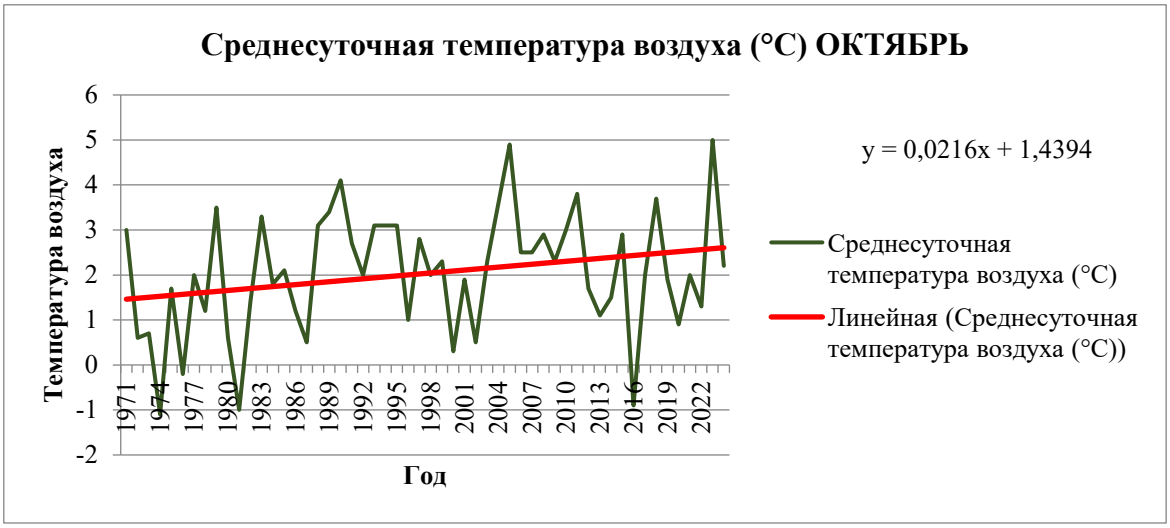


Рисунок 41. Среднесуточная температура воздуха (°C). Октябрь

Как показывает линейный тренд (рис. 34–41), к настоящему времени для всех исследованных месяцев прослеживается одинаковая тенденция к повышению среднесуточной температуры воздуха. Наиболее заметные изменения характерны для первых двух фенологических этапов (первовесенье, пёстрая весна) весеннего сезона.

Список литературы

Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высш. шк., 1990. – 293 с.

Рокицкий П.Ф. Биологическая статистика. – Минск: Вышейш. школа, 1973. – 320 с.

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВЛЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ В 2024 ГОДУ ПО ДАННЫМ НАУЧНОГО ВОЛОНТЕРСТВА

SPATIAL AND TEMPORAL CHARACTERISTICS OF THE ESTABLISHMENT OF PERSISTENT SNOW COVER IN RUSSIA IN 2024 BASED ON CITIZEN SCIENCE DATA

Иванова Ю.Р.[1], Янцер О.В.[2]

Ivanova U.R.[1], Yantser O.V.[2]

[1]Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
Россия, 620026, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, д. 48а / ул, Белинского, д, 71а; *miss.nocentra@list.ru*
[2] Уральский государственный педагогический университет
Россия, 620091, Свердловская область, г. Екатеринбург, проспект Космонавтов, д. 26; *ksenia_yantser@bk.ru*

Аннотация. Статья посвящена картографическому анализу даты установления устойчивого снежного покрова на территории Российской Федерации на основе наблюдений, собранных в рамках научного волонтерства. Данные преимущественно получены из парков и других природных участков в пределах крупных городов. С применением интерполяции в среде QGIS построена карта изолиний, отображающая примерную пространственную структуру этого сезонного явления. Результаты демонстрируют потенциал научного волонтерства для фенологических и климатических исследований, несмотря на известные ограничения в репрезентативности и точности.
Ключевые слова: научное волонтерство; снежный покров; фенологические исследования.

Abstract. This study presents a cartographic analysis of the date of stable snow cover establishment across the territory of the Russian Federation, based on observational data collected through scientific volunteering initiatives. The observations were predominantly conducted in urban green spaces, such as parks and forested areas within city boundaries. Using interpolation techniques in QGIS, a contour map was produced to represent the approximate spatial structure of this seasonal phenomenon. Despite known limitations in data representativeness and spatial accuracy, the results demonstrate the potential of scientific volunteering to contribute to phenological and climatological research.
Keywords: citizen science; snow cover; phenological research.

Динамика установления устойчивого снежного покрова является одним из ключевых индикаторов сезонных изменений на территории России, обладающей значительными пространственными различиями в климатических условиях. Дата образования снежного покрова непосредственно индицирует наступление зимы и влияет на продолжительность зимнего сезона, водный режим, состояние экосистем, а также на социально-экономические процессы в регионах. В условиях наблюдаемых изменений климата изучение пространственно-временных закономерностей формирования снежного покрова приобретает особую значимость (Попова, 2014).

В последние годы все более важную роль в мониторинге сезонных природных явлений играют данные, собранные в рамках научного волонтерства. Их использование позволяет оперативно получать актуальную информацию, особенно в регионах с недостаточным количеством регулярных метеорологических наблюдений. Настоящее исследование направлено на предварительный анализ пространственного распределения дат установления устойчивого снежного покрова в России на основе таких данных за сезон 2024–2025 гг.

Цель исследования – апробация подхода к картографированию даты установления устойчивого снежного покрова с использованием волонтерских наблюдений.

Сбор данных происходил через платформу «Окружающий мир» Русского географического общества (РГО). До начала зимнего сезона 15 ноября 2024 года Фенологической комиссией Свердловского областного отделения была объявлена акция «С первым снегом!», целью которой было изучение снежной обстановки на территории Российской Федерации и привлечение внимания научных волонтеров к предстоящему всероссийскому спецпроекту «Снежный дозор». Спецпроект был организован РГО и Российским движением детей и молодежи «Движение Первых». Волонтерам было предложено отметить такие гидрометеорологические явления: первый снегопад или первые осадки в виде снега; первый снежный покров; дата образования устойчивого снежного покрова; ледостав; периодические измерения высоты снежного покрова в течение зимнего сезона 2024–2025; начало ледохода; полное освобождение водоема ото льда; появление первых кольцевых проталин вокруг деревьев; разрушение устойчивого снежного покрова и последний временный снежный покров.

В ноябрьской акции приняло участие 496 волонтеров, которые внесли на портал 1051 наблюдений, а в ходе спецпроекта 1020 волонтеров зафиксировали предложенные гидрометеорологические явления 6744 раза. География наблюдений охватывала практически всю территорию страны. Однако значительная концентрация точек была отмечена в черте населенных пунктов – в парках, скверах и лесопарковых зонах.

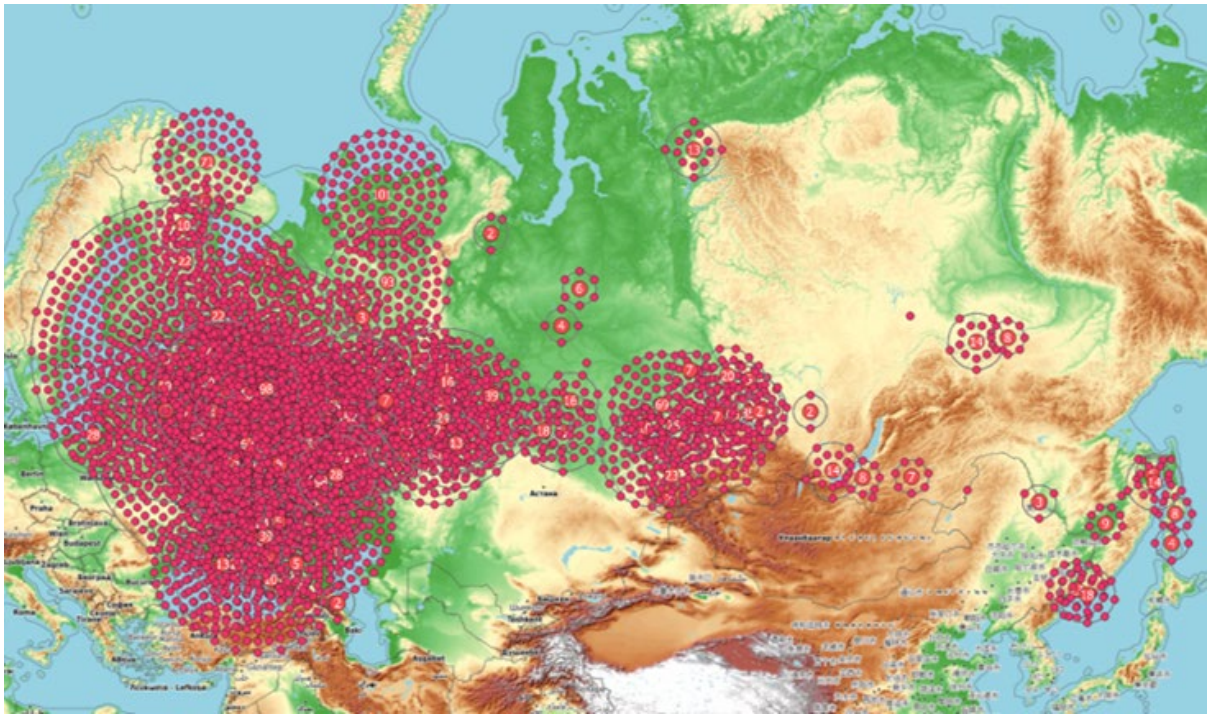


Рисунок 42. Плотность наблюдений, собранных в рамках спецпроекта «Снежный дозор»

После завершения спецпроекта, собранная база данных была проанализирована с целью установления даты образования устойчивого снежного покрова по данным волонтеров. Были выделены 113 дат для 38 субъектов РФ. Данные волонтеров совпали с данными гидрометеорологических станций только в 58% населенных пунктов. Как правило, волонтеры отмечали дату образования устойчивого снежного покрова на 3–5 дней позднее метеостанций. Кроме того, в южных регионах, таких как Ростовская область, Краснодарский и Ставропольский край, в качестве нужной даты указывались даты снегопадов.

Дальнейшая обработка данных производилась в QGis версии 3.36.0. С помощью модуля Spreadsheet Layers был произведен импорт точек из отсортированной таблицы Excel в ПО QGis. Далле по всем этим точкам выгружался .shp слой и импортировался в ПО SAGA GIS, где производилось интерполяция значений методом B–Spline Interpolation. Важно отметить, что в данном исследовании географические особенности, такие как рельеф, высота над уровнем моря, экспозиция и другие не учитывались. Исходные наблюдения охватывали преимущественно городские зелёные зоны – парки и лесные участки в пределах населённых пунктов. На основе этих данных с применением инструментов QGIS выполнена интерполяция, позволившая визуализировать крупномасштабные пространственные закономерности формирования снежного покрова.

В результате обработки данных, собранных научными волонтёрами в сезоне 2024–2025 гг., была построена карта с изолиниями (изодатами), отражающая пространственное распределение сроков установления устойчивого снежного покрова на территории Российской Федерации в 2024 году (рис. 43).

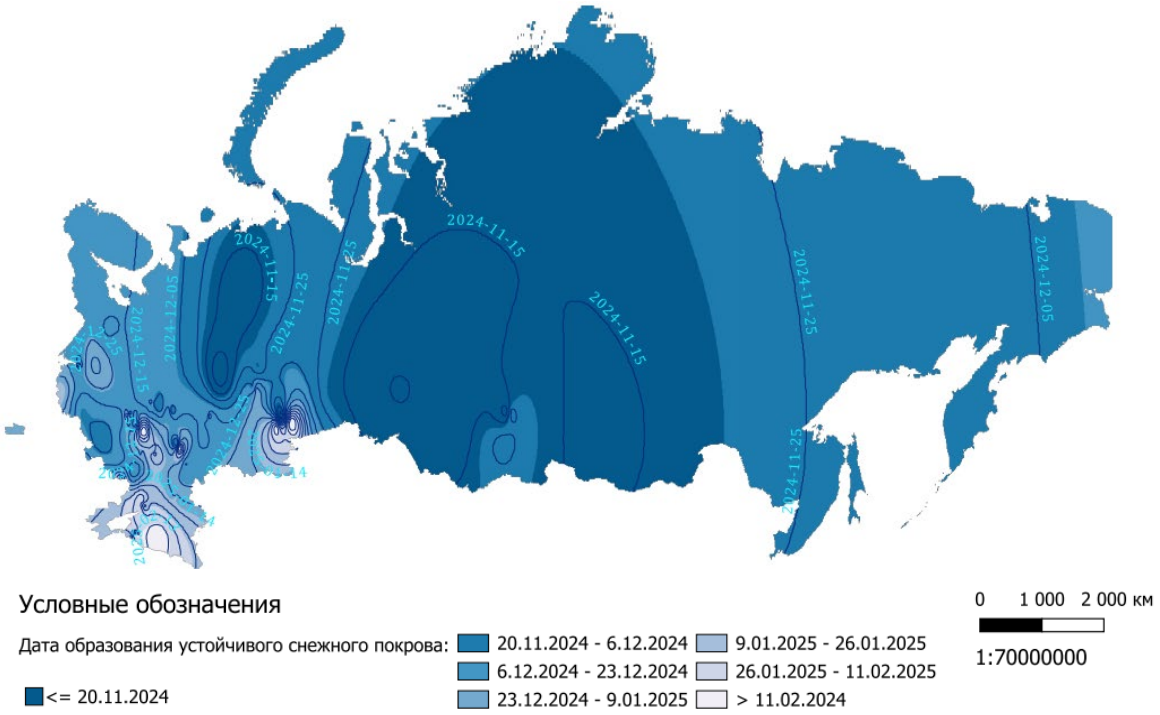


Рисунок 43. Даты образования устойчивого снежного покрова в 2024 году (по данным волонтеров)

Полученные результаты демонстрирует ожидаемые градиенты от западных районов к восточным, от южных к северным. Заметные локальные смещения изолиний отражают не природную структуру, а плотность наблюдений. Наиболее раннее установление снежного покрова (до 20 ноября 2024 г.) зафиксировано в северных и восточных регионах страны. Центральная часть и юг Сибири, а также Дальний Восток демонстрируют формирование снежного покрова в интервале с конца ноября по декабрь. В южных регионах Европейской территории России устойчивый снежный покров устанавливался в более поздние сроки – вплоть до второй декады февраля 2025 г. – или не устанавливается вовсе. Здесь нередко отмечались случаи нестабильного снежного покрова, не подпадавшего под критерий устойчивости.

Следует отметить ряд ограничений, влияющих на интерпретацию полученных картографических данных. Во-первых, исходные наблюдения были собраны преимущественно в пределах крупных населённых пунктов, что приводит к высокой плотности точек в урбанизированных территориях и недостаточному покрытию в удалённых и горных районах. Во-вторых, при интерполяции не учитывались географические и орографические особенности местности (рельеф, высота над уровнем моря, влияние водоёмов и т.п.), что может вносить искажения в представление о фактическом пространственном распределении дат установления снежного покрова. Кроме того, сопоставление полученных результатов с официальными гидрометеорологическими данными в данной работе проводилось весьма поверхностно. Проведение глубокого анализа в последующих исследованиях позволит более объективно оценить точность и репрезентативность данных научного волонтерства при изучении сезонной динамики снежного покрова.

Полученные результаты демонстрируют возможность использования данных научного волонтерства для крупномасштабной картографической оценки сроков установления устойчивого снежного покрова на территории России. Несмотря на широкую географию и значительный объем полученных данных, анализ показал, что даты образования устойчивого снежного покрова, зафиксированные волонтерами, во многих случаях не совпадали с официальными данными гидрометеорологической сети. Полное совпадение было установлено чуть более, чем в половине населённых пунктов, а в большинстве случаев волонтеры отмечали образование устойчивого снежного покрова на 3–5 дней позднее метеостанций. На юге страны фиксировались случаи, когда в качестве даты образования устойчивого снежного покрова указывалась дата снегопада, не приведшего к его сохранению. Эти расхождения, вероятно, связаны с субъективным восприятием фенологического признака наблюдателями.

Таким образом, данные волонтеров, собранные в рамках спецпроекта «Снежный дозор» и акции «С первым снегом!», представляют собой ценное дополнение к информации

гидрометеорологической службы, позволяя расширить пространственное покрытие наблюдений, но при этом требуют учета возможных систематических сдвигов и региональных особенностей при их интерпретации и сравнении с официальными источниками.

Список литературы

Попова В.В. Сроки установления снежного покрова на севере Евразии: прямые и обратные связи с крупномасштабной атмосферной циркуляцией / В. В. Попова, А. В. Ширяева, П. А. Морозова // Лёд и снег. – 2014. – Т. 54, № 3. – С. 39–49.

Русское географическое общество «Окружающий мир» https://fenolog.rgo.ru/page/okruzhayushchiy-mir

ОЦЕНКА ЭМИССИОННОГО И ОБМЕННОГО ПОТОКА CO_2 С ПОВЕРХНОСТИ НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА В ЕСТЕСТВЕННЫХ И НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ СИБИРИ

ASSESSMENT OF EMISSION AND EXCHANGE CO2 FLUXES FROM THE SURFACE OF THE GROUND COVER IN NATURAL AND DISTURBED ECOSYSTEMS OF CENTRAL SIBERIA

Махныкина А.В.[1,2], Кукавская Е.А.[1], Панов А.В. [1], Арясов В.Е. [1], Прокушкин А.С. [1,2]

Makhnykina A.V.[1,2], Kukavskaya E.A.[1], Panov A.V. [1], Aryasov V.E. [1], Prokushkin A.S. [1,2]

[1] Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28; *makhnykina.av@ksc.krasn.ru*
[2] ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79/10; *prokushkin@ksc.krasn.ru*

Аннотация. Лесные экосистемы бореальной зоны являются наиболее подверженными территориями к изменению внешних воздействий, будь то естественные или антропогенные факторы. Потоки CO_2 в ярусе напочвенного покрова являются так называемой недооцененной частью бюджета углерода, которая именно в бореальных леса вносит существенный вклад в формирование потоков углерода. В нашей работе мы оценили особенности развития естественных и нарушенных территорий путем прямых измерений эмиссионных и обменных потоков CO_2 с поверхности напочвенного покрова.
Ключевые слова: почвенная эмиссия CO_2, пожары, рубки леса, бореальные леса.

Abstract. Forest ecosystems of the boreal zone are the most susceptible territories to changes in external influences, be they natural or anthropogenic factors. CO_2 fluxes in the ground cover layer are the so-called underestimated part of the carbon budget, which makes a significant contribution to the formation of carbon flows in boreal forests. In our work, we assessed the development features of natural and disturbed territories by direct measurements of emission and exchange fluxes of CO_2 from the surface of the ground cover.
Keywords: soil CO_2 emission, fires, logging, boreal forests.

Бореальные экосистемы представляют собой регионы исключительной уязвимости к современным и прогнозируемым климатическим изменениям (IPCC, 2022). В высокоширотных северных территориях наблюдается потепление атмосферы, темпы которого вдвое превышают среднемировой уровень, что объясняется усилением потепления в Арктике (Park et al., 2019). Ожидается, что реакция этих экосистем на прогнозируемые климатические изменения будет более быстрой и выраженной по сравнению с другими биомами мира. Потоки CO_2 из почв высоких широт представляют собой потенциально наиболее значительную положительную обратную связь наземных экосистем с изменением климата, характеризующуюся высокой вероятностью возникновения (Abbott et al., 2015). При этом помимо естественных климатических изменений, связанных с ростом температуры и изменением режима осадков, наблюдается уменьшение межпожарный интервалов (Burrell et al., 2022) и еще большая интенсификация антропогенной деятельности (McDowell et al., 2020).

В нашей работе мы путем прямых измерений потоков CO_2 с поверхности напочвенного покрова, попытались учесть целый спектр внешних факторов от естественных условий до пожаров и рубок леса. Измерения проводились в Туруханском районе Красноярского края, на

базе международного научного стационара «ZOTTO». Величина потока CO_2 измерялась с помощью автоматизированной системы на основе инфракрасного газового анализатора LI-8100A (Li-cor Biogeosciences Inc., Lincoln, США). Частота измерений за сезон была не менее 5 раз в месяц. Прямые измерения температуры и влажности почв приводились непосредственно при каждом измерении потоков почвенной эмиссии CO_2. Замеры температуры проводились на трех глубинах – 5, 10 и 15 см от поверхности почвы с помощью почвенного температурного датчика Soil Temperature Probe Type E (Omega, США). Для измерения объемной влажности SWC (5 см от поверхности) использовался влагомер Theta Probe Model ML2x (Delta T Devices Ltd., Великобритания) (Махныкина и др., 2016). Объектами исследования стали сосновые насаждения – *Pinus sylvestris L*. В качестве нарушений были выбраны высокоинтенсивный низовой пожар и сплошная рубка леса, которые произошли в один год (2018).

В результате было установлено, что в первую очередь, как на естественных, так и на нарушенных участках, в обменном потоке (NSE – net surface exchange) преобладает эмиссионная (SR – soil respiration) компонента. Вклад эмиссии CO_2 в общий поток с поверхности напочвенного покрова может достигать до 80-85% в зависимости от представленного напочвенного покрова. В нарушенных насаждениях, пройденных высокоинтенсивным низовым пожаром, эмиссионные и обменные минимальны. Далее следует участок, со сплошной рубки, пройденной пожаром. И максимальные потоки CO_2 с территории изученных нарушенных участков наблюдались для сплошной рубки леса, с данностью рубки в 6 лет. Различия с потоками с естественными экосистемами может достигать порядка 50-60% в середине вегетационного сезона.

Основными факторами, контролирующими обменные и эмиссионные потоки в естественных насаждениях, выступают температура и влажность почвы. На нарушенных территориях ввиду небольшой давности с момента нарушения, все-таки сам фактор нарушенности определяет поток, связь с метеорологическими условиям почвы существенно ниже, чем в естественной экосистеме.

Таким образом, анализ существующих закономерностей в потоках CO_2 с поверхности напочвенного покрова, позволил оценить вклад нарушений и естественных факторов среды в формирование потоков CO_2.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 24-74-00159) и в рамках выполнения государственного задания № FWES-2024-0040.

Список литературы

Махныкина А.В., Прокушкин А.С., Ваганов Е.А., Верховец С.В., Рубцов А.В. Динамика потоков CO_2 с поверхности почвы в сосновых древостоях Средней Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2016. – № 3. – С. 338–357.

Abbott B.W., Jones, J.B. Permafrost collapse alters soil carbon stocks, respiration, CH_4, and N2O in upland tundra // Global Change Biology. – 2015. – Vol. 21. – P. 4570–4587.

Burrell A.L., Sun Q., Baxter R., Kukavskaya E.A., Zhila S., Shestakova T., Rogers B.M., Kaduk J., Barrett K. Climate change, fire return intervals and the growing risk of permanent forest loss in boreal Eurasia // Science of the Total Environment. – 2022. – Vol. 831. – 154885.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

McDowell N.G., Allen C.D., Anderson-Teixeira K., Aukema B.H., Bond-Lamberty B., Chini L., Clark J.S., Dietze M., Grossiord C., Hanbury-Brown A., Hurtt G.C., Jackson R.B., Johnson D.J., Kueppers L., Lichstein J.W., Ogle K., Poulter B., Pugh T.A.M., Seidl R., Xu C. Pervasive shifts in forest dynamics in a changing world // Science. – 2020. – 368 (6494). – eaaz9463.

Park H.-S., Kim S.-J., Stewart A.L., Son S.-W., Seo K.-H. Mid-holocene Northern Hemisphere warming driven by Arctic amplification // Science Advances. – 2099. – Vol. 5. – eaax8203.

ФАКТОРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ПРИЗЕМНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ВО ВРЕМЯ ВОЛНЫ ТЕПЛА 2010 Г.

FACTORS CONTRIBUTING TO EXTREME SURFACE TEMPERATURE OVER THE EUROPEAN PART OF RUSSIA DURING THE 2010 HEATWAVE

Моргунова А.А.[1], Семенов В.А.[1,2]

Morgunova A.A.[1], Semenov V.A.[1,2]

[1] Институт физики атмосферы имени А. М. Обухова РАН
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1; *a.morgunova@ifaran.ru*
[2] Институт географии РАН
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29; *vasemenov@ifaran.ru*

Аннотация. Волна тепла 2010 года стала самой интенсивной на Европейской территории России (ЕТР) за всю историю инструментальных наблюдений. Температурные рекорды, зафиксированные в 2010 г., остаются актуальными до сих пор. При этом механизмы, приводящие к формированию экстремальных температур, до конца не ясны. В работе исследуются основные факторы, приводящие к достижению температурных экстремумов: анализируются балансы потоков тепла на поверхности, а также компоненты уравнения тенденции температуры в толще атмосферы и обсуждается роль различных процессов в формировании экстремально высоких температур. Показано, что в 2010 году максимальные значения температуры во время волны тепла в разные периоды были связаны с разными фаторами, в т.ч. с неадиабатическим нагревов атмосферы и адвекцией теплового воздуха из регионов, расположенных к юго-востоку.

Ключевые слова: волны тепла, экстремальные температуры, атмосферное блокирование, адвекция тепла, влажность почвы.

Abstract. The 2010 mega-heatwave was the most intense event ever recorded over the European part of Russia, with temperature records set across many regions that remain unbroken to this day. However, the mechanisms responsible for the development of such extreme surface air temperatures are not yet fully understood. This study investigates the key drivers of temperature extremes by analyzing surface heat flux balances, as well as the components of the temperature tendency equation throughout the atmospheric column, and discusses the role of different processes in shaping exceptionally high temperatures. The results show that in 2010 the record-breaking temperatures were made possible by the combined effect of diabatic heating and the advection of warm air masses from regions located to the southeast.

Keywords: heatwave, extreme temperature, atmospheric blocking, heat advection, soil moisture.

Летом 2010 г. в центральной части европейской территории России (ЕТР) наблюдалась аномально жаркая и сухая погода, связанная с длительным периодом блокирования западного переноса в тропосфере средних широт северного полушария и установившемся над ЕТР антициклоном (Trenberth, Fasullo, 2012). Волна тепла продолжалась два месяца с середины июня по середину августа, создавая идеальные условия для формирования экстремальных температур. Практически каждый день на станциях Центрального федерального округа фиксировались температурные рекорды, абсолютный максимум температуры в Москве был достигнут 29 июля и составил +38,2 °С (Локощенко, 2012).

Процессы, в т.ч. неустойчивость и множественность режимов крупномасштабной динамики атмосферы, приводящие к образованию устойчивых блокирующих антициклонов, являются необходимым условием формирования волн тепла в летний период (Horton et al., 2019). Однако факторы, приводящие к экстремально высоким температурам во время волн жары, могут быть разными (Wehrli et al., 2019). К таким факторам относятся: аномалии

радиационного баланса, как за счет коротковолновой, так и длинноволновой радиации (Grumm, 2011), аномалии турбулентных потоков тепла на поверхности (Black et al., 2004), горизонтальная адвекция теплого воздуха (Володин, 2010), адиабатический нагрев (Nabizadeh, Lubis, Hassanzadeh, 2021), а также наличие положительных обратных связей в региональной климатической системе (Seneviratne et al, 2010; Miralles et al., 2014).

В данной работе анализируются балансы потоков тепла на поверхности, а также компоненты уравнения тенденции температуры в толще атмосферы по время жары 2010 г. на ЕТР и обсуждается роль различных факторов в формировании экстремально высоких температур. Отметим, что большинство предыдущих исследований были сконцентрированы преимущественно на приземной температуре или температуре поверхности, в то время как в данной работе рассматриваются изменения температуры во все толще атмосферы, а также динамика тепловых потоков на поверхности.

Исходя из предположения, что антициклон создает внутри себя условия для практически равновесного энергетического режима (Гинзбург, 2011), оценивалась равновесная температура по балансу потоков тепла по формуле:

$$\sigma T^4 = S(1-\alpha) + F - H - LE - G$$

где T – это температуры поверхности, S – суммарная (прямая и рассеянная) приходящая солнечная радиация, α – альбедо поверхности, F – нисходящая длинноволновая радиация, H – турбулентный поток явного тепла, E – турбулентный поток влаги (испарение), L – удельная теплота парообразования, и G – поток тепла вглубь почвы. Суточные аномалии потоков тепла и температуры рассчитывались относительно базового периода 1991-2020 гг. Использовались данные реанализа ERA5.

Влияние динамических и термодинамических процессов на изменение температуры воздуха в толще атмосферы оценивалось из уравнения тенденции температуры (напр., Jiménez-Esteve, Domeisen, 2022):

$$\frac{\partial T}{\partial t} = -u\frac{\partial T}{\partial x} - v\frac{\partial T}{\partial y} - \omega\frac{\partial T}{\partial p} + \frac{1}{\rho Cp}\omega + Q$$

где в левой части представлено изменение температуры по времени T(x,y,z,t). Первые два члена в правой части представляют собой горизонтальную адвекцию, третий член – это вертикальная адвекция, четвертый – адиабатическое расширение/сжатие воздуха, и Q представляет диабатический нагрев воздуха, связанный с радиационными процессами. Каждый член уравнения рассчитывался на основе часовых данных реанализа, которые потом переводились в суточные значения. Член Q оценивался как остаточный, при условии локального температурного баланса. Полученные данные были усреднены на участке 36°-43° в.д. и 53°-57° с.ш. (регион наибольшей аномалии температуры).

Результаты анализа показали, что повышение температуры в начале волны тепла в приземном слое (с 17 по 24 июня температура выросла на 16,5°С) было связано с сильной положительной аномалией приходящей коротковолновой радиации (около 70Вт/м^2) и сопровождавшейся адвекцией теплого воздуха (36% изменения температуры).

Дальнейшее изменение происходило за счет положительных аномалий радиационных потоков, сокращения испарения. При этом важно, что поток скрытого тепла, практически всегда вдвое больше потока явного тепла, даже в период наиболее высоких температур.

Максимальные температуры в период с конца июля по начало августа достигались за счет адвекции в регион теплого воздуха из регионов, расположенных южнее и восточнее центральной части ЕТР. Засуха, наблюдавшаяся в этих регионах все лето, распространялась по направлению ветра и способствовала повышению температуры уже на ЕТР.

На протяжении волны тепла разные факторы определяли ее интенсивность, однако наиболее важными являются: баланс потоков тепла на поверхности и адвекция воздуха из соседних регионов. При этом формирование экстремальных температур наблюдалось именно за счет адвекции теплого воздуха.

Исследование выполнено в рамках РНФ, проект №24-17-00138 «Экстремальные погодные явления на территории России: механизмы формирования и ожидаемые изменения».

Список литературы

Володин Е.М. О природе некоторых сверхэкстремальных аномалий летней температуры // Анализ условий аномальной погоды на территории России летом. – 2010. – С. 48-57.

Гинзбург А.С. Региональные максимумы температуры воздуха и возможность их простых энергобалансовых оценок //Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 47. – №. 6. – С. 722-722.

Локощенко М.А. Катастрофическая жара 2010 года в Москве по данным наземных метеорологических измерений // Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. – 2012. – Т. 48. – №. 5. – С. 523-523.

Black E. et al. Factors contributing to the summer 2003 European heatwave //Weather. – 2004. – Т. 59. – №. 8. – С. 217-223.

Grumm R.H. The central European and Russian heat event of July–August 2010 //Bulletin of the American Meteorological Society. – 2011. – Т. 92. – №. 10. – С. 1285-1296.

Horton R.M. et al. A review of recent advances in research on extreme heat events // Current Climate Change Reports. – 2016. – Т. 2. – P. 242-259.

Jiménez-Esteve B., Domeisen D.I.V. The role of atmospheric dynamics and large-scale topography in driving heatwaves // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. – 2022. – T. 148. – №. 746. – P. 2344-2367.

Miralles D.G. et al. Mega-heatwave temperatures due to combined soil desiccation and atmospheric heat accumulation // Nature Geoscience. – 2014. – T. 7. – №. 5. – P. 345-349.

Nabizadeh E., Lubis S. W., Hassanzadeh P. The 3D structure of northern hemisphere blocking events: Climatology, role of moisture, and response to climate change //Journal of Climate. – 2021. – T. 34. – №. 24. – C. 9837-9860.

Seneviratne S.I. et al. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: A review // Earth-Science Reviews. – 2010. – T. 99. – №. 3-4. – P. 125-161.

Trenberth K.E., Fasullo J.T. Climate extremes and climate change: The Russian heat wave and other climate extremes of 2010 // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2012. – T. 117. – №. D17.

Vargin P. N., Luk'yanov A. N., Gan'shin A. V. Investigation of dynamic processes in the period of formation and development of the blocking anticyclone over European Russia in summer 2010 //Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. – 2012. – T. 48. – №. 5. – C. 476-495.

МОНИТОРИНГ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ НА ТЕРРИТОРИИ РЯЗАНСКОЙ ОБЛАСТИ

MONITORING SOIL TEMPERATURE IN THE RYAZAN REGION

Решоткин О.В.

Reshotkin O.V.

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН
Россия, 142290, Пущино Московской обл., Институтская, 2; *reshotkin@rambler.ru*

Аннотация. На примере серых лесных почв и чернозёмов Рязанской области проведено исследование динамики температуры почв в связи с изменением атмосферного климата. Выявлены тенденции изменений температуры почв в многолетнем и сезонном циклах за период 1961-2024 гг. Установлено, что для исследуемого периода характерно потепление почв на фоне повышения температуры воздуха и увеличения высоты снежного покрова.

Ключевые слова: климат, изменение климата, температура почвы.

Abstract. Using gray forest soils and chernozems of the Ryazan region as an example, a study of soil temperature dynamics in relation to atmospheric climate change was conducted. Trends in soil temperature changes in long-term and seasonal cycles for the period 1961-2024 were identified. It was established that the period under study is characterized by soil warming against the background of rising air temperature and increasing snow cover depth.

Keywords: climate, climate change, soil temperature.

Глобальное изменение климата – одна из основных проблем XXI века. Территория России теплеет существенно быстрее, чем планета Земля в целом (Третий…, 2022). Рост среднегодовой температуры воздуха с середины 1970-х гг. в два с половиной раза превосходит глобальный. За период 1976-2024 гг. скорость роста осреднённой по России среднегодовой температуры воздуха составила 0,50°C/10 лет (Доклад…, 2025). По данным ВМО 2024 год стал самым тёплым годом в истории метеорологических наблюдений (State…, 2025).

Рост температуры воздуха и изменение количества и режима выпадения осадков ведёт к изменению климата почв – в целом инерционной и медленно реагирующей на изменения окружающей среды системы. Одним из важнейших параметров климата почв является температура почв. Температурный режим почвы, или изменение во времени температурного поля почвы, и водный режим почвы, обладают наибольшей скоростью изменения под влиянием климата (Кудеяров и др., 2009). Они определяют характер и интенсивность всех физических, химических и биологических процессов почвообразования.

Изучение температуры почвы приобретает особую актуальность в связи с современным изменением климата, которое ведёт к изменению почвенных свойств и процессов, смене растительных сообществ и изменению ландшафтного облика территории. Отмечается тенденция к повышению температуры почвы в различных регионах мира, в том числе и на территории России (Park et al., 2014; Streletskiy et al., 2015; Chen et al., 2021).

Цель настоящей работы – анализ динамики температуры почв Рязанской области в условиях современного потепления.

Рязанская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины в переходной зоне от лесной зоны к лесостепной. Для изучения реакции температуры почв на современные изменения климата использованы данные наблюдений за период 1961-2024 гг. на метеостанциях Елатьма и Павелец, расположенных соответственно на северо-востоке и юго-западе Рязанской области. Елатьма расположена на восточной окраине Мещёрской низменности на левом берегу реки Оки в зоне смешанных и широколиственных лесов, а Павелец – на восточной окраине Средне-Русской возвышенности в лесостепной зоне. Исследуемые почвы – светло-серая лесная супесчаная в Елатьме и чернозём выщелоченный суглинистый в Павельце. В качестве климатической нормы (КН) взят период 1961-1990 гг.

Рассматриваемые почвы Рязанской области формируются в условиях умеренно континентального климата со среднегодовой температурой воздуха 4,3°С (КН) в Елатьме и 4,4°С в Павельце. За исследуемый период 1961-2024 гг. среднегодовая температура воздуха в Елатьме выросла на 2,6°С, а в Павельце на 2,7°С (рис. 44 а, б). Синхронный рост температуры воздуха на обеих метеостанциях наблюдается во все сезоны года, но особенно он заметен в зимний сезон. Средняя температура воздуха зимнего сезона увеличилась на 4,2-4,3°С, в то время как в остальные сезоны температура выросла относительно равномерно на 1,9-2,2°С. Тренды повышения температуры воздуха совпадают с увеличением высоты снежного покрова. Средняя из наибольших декадных высот снега за 1961-2024 гг. увеличилась на 20 см в Елатьме и 10 см в Павельце (рис. 44 в, г).

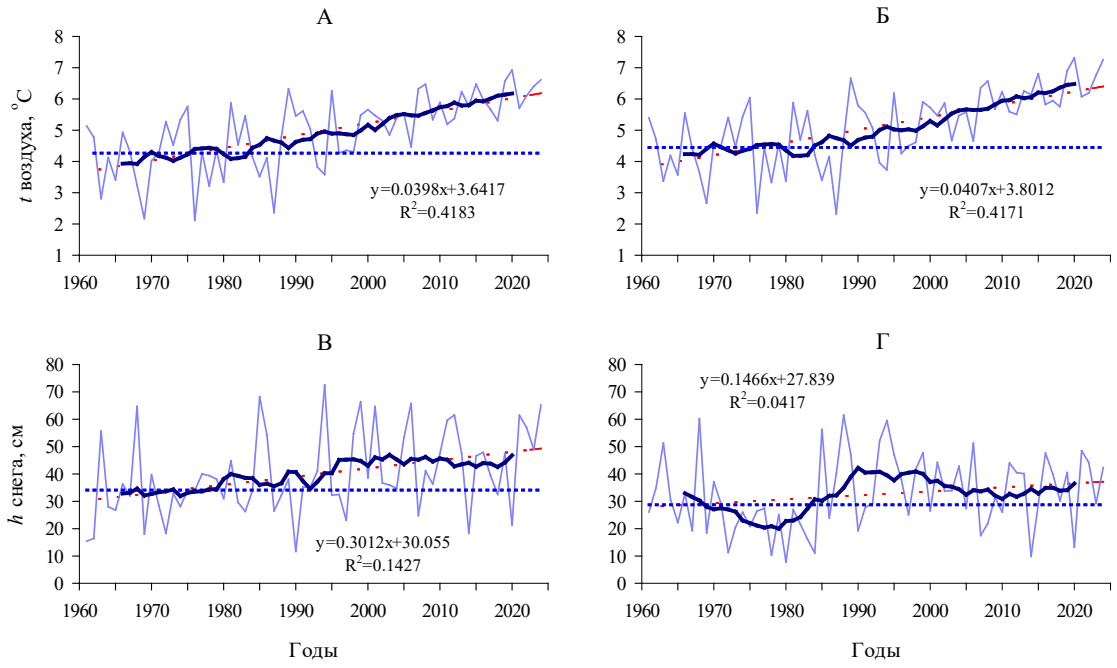


Рисунок 44. Динамика среднегодовой температуры воздуха и высоты снега на метеостанциях (А, В) Елатьма и (Б, Г) Павелец за период 1961-2024 гг. Синей пунктирной линией показана климатическая норма 1961-1990 гг., жирной линией – 11-летнее скользящее среднее, красной пунктирной линией – линейная регрессия

Среднегодовая температура почвы составляет в Елатьме 7,0°С на глубинах 20, 80, 160 и 320 см и 6,9°С на глубине 40 см (КН). В Павельце среднегодовая температура почвы составляет 7,0°С на глубине 20 см и 6,8°С на всех остальных глубинах. Тренды среднегодовой температуры обеих почв за период 1961-2024 гг. на всех глубинах положительные. На глубине 20 см среднегодовая температура почвы увеличилась на 1,4°С в Елатьме и на 1,2°С в Павельце (рис. 45), а на глубине 40 см на 1,5 и 1,4°С соответственно. В более глубоких слоях почвы на глубинах 80, 160 и 320 см более значительный рост среднегодовой температуры наблюдается, наоборот, в Павельце. На данных глубинах температура почвы выросла на 1,7-1,8°С в Павельце и на 1,2-1,3°С в Елатьме.

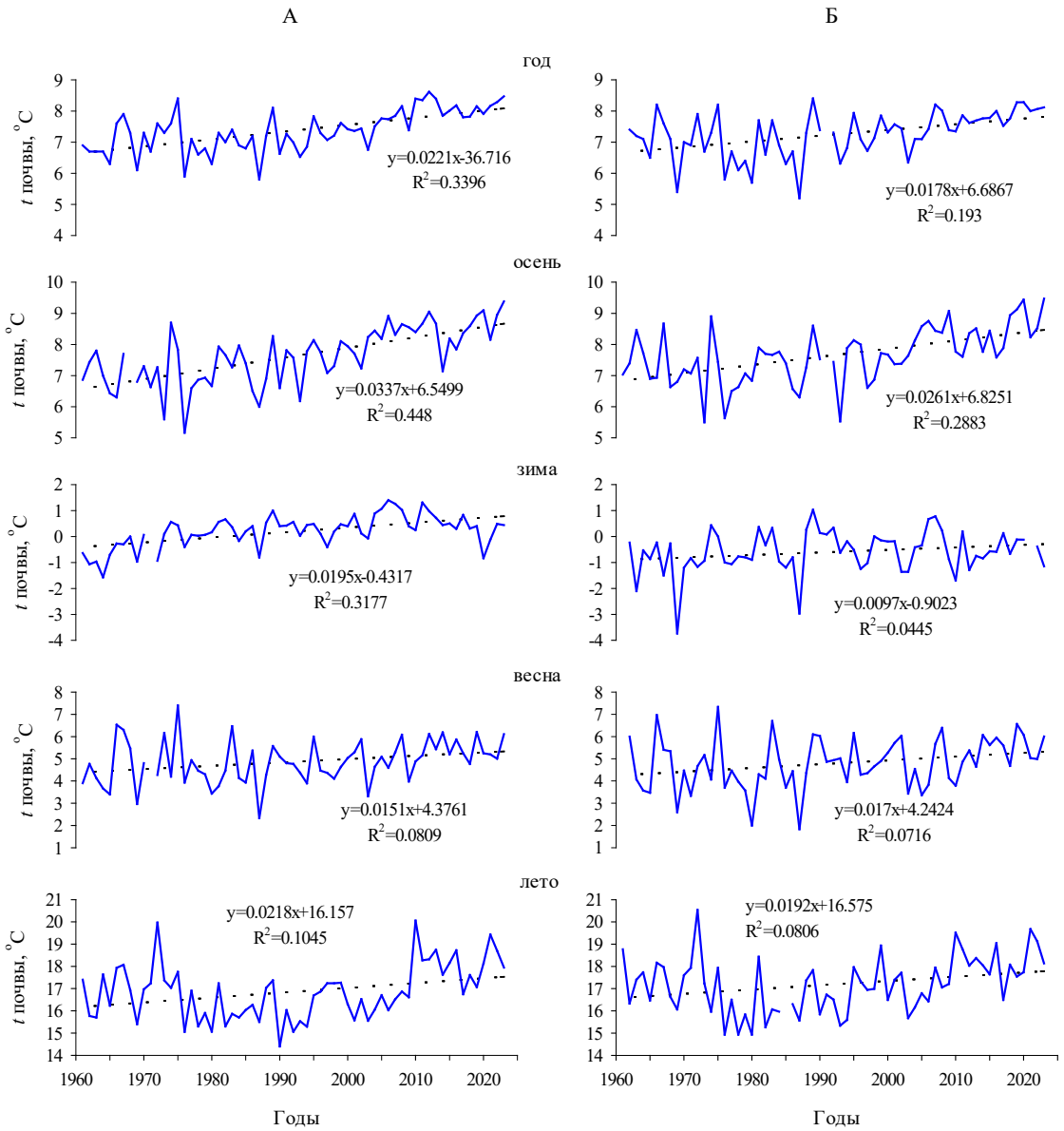


Рисунок 45. Среднегодовая и сезонная динамика температуры почвы на глубине 20 см на метеостанциях (А) Елатьма, (Б) Павелец за период 1961-2024 гг. Пунктирной линией показана линейная регрессия

Увеличение температуры почвы на глубине 20 см наблюдается во все сезоны года, но имеются различия, как в сезонной динамике температуры почвы между метеостанциями, так и в сезонной динамике температуры почвы и воздуха. Максимальный рост температуры почвы на глубине 20 см отмечается в осенний сезон, на 2,2°С в Елатьме и на 1,7°С в Павельце. В весенний сезон температура почвы увеличилась в Елатьме и Павельце на 1,0 и 1,1°С, а в летний сезон на 1,4 и 1,2°С соответственно. Наиболее существенные различия наблюдаются в зимний сезон. Средняя за зиму температура почвы на глубине 20 см увеличилась за 1961-2024 гг. на 1,3°С в Елатьме и на 0,6°С в Павельце. При этом в зимний сезон на обеих метеостанциях отмечается наибольший рост температуры воздуха, в 2 раза превышающий рост температуры воздуха в другие сезоны года.

Как видно на рисунке 46 чернозёмная почва в Павельце в целом более холодная и прогревается медленнее, чем светло-серая лесная почва в Елатьме, что особенно хорошо заметно по проникновению в почву изотерм 0 и 15°С. Этому способствует сочетание нескольких факторов. Несмотря на то, что Павелец расположен в более южной почвенно-климатической зоне с относительно более высокими температурами воздуха, более мощный снежный покров в Елатьме лучше защищает почву от промерзания в холодный период года, чему свидетельствует исчезновение в 2011-2024 гг. изотермы 0°С. Кроме того, исследуемые почвы различаются на типовом уровне, что обусловливает различия в составе и структуре почв и по своему гранулометрическому составу. Более высокое содержание гумуса в чернозёме, который обладает высокой влагоудерживающей способностью, приводит к более глубокому промерзанию почвы в Павельце. Лёгкий супесчаный гранулометрический состав светло-серой лесной почвы в Елатьме способствует её лучшему прогреванию.

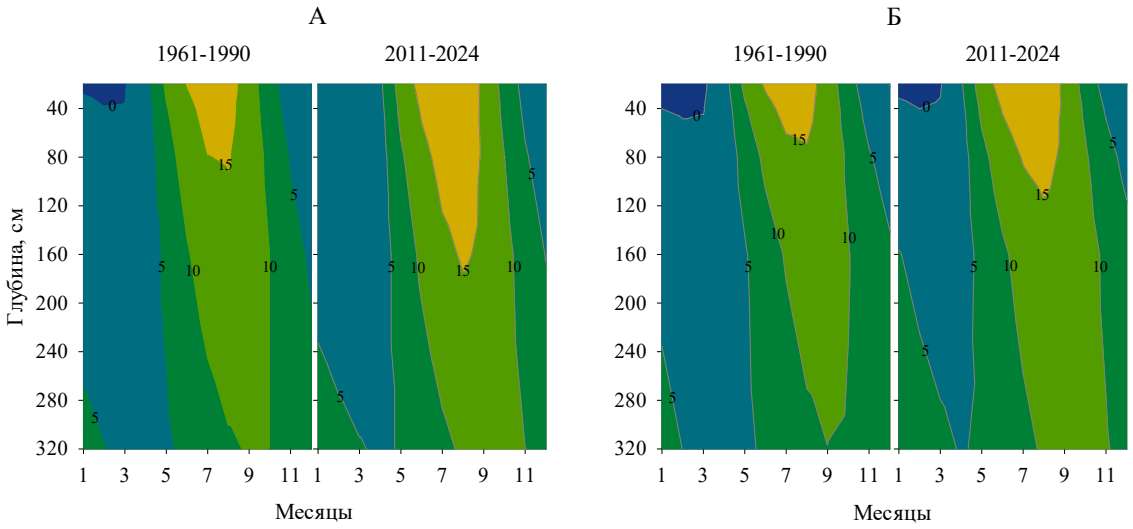


Рисунок 46. Профили температуры почвы за период 1961-1990 гг. (климатическая норма) и 2011-2024 гг. на метеостанциях (А) Елатьма (светло-серая лесная почва), (Б) Павелец (выщелоченный чернозём)

Таким образом, в исследуемый период в почвах Рязанской области наблюдается повышение температуры почв по всему профилю во все сезоны года. Реакция температуры почв на повышение температуры воздуха определяется типовыми особенностями почв, их гранулометрическим составом, высотой снега и другими факторами. Выявленные изменения температуры почв позволяют по-новому оценить почвенно-климатические ресурсы Рязанской области.

Работа выполнена по теме государственного задания № 122040500036–9 «Влияние климатических флуктуаций и антропогенной деятельности на эволюцию и современное состояние почв юга России».

Список литературы

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. – М.: Росгидромет, 2025. – 139 с.

Кудеяров В.Н., Дёмкин В.А., Гиличинский Д.А., Горячкин С.В., Рожков В.А. Глобальные изменения климата и почвенный покров // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1027-1042.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоёмкие технологии, 2022. – 124 с.

Chen L., Aalto J., Luoto M. Decadal changes in soil and atmosphere temperature differences linked with environment shifts over northern Eurasia // Journal of Geophysical Research: Earth Surface. – 2021. – Vol. 126. – P. e2020JF005865.

Park H., Sherstiukov A.B., Fedorov A.N., Polyakov I.V., Walsh J.E. An observation-based assessment of the influences of air temperature and snow depth on soil temperature in Russia // Environmental Research Letters. – 2014. – Vol. 9, No. 6. – P. 064026.

State of the Global Climate 2024. WMO-No. 1368. – Geneva: WMO, 2025. – 42 p.

Streletskiy D.A., Sherstiukov A.B., Frauenfeld O.W., Nelson F.E. Changes in the 1963-2013 shallow ground thermal regime in Russian permafrost regions // Environmental Research Letters. – 2015. – Vol. 10, No. 12. – P. 125005.

ИЗМЕНЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛИВНЕВЫХ И ОБЛОЖНЫХ ОСАДКОВ В РОССИИ

CHANGES IN THE INTENSITY OF CONVECTIVE AND LARGE-SCALE PRECIPITATION IN RUSSIA

Чернокульский А.В.[1,2,3]

Chernokulsky A.V.[1,2,3]

[1] ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3, стр.1
[2] ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29
[3] ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20
a.chernokulsky@ifaran.ru

Аннотация. Последствия изменений климата формируют климатические риски для населения, экосистем и разных отраслей экономики России. В докладе обсуждаются различные подходы к оценке климатических рисков и существующие открытые вопросы в данной области. Приводятся результаты оценки климатических рисков для регионов России.

Ключевые слова: климатические риски, опасность, подверженность, уязвимость, изменение климата, российские регионы.

Abstract. The consequences of climate change pose climate risks to the population, ecosystems and various sectors of the Russian economy. The report discusses various approaches to climate risk assessment and existing open questions in this area. It presents the results of climate risk assessments for Russian regions.

Keywords: climate risks, hazard, exposure, vulnerability, climate change, Russian regions.

Современные изменения климата обуславливают интенсификацию гидрологического цикла, который характеризуется ростом влагосодержания атмосферы и интенсивности осадков, а также изменением характера осадков (Chernokulsky et al., 2019). Связь локальной температуры воздуха и интенсивности особенно сильных осадков не линейна, особенно летом: в ряде российских регионов летний максимум суточной суммы осадков отмечается при приповерхностной температуре воздуха в районе 15–20ºC, а дальнейший рост температуры приводит к снижению интенсивности (Aleshina et al., 2021), при этом проявляется зависимость от характеристик влажности воздуха. Однако, на более коротких временных интервалах, например, на 10-минутных интервалах, интенсивность осадков продолжает расти вместе с температурой (Алешина и др., 2025).

В данной работе проведен анализ интенсивности сильных осадков и её связи с температурой и влажностью воздуха по данным плювиографических наблюдений с более высоким (10-минутным) разрешением (Швець, 2020). Всего проанализировано 1845 событий сильных осадков (≥20 мм, из них 1621 с ливневыми осадками и 224 с обложными, разделение на тип осадков проведено по методике (Чернокульский и др., 2018)) по данным 29 метеорологических станций, расположенных в Центральном федеральном округе, для сезона с мая по октябрь для периода 1984–2018 гг.

Анализировались средняя и максимальная интенсивность, продолжительность дождя, максимальная сумма осадков, выпавшая за 1 час. По станционным наблюдениям для дней с событиями сильных осадков рассчитаны максимальная и среднесуточная температура воздуха, максимальная и среднесуточная абсолютная влажность, максимальная и среднесуточная температура точки росы, максимальное и среднесуточное значение простого индекса неустойчивости 3D (разницы температуры точки росы и дефицита точки росы) (Чернокульский и др., 2017). Получены оценки эмпирического распределения характеристик сильных осадков, полученных по данным плювиографических наблюдений. Оценена связь характеристик осадков с температурой, влажностью и индексом 3D.

Для анализируемого региона и периода медианное значение эмпирического распределения максимальных 10-минутных значений интенсивности осадков составило для сильных ливней 0,28 мм/мин, а 95й перцентиль – 1,15 мм/мин (рис. 47). Для обложных осадков эти значения составили 0,13 мм/мин и 0,42 мм/мин, соответственно.

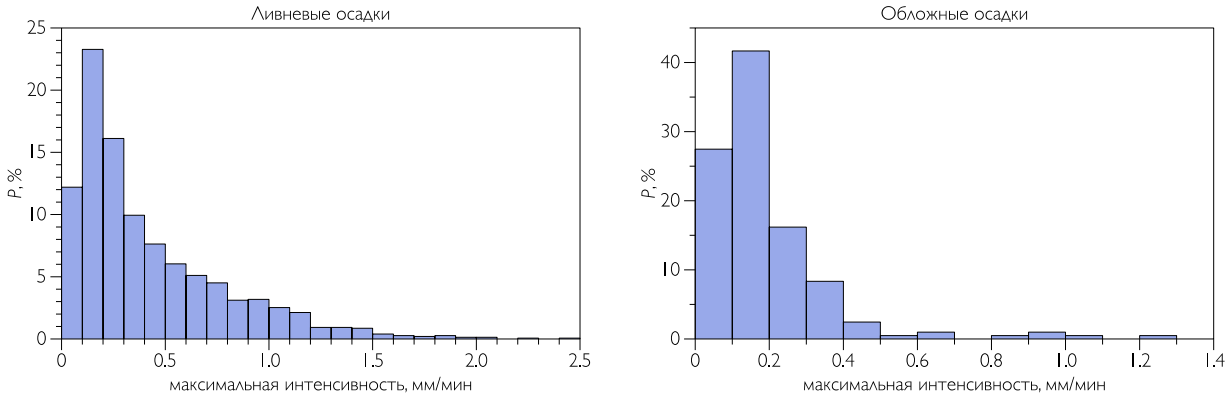


Рисунок 47. Эмпирическое распределение максимальной 10-минутной интенсивности осадков по данным плювиографов для ливневых (слева) и обложных (справа) видов осадков

Отмечена положительная зависимость интенсивности осадков от температуры и влажности воздуха, при этом для ливневых осадков проявляется более сильная зависимость (рис. 48). В частности, коэффициент ранговой корреляции Манна-Кендалла между средней 10-минутной интенсивностью осадков и максимальной температурой воздуха составляет 0,41 для ливневых осадков и 0,36 для обложных осадков (уровень значимости 0,001). При росте температуры на 1ºС интенсивность ливневых осадков возрастает на 0,067 мм/мин, а обложных — на 0,022 мм/мин, что соответствует зависимости логарифма интенсивности осадков от температуры на уровне 10,4%/1ºС и 6,7%/1ºС, соответственно.

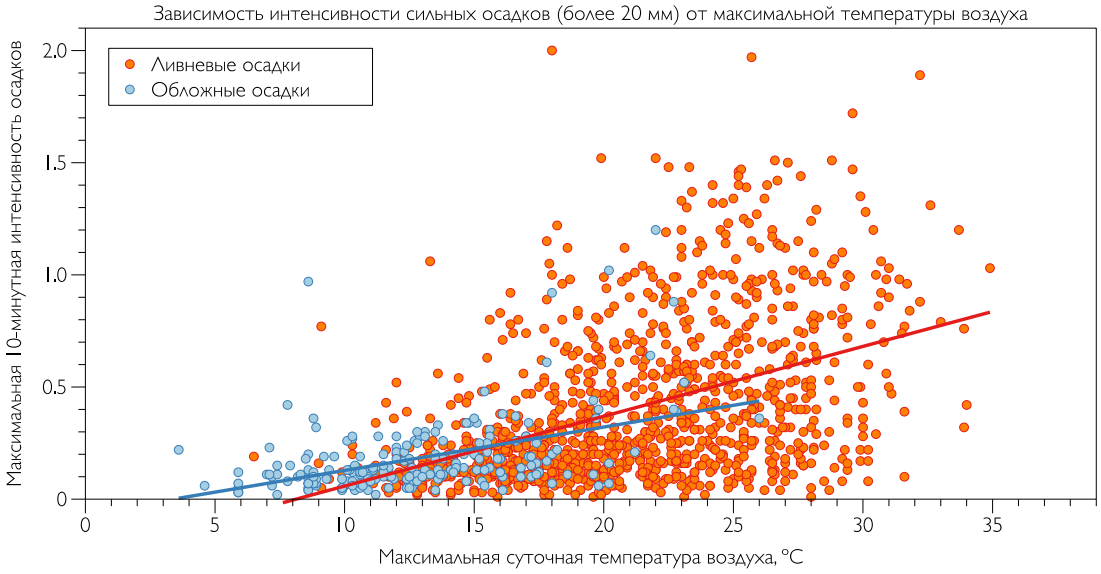


Рисунок 48. Зависимость максимальной 10-минутной интенсивности сильных осадков (ливневых и обложных) от максимальной температуры воздуха

Исследование выполнено в том числе при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-17-00357. Часть данных также была подготовлена в рамках выполнения работ государственному заданию Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (FMWR-2025-0006).

Список литературы

Алешина М.А., Семенов В.А., Воронцова В.А., Чернокульский А.В., Акперов М.Г., Швець Н.В. Изменения характеристик летних осадков в Сочи на разных временных масштабах в последние десятилетия // Метеорология и гидрология, 2025, №11 [в печати]

Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Золина О.Г., Булыгина О.Н., Семёнов В.А. Климатология осадков разного генезиса в Северной Евразии // Метеорология и гидрология, 2018, №7, 5–17.

Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И. Анализ изменений условий смерчегенеза в Северной Евразии с использованием простого индекса конвективной неустойчивости атмосферы // Доклады Академии наук, 2017, Т. 477. № 6, 722–727.

Швець Н.В. Интенсивность осадков: методы измерений, базы данных наблюдений, использование данных интенсивности осадков в исследовании климата и для решения прикладных задач. Труды ВНИИГМИ-МЦД, 2020, 186, 69–89.

Aleshina M.A., Semenov V.A., Chernokulsky A.V. A link between surface air temperature and extreme precipitation over Russia from station and reanalysis data // Environmental Research Letters, 2021, V. 16, P. 105004.

Chernokulsky A.V., Kozlov F.A., Zolina O.G., Bulygina O.N., Mokhov I.I., Semenov V.A. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades // Environmental Research Letters, 2019, V.4, No.4, P. 045001.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ И ДИНАМИКА ГРАДИЕНТА ТЕМПЕРАТУРЫ В ТЕЧЕНИЕ СУТОК В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ ИРКУТСКА

VERTICAL PROFILE AND DYNAMICS OF THE TEMPERATURE GRADIENT DURING THE DAY IN THE SNOW COVER OF IRKUTSK

Янченко Н.И.

Ianchenko N.I.

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет»
Россия, 664074, Иркутск, Лермонтова, 83; *fduecn@istu.edu*

Аннотация. Проведены натурные наблюдения и рассчитан послойный градиент температуры в снежном покрове Иркутска. Градиент рассчитан как разница между температурой на нижележащей поверхности слоя и температурой вышележащей поверхности, деленная на толщину слоя снежного покрова 5 см. В темное время суток значение градиента имеют положительные значения во всех слоях. В светлое время суток, в т.ч. после восхода солнца и перед заходом солнца, значения градиента в верхних слоях могут быть положительными (январь 2023 г.) или отрицательными. Отрицательный градиент в светлое время суток отмечен в феврале, марте 2023 года, но не во всех слоях снежного покрова, преимущественно в слоях, которые ближе к атмосферной поверхности снежного покрова и находятся на глубине до 15-20 см от атмосферной поверхности снежной толщи в Иркутске.

Ключевые слова: снежный покров, градиент температуры, Иркутск.

Abstract. Field observations were conducted and the layer-by-layer temperature gradient in the Irkutsk snow cover was calculated. The gradient is calculated as the difference between the temperature at the underlying surface of the layer and the temperature at the surface above, divided by the snow cover thickness of 5 cm. During darkness, the gradient values are positive in all layers. During daylight hours, including after sunrise and before sunset, the gradient values in the upper layers can be positive (January 2023) or negative. A negative gradient during daylight hours was observed in February and March 2023, but not in all snow layers, primarily in layers closer to the atmospheric surface of the snow cover and located at a depth of 15-20 cm below the atmospheric surface of the snow cover in Irkutsk.

Keywords: snow cover, temperature gradient, Irkutsk.

Снежный покров является важной составляющей природно-климатических особенностей холодных регионов и неотъемлемой частью Сибири. Снежный покров (СП) чувствителен к техногенным воздействиям, изменению климата и в тоже время влияет на климат. Данные о высоте, температуре снега, градиенте температуры в снежном покрове необходимы в расчетах тепломассопереноса, которые имеют очевидное текущее практическое применение и учитывается для прогноза наводнений, схода лавин, промерзания грунта, строительства зимних автодорог и т.д.

Приведены результаты натурных наблюдений за температурой воздуха, снежного покрова и высотой снежного покрова в Иркутске, выполненные с помощью автономного автоматического атмосферно-снежного программного комплекса (Kiselev, 2018), установленного на нижнем стадионе Иркутского национального исследовательского технического университета (Янченко, 2025).

Измерительный комплекс включает измерительную рейку (термокоса) длиной 40 см с малогабаритными цифровыми датчиками температуры (логгерами), расположенными через 2,5 см по высоте рейки-термокосы, солнечную батарею, контроллер (*Kiselev*, 2018). Комплекс

оснащен также датчиком суммарной солнечной радиации (Vantage Pro2 Plus). Vantage Pro регистрирует мгновенную (в момент измерения) суммарную (прямая и рассеянная) солнечную радиация на горизонтальную поверхность при действительных условиях облачности.

Рассчитан и рассмотрен вертикальный профиль и динамика послойного градиента температуры в снежном покрове (°С/м) в отдельные дни января, февраля и марта 2023 года. Он вычисляется как разница между температурой на нижележащей поверхности слоя минус температура вышележащей поверхности этого же слоя, деленная на толщину заданного слоя снежного покрова равную 5 см, морфологии кристаллов снега не учитывалась.

Вертикальный профиль изменения градиента температуры в слоях снежного покрова в течение суток не постоянен и зависит от температуры, которая в свою очередь определяется рядом факторов, в том числе и солнечной радиацией. В темное время суток, перед восходом солнца и после захода солнца значения градиента положительные во всех слоях. В светлое время суток, т. е. после восхода солнца и перед заходом солнца, значения градиента минимальные положительные 5.01.2023 г., (рис. 49) или отрицательные как 10.02.2023 г., (табл. 9), 15.03.2023 г., (табл. 10), 05.03.2023 г., (рис. 50), но не во всех слоях снежного покрова, преимущественно в тех, которые ближе к атмосферной поверхности снежного покрова. Например, 10.02.2023 г., (табл. 9), 05.03.2025 г., (рис. 49), 15.03.2025 г., (табл. 10) значимые отрицательные значения градиента находятся в первом-третьем слое от атмосферной поверхности снежной толщи, т.е. на глубине проникновения солнечной радиации 10-15 см (Янченко, 2024).

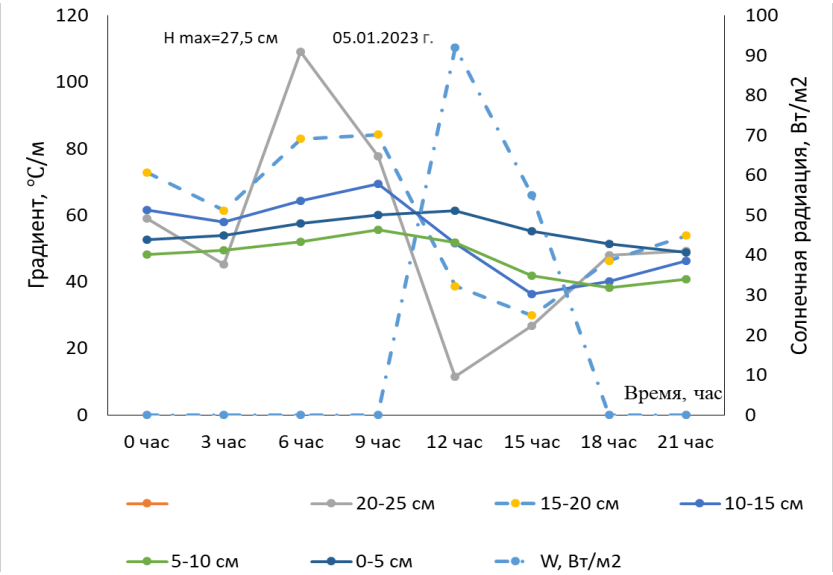


Рисунок 49. Градиент температур в слоях снежного покрова и суммарная солнечная радиация, 05.01.2023 г., H max = 27,5 см

Как указывает известный ученый П.П. Кузьмин (Кузмин, 1957) «солнечная радиация (прямая или рассеянная), дошедшая до снежного покрова S, в процессе встречи с его поверхностью и при прохождении через снег расчленяется на радиацию, отраженную от поверхности снега (A), поглощенную снегом (B) и прошедшую сквозь снег до глубины z (Sz)», «Если поступающая на поверхность снежного покрова длинноволновая радиация целиком поглощается в самом верхнем слое снега толщиной всего в несколько миллиметров, то солнечная радиация может проникнуть в ощутимых размерах в зависимости от состояния снега (структуры, плотности и влажности) на глубину до 30-50 см» (Кузмин. 1957). Первый слой – это слой ближайший к атмосферной поверхности снежной толщи высотой 5 см, 0 см – это поверхность почвы под снежным покровом. Так, 15.03.2023 г., (табл. 10) значимые отрицательные значения градиента в первом-третьем слое от поверхности СП, т.е. на глубине проникновения солнечной радиации до 15-17,5 см (Янченко, 2024) от атмосферной поверхности СП вглубь (общая толщина СП 27,5 см) и это может быть связано с увеличивающейся мощностью солнечной радиации от января к марту. Так 05.01.2023 г., $W_{12\ часов}$=91 Вт/м^2 (рис. 49); 10.02.2023 г. $W_{12\ часов}$=160 Вт/м^2 (табл. 9); 05.03.2023 г. $W_{12\ часов}$=219 Вт/м^2 (рис. 50); 15.03.2023 $W_{12\ часов}$ =291 Вт/м^2 (табл. 10).

Таблица 9. Градиент температуры в слоях снежного покрова, толщина слоя 5 см, суммарная солнечная радиация 10.02.2023 года, H max = 35,0 см

Время, час	W, Вт/м^2	Интервалы высоты в слоях, номер слоя						
		1 слой	2 слой	3 слой	4 слой	5 слой	6 слой	7 слой
		30-35 см	25-30 см	20-25 см	15-20 см	10-15 см	5-10 см	0-5 см
		Градиент температуры в слоях, °С/м						
8	0	12	37	42	38	31	27	35
9	17	11	41	43	36	32	27	35
10	71	0	20	35	34	32	27	36
11	106	-22	-4,0	20	30	31	27	36
12	160	-25	-2,0	6	24	28	27	36
13	193	-3	-8,0	1	17	25	26	36
14	225	-32	-9,0	0	12	22	25	35
15	166	-21	-2,0	-2	10	19	22	34
16	94	-20	10	5	11	17	21	34
17	25	65	53	17	14	17	21	31
18	2	88	98	45	22	19	20	31
19	0	25	92	60	32	23	21	30
20	0	42	73	60	38	28	21	30

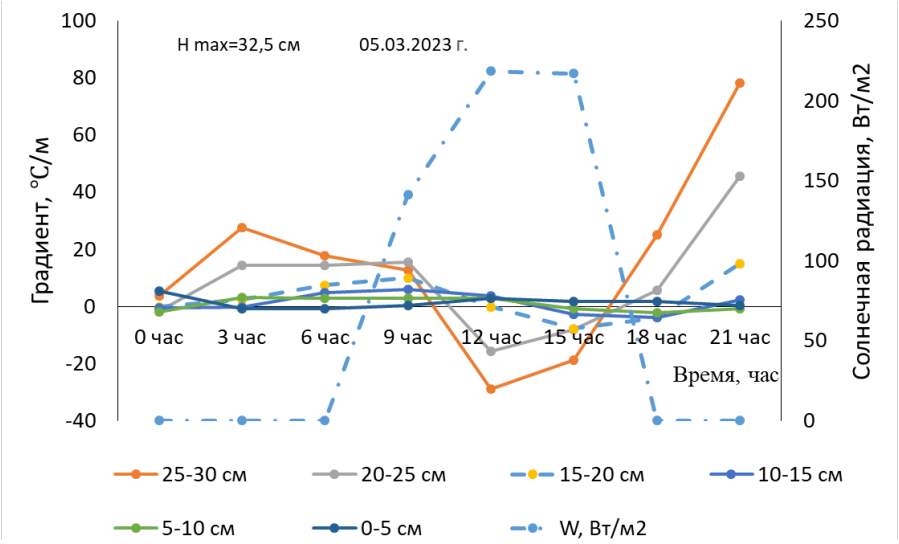


Рисунок 50. Градиент температур в слоях снежного покрова и суммарная солнечная радиация, 05.03.2023 г., Н макс = 32,5 см

По данным рисунков 49, 50 и таблиц 9, 10 можно отметать, высокие значения градиентов температуры были в верхнем и нижнем снежном покрове, чем в среднем. Аналогичное поведение градиента температуры описано при изучении снежного покрова на Тибетском плато (Li Zhaoguo at al., 2021) авторы пишут «частота сильных градиентов температуры была значительно выше в верхнем и нижнем снежном покрове, чем в среднем» (перевод Google).

Таблица 10. Градиент температуры в слоях снежного покрова, толщина слоя 5 см в снежном покрове, суммарная солнечная радиация 15.03.2023 года, H max = 27,5 см

Время, час	W, Вт/м^2	Интервалы высоты в слоях, номер слоя				
		1 слой	2 слой	3 слой	4 слой	5 слой
		20-25 см	15-20 см	10-15 см	5-10 см	0-5 см
		Градиент температуры в слоях, °С/м				
8	24	45	60	42	27	18
9	81	5	40	38	28	23
10	165	-38	10	25	28	26
11	239	-42	-18	10	22	26
12	291	-38	-36	-4	13	21
13	340	-27	-41	-17	4	14
14	319	-23	-32	-18	-3	8
15	282	-19	-25	-17	-7	2
16	232	-13	-18	-13	-8	-2
17	121	-4	-10	-9	-8	-5
18	55	12	4	-5	-8	-5
19	2	31	19	-2	-7	-6
20	0	27	26	3	-7	-6

Информация о градиенте температуры в снежно покрове могут быть полезны при оценке химического состава снежного покрова, как при поступлении веществ из атмосферы,

так и из подстилающей поверхности. Как указывает В.И. Федосеева, «миграция ионов из подстилающего субстрата в приконтактный слой снежного покрова в конце холодного периода уже заметна при температуре на уровне контакта -13 °С и выше» (Федосеева, 2025).

О необходимости информации о градиенте температур указывается в работах В.Н. Голубева, Д.М. Фролова, т.к. “величина и направление массопереноса на границе снега и подстилающей поверхности зависят от температуры, градиента температуры, льдистости грунта и его дисперсности” (Голубев, Фролов, 2015).

Список литературы

Голубев В.Н., Фролов Д.М. Особенности миграции водяного пара на границах раздела атмосфера–снежный покров и снежный покров–подстилающий грунт // Криосфера Земли. – 2015. – Т. XIX. – № 1. – С. 22–29.

Кузьмин П.П. Физико-химические свойства снежного покрова. Ленинград, Изд-во: Гидрометеорология. – 1957. – 177 с.

Федосеева В. И. Механизм миграции ионов из материала субстрата в снежный покров в конце холодного периода // Лед и снег. – 2025. – №. 2. – С. 231-237.

Янченко Н.И. Изменение солнечной радиации и высоты снежного покрова в марте. Иркутск // Российская Арктика. – 2024. – Т. 6. – № 3. – С. 43–54. https://doi.org/10.24412/2658-4255-2024-3-43-54

Янченко Н.И., Анциферов Е.А. Градиент температур в снежном покрове Иркутска // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: материалы VII Байкальской международной научной конференции-стратегической сессии (16-20 июня 2025). – Н. Новгород: ООО «Печатная Мастерская РАДОНЕЖ». – 2025. – 124-126 с.

Kiselev M.V., Voropay N.N., Dyukarev E.A., Kurakov S.A., Kurakova P.S., Makeev E.A. Automatic meteorological measuring systems for microclimate monitoring. Earth and Environmental Science // First International Geographical Conference of North Asian Countries «China-Mongolia-Russia Economic Corridor: Geographical and Environmental Factor and Territorial Development Opportunities». – 2018. – P. 190. https://doi.org/10.1088/1755-1315/190/1/012031

Li Zhaoguo, Lyu Shihua, Chen Shigiang, Ao Yinhuan, Zhao Lin, Chen Hao, Meng Xianhong. Ob-served characteristics of the water and heat transfer of the Soil–Snow–Atmosphere system through the snowpack in the eastern tibetan plateau // Atmospheric Reserarch. – 2021. – V. 248. – P. 105195. https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105195

СЕКЦИЯ

«МОНИТОРИНГ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ И ТЕМАТИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ НА ИХ ОСНОВЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ КАРАЧАЕВО-ЧЕРКЕССИИ)

USING SPACE IMAGES AND THEIR THEMATIC PRODUCTS TO ASSESS CLIMATE SAFETY OF A TERRITORY (KARACHAY-CHERKESSIA)

Алейников А.А.

Aleynikov A.A.

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

Аннотация. Криосфере Земли, и горным ледникам, в частности, свойственна особая чувствительность и динамичная реакция на изменения климата, обусловленные как естественными причинами, так и антропогенным воздействием. Постоянно обновляемая космическая информация из открытых источников может служить основой для мониторинга этих изменений, а информация о состоянии опасных природных объектов такие как лавины, сели, подпрудные ледниковые озёра - служить основой для климатической безопасности территории.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, горное оледенение, многолетняя мерзлота.

Abstract. The Earth's cryosphere, and mountain glaciers in particular, are characterized by special sensitivity and dynamic response to climate change caused by both natural causes and anthropogenic impacts. Constantly updated space information from open sources can serve as a basis for their monitoring. Information on the state of such objects as avalanches, mudflows, dammed glacial lakes can serve for the climate safety in the territory.

Keywords: remote sensing, mountain glaciation, permafrost.

Предоставление доступа к открытым данным дистанционного зондирования (ДЗЗ) со стороны государства-оператора можно рассматривать как разновидность государственной дотации, направленной на развитие наук о Земле, поддержание индустрии высоких технологий и стимулирование роста экономики. Космические агентства и организации основных стран-лидеров в мировой индустрии ДЗЗ это – Россия, США, Евросоюз, Индия, Бразилия, Китай, Япония и др.

Постоянно обновляемая космическая информация из открытых источников может служить информационно-климатической основой для определения мер, в том числе упреждающих, по защите жизненно важных интересов личности, общества и государства от воздействия опасных природных явлений, а также изменения уровня моря, таяния материкового льда, засоления почв, деградации лесов и земель роста пожароопасности и др.

Распространение сезонных и многолетнемёрзлых грунтов Карачаево-Черкесской Республики

С помощью цифровой модели рельефа (FABDEM), и основных закономерностях развития «вечной» и сезонной мерзлоты в данном регионе, полученных из литературных источников, была составлена схематическая геокриологическая карта. Она содержит информацию о типах сезонного промерзания, мощность многолетнемёрзлых пород и может служить как основа для дальнейшей полевой верификации (рис. 51). В данном регионе

распространение мёрзлых пород носит островной характер, и полученная карта позволяет с высокой степенью достоверности отдешифрировать распространение этих процессов.

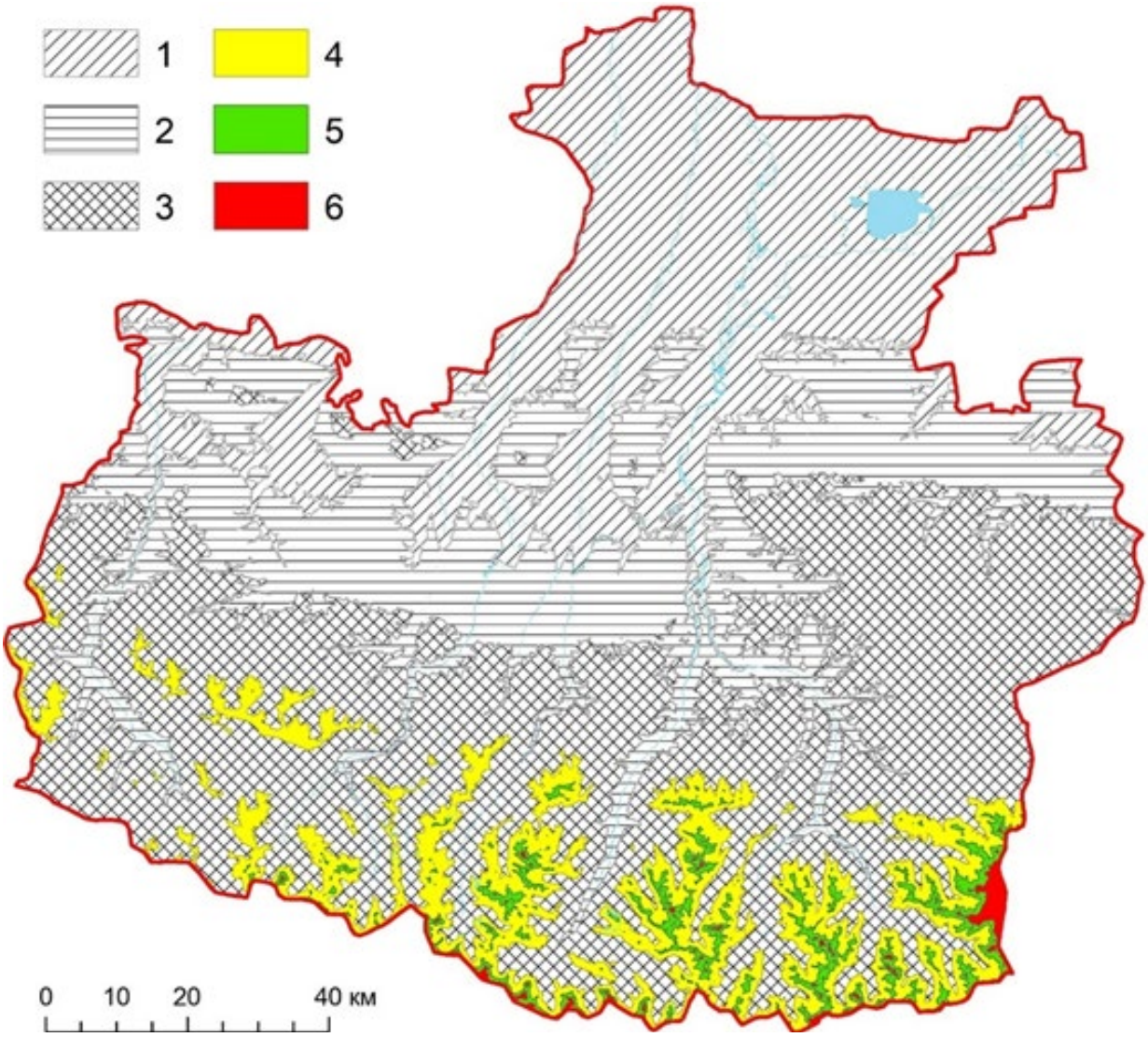


Рисунок 51. Схематическая геокриологическая карта Карачаево-Черкессии. Типы сезонного промерзания пород 1 – южный тип сезонного промерзания (0,1-0,3 м); 2 – умеренно морской тип сезонного промерзания (для слабовлажных грубодисперсных отложений – 0,5-0,7 м, влажных супесчано-глинистых – 0,3-0,5 м); 3 – полупереходной и переходной тип сезонного промерзания (1-2,5 м, для заснеженных участков – 0,3-0,5м). Распространение, среднегодовая температура и мощность многолетнемерзлых пород: 4 – несплошное, tср от 2 до -2 °С, глубина до 50 м; 5 – сплошное, tср от -0,5 до -5 °С, глубина 50-200 м; 6 – сплошное, tср от -5 до -7 °С, глубина 100-300 м

Схема зон лавинной опасности Карачаево-Черкесской Республики

Основная часть лавин данной территории локализуется в высокогорной зоне, выше границы леса, т.е. практически на хозяйственную деятельность и жизнь населения они не влияют. В то же время около 30 % всех лавин достигают дна долин, перекрывают автомобильные дороги, угрожая населенным пунктам.

Путём обработки карт цифровой модели рельефа углов наклона поверхности выделили четыре зоны с различной степенью лавинной опасности (рис. 52, табл. 11).

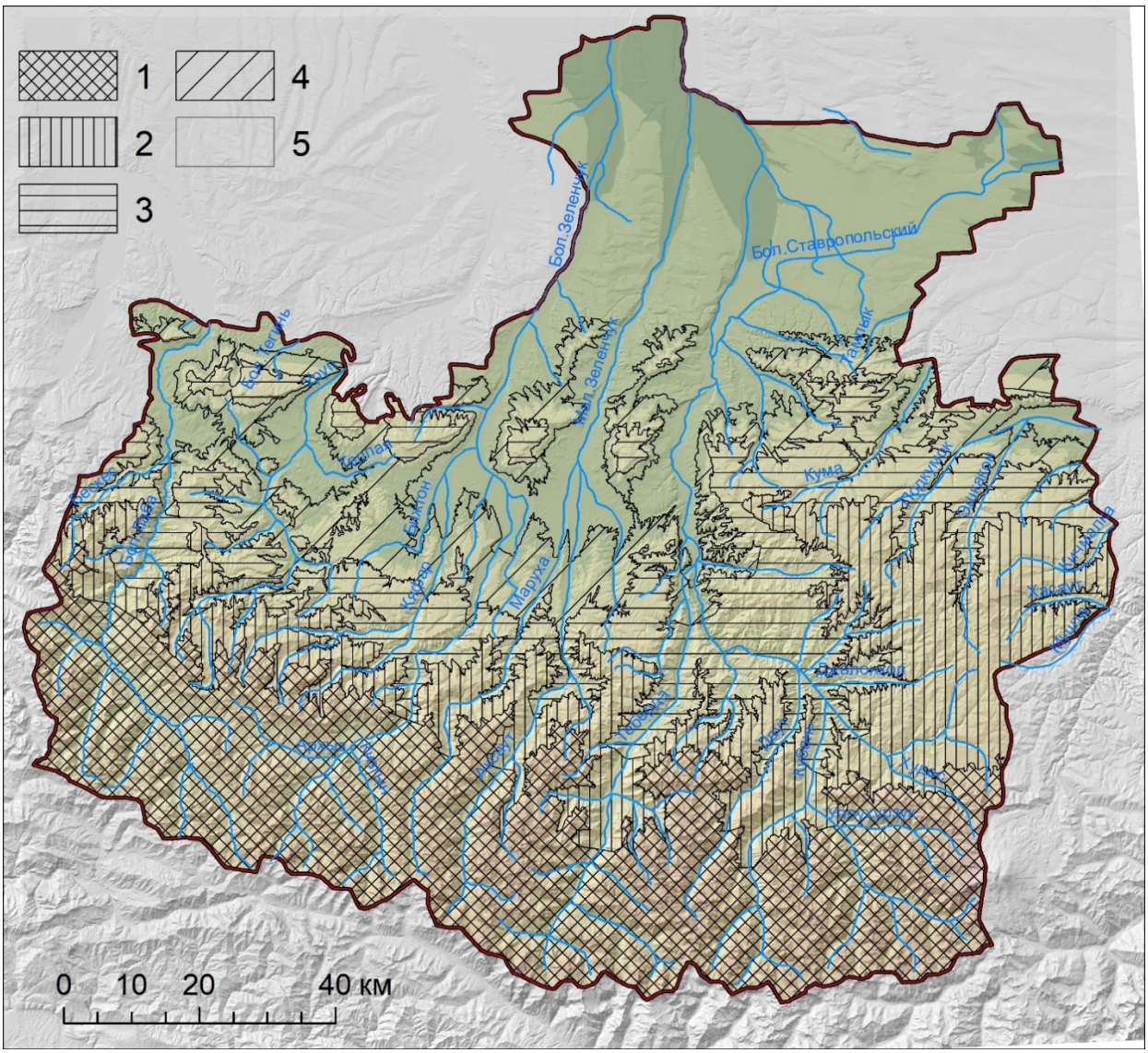


Рисунок 52. Схема зон лавинной опасности Карачаево-Черкесской республики: 1 – сильной, 2 – умеренной, 3 – слабой, 4 – незначительной, 5 – нелавиноопасная территория

Таблица 11. Характеристика лавинного режима по зонам лавинной опасности

Показатель	Зоны лавинной опасности			
	1	2	3	4
Охват территории в %	22	9	8	26
Продолжительность лавиноопасного периода, дней	180-210	120-150	45-60	15-30
Месяцы наиболее интенсивного лавинообразования	XII-III	I-III	I-II	I
Число лавин, сходящих на 1 км дна долины	>5	1-5	<1	<0.1
Периодичность схода лавин, раз в год	>1	0.5-1	<0.5	<0.1
Средний объём лавины, тыс. м^2	100	50	5	0.5

Сокращение оледенения на территории Карачаево-Черкесской республики

Для мониторинга изменения площадей ледников наиболее доступны космические снимки семейства Landsat с пространственным разрешением 30/15 м и Sentinel, с разрешением 10 м. Эти спутники имеют инфракрасные каналы, что значительно облегчает дешифрирование

льда, снега, скальных или грунтовых поверхностей. Временное разрешение у Landsat – 5-7 дней, у Sentinel – 3-5 дня, что важно для получения данных в период максимальной абляции перед осенними снегопадами и дублирования одной и той же территории при облачности. Данные Landsat доступны с конца 80-х годов, Sentinel – с 2015 г.

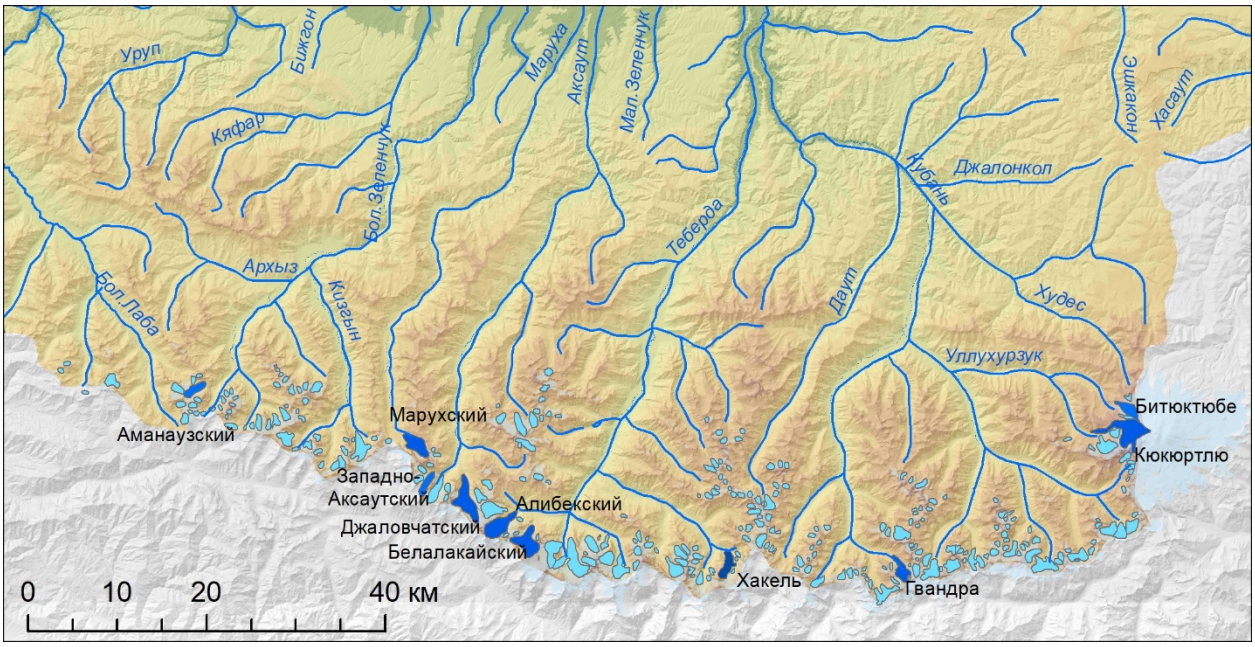


Рисунок 53. Схема наиболее крупных ледников Карачаево-Черкессии (по табл. 12)

Оледенение на территории Карачаево-Черкесской республики, по состоянию на 2015 г. составило 151,90 км^2, что на 19% меньше площади в 2000 г. Данные за каждый год возможно получить при помощи дешифрирования космических снимков.

Уменьшение площади ледников в основном происходит как за счет сокращения его длины, т. е. конца языка ледника, в меньшей степени – за счёт сокращения средних и верхних частей, расположенных на склонах. У отдельных ледников отмечается сокращение площади аккумуляции, когда от нее отрываются участки.

С помощью космических снимков 2000-2024 гг. были измерены 14 наиболее крупных и исследованных ледников республики. По данным космических снимков, с 2000 по 2024 гг. выбранные ледники потеряли от 11 до 22% площади (табл. 12).

Таблица 12. Уменьшение площадей исследуемых ледников в 2024 г. по сравнению с 2000 г., полученные по данным дистанционного зондирования

Название ледника	Номер по каталогу	Уменьшение площади, км^2	Скорость уменьшения в км^2/год	Уменьшение площади, % от 2000 г	Скорость уменьшения %/год
Аманаузский	59	0,27	0,011	19,8	0,83
Токмак	77	0,25	0,010	18,5	0,77
Софийский	90	0,15	0,006	11,0	0,46

Название ледника	Номер по каталогу	Уменьшение площади, км^2	Скорость уменьшения в км^2/год	Уменьшение площади, % от 2000 г	Скорость уменьшения %/год
Северо-Каракайский	110	0,12	0,005	29,1	1,21
Хасаутский	115	0,44	0,018	12,7	0,53
Джаловчатский	118	1,18	0,049	21,9	0,91
Алибекский	138	0,98	0,041	16,7	0,70
Птыш	152	0,33	0,014	18,5	0,77
Бу-Ульген	161	0,45	0,019	19,3	0,80
Чотча	170	0,17	0,007	17,4	0,72
Хакель	173	0,25	0,010	12,2	0,51
Восточно-Клухорский	177	0,13	0,005	22,0	0,91
Даут	205	0,17	0,007	12,2	0,51
Аманаузский	59	0,27	0,011	19,8	0,83

В таблице 13 и на рисунке 54 представлены результаты сокращения площади одного из основных ледников республики – ледника Аманаузского (Псышского), полученные в результате дешифрирования космических снимков Landsat и Sentinel.

Таблица 13. Сокращение площади ледника Аманаузского №59

Года	Данные	Площадь, км^2	%
1966	Каталог ледников СССР	1,6	100
2000	авторские	1,35	84,375
2015	авторские	1,18	73,75
2018	авторские	1,15	71,875
2021	авторские	1,12	70
2024	авторские	1,08	67,5

Если брать точку отсчёта 1966 г (данные из Каталог ледников СССР) – ледник Аманаузский сократился на 33%, а с начала нынешнего века - на 19,8%. Другие основные ледники уменьшились с 2000 года на 12-29% (табл. 12).

Зачастую, при отступании ледника, у его конца образуется небольшое озеро, подпруженное или конечной мореной, или скальным ригелем. У некоторых ледников такие озера существуют небольшое время - несколько лет, затем они прорываются. Примером таких ледников могут быть: Хасаутский, Аманаузский, Даут. У других ледников озера подпружены скальным ригелем и существуют несколько десятков лет, постепенно увеличиваясь в размерах, заполняют углубления в ложе, освобождаемое отступающим ледником. С помощью космических снимков эффективно проводить мониторинг подпруженных озёр с целью предупреждения прорыва, который может представлять собой опасность.

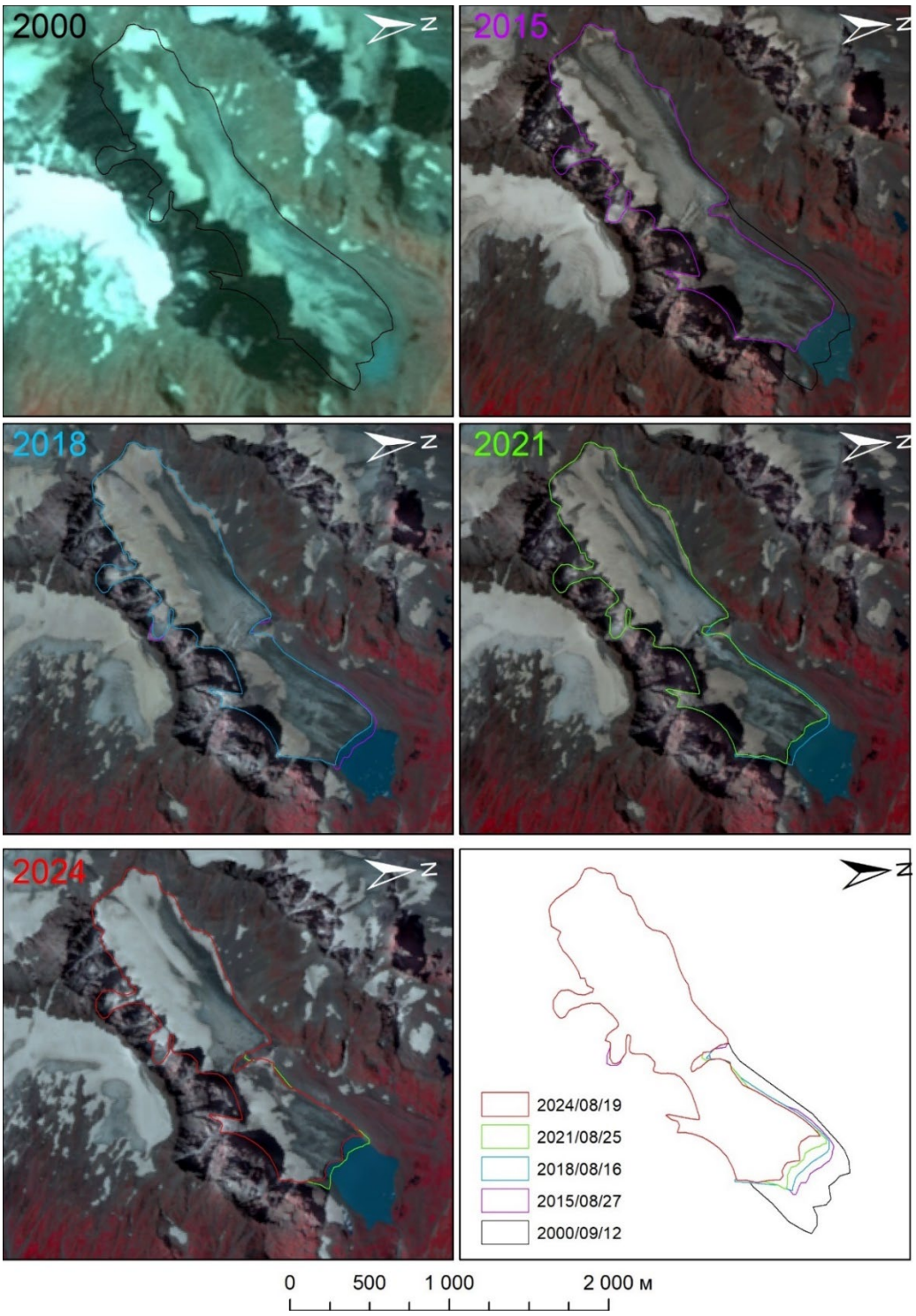


Рисунок 54. Схема ледника Аманаузского №59 с 2000 по 2024 гг. по результатам дешифрирования космических снимков Landsat ETM+ (2000 г); Sentenel 2A/B (2015, 2018, 2021, 2024 гг.)

Список литературы

Каталог ледников СССР. Т. VIII. Северный Кавказ. Ч. 1-4. Бассейн реки Кубани / Панов В.Д. Кравцова В.Н. – Л.: Гидрометеоиздат, 1967. – 123 с.

FABDEM V1-2. https://data.bris.ac.uk/data/dataset/s5hqmjcdj8yo2ibzi9b4ew3sn

Landsat: https://earthexplorer.usgs.gov/

Sentinel: https://browser.dataspace.copernicus.eu/

ПОДВЕРЖЕННОСТЬ ЭКОСИСТЕМ ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ РОССИИ ОПАСНЫМ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ

VULNERABILITY OF ECOSYSTEMS AT THE RUSSIAN BLACK SEA COAST TO HAZARDOUS HYDROMETEOROLOGICAL PHENOMENA

Андреева А.П.

Andreeva A.P.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *andalexandrap@yandex.ru*

Аннотация. Работа посвящена выявлению наиболее подверженных опасным гидрометеорологическим явлениям экосистем Черноморского побережья России на участке от Анапы до Геленджика, в состав которого входят Крымско-Кавказский и Крымско-Новороссийский биомы. На основе данных полевых описаний, анализа литературных источников и обработки спутниковой информации построена карта экосистем района исследования. По данным ВНИИГМИ-МЦД рассчитана частота возникновения очень сильного ветра, очень сильного дождя, сильной жары и чрезвычайной пожарной опасности. Выявлено, что наиболее подвержены воздействию сильной жары и чрезвычайной пожарной опасности экосистемы можжевеловых и сосновых лесов на южных, юго-восточных и юго-западных склонах крутизной 20° и более. Сильному ветру в осенне-зимний период (норд-ост) – экосистемы полидоминантных широколиственных, грабовых и частично буковых лесов на склонах северных, северо-восточных и восточных экспозиций крутизной 20°-45°. В летний период – экосистемы южных макросклонов под воздействием сильных юго-западных ветров. Очень сильный дождь создает угрозу экосистемам как на южных, так и на северных макросклонах, наиболее подвержены экосистемы крутых (30°-45°) и очень крутых (45°-60°) склонов.

Ключевые слова: экосистемы, изменение климата, опасные гидрометеорологические явления, Черноморское побережье, уязвимость.

Abstract. The work is devoted to identifying the most vulnerable ecosystems to hazardous hydrometeorological phenomena at the Black Sea coast of Russia in the area from Anapa to Gelendzhik. The area includes the Crimean-Caucasian and Crimean-Novorossiysk biomes. An ecosystem's map of the study area based on field data, literature analysis and satellite images information. According to meteorological data, the frequency of occurrence of strong winds, heavy rains, intense heat and extreme fire hazard was calculated. It was revealed that the ecosystems of juniper and pine forests on southern, southeastern and southwestern slopes with a steepness of 20° and more are most vulnerable to the effects of intense heat and extreme fire hazard. Strong winds in the autumn-winter period (north-east) affect ecosystems of polydominant broadleaf, hornbeam, and partly beech forests on northern, northeastern, and eastern slopes with a steepness of 20°-45°. In summer, ecosystems on southern macroslopes are affected by strong southwest wind. Heavy rain poses a threat to ecosystems on both southern and northern macroslopes, with ecosystems on steep (30°-45°) and very steep (45°-60°) slopes being most vulnerable.

Keywords: ecosystems, climate change, hazardous hydrometeorological phenomena, Black Sea coast, vulnerability.

Введение

Черноморское побережье России отличается высоким биологическим и экосистемным разнообразием – на небольшом отрезке географического пространства встречаются равнинные биомы степи и лесостепи, занимающие большую часть Крымского полуострова, и горные биомы неморальных хвойно-широколиственных и широколиственных лесов в южной части полуострова и на участке от Новороссийска до Туапсе. Восточнее происходит смена биомов субсредиземноморского типа на единственный в стране субтропический Сочинский биом (Биомы России, 2018).

Наряду с высокой антропогенной нагрузкой регион характеризуется экстремальностью природных условий. Происходящие климатические изменения в совокупности с засушливыми условиями средиземноморского типа климата создают тренд на аридизацию – рост средней годовой температуры воздуха составляет 0,9-1,2°С/10 лет, в то время как средняя годовая сумма осадков за период с 1980-х гг. по настоящее время изменилась незначительно. Также рост частоты и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений (экстремальных осадков, волн жары, чрезвычайной пожароопасности и др.), их комплексное воздействие несет серьезные риски не только экосистемам, но и здоровью людей (Богданович и др., 2021; Третий оценочный доклад…, 2022).

В данной работе в качестве объекта исследования выбран участок Российского побережья Черного моря от Анапы до Геленджика, который включает в себя п-ов Абрау, отроги Большого Кавказа – хребты Навагир, Маркотх – и массив Туапхат. Данная территория входит в состав равнинного Крымско-Кавказского (29) биома и горного Крымско-Новороссийского (60), который занимает большую его часть (Биомы России, 2018).

Целью работы является выявление наиболее подверженных опасным гидрометеорологическим явлениям (ОЯ) экосистем Крымско-Кавказского и Крымско-Новороссийского биомов на участке от Анапы до Геленджика.

Материалы и методы

Методологическая основа исследования включает в себя анализ литературных источников, сбор полевого материала и обработку данных дистанционного зондирования.

В период с 2017 по 2024 гг. авторами проводились полевые работы, которые включали комплексные ландшафтные и геоботанические описания на точках и трансектах, профилирование и последующее картографирование ключевых участков района исследования для характеристики экосистемного разнообразия. Всего выполнено около 300 точек полевых описаний.

Методика построения карты экосистем была апробирована на участке района исследования – массиве Туапхат (Андреева и др., 2025). Важным этапом являлась подготовка картографической основы – мозаики экотопов, полученной путем совмещения векторных слоев высоты, крутизны и экспозиции, созданных на основе оцифрованного авторами участка топографической карты Генштаба масштаба 1:50 000. Полученная база данных об экотопах была совмещена с информацией об основных растительных формациях района исследования и в результате построена карта экосистем.

В настоящей работе данная методика применена на весь исследуемый участок. Мозаика экотопов в данном случае является результатом совмещения векторных слоев высоты, экспозиции и крутизны, созданных на основе цифровой модели рельефа FABDEM. Для

получения данных об основных растительных формациях проведена контролируемая классификация по обучающей выборке, созданной на основе полевых и литературных данных, в SAGA GIS. Классификация проводилась по космическому снимку спутника Sentinel-2 разрешением 10 м (сцена 17.08.2025). Полученное изображение обрезано по слою современной застройки и сельскохозяйственных угодий, подготовленных авторами. В результате совмещения классифицированного слоя и мозаики экотопов получена карта экосистем исследуемого участка протяженностью более 70 км на уровне растительных формаций (рис. 55) (масштаб 1:250 000).

Информация по опасным явлениям является результатом обработки массивов срочных данных и данных по атмосферным явлениям по метеостанциям Анапа, Новороссийск, Геленджик, Джубга, Туапсе, опубликованных на сайте ВНИИГМИ-МЦД (Булыгина и др., 2025а, 2025б).

Результаты и обсуждение

Экосистемное разнообразие. В районе исследования встречаются три типа экосистем – ксерофитных субсредиземноморских лесов и редколесий (до 250 м н.у.м.), мезофитных широколиственных лесов (от 250 до 550 м н.у.м.) и лесостепи (500-760 м н.у.м.). В отдельный тип экосистем выделены сообщества крутых и обрывистых склонов с петрофитной растительностью.

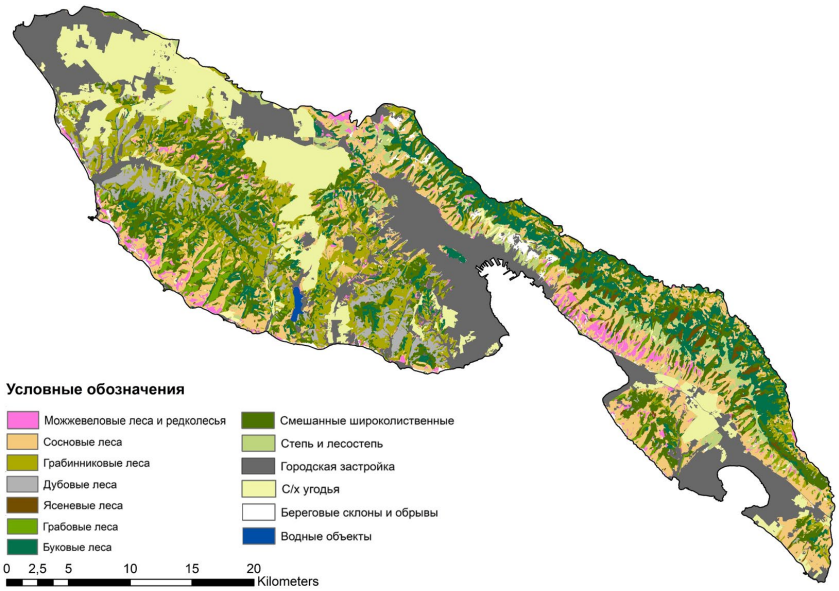


Рисунок 55. Экосистемы района исследования

Экосистемы нижнего пояса ксерофитных субсредиземноморских лесов и редколесий распространены главным образом на южных макросклонах и на северном макросклоне хр. Навагир. Наиболее близко к морю произрастают можжевелово-фисташковые редколесья и леса из сосны пицундской (*Pinus pityusa*). Выше распространены можжевеловые леса и

редколесья, можжевелово-пушистодубовые, пушистодубовые или пушистодубово-грабинниковые леса.

Экосистемы пояса мезофитных широколиственных лесов встречаются преимущественно на северных макросклонах района исследования, но иногда занимают средние и верхние части южных макросклонов. В нижней полосе данного пояса выделяются скальнодубовые леса и их сочетания с липой (*Tilia begoniifolia*), кленом (*Acer sp.*), ясенем (*Fraxinus excelsior*). Также в данном поясе выделяются леса с доминированием граба (*Carpinus betulus*), бука (*Fagus orientalis*) и ясеня, их сочетания с липой и дубом скальным (*Quercus petraea*).

Верхний пояс лесостепи представлен экосистемами горных луговых степей и остепненных лугов – ковыльных, типчаковых, разнотравных, кустарниковых и злаково-разнотравных.

Опасные гидрометеорологические явления. Согласно (Третий оценочный доклад…, 2022), за последние 30 лет наибольший ущерб региону наносили ОЯ, связанные с высокими скоростями ветра, экстремальными осадками и наводнениями. Так, в работе рассматриваются наиболее характерные для региона ОЯ как очень сильный ветер, очень сильный дождь, сильная жара и чрезвычайная пожарная опасность (табл. 14).

Для каждого ОЯ определены два пороговых значения, превышение которых позволяет охарактеризовать степень воздействия явления на экосистемы (Липка и др., 2024). При превышении первого порогового значения – ОЯ может нанести экосистемам существенный ущерб. Превышение второго порога носит катастрофический характер, в некоторых случаях приводя к необратимым последствиям. В работе рассмотрены ОЯ, интенсивность которых превышает первое пороговое значение (табл. 14).

Таблица 14. Частота ОЯ, превышающих первое пороговое значение

Биом	Станция	Очень сильный ветер	Очень сильный дождь	Сильная жара	Чрезвычайная пожарная опасность
Крымско-кавказский	Анапа	3,9	0,5	1,4	0,96
Крымско-Новороссийский	Туапсе	18,5	9,20	0,96	0,96
Крымско-Новороссийский	Геленджик	14,9	3,14	2,08	0,97
Крымско-Новороссийский	Новороссийск	38,4	3,32	2,62	0,98
Крымско-Новороссийский	Джубга	0,5	0,13	1,73	0,96

Очень сильный ветер со скоростью более 20 м/с для равнинных территорий и более 25 м/с для горных фиксируется в регионе ежегодно и практически повсеместно. В Новороссийске с 1987 г. зафиксировано 1422 дня с очень сильным ветром. Для региона характерным опасным явлением, которое проявляется в холодный период года, является бора – ветер со скоростью до 30-40 м/с, иногда с порывами до 50 м/с, сопровождающийся падением температур, носит зачастую разрушительный характер.

Очень сильный дождь более 30 мм/сут. для горных территорий ежегодно фиксируется метеостанцией в Туапсе. Это связано со сменой климатических условий – восточнее Туапсе климат становится более влажным, среднее годовое количество осадков увеличивается. Однако в регионе возрастает частота выпадения экстремальных сумм осадков преимущественно в теплый период года – в июле 2012 года в Новороссийске был зафиксирован исторический многолетний максимум суммы осадков за сутки (275 мм) (Богданович и др., 2021). Выпадение катастрофического объема ливневых осадков за короткий промежуток времени является причиной формирования разрушительных ливневых селей в регионе и подтопления прибрежных территорий. Согласно данным МЧС России (Атлас природных и техногенных…, 2010), наводнения охватывают 30-40% площади региона.

Сильная жара (превышение 35°С) также ежегодно фиксируется в регионе, особенно на метеостанции Джубга. Количество экстремально жарких дней в районе исследования возросло за последние десятилетия. Зафиксировано увеличение продолжительности волн жары в период с 2001 по 2020 гг. в Анапе, Новороссийске и Геленджике (Богданович и др., 2021).

В районе исследования высока вероятность возникновения чрезвычайной пожароопасной обстановки (более 90%). Засушливые климатические условия в сочетании с климатическими изменениями, увеличением продолжительности волн жары и воздействия других ОЯ создают условия для быстрого распространения пожаров, которые охватывают большие площади и сложны в устранении из-за пересеченного рельефа района исследования. Таким примером стал пожар антропогенного происхождения на хр. Маркотх, который в 2023 году уничтожил участок леса площадью около 120 га. Кроме труднодоступности, устранению пожара препятствовал сильный ветер с порывами до 30 м/с (https://www.kommersant.ru/doc/6186374).

Заключение

Воздействию сильной жары и чрезвычайной пожарной опасности наиболее подвержены экосистемы нижнего пояса ксерофитных субсредиземноморских лесов и редколесий: можжевеловые и сосновые леса и можжевеловые редколесья на склонах южных, юго-восточных и юго-западных экспозиций крутизной 20° и более. В совокупности с засушливыми условиями и очень сильным ветром пожары могут быстро распространяться на экосистемы следующего пояса вне зависимости от крутизны и экспозиции. Очень сильный юго-западный ветер («моряк») в летний период оказывает существенное влияние на экосистемы южных макросклонов всех поясов. Можно отметить подверженность экосистем пояса мезофитных широколиственных лесов на границе лесостепного пояса, где есть следы продолжительного воздействия сильного ветра в осенне-зимний период: экосистемы полидоминантных широколиственных, грабовых и частично буковых лесов преимущественно

на склонах северных, северо-восточных и восточных экспозиций крутизной 20°-45°. Очень сильный дождь приводит к образованию ложбин поверхностного стока и плоскостному смыву, что создает угрозу вывалов деревьев как на южных, так и на северных макросклонах района исследования, наиболее подвержены экосистемы на крутых (30°-45°) и очень крутых (45°-60°) склонах.

Работа выполнена в рамках темы НИТР Росгидромета 125030703339-4.

Список литературы

Андреева А.П. Анализ подходов к оценке разнообразия экосистем для целей картографирования / А.П. Андреева, О.Н. Липка, Н.С. Журавлева // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — №4 (154). — URL: https://research-journal.org/archive/4-154-2025-april/10.60797/IRJ.2025.154.77— DOI: 10.60797/IRJ.2025.154.77

Атлас природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций. Российская Федерация (2010) Под общ. ред. С.К. Шойгу, М., Дизайн. Информация. Картография, 696 с.

Биомы России (2018) Карта. Масштаб 1:7 500 000, под ред. Г.Н. Огуреевой, М., МГУ им. М.В. Ломоносова, РГО.

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, doi:10.21513/2410-8758-2021-4-44-70

Булыгина О.Н., Веселов В.М., Александрова Т.М., Коршунова Н.Н. «Описание массива данных по атмосферным явлениям на метеорологических станциях России». 2025а.

Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России, Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549. 2025б.

Липка О.Н., Андреева А.П., Стишкина С.А. (2024) Подверженность природных систем суши опасным гидрометеорологическим явлениям и пороговые значения их воздействий, Фундаментальная и прикладная климатология, т. 10, № 3, с. 329-377, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-329-377

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.

Ущерб уйдет в гору. – 2023. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/6186374

ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТЕОРЕАКЦИИ ИММУННОЙ СИСТЕМЫ У НАСЕЛЕНИЯ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА С БРОНХОЛЕГОЧНОЙ ПАТОЛОГИЕЙ

INTEGRATED ASSESSMENT OF THE IMMUNE SYSTEM METEOREACTION IN THE POPULATION OF THE SOUTH OF THE FAR EAST WITH BRONCHOPULMONARY PATHOLOGY

Веремчук Л.В., Виткина Т.И.

Veremchuk L.V., Vitkina T.I.

Владивостокский филиал ФГБНУ «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания» – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения
Россия, 690105, Владивосток, ул. Русская, 73г; *vfdnz@mail.ru*

Аннотация. Разработка методологических подходов к исследованию метеореакции у компрометированных групп населения является крайне востребованной. В исследование включено 450 человек – здоровых добровольцев и лиц с бронхиальной астмой (БА). Для оценки уровня метеореакции использован информационно-энтропийный анализ. Показано, что в климатических условиях Юга Дальнего Востока формируется патогенная метеореакция как для здорового населения, так и для лиц с бронхолегочной патологией. Выделены наиболее неблагоприятные периоды. Выявлено, что при БА максимальный отклик иммунной системы проявляется на температурный режим: в зимний период – на низкие; летний – на высокие температуры в сочетании с повышенной влажностью.

Ключевые слова: бронхиальная астма, муссонный климат, сезонные изменения, иммунная система, информационно-энтропийный анализ.

Abstract. The development of methodological approaches to the study of meteorological reactions in compromised population groups is in high demand. The study included 450 people - healthy volunteers and individuals with bronchial asthma (BA). Information-entropy analysis was used to assess the level of meteorological reactions. It was shown that in the climatic conditions of the South of the Far East, a pathogenic meteorological reaction is formed both for the healthy population and for individuals with bronchopulmonary pathology. The most unfavorable periods were identified. It was found that with BA, the maximum response of the immune system is manifested in the temperature regime: in winter - to low; in summer - to high temperatures combined with high humidity.

Keywords: asthma, monsoon climate, seasonal changes, immune system, information-entropy analysis.

Формирование и прогрессирование бронхиальной астмы тесно связано с климатическими условиями (Maloney, Duffy, 2024; Zhou et al., 2022). В условиях ускоряющегося изменения климата, изучение метеореакции населения с заболеваниями органов дыхания остается актуальной научной проблемой (Уянаева и др., 2018). Как одна из ключевых гомеостатических систем, иммунная система играет центральную роль в формировании адаптационного ответа на климатические факторы (Veremchuk et al., 2023). Чувствительность иммунной системы меняется в разные времена года. В связи с этим, сезонность выступает как важный экологический фактор, который наряду с генетическими особенностями, оказывает влияние на иммунные реакции организма (Ter Horst et al., 2021). Географическое положение и его специфика формируют уникальный набор климато-погодных факторов, которые существенно влияют на иммунный ответ. Муссонный климат Юга Дальнего Востока характеризуется выраженными сезонными и суточными колебаниями температуры, влажности и атмосферного давления. Все эти факторы выступают в качестве неспецифических раздражителей, способных негативно влиять на иммунитет людей с

заболеваниями дыхательной системы (Vitkina et al., 2019). Влияние естественных климатических факторов на иммунную систему человека представляет собой сложную задачу, методически затрудненную неоднозначностью и сложностью выявления специфических реакций организма. Взаимодействие таких сложных систем, как организм человека и климат, неизбежно сопровождается образованием "информационного шума", представляющего собой проявление энтропии. Необходимо применение методов, способных "просеять" информационный шум и выделить значимые сигналы. Одним из таких методов является информационно-энтропийный анализ, позволяющий оценить уровень неопределенности и случайности процессов как в каждой из систем в отдельности, так и в их взаимодействии (Зилов и др., 2019; Веремчук и др., 2021).

Для оценки интенсивности и характера сезонной метеореакции системы иммунитета обследовано 450 человек (средний возраст 56,5±4,8 года), проживающих в г. Владивостоке более десяти лет, среди которых 160 человек без патологии органов дыхания вошли в контрольную группу (условно здоровые лица), 290 человек с бронхиальной астмой (БА) легкой степени тяжести частично контролируемого течения. Диагноз БА выставлен в соответствии с Глобальной стратегией лечения и профилактики бронхиальной астмы и Международной классификацией болезней 10-го пересмотра. Критериями исключения из исследования явилось наличие острых инфекционных заболеваний, хронических заболеваний внутренних органов в фазе обострения, хронической сердечной недостаточности в стадии декомпенсации, наличие контакта с вредными и опасными производственными факторами. Исследование осуществлялось в соответствии с требованиями Хельсинской декларации (пересмотр 2013 г.) с одобрения локального Этического комитета на условиях добровольного информированного согласия. Методом проточной цитометрии (BD FACS Canto II, США) измеряли показатели клеточного иммунитета (BD Multitest 6-color TBNK, США); уровень цитокинов в сыворотке крови (тест-система Cytometric Bead Array, BD, США)). Фагоцитарную и окислительную активность нейтрофилов оценивали с помощью наборов PHAGOTEST (BD, США) и BURSTEST (BD, США). По данным Приморского УГМС (Примгидромет) отобраны 6 метеопараметров (направление и скорость ветра, количество осадков, температура, влажность и атмосферное давление воздуха), которые соответствовали дню и часу обследования пациентов. Отбор климатических показателей проводился с позиции сезонности и благоприятного и неблагоприятного их воздействия (Уянаева и др., 2018).

Данные по иммунной системе и климатическим параметрам обрабатывались методом информационно-энтропийного анализа. В качестве меры оценки использовался показатель избыточности информации (R%), чем выше показатель избыточности, тем более надежна передача информации, и, наоборот, уменьшение R% указывает на увеличение системной

случайности и неопределенности (Рахманов, Тарасов, 2018). Первоначально вычислялась безусловная энтропия $R_{без}$%, которая характеризовала неопределенность и случайность процессов, происходящих в иммунной системе. Алгоритм расчета величины безусловной энтропии $R_{без}$% состоял из: – 1) расчета вероятностного показателя (p_i), позволяющего перевести все исходные данные в относительные величины: $pi = \frac{i}{\sum i}$; – 2) оценки величины энтропии *H,* использующей формулу Шеннона:

$$H = -\sum_{i=1}^{i} p_i \ \log_2 p_i$$

– 3) определения коэффициента избыточности информации (R%): R%=(1-$\frac{H_{факт}}{H_{макс}}$), который соотнес фактическую энтропию H к максимально возможной, которая зависит от количества входящих компонентов (иммунных показателей и метеофакторов). Далее, определялась условная энтропия $R_{усл}$%, которая позволила оценить неопределенность иммунной системы при воздействии на нее метеофакторов. Определение условной энтропии исходило из вероятности (*p*) совмещения величин в климатической и иммунной системах: $p(A/B) = p(A)\times(p(A)p(B))$, где: A – иммунная система, B – климат, с последующим определением энтропии (H) и избыточности информации R% в совмещенном варианте вероятностей. Разница условной и безусловной энтропии ($R_{усл}$–$R_{без}$%) указывала на уровень метеочувствительности населения города по сезонам года.

На основании проведенных расчетов комплексного отклика показателей иммунной системы на внешнее воздействие метеопараметров, определялся коэффициент избыточности информации ($R_{усл}$%–$R_{без}$%) по сезонам года у здоровых добровольцев и лиц с бронхиальной астмой (рис. 56). Сравнительный анализ позволил выявить статистически значимую метеореакцию иммунной системы для различных контингентов обследуемых. У больных БА активная метеореакция зафиксирована в зимние-весенний (3,97 и 3,02) и летний сезон (2,08). У здоровых лиц метеореакция максимальна в зимний период (2,52).

Рисунок 56. Интенсивность метеореакции ($R_{усл}$%–$R_{без}$%) системы иммунитета в разные сезоны года в условиях морского муссонного климата

Применение информационно-энтропийного анализа позволило оценить интенсивность и характер метеореакции иммунной системы населения под воздействием муссонного климата г. Владивостока. Установлено, что метеореакция системы иммунитета у больных бронхиальной астмой в течение года возрастает на 20-30%, резко увеличиваясь к зимнему периоду, который является наиболее опасным для больных БА. Здоровое население города характеризуется снижением метеореакции в зимне-весенний и летний периоды, в осенний период метеочувствительность здоровых лиц повышается. Анализ метеореакции у здоровых лиц показал незначительное превышение в зимний период, что указывает на приспособительные реакции иммунной системы к воздействию погодных условий. Установлено, что в течение года уровень влияния неблагоприятных и благоприятных погодных условий на иммунную систему больных БА различается. В целом, климат г. Владивостока имеет преимущественное негативное действие, как на больных, так и, в меньшей степени, на здоровых лиц. В зимний-весенний и летний периоды больные БА являются наиболее уязвимыми. Для всего населения города наиболее благоприятным сезоном года является осень, особенно для здоровых лиц, у которых метеореакция носит оздоровительную направленность.

Полученные результаты позволят формировать профилактические мероприятия, направленных на коррекцию воздействия погодных условий на больных с бронхиальной астмой, особенно в условиях современного глобального изменения климата.

Список литературы

Веремчук Л.В., Виткина Т.И., Минеева Е.Е., Антонюк М.В. Прогнозирование ответной реакции функции внешнего дыхания у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких при воздействии факторов климато-техногенной среды // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. – 2021. – № 82. – С. 53–61. doi: 10.36604/1998-5029-2021-82-53-61

Зилов В.Г., Киричук В.Ф., Фудин Н.А. Экспериментальное обоснование иерархической организации хаоса в нервно-мышечной физиологии // Вестник новых медицинских технологий. – 2019. – Т. 26, №1. – С. 133–136.

Рахманов Р.С., Тарасов А.В. Адаптационные реакции организма при влиянии морского климата на здоровье населения в регионах России: монография. – Н. Новгород: ООО «Стимул-СТ», 2018. – 100 с.

Уянаева А.И., Рассулова М.А., Максимова Г.А. Современные технологии оценки климата и погоды для медико-метеорологического прогнозирования. // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. – 2018. – Т. 95, №2. – С. 134.

Maloney E., Duffy D. Deciphering the relationship between temperature and immunity // Discovery Immunology. – 2024. – Vol. 3, №1.

Ter Horst R., Jaeger M., van de Wijer L., van der Heijden W.A., Janssen A.M.W., Smeekens S.P., Brouwer M.A.E., van Cranenbroek B., Aguirre-Gamboa R., Netea-Maier R.T., van Herwaarden A.E., Lemmers H., Dijkstra H., Joosten I., Koenen H., Netea M.G., Joosten L.A.B. Seasonal and Nonseasonal Longitudinal Variation of Immune Function // Journal of immunology. – 2021. – Vol. 207, №2. – P. 696–708.

Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Kondratyeva E.V. Assessing short-term weather-induced immune response in Russian far east residents with respiratory diseases // Russian Open Medical Journal. – 2023. – Vol. 12, №2. – P. 203.

Vitkina T.I., Veremchuk L.V., Mineeva E.E., Gvozdenko T.A., Antonyuk M.V., Novgorodtseva T.P., Grigorieva E.A. The influence of weather and climate on patients with respiratory diseases in Vladivostok //Journal of Environmental Health Science and Engineering. – 2019. – Vol. 17, №2. – P. 907–916.

Zhou Y., Pan J., Xu R., Lu W., Wang Y., Liu T., Fan Z., Li Y., Shi C., Zhang L., Liu Y., Sun H. Asthma mortality attributable to ambient temperatures: A case-crossover study in China // Environmental Research. – 2022. – Vol. 214, №4.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ И ТЕХНОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ ПРОИЗВОДНЫМИ ФТАЛЕВОЙ КИСЛОТЫ

INFLUENCE OF CLIMATIC AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE LEVEL OF AIR POLLUTION BY PHTHALIC ACID DERIVATIVES

Виткина Т.И., Черенков Д.Н.

Vitkina T.I., Cherenkov D.N.

Владивостокский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания – Научно-исследовательский институт медицинской климатологии и восстановительного лечения»
Россия, 690105, Владивосток, ул. Русская, 73Г, *tash30@mail.ru*

Аннотация. Выполнено исследование концентраций эфиров фталевой кислоты (дибутилфталата – ДБФ, диизобутилфталата – ДИБФ, диэтилгексилфталата – ДЭГФ) во взвешенных частицах приземного слоя атмосферы города Владивостока в условиях муссонного климата. Актуальность работы определяется дефицитом данных о загрязнении атмосферного воздуха фталатами на территории Российской Федерации и спецификой климатических условий региона, оказывающих существенное влияние на распределение данных соединений. Пробы атмосферных аэрозолей отбирались в период с 2014 по 2024 гг. в двух функционально различных зонах: в районе Вторая речка (Владивосток) и в сравнительно малозагрязнённой прибрежной зоне острова Русский. Анализ концентраций проводился методом газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией. Установлено, что уровни ДБФ и ДЭГФ в городской зоне статистически значимо превышают таковые на острове Русский (6,22 и 10,39 нг/м³ против 3,34 и 8,61 нг/м³ соответственно), что свидетельствует о доминирующем вкладе техногенных источников. В то же время различия в концентрациях ДИБФ между изучаемыми территориями не достигли статистической значимости (7,17 и 6,08 нг/м³). С целью более детального анализа влияния факторов и прогнозирования накопления эфиров фталевой кислоты были разработаны модели множественной регрессии. Полученные результаты подчёркивают необходимость учёта региональных климатических особенностей при оценке загрязнения воздушной среды фталатами и могут быть использованы для разработки стратегий снижения их эмиссии и прогнозирования концентраций в условиях муссонного климата.

Ключевые слова: фталаты, приземный слой атмосферного воздуха, твердые взвешенные частицы, муссонный климат.

Abstract. This study investigated the concentrations of phthalate esters (dibutyl phthalate – DBP, diisobutyl phthalate – DiBP, and di(2-ethylhexyl) phthalate – DEHP) in particulate matter of the atmospheric surface layer in Vladivostok under monsoonal climate conditions. The relevance of the work lies in the lack of data on phthalate air pollution in the Russian Federation and the unique climatic features of the region, which exert a significant influence on the distribution of these compounds. Aerosol samples were collected between 2014 and 2024 in two functionally distinct zones: Vtoraya Rechka district (Vladivostok) and the relatively unpolluted coastal area of Russky Island. Concentrations were determined by gas chromatography coupled with mass spectrometry. It was found that DBP and DEHP levels in the urban zone significantly exceeded those on Russky Island (6,22 and 10,39 ng/m³ versus 3,34 and 8,61 ng/m³, respectively), indicating a dominant contribution from anthropogenic sources, whereas differences in DiBP concentrations between the two sites were not statistically significant (7,17 versus 6,08 ng/m³). To enable a more detailed analysis of influencing factors and to forecast phthalate ester accumulation, multiple regression models were developed. The results underscore the necessity of accounting for regional climatic characteristics when assessing phthalate air pollution and may inform strategies for emission reduction and concentration forecasting under monsoonal climate regimes.

Keywords: phthalates, atmospheric surface layer, solid suspended particles, monsoon climate.

Фталаты представляют собой сложные эфиры 1,2-бензолдикарбоновой кислоты, которые широко применяются в промышленности, главным образом в качестве пластификаторов для полимерных материалов. Эти соединения входят в состав пластмасс, косметических средств, упаковки пищевой продукции и медицинских изделий. Во многих странах введены нормативные ограничения на использование отдельных видов фталатов, особенно в товарах для детей и упаковке продуктов питания. Фталаты способны проникать в

организм различными путями: через кожу, при употреблении пищи и воды, а также с вдыхаемым воздухом (Benjamin et al., 2017). Особенно значима фоновая концентрация фталатов в городском атмосферном воздухе, поскольку полностью исключить контакт с ними невозможно, что приводит к хронической экспозиции, представляющей наибольшую угрозу для уязвимых групп населения (Sobolevskaya et al., 2024).

Воздействие фталатов оказывает неблагоприятное влияние на дыхательную и иммунную системы человека, способствуя учащению заболеваний органов дыхания, в том числе аллергических патологий (Yu and Wang, 2024). Эпидемиологические исследования демонстрируют связь между экспозицией фталатов и развитием воспалительных процессов в дыхательных путях (Kim et al., 2018). Показано, что фталаты нарушают барьерную функцию эпителиального слоя дыхательных путей и активируют иммунные клетки, что способствует возникновению и прогрессированию воспалительных реакций (Alfardan et al, 2018).

В условиях муссонного климата дыхательная система человека испытывает повышенную нагрузку, что делает оценку факторов, воздействующих на её состояние, особенно актуальной (Veremchuk et al., 2023). Метеорологические параметры, такие как температура и атмосферное давление, коррелируют с миграцией фталатов из полимерных матриц, а также с их распределением в воздушной среде (Benjamin et al., 2017). С учётом указанного, территория города Владивостока представляет особый интерес для проведения исследований, поскольку климатические особенности региона и отсутствие данных о содержании фталатов в атмосферном воздухе обуславливают необходимость изучения данной проблемы.

В период с 2014 по 2024 год в приземном слое атмосферного воздуха Владивостока были отобраны пробы твёрдых взвешенных частиц (ТВЧ) в двух различных районах: на материковой части города (район Вторая речка) и на острове Русский (посёлок Экипажный). Для отбора проб использовался электрический аспиратор ПУ-4Э производства ЗАО «ХИМКО» (Россия). Одновременно с отбором образцов фиксировалась интенсивность автомобильного движения. Метеорологические параметры (направление и скорость ветра, температура воздуха, относительная влажность и атмосферное давление) регистрировались по данным Приморского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Приморское УГМС).

Качественный и количественный анализ фталатов, адсорбированных на ТВЧ, проводился с помощью газовой хроматографии в сочетании с масс-спектрометрией. Идентификация соединений осуществлялась путём сопоставления полученных масс-спектров с библиотекой NIST20, а количественная оценка – на основе калибровочных графиков, построенных с использованием химических стандартов. Статистическая обработка данных

выполнялась в программном обеспечении STATISTICA 10.0, результаты представлены в виде медианы (Me) и интерквантильного диапазона (Q25, Q75). Уравнение множественной регрессии было получено с использованием модуля «Множественная регрессия» в программе Statistica 10.0. Для проверки статистических гипотез в качестве критического уровня значимости принималось $p < 0{,}05$.

В исследовании были проанализированы уровни содержания трёх фталатов – дибутилфталата (ДБФ), диизобутилфталата (ДИБФ) и ди(2-этилгексил)фталата (ДЭГФ) – в атмосферном воздухе двух районов г. Владивостока: в районе Второй речки (городская зона) и на острове Русский (условно фоновая зона). Результаты показали, что медианные концентрации ДБФ и ДЭГФ в городской зоне значительно превышали аналогичные значения в условно фоновой зоне. Так, медиана концентрации ДБФ во Второй речке составила 6,22 нг/м³ (межквартильный размах: 5,47-7,1 нг/м³), в то время как на острове Русский этот показатель равнялся 3,34 нг/м³ (2,78-4,27 нг/м³). Различие было статистически значимым при уровне $p < 0{,}001$.

Аналогичная тенденция наблюдалась и для ДЭГФ: медиана составила 10,39 нг/м³ (9,66-11,12 нг/м³) в городской зоне против 8,61 нг/м³ (7,87-9,22 нг/м³) на острове Русский. Эта разница также была статистически значимой ($p < 0{,}01$). В случае с ДИБФ различия между районами были менее выражены: медианная концентрация составила 7,17 нг/м³ (6,62-8,04 нг/м³) в районе Второй речки и 6,08 нг/м³ (5,31-6,94 нг/м³) на острове Русский, статистически значимой разницы выявлено не было.

Полученные данные свидетельствуют о влиянии антропогенных факторов на уровень загрязнения воздуха фталатами в городской среде. Более высокие концентрации ДБФ и ДЭГФ во Второй речке, по-видимому, обусловлены интенсивной техногенной нагрузкой, включая выбросы автотранспорта, содержащие пластмассовые компоненты и продукты неполного сгорания топлива.

Для углублённого анализа влияния изучаемых факторов и прогноза накопления эфиров фталевой кислоты были построены модели множественной регрессии (1-3).

$$\text{ДБФ} = 8{,}6 - 0{,}71 \times H - 0{,}69 \times T - 0{,}64 \times WS + 0{,}62 \times AT, (1)$$

(R = 0,68; тест Дурбина–Уотсона = 1,9; p<0,008; F=16,8)

$$\text{ДиБФ} = 12{,}42 + 0{,}74 \times AT - 0{,}72 \times T - 0{,}71 \times H - 0{,}61 \times WS, (2)$$

(R = 0,76; тест Дурбина–Уотсона = 1,8; p<0,0017; F=23,3)

$$\text{ДЭГФ} = 6{,}28 - 0{,}79 \times T - 0{,}77 \times H + 0{,}68 \times AT - 0{,}53 \times WS, (3)$$

(R = 0,76; тест Дурбина–Уотсона = 1,84; p<0,001; F=28,21),

где H – влажность, T – температура, WS – скорость ветра, AT – интенсивность автомобильного движения.

В анализируемых моделях были включены климато-техногенные переменные, оказывающие наиболее выраженное влияние на концентрации исследуемых фталатов в условиях муссонного климата. Среди них наибольшую объяснительную способность продемонстрировала модель для диэтилгексилфталата (ДЭГФ), характеризующаяся коэффициентом множественной корреляции R = 0,79, тогда как для диизобутилфталата (ДИБФ) и дибутилфталата (ДБФ) значения R составили 0,76 и 0,68 соответственно. При этом значения статистики Дурбина-Уотсона для всех трёх моделей находились в пределах допустимых границ, что свидетельствует об отсутствии автокорреляции в остатках. Важным критерием пригодности разработанных регрессионных уравнений является статистическая значимость: во всех моделях обнаружены p-значения ниже 0,05, а F-критерий Фишера достигает адекватных уровней, что подтверждает обоснованность использования этих уравнений для прогнозирования концентраций фталатов.

Таким образом, проведённое исследование позволило количественно оценить загрязнение приземного слоя атмосферного воздуха во Владивостоке эфирами фталевой кислоты и определить долю вклада метеорологических и антропогенных факторов в их распределение в воздушной среде. Установлено, что хроническая экспозиция фталатов может способствовать развитию и обострению воспалительных процессов дыхательной системы, что подчёркивает необходимость дальнейших углублённых исследований загрязнения атмосферного воздуха эфирами фталевой кислоты.

Список литературы

Alfardan A.S., Nadeem A., Ahmad S.F., Al-Harbi N.O., Al-Harbi M.M., AlSharari S.D., Plasticizer, di (2-ethylhexyl) phthalate (DEHP) enhances cockroach allergen extract-driven airway inflammation by enhancing pulmonary Th2 as well as Th17 immune responses in mice // Environmental Research. – 2018. – Vol. 164. – P. 327–339.

Benjamin S., Masai E., Kamimura N., Takahashi K., Anderson R.C., Faisal P.A. Phthalates impact human health: epidemiological evidences and plausible mechanism of action // Journal of hazardous materials. – 2017. – Vol. 340. – P. 360–383.

Kim K.N., Lee M.R., Choi Y.H., Lee B.E., Hong Y.C. Association between phthalate exposure and lower lung function in an urban elderly population: A repeated-measures longitudinal study // Environment international. – 2018. – Vol. 113. – P. 177–183.

Sobolevskaya M.P., Vitkina T.I., Cherenkov D.N. Phthalic acid derivatives: Sources and effects on the human body // Russian Open Medical Journal – 2024. – Vol. 13, No. 4. – P. e0407.

Veremchuk L.V., Vitkina T.I., Mineeva E.E., Kondratyeva E. Assessing short-term weather-induced immune response in Russian Far East residents with respiratory diseases // COPD. – 2023. – Vol. 97., No. 115. – P. e0203.

Yu Y., Wang J.Q. Phthalate exposure and lung disease: the epidemiological evidences, plausible mechanism and advocacy of interventions // Reviews on Environmental Health. – 2024. – Vol. 39., No. 1. – P. 37–45.

ДИНАМИКА ВЫНОСА СУЛЬФАТОВ АРКТИЧЕСКИМИ РЕКАМИ В КАРСКОЕ МОРЕ

DYNAMICS OF SULFATE EXPORT INTO THE KARA SEA BY ARCTIC RIVERS

Даниленко А.О.[1], Коваленко А.А.[1,2]

Danilenko A.O.[1], Kovalenko A.A.[1,2]

[1] ФГБУ «Гидрохимический институт»
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 198; *aldanilenko@gmail.com*
[2] ФГАОУ ВО ЮФУ, Институт наук о Земле
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, ул. Зорге, 40

Аннотация. Проанализирована динамика выноса сульфатов арктическими реками бассейна Карского моря (рр. Обь, Надым, Пур, Таз и Енисей) за предшествующие 34 года. Показано, что в реках Обь, Надым, Пур и Таз увеличение выноса сульфатов вплоть до 2014 года в основном было вызвано значительным увеличением их концентраций в воде. Однако с 2014 года наблюдается противоположная тенденция - снижение концентраций сульфатов и, как следствие, их выноса. В воде р. Енисей, напротив, с 2015 года колебания концентраций сульфат-ионов перестали быть стабильными и стали нарастать, а вместе с ними увеличивается и их сток.
Ключевые слова: динамика, вынос сульфатов, поверхностные воды, Карское море, арктические реки.

Abstract. The dynamics of sulfate export by Arctic rivers in the Kara Sea basin (Ob, Nadym, Pur, Taz, and Yenisei Rivers) over the preceding 34 years have been analyzed. It has been demonstrated that for Ob, Nadym, Pur, and Taz Rivers, the increase in sulfate export up until 2014 was primarily driven by a significant rise in their concentrations. However, since 2014, an opposite trend has emerged – sulfate concentrations and, as a consequence, their runoff are declining. Conversely, in the Yenisei River, starting from 2015, fluctuations in sulfate ion concentrations became unstable and began to escalate, leading to an increase in both concentration levels and total outflow.
Keywords: dynamic, sulfate runoff, surface water, the Kara Sea, arctic rivers.

Реки, впадающие в Карское море, ежегодно переносят значительные объёмы растворённых веществ, оказывая прямое влияние на экосистемы его прибрежных зон. Наши предыдущие исследования (Даниленко, Коваленко, 2018; Даниленко и др., 2020; Даниленко, Коваленко, 2025) показали, что к соединениям, вынос которых в Карское море постепенно возрастает, относятся сульфаты – одни из самых распространенных ионов природных вод и одновременно индикаторы поступления кислотообразующих соединений и потенциального закисления поверхностных вод. На их солевой оборот в речных водах влияет множество природных (выщелачивание из осадочных пород, выбросы соединений серы при вулканических извержениях, привнос с осадками и морским аэрозолем и др.) и антропогенных (промышленное сырье (сера, пирит), сульфидные составляющие металлических руд меди, свинца и цинка, дающие при выплавке и очистке воздушные выбросы сернистого газа и т.д.) факторов. Аэробные условия атмосферы, поверхностных вод и грунтовых вод активного водообмена стимулируют протекание окислительных превращений всех восстановленных форм серы до сульфатов (Гнусин, 1970). В то же время выведение сульфат-ионов из солевого оборота поверхностных вод сравнительно невелико и обеспечивается механизмами, которые в холодных арктических пространствах замедлены и могут приводит к задержке закисляющих соединений.

Предыдущие оценки динамики концентраций и стока сульфатов реками Обь-Тазовской устьевой области выполнены для периода до 2018 г. и показали тревожные тенденции их накопления в водной среде вплоть до риска метаморфизации местных поверхностных вод гидрокарбонатного класса группы кальция в сторону смешанного сульфатно-гидрокарбонатного или гидрокарбонатно-сульфатного класса (Даниленко и др., 2020). В данной работе анализируемый ряд наблюдений был продлен до 2024 г., а также исследована многолетняя динамика концентраций и выноса сульфатов р. Енисей у г. Игарка. Полученные результаты позволяют говорить о смене направления многолетних трендов и усилении влияния такого источника сульфат-ионов как атмосферный перенос.

Проанализированы гидрологические и гидрохимические данные государственной наблюдательной сети (ГНС) Росгидромета за период с 1990 по 2024 гг. в следующих пунктах: р. Обь г. Салехард, р. Надым г. Надым, р. Пур п. Самбург, р. Таз с. Красноселькуп, р. Енисей г. Игарка. Чтобы оценить вклад атмосферного переноса в сток сульфатов были использованы данные ГНС о сумме атмосферных осадков с ближайших метеостанций.

Вынос сульфатов (G, тыс. тонн) рассчитан прямым методом как произведение их среднегодовой концентрации (C, мг/дм^3) на годовой объем водного стока (W, км^3). При обсуждении среднемноголетних концентраций за какой-либо интервал времени в качестве меры их изменчивости приводятся стандартные отклонения (C±Sd). Статистическую значимость трендов концентраций и химического стока определяли по коэффициенту корреляции Кендалла τ (независимая переменная год, зависимые – среднегодовая концентрация сульфатов или сток сульфатов, $p<0,05$). Для выделения фаз повышенного или пониженного стока сульфатов использовали графоаналитический метод нормализованных разностно-интегральных кривых (НРИК) (Георгиади, 2022).

Многолетняя динамика выноса сульфатов реками бассейна Карского моря нестабильна и обусловлена в большей степени изменчивостью содержания этого иона в поверхностных водах, чем речным стоком (рис. 57). На фоне отсутствия динамики водного стока р. Обь в замыкающем створе в анализируемом многолетии сформировался статистически значимый возрастающий тренд концентраций сульфатов ($\tau=0,55$), из-за чего возрос и их вынос в Обскую губу Карского моря ($\tau=0,52$). Тем не менее, следует отметить, что графики временных рядов (рис. 57 а) с 2013 по 2023 гг. сигнализируют о стабилизации и даже некотором снижении как концентраций, так и стока сульфатов, что хорошо коррелирует с динамикой снижения водного стока в эти годы. Отметим, что накопление сульфатов в воде р. Обь до 2013 г. было очень значительным: если в 1990-1994 гг. среднегодовая концентрация сульфатов колебалась на уровне 4,6±1,2 мг/дм^3, то в 2013 г. она достигла 50,5 мг/дм^3.

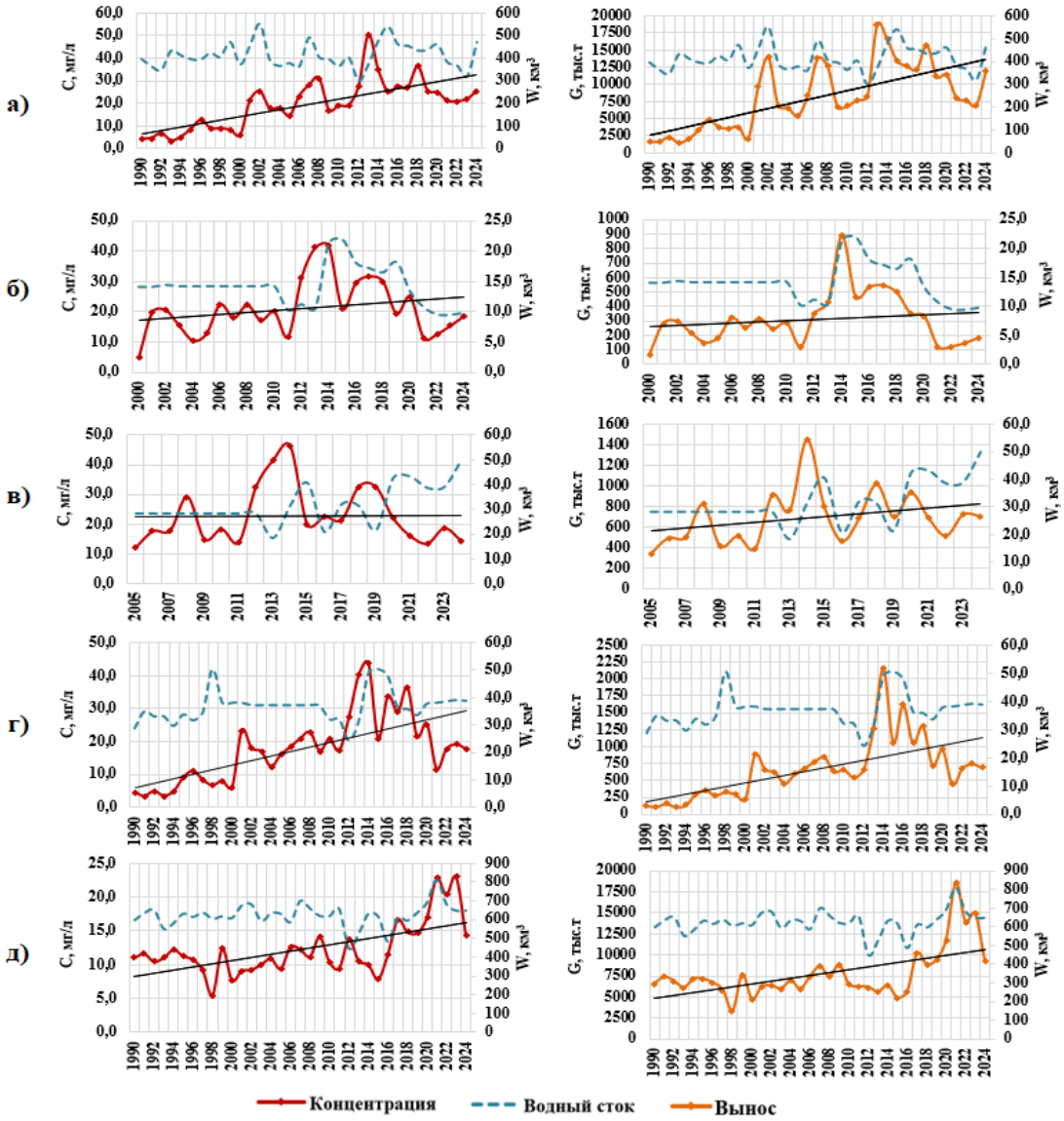


Рисунок 57. Многолетняя динамика концентраций сульфатов, их выноса, а также водного стока в замыкающих створах крупных рек бассейна Карского моря

Аналогичная динамика выноса сульфатов наблюдается в р. Таз у с. Красноселькуп (рис. 57 г). В анализируемом многолетии концентрации сульфатов в целом статистически значимо прирастали (τ=0,55) и вместе с этим увеличивался их сток (τ=0,56), но графики временных рядов и концентраций, и стока сульфатов показывают, что возрастающая ветвь тренда завершилась в 2014 г., а в настоящем времени сформировалась обратная тенденция. Накопление сульфатов в воде р. Таз до 2014 г. также было очень значительным: от 4,1±0,7 мг/дм^3 в 1990-1994 гг. до 43,5 мг/дм^3 в 2014 г.

Из-за пропусков гидрохимических наблюдений динамика концентраций сульфатов и их выноса с водой рр. Надым и Пур представлена с 2000 и 2005 гг. соответственно (рис. 57 б и в) и на графиках не отражены наиболее низкие среднегодовые концентрации сульфатов, которые наблюдались в воде этих рек до начала 2000-х годов. В р. Надым в период с 1990 до

1999 гг. концентрации сульфатов находились на уровне 4,9±1,4 мг/дм^3, в р. Пур – 8,4±3,3 мг/дм^3. Тем не менее, как и для рр. Обь и Таз, на графиках временных рядов заметно, что накопление сульфатов и увеличение их стока наблюдались до 2014 года, после чего эти показатели начали постепенно снижаться. Особенно хорошо этот процесс заметен на графике стока сульфатов с водой р. Надым, так как последующие изменения водного и химического стока согласованы, в отличие от р. Пур, в котором снижение концентраций сульфатов протекало на фоне некоторого увеличения его водного стока.

Характер многолетней динамики и концентраций сульфатов, и их выноса с водой р. Енисей отличается от таковых для рек Обско-Тазовской устьевой области. Несмотря на то, что общая тенденция за период с 1990 по 2024 гг. характеризуется статистически значимым приростом концентраций (τ=0,38) и в меньшей степени выноса (τ=0,30), по графикам временной динамики заметно, что колебания и концентраций, и выноса были сравнительно стабильными до 2015 г. В 2016 г. сформировались возрастающие тренды этих показателей, хотя водный сток статистически значимо не изменился. Накопление сульфатов и увеличение их стока с водой р. Енисей не так сильно выражены, как в р. Обь, Надым, Пур и Таз. Если в воде р. Енисей среднегодовые концентрации сульфатов в 1991-1994 гг. колебались на уровне 11,3±0,7 мг/дм^3, то в 2023 г., достигнув максимума, они составили 23,0 мг/дм^3.

Таким образом, многолетняя динамика выноса сульфатов в Карское море отличалась нестабильностью и наличием особых периодов, когда гидрохимический режим сульфатов претерпевал существенные трансформации, в основном за счет накопления этих ионов в водной среде (реки Обь-Тазовской устьевой области до 2014 г.). В р. Енисей, напротив, колебания концентраций сульфатов перестали быть стабильными с 2016 г. и стали нарастать, а вместе с ними увеличивается и их сток.

Периоды трансформации гидрохимического режима сульфатов и их выноса выделены на основе графоаналитического метода разностно-интегральных кривых водного стока, выноса сульфатов и суммы атмосферных осадков, которые могут быть важным источником сульфатов антропогенного происхождения для водосборов рек Карского моря (рис. 58).

Для рек Обь-Тазовской устьевой области пониженные относительно среднемноголетних значения стока сульфатов наблюдались с 1990 по 2000 гг., повышенные - с 2012 по 2020 гг., после чего снова начинается фаза пониженного стока сульфатов. Для реки Енисей общий интервал делится на два хорошо выраженных периода пониженного (до 2016 г.) и повышенного (с 2017 г.) стока сульфатов.

Атмосферные осадки по-разному влияют на многолетнюю динамику выноса сульфат-ионов в Карское море. Для р. Енисей синхронный ход НРИК суммы атмосферных осадков и выноса сульфатов, но не водного стока, вероятно, говорит о том, что за увеличение

концентраций сульфатов и, как следствие, их выноса здесь ответственен атмосферный перенос сульфат-ионов и их повышенные концентрации в метеорных водах. В р. Обь связь между НРИК суммы атмосферных осадков, водного и химического стока прослеживается только с 2013 г. По-видимому, в предшествовавшие годы роль атмосферного переноса сульфатов в динамике их выноса в Карское море была невелика. Для р. Надым связь заметна до 2007 и с 2013 г. В рр. Пур и Таз фазы пониженного стока сульфатов соответствуют фазам повышенной суммы атмосферных осадков, поэтому их влияние на вынос сульфатов в Карское море уступает поступлению этих ионов от подземных источников.

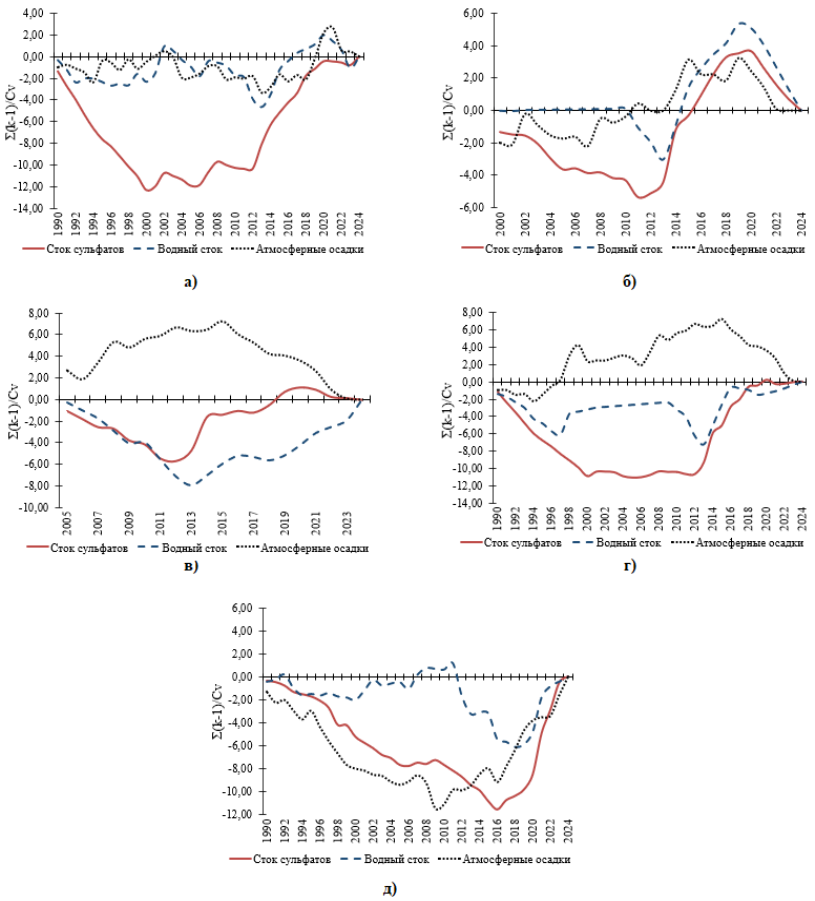


Рисунок 58. Нормализованные разностно-интегральные кривые водного стока, выноса сульфатов и суммы атмосферных осадков для рек Обь (а), Надым (б), Пур (в), Таз (г) и Енисей (д)

Таким образом, многолетняя динамика выноса сульфатов в Карское море отличается нестабильностью: концентрации сульфат-ионов в воде рек Обь-Тазовского междуречья возрастали вплоть до 2013-2014 гг., но атмосферный перенос слабо влиял на этот процесс. В последние годы роль этого источника питания в регионе усилилась и сопровождается постепенным снижением концентраций сульфатов и, как следствие, их стока. Возможно, снизилась роль подземных источников сульфатов, к которым в связи с происходящими в Арктике климатическими изменениями мы относили (а) расконсервацию захоронений

минерализованных пластовых и нефтепромысловых вод, а также амбаров бурового шлама; (б) увеличение химического выветривания подстилающих пород и обмена минеральных солей с грунтовыми водами; (в) формирование сквозных таликов, дренирующих бессточные водоемы (в том числе и рассолы техногенного происхождения), которые прежде были изолированы от грунтовых вод слоем многолетней мерзлоты (Даниленко и др., 2020). Для р. Енисей, напротив, НРИК суммы атмосферных осадков хорошо согласуется с ходом НРИК выноса сульфатов, и это позволяет предполагать, что за увеличение концентраций сульфатов в воде р. Енисей и, как следствие, их стока ответственен атмосферный перенос этих ионов.

Список литературы

Георгиади А.Г. Долговременные периоды повышенного/пониженного водного и ионного стока Северной Двины в XIX-XXI веках / А. Г. Георгиади, А. О. Даниленко // География и природные ресурсы. – 2022. – Т. 43, № 2. – С. 94-101.

Гнусин Н.П. Прогноз увеличения стока сульфатных ионов рек территории Советского Союза до 2000 г. // Гидрохимические материалы. Методы химического анализа и процессы самоочищения природных вод. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. Т. LIII. С. 125–130.

Даниленко А.О., Коваленко А.А. Многолетний тренд сульфатных ионов на устьевых участках рек Надым, Пур и Таз // Дельты рек России: закономерности формирования, биоресурсный потенциал, рациональное хозяйствование и прогнозы развития. Материалы Международной молодежной научной конференции памяти члена-корреспондента РАН Д.Г. Матишова / Гл. ред. Г.Г. Матишов. Ростов н/Д, 2018. С. 241–246.

Даниленко А.О., Косменко Л.С., Решетняк О.С., Кондакова М.Ю. Предпосылки техногенной метаморфизации ионного состава воды р. Надым в условиях глобальных климатических изменений // Известия РАН. Серия Географическая. 2020. № 1. С. 127–137. DOI: 10.31857/ S2587556620010069

Даниленко А.О., Коваленко А.А. Оценка стационарности гидрохимического режима рек Обь-Енисейского устьевого региона в начале XXI в // Состояние и задачи мониторинга природных условий Обь-Енисейского устьевого региона на фоне изменяющегося климата и интенсивной хозяйственной деятельности: Сборник статей второй научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 22–23 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: Федеральное государственное бюджетное учреждение «Арктический и антарктический научно-исследовательский институт», 2025. – С. 92–100.

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ГЛАВНЫХ ИОНОВ ЗАРЕГУЛИРОВАННОГО СТОКА Р. ВОЛГА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

LONG-TERM DYNAMICS OF MAJOR IONS IN THE REGULATED RUNOFF OF THE VOLGA RIVER UNDER CURRENT CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Даниленко А.О., Косменко Л.С., Ковалева В.В.

Danilenko A.O., Kosmenko L.S., Kovaleva V.V.

ФГБУ «Гидрохимический институт»
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 198; *aldanilenko@gmail.com*

Аннотация. Проанализирована временная динамика главных ионов в воде р. Волга с 1991 по 2015 гг. Показано, что снижение среднегодовых значений концентраций главных ионов и минерализации воды наблюдается на Верхней Волге. В воде водохранилищ Средней Волги многолетняя динамика главных ионов чаще всего или отсутствует, или выявляется только в один из сезонов. В устьевой части Волги минерализация воды возрастает, особенно интенсивно – в периоды пониженной водности. Кроме того, в увеличении минерализации воды после Волгоградского водохранилища сказывается накопление хлоридов, а в устье – сульфатов и ионов магния.

Ключевые слова: река Волга, водохранилище, минерализация, главные ионы, многолетняя динамика.

Abstract. The temporal dynamics of major ions in the water of the Volga River from 1991 to 2015 has been analyzed. It is shown that a decrease in the annual average concentrations of major ions and water mineralization is observed in the Upper Volga. In the water of the Middle Volga reservoirs, long-term dynamics of major ions is most often either absent or detected only in one of the seasons. In the estuarine part of the Volga, water mineralization increases, especially intensively during periods of low water flow. Furthermore, the increase in water mineralization after the Volgograd Reservoir is influenced by the accumulation of chlorides, while in the estuary, it is affected by sulfates and magnesium ions.

Keywords: Volga River, reservoir, mineralization, major ions, long-term dynamics.

Введение. Зарегулирование стока р. Волга в XX веке превратило её в систему водохранилищ, существенно изменивших естественные гидрологические условия и водный режим реки. Водохранилища, стабилизируя колебания минерализации воды в сравнении с естественным гидрохимическим режимом питающих водотоков, запускают особые процессы метаморфизации химического состава воды, что приводит к изменению соотношений между отдельными ионами (Рогожкин, 1970). То есть, искусственное зарегулирование стока играет роль азонального фактора, нарушающего такое проявление закона широтной зональности, как увеличение минерализации поверхностных вод на равнинных территориях с севера на юг. Как правило, такое увеличение происходит плавно, так как скоординировано постепенной сменой климатических зон.

Нестационарность современных климатических условий затрагивает все природные процессы и явления, подчиняющиеся закону широтной зональности. Выявление особенностей трансформации гидрохимического режима рек при зарегулировании их стока в условиях глобальных изменений климата можно рассматривать как меру адаптации к этим изменениям, так как вариабельность содержания главных ионов и их соотношений может характеризовать не только изменение среды обитания гидробионтов, но и такие важные с точки зрения

водопользования явления, как изменение агрессивных для бетонных сооружений свойств воды, усиление или ослабление коррозии в системах водоснабжения, модификацию токсичности растворенных форм тяжелых металлов и прочее. В связи с этим темой данной работы стало исследование особенностей многолетней динамики концентраций главных ионов в воде р. Волга.

Материалы и методы. Материалом исследования послужили данные наблюдательной сети Росгидромета о концентрациях ионов кальция и магния, гидрокарбонатов, сульфатов и хлоридов в воде р. Волга за 1991-2015 гг. В связи с высокой зарегулированностью водного стока Волги для пространственной характеристики её солевого состава были выделены всего два периода: весеннее половодье (апрель-июнь) и остальной период года, представленный, прежде всего, зимней и летней меженью (далее для краткости будем называть его меженным периодом). В качестве контрольных створов по длине реки использованы в основном створы нижних бьефов водохранилищ (табл. 15).

Таблица 15. Характеристика пунктов гидрохимических наблюдений на р. Волга, информация по которым приведена в работе

№ п/п	Пункт гидро-химических наблюдений	Коорди-натный номер створа	Часть реки Волги	Примерное РУ[1], км	Обозна-чение на рис. 59
1	г. Ржев	561003411	Русло, н.б.[2] Верхневолжского г/у[3]	3273	НБ ВВГУ
2	г. Тверь	564003600	Иваньковское вдхр.	3069	И ВДХР
3	г. Кимры	565003720	Угличское вдхр., н.б. Иваньковского вдхр.	2947	НБ ИГУ
4	г. Мышкин	574003820	Рыбинское вдхр., н.б. Угличского г/у	2797	НБ УГУ
5	г. Тутаев	575003930	Горьковское вдхр., н.б. Рыбинского г/у	2664	НБ РГУ
6	г. Балахна	563004325	Чебоксарское вдхр., н.б. Нижегородского г/у	2405	НБ НГУ
7	г. Ново-чебоксарск	560004728	Куйбышевское вдхр., н.б. Чебоксарского г/у	1945	НБ ЧГУ
8	г. Тольятти	532004935	Саратовское вдхр., н.б. Жигулевского г/у	1474	НБ ЖГУ
9	г. Балаково	521004740	Волгоградское вдхр., н.б. Саратовского г/у	1130	НБ СГУ
10	г. Волгоград	485004445	Русло, н.б. Волгоградского г/у	605	НБ ВГУ
11	с. Верхне-лебяжье	464004742	Устье	156	устье 156
12	г. Астрахань	462004753	Устье	115	устье 115

Примечания: [1] – расстояние от устья; [2] – нижний бьеф; [3] – гидроузла.

Временная динамика среднегодовых концентраций главных ионов оценена по величине коэффициента корреляции Пирсона r_{xy} между факторным признаком «год наблюдений» и результативным – «среднегодовая концентрация главного иона». При

отрицательном r_{xy} концентрация соответствующего иона снижается со временем, при положительном r_{xy} - возрастает. При обсуждении учитывались величины коэффициента корреляции по шкале Чеддока: от 0 до 0,20 – связь отсутствует; 0,21-0,40 – связь слабая; 0,41-0,70 – связь средней силы; 0,71-0,90 – сильная связь; 0,91-1,00 – очень сильная связь. На графиках также приведена средняя линейная скорость изменения среднегодовых концентраций. Этот показатель позволяет судить о том, насколько в среднем прирастала или убывала среднегодовая концентрация главного иона в исследуемом периоде (мг/л в год).

Результаты и обсуждение. На Верхней Волге в зоне гумидного климата среднегодовые значения минерализации воды снижаются. До Угличского водохранилища этот процесс наблюдается и для меженного периода (на 2,01-3,07 мг/л в год), и для половодья (на 1,30-2,19 мг/л в год). После Угличского водохранилища динамика минерализации воды в разные сезоны года становится разнонаправленной: в межень снижается на 2,19 мг/л в год и возрастает на 2,81 мг/л в год в половодье. По-видимому, со временем минерализация воды после нижнего бьефа Угличского водохранилища утрачивает сезонный характер. От Горьковского водохранилища до нижнего бьефа Волгоградского водохранилища динамика минерализации воды в меженный период не имеет выраженной тенденции, в то время как в половодье проявляются слабые прямые корреляции, усиливающиеся вниз по течению (увеличение на 0,95-3,16 мг/л в год), особенно в Саратовском и Волгоградском водохранилищах. Т.е. в половодье в водохранилища Средней и Нижней Волги в современный период поступают более минерализованные воды, чем в прежние годы. Максимума динамика увеличения минерализации воды достигает ниже каскада водохранилищ в зоне аридного климата, где расположено устье Волги, и в период межени (5,82-6,68 мг/л в год), и в период половодья (1,70-2,54 мг/л в год).

Такая динамика минерализации в водохранилищах Верхней и Средней Волги согласуется с изменчивостью доминирующего в воде иона гидрокарбоната, ниже Волгоградского водохранилища – хлоридов, а в устьевой части – сульфатов.

Концентрации гидрокарбонатов в верхнем течении Волги постепенно снижаются независимо от фазы водного режима (на 0,64-1,43 мг/л в год). Наблюдается это до Рыбинского водохранилища, где динамика по сезонам приобретает разнонаправленный характер. Далее в межень до Волгоградского водохранилища изменчивость концентраций гидрокарбонатов не имеет какой-либо тенденции, в то время как в половодье они нарастают от Чебоксарского до Волгоградского водохранилища (от 0,72 до 1,38 мг/л в год). Ниже каскада водохранилищ отчетливая динамика увеличения содержания гидрокарбонатов выявляется для сезона пониженной водности (на 2,15-2,26 мг/л в год), в то время как в половодье, несмотря на общий рост минерализации, концентрации гидрокарбонатов снижаются (на 0,77 мг/л в год). В устье

реки бо́льшее влияние на общее содержание макрокомпонентов приобретают сульфаты (прирост на 2,16-2,63 мг/л в год в межень и на 1,44-1,78 мг/л в половодье).

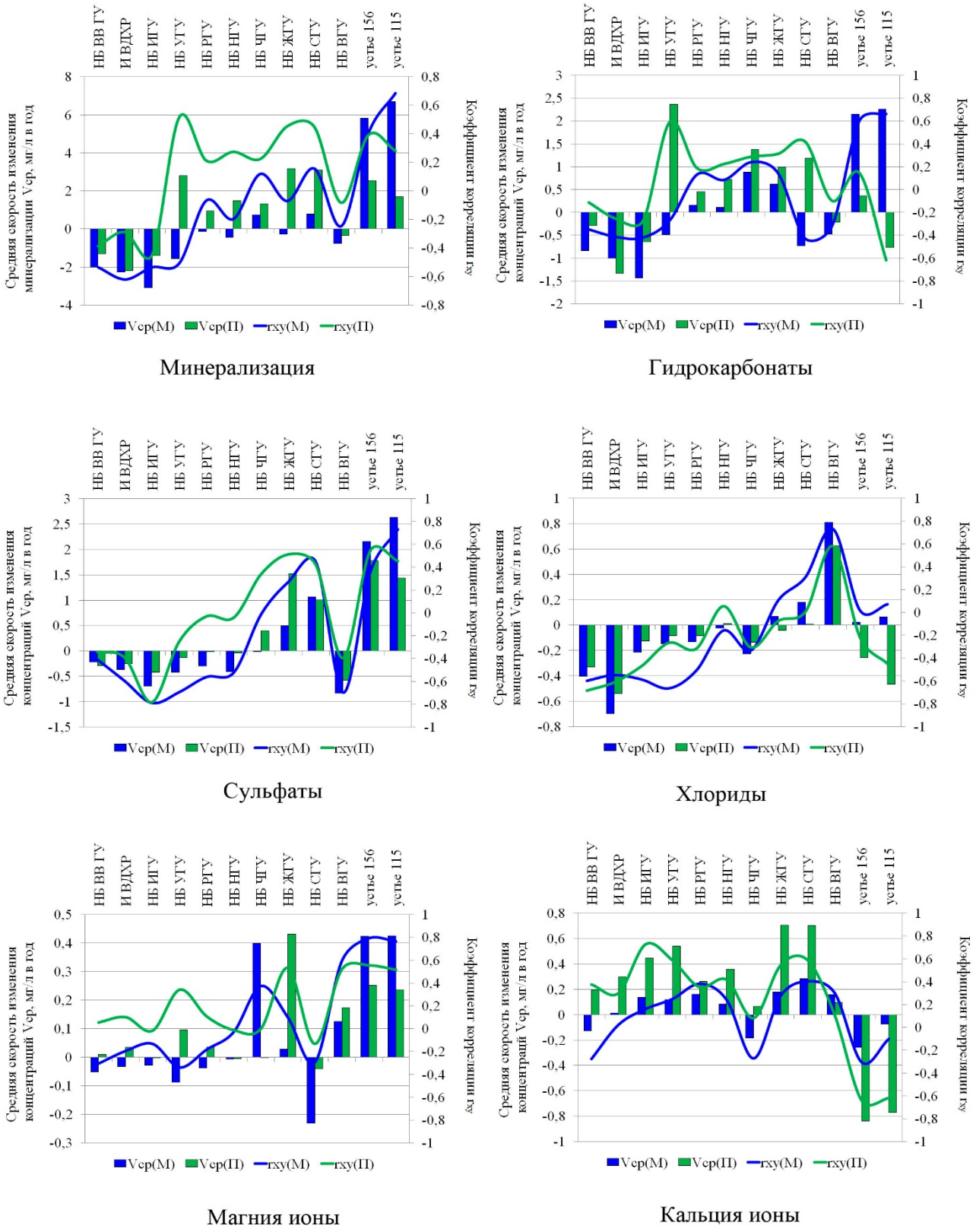


Рисунок 59. Изменение среднегодовых концентраций главных ионов в воде р. Волга в период с 1991 по 2015 гг. (Vср – средняя линейная скорость изменения концентраций в межень (М) и половодье (П); rxy – величина коэффициента корреляции Пирсона в межень (М) и половодье (П)

На Верхней Волге их временная динамика, напротив, имеет убывающий характер, хоть и значительно менее выраженный, чем в аридной зоне. Меженные концентрации сульфатов постепенно сокращаются на участке от нижнего бьефа Верхневолжского гидроузла до Чебоксарского водохранилища (на 0,21-0,69 мг/л в год), в половодье – только до Рыбинского водохранилища (на 0,13-0,42 мг/л в год). Рост концентраций сульфатов наблюдается вниз по течению от нижнего бьефа Чебоксарского гидроузла (на 1,01-1,52 мг/л в год). Многолетнюю динамику накопления в водной среде сульфатов на Нижней Волге нарушает Волгоградское водохранилище, в нижнем бьефе которого концентрации сульфатов уменьшаются во все сезоны года (на 0,58-0,83 мг/л в год). Но на этом участке реки уверенные тенденции роста концентраций демонстрируют хлориды (на 0,81 мг/л в год в межень и на 0,62 мг/л в год в половодье). Ниже по течению эти тенденции исчезают в межень либо меняют направление в половодье. В целом для хлоридов, как и для остальных главнейших анионов, характерно снижение в водохранилищах Верхней Волги (на 0,13-0,70 мг/л в год в межень и на 0,08-0,54 мг/л в половодье), но ниже Рыбинского водохранилища вплоть до нижнего бьефа Волгоградского гидроузла сильных многолетних тенденций нет.

Многолетняя динамика катионов значительно хуже соотносится с общей динамикой минерализации воды р. Волга, чем динамика анионов. Ионы кальция в период половодья повышаются практически повсеместно (на 0,20-0,71 мг/л в год), за исключением нижних бьефов Чебоксарского и Волгоградского водохранилища, где нет тенденций к изменению содержания кальция в воде, а также устьевой части реки, где наблюдается тенденция к снижению концентраций кальция в половодье (на 0,77-0,84 мг/л в год), а у с. Верхнелебяжье еще и в меженный период (на 0,26 мг/л в год). В сезоны пониженной водности слабые тенденции к накоплению кальция в воде можно обнаружить на участке от Рыбинского до Чебоксарского водохранилища (на 0,08-0,16 мг/л в год), которые потом усиливаются от Саратовского водохранилища до нижнего бьефа Волгоградского гидроузла (на 0,16-0,28 мг/л в год). В верхней части Волги тенденций или нет (Иваньковское и Угличское водохранилища), или они убывающие, слабой силы (нижний бьеф Верхневолжского гидроузла).

Для ионов магния, напротив, гораздо реже выявляется многолетняя динамика концентраций на участках Верхней и Средней Волги, но на Нижней Волге после Волгоградского водохранилища она хорошо проявляется в виде трендов увеличения содержания магния в воде и в межень (на 0,13-0,43 мг/л в год), и в половодье (на 0,17-0,25 мг/л в год).

Выводы. Многолетняя динамика анионов значительно лучше коррелирует с многолетней динамикой минерализации, чем динамика катионов. Снижение среднегодовых значений концентраций главных ионов (в первую очередь, гидрокарбонатов, сульфатов и

хлоридов) и, как следствие, минерализации воды наблюдается на Верхней Волге. В воде водохранилищ Средней Волги многолетняя динамика главных ионов чаще всего или отсутствует, или выявляется только в один из сезонов. В устьевой части Волги минерализация воды возрастает, особенно интенсивно - в периоды пониженной водности. Кроме того, в увеличении минерализации воды после Волгоградского водохранилища сказывается накопление хлоридов, а в устье – сульфатов и ионов магния. Так как дельта Волги расположена в очень засушливой области, на этом практически бесприточном участке расход реки снижается с 8013 $м^3/с$ у Волгоградского гидроузла до 7900 $м^3/с$ возле с. Верхнелебяжье в результате потерь на инфильтрацию и испарение (СКИОВО, с. 53). Климатические изменения, усиливающие засушливость климата (снижение количества осадков и повышение температуры и т.д.) могут приводить к увеличению миграционного потока легкорастворимых солей из засоленных почвогрунтов аридной территории.

Список литературы

Рогожкин В.И. Некоторые теоретические вопросы гидрохимии зарегулированного стока (на примере Цимлянского водохранилища): автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора химических наук: 02.081/ Иркут. гос. ун-т им. А. А. Жданова – Иркутск, 1970. –53 с.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Волга. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна. Утверждена приказом Нижне-Волжского Бассейнового Водного управления от 14 августа 2015 г. № 233.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА ДИНАМИКУ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЧЕРНИЧНО-СФАГНОВЫХ ЛЕСАХ ВОСТОКА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ: ИТОГИ 40 ЛЕТ НАБЛЮДЕНИЙ

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON VEGETATION DYNAMICS IN BILBERRY-SPHAGNUM FORESTS IN THE EAST OF KOSTROMA REGION: RESULTS OF 40 YEARS OF OBSERVATIONS

Лазарева Н.С.[1], Преображенская Е.С.[2]

Lazareva N.S.[1], Preobrazhenskaya E.S.[2]

[1]НОЦ-Ботанический сад Петра I МГУ
Россия, 129090, Москва, проспект Мира, д. 26; *azuretit@yandex.ru*
[2]ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, Москва. Ленинский проспект, д. 33

Аннотация. В 1982 г. в окрестностях Костромской биостанции ИПЭЭ РАН были заложены 5 пробных площадей для изучения динамики растительности в чернично-сфагновых ельниках. Поводом для начала исследований послужило предположение о том, что в этих лесах идет прогрессивное заболачивание. Растительность на площадках регулярно картировали примерно раз в 2 года. Результаты исследования показали, что напочвенный покров чернично-сфагновых еловых и лиственно-еловых лесов очень стабилен; изменения покрытия преобладающих видов – черники и сфагна Гиргензона за 40 лет оказались невелики. В первую очередь эти изменения были связаны с динамикой климатических параметров – температуры и влажности; к нарушениям древесного яруса – вырубкам - преобладающие в напочвенном покрове виды оказались устойчивы.
Ключевые слова: Динамика растительности, изменение климата, пробные площади.

Abstract. In 1982, five test plots were established in the vicinity of the Kostroma Biostation of the Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences to study the dynamics of vegetation in bilberry-sphagnum spruce forests. The study was initially based on the assumption that these forests were undergoing progressive swamping. Vegetation on the plots was mapped approximately once every 2 years. The results of the study showed that the ground cover of bilberry-sphagnum spruce and deciduous-spruce forests is very stable; changes in the cover of the predominant species, bilberry and *Sphagnum girgensohnii*, were insignificant over 40 years. These changes were primarily associated with changes in climatic parameters, such as temperature and humidity. The species that predominate in the ground cover also turned out to be resistant to disturbances in the tree layer – logging.
Keywords: The dynamics of vegetation, Climatic changes, Test plots.

Постоянные пробные площади для изучения динамики растительности в чернично-сфагновых ельниках окрестностей Костромской биостанции ИПЭЭ РАН были заложены в 1982 г. Поводом для начала исследований послужило предположение С.М. Разумовским и его коллегами (Разумовский и др., 1984) о том, что в этих лесах идет прогрессивное заболачивание – пятна сфагна разрастаются, вытесняя менее влаголюбивые виды растений.

Костромская биостанция находится в подзоне южной тайги, в 250 км восточнее г. Кострома. Леса, где велись исследования, располагаются на правобережье реки Унжи, недалеко от края ее долины. Местность занята вторичными лесами из березы, осины, сосны и ели на месте таежных ельников. В травяно-кустарничковом ярусе господствует черника, к ней примешиваются брусника и виды лесного мелкотравья. Есть небольшие заболоченные понижения со сплошным покрытием сфагновых мхов; участки с мозаикой сфагновых парцелл, и лишенные сфагновых мхов леса. Закладывая пробные площадки, мы располагали их на

участках с мозаичным чернично-сфагновым покровом вблизи сплошных сфагновых участков, перпендикулярно их краю. Всего было заложено 5 площадок шириной 1,5 м и длиной 10 м. Растительность регулярно картировали примерно раз в 2 года; к настоящему времени каждая площадка описана 20-22 раза. Используя масштаб в 1 см – 20 см, отрисовывали контуры парцелл. Работу проводили обычно в период с конца июля по вторую половину августа. Хотя мы изучали динамику всей напочвенной растительности, в данной статье обсуждены только наблюдения за динамикой наиболее характерных растений – черники и сфагнов.

Характеристика изменений растительности на пробных площадях

Площадь № 1. Заложена в чернично-сфагновом еловом лесу с небольшой примесью пушистой березы и единичными деревьями осины. Это единственная пробная площадь, где древостой за период наблюдений не подвергался значительным нарушениям. *Sphagnum girgensohnii* в 1980-90-х гг. занимал 12-15% пробной площади. К 2016 г. на них приходилось уже 30% площади, а в 2023 г. – 40%. По-видимому, после 2016 г. рост покрытия прекратился. В травяно-кустарничковом ярусе абсолютным доминантом была черника. Покрытие ее на разных участках составляло от 60 до 90%, и каких-либо направленных многолетних изменений обилия не отмечалось.

Площадь № 2. Профиль изначально был заложен в чернично-сфагновом сосново-еловом лесу с небольшой примесью пушистой березы. В конце 1980-х возраст основного древесного яруса составлял около 80 лет. Зимой 2008-09 года лес на месте профиля был вырублен. Напочвенная растительность большей части профиля при этом не пострадала. К 2022-24 гг. на профиле сформировался молодой лес с преобладанием березы. В 1982-85 гг. сфагнум Гиргензона занимал около половины площади профиля. В первые 3 десятилетия его покрытие медленно увеличивалось – в 1988-92 гг. оно составляло 59%, в 2000-2004 гг. – 70%, в 2007 г. – 76%. После рубки покрытие сфагна на профиле стало уменьшаться. В 2010-18 годах площадь парцелл составляла 69% площади профиля, в 2021-23 гг. – 61%. В травяно-кустарничковом ярусе профиля в течение всего периода наблюдений преобладала черника. В первой половине 1980-х черника занимала 50-70% площади профиля; в 2000-2007 гг. ее покрытие в среднем по годам уменьшилось до 35% и продолжало снижаться после вырубки; в 2009-2015 гг. оно составило 24%. С 2018 г., с ростом древостоя, покрытие черники стало восстанавливаться, и в 2023 г. она занимала уже 59% площади профиля.

Площадь № 3. Профиль был заложен в чернично-сфагновом березово-еловом лесу с примесью осины в древостое. Большую часть периода наблюдений существенных изменений в составе древостоя в ближайшем окружении профиля не происходило. *Sphagnum girgensohnii* в 1980-90-х годах занимал около 20% площади. К 2000 г. покрытие его возросло до 40%, в течение десятилетия оставалось относительно стабильным. В 2010-х началось его

уменьшение. В 2022-23 гг. покрытие сфагнума составляло 35-40% профиля, но с учетом разреженности парцелл проективное покрытие составило около 20-30%. Черника в первые 2 десятилетия занимала примерно 20-30% профиля. Покрытие ее увеличивалось: в 2000-2016 гг. оно составило около 40% профиля, а в 2018-24 гг. – более 60%.

Площадь №4. Профиль был заложен на границе чернично-сфагнового леса из ели, сосны и березы и сфагнового заболоченного березово-соснового леса в водосборном понижении. В 2004 г. был вырублен участок леса по границе профиля. Была проложена дорога, ведущая на вырубку, так, что площадка оказалась на острове леса среди вырубки. К августу 2005 г. взрослые ели на этом острове засохли. Грунтовая лесовозная дорога, пересекающая водосборное понижение, перекрывает сток воды, что вызывает подболачивание расположенного выше леса. Зимой 2021-22 г. на профиль упала сосна и ее верхушка накрыла около 3 фрагментов. Примерно 2 м^2 профиля оказалось засыпано опавшей хвоей. Покрытие сфагновых мхов в начале 1980-х составляло около 30% площади профиля, к 2000-му г. сфагны стали занимать уже более 75%. После этого площадь покрытия стабилизировалась. С 2016 г. отмечены некоторые тенденции снижения, однако они невелики. Так, уменьшение площади сфагнов в 2022 г. вызвано упавшей на профиль сосной, опавшая хвоя которой засыпала мох. Черника в 1980-1990-х гг. занимала около 60-50% площади профиля. Далее покрытие черники уменьшалось, и в 2004-16 гг. на ее долю приходилось 15-18% площади. После 2016 г. количество черники стало понемногу увеличиваться, и в 2022-23 гг. составило около 25%.

Площадь № 5. Площадка заложена в хвойно-лиственном лесу из пушистой березы, осины, ели и сосны. Напочвенный покров пробной площади и окружающего леса отличается от остальных значительно большим разнообразием травянистых растений. Присутствие в небольшом количестве луговых и опушечных видов позволило предположить, что когда-то на месте нынешнего леса была сенокосная поляна. Зимой 2023-24 г. был вырублен выдел леса, рядом с пробной площадью; граница вырубки прошла в 10-15 м. *Sphagnum girgensohnii* в среднем за весь период наблюдений занимал немного больше трети профиля. Рост его покрытия от 1980-х к первому десятилетию 2000-х, хорошо заметный на других пробных площадях, здесь оказался выражен слабо. Зато очень заметным оказалось уменьшение покрытия в 2016-24 гг. Черника в первой половине 1980-х занимало около четверти пробной площади. К 1990-м ее покрытие сократилось примерно вдвое, а в 2015–23 гг. восстановилось до прежнего уровня.

Обсуждение

Анализ данных показывает, что в первые два десятилетия наблюдений – в 1980-1990-х гг. – площадь парцелл сфагновых мхов на пробных площадках увеличивалась. Затем показатели стабилизировались, а в начале-середине 2010-х гг. стали снижаться. Покрытие

черники на большинстве площадок, наоборот, вначале уменьшалось, а после 2010–2015 гг. стало расти. Динамика покрытия сфагновых мхов и черники после вырубок существенно не отличалась.

Источником влаги в водораздельных лесах, где расположены пробные площадки, служат атмосферные осадки. Мы предположили, что уменьшение площади, занимаемой сфагновыми мхами, вызвано снижением доступности влаги. Для оценки показателей температуры и влажности в районе работ мы использовали данные сеточного архива CRU (Harris, et al.,2020*)*. Оказалось, что количество выпадающих осадков с середины XX века направленных изменений не испытывало. Но стало заметно теплее – средняя температура основного периода вегетации растений, с мая по сентябрь, увеличилась почти на 2ºС (рис. 60). Для того чтобы отразить совокупное влияние количества осадков и температуры на уровень влагобеспеченности мы использовали гидротермические коэффициенты. Индекс засушливости Палмера (Alley, 1984*)* отражает интенсивность засухи – чем меньше значения, тем суше, -3 и ниже – суровая засуха. На рисунке 61 видно, что период с конца 1970-х по первую половину 1990-х гг. в районе работ был влажным, а последние 20 лет – с начала 2000- по начало 2020-х гг. оказались засушливыми. Сходные закономерности прослеживаются при использовании гидротермического коэффициента Селянинова (Селянинов, 1928.). Получается, что площадь, занимаемая сфагновыми мхами, во время «влажного» периода роста, с наступлением «засушливого» периода стабилизировалась и начала снижаться через 10 лет после того, как он наступил. Такая динамика сфагнового покрова – со сдвигом в 10 лет – может объясняться стабилизирующим влиянием лесного ландшафта на обилие влаги в верхних горизонтах почвы.

Такие существенные и заметные нарушения растительности, как вырубки древостоя, не привели к коренным изменениям в напочвенном покрове пробных площадей.

Выводы

Напочвенный покров чернично-сфагновых еловых и лиственно-еловых лесов очень стабилен; изменения покрытия преобладающих видов – черники и сфагна Гиргензона за 40 лет оказались невелики. В первую очередь эти изменения были связаны с динамикой климатических параметров – температуры и влажности; к нарушениям древесного яруса – вырубкам - преобладающие в напочвенном покрове виды оказались достаточно устойчивы.

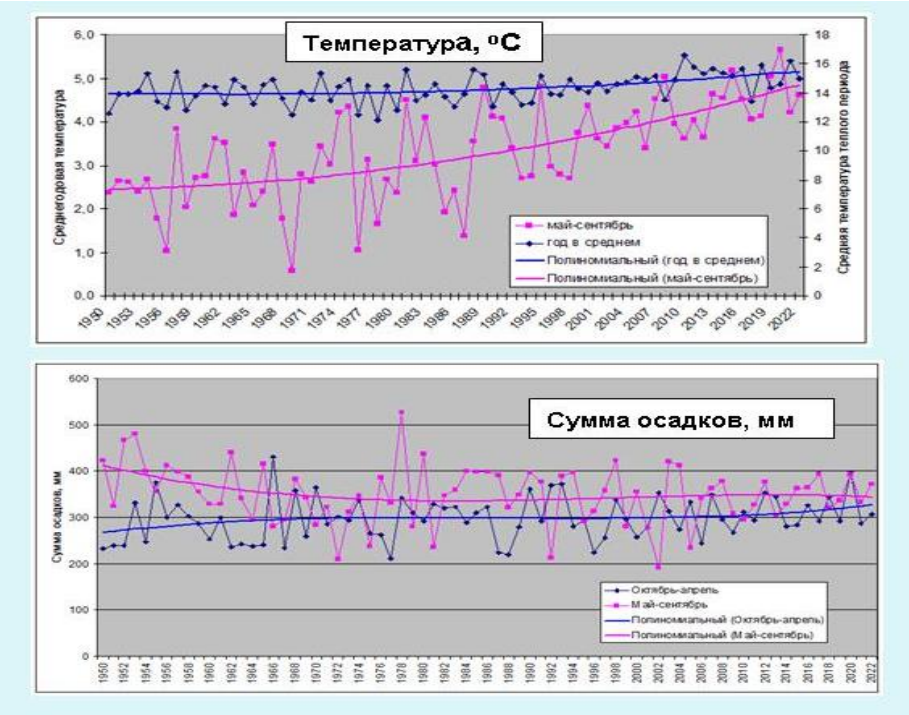


Рисунок 60. Изменения показателей температуры и количества осадков в районе работ с 1950 г. по настоящее время. Данные сеточного архива CRU

Рисунок 61. Изменения индекса засушливости в районе работ с 1950 г. по настоящее время

Список литературы

Разумовский С.М., Тихомирова А.Л., Богач Я., Карасева Н.А. Динамика биоценозов Костромской станции // Животный мир южной тайги. Проблемы и методы исследования / под ред. В.Е. Соколова – М.: Наука, 1984. – С. 91–121.

Селянинов Г.Т. О сельскохозяйственной оценке климата // Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928. – Вып. 20. – С. 165–177.

Alley W.M., The Palmer Drought Severity Index: limitations and assumptions // Journal of Applied Meteorology, 1984. – Vol. 23, - P. 1100–1109.

Harris I., Osborn T.J., Jones P. et al. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // Sci Data, – 2020. – Vol. 7. – P. 109.

ЗАВИСИМОСТЬ КОНЦЕНТРАЦИЙ ПХБ В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ ПОЧВЫ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛОКАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ

DEPENDENCE OF PCBs CONCENTRATIONS IN AMBIENT AIR ON THE SOIL TEMPERATURE IN THE ZONE OF INFLUENCE OF THE LOCAL POLLUTION SOURCE

Левшин Д.Г., Запевалов 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; *levshin@rpatyphoon.ru*

Аннотация. Исследована зависимость газовой фазы концентраций полихлорированных бифенилов (ПХБ) в атмосферном воздухе, измеренных в г. Байкальске (Слюдянский район, Иркутская область) в 2022–2023 гг. от температуры почвы с использованием графиков линейной зависимости ($ln\ P_A - 1/T$). На основе равновесной термодинамической модели (уравнение Клаузиуса–Клайперона) показано, что наклон линейной зависимости (m) отражает вклады дальнего переноса и поступления ПХБ от локальных источников. Низкий наклон линейной зависимости указывают на то, что концентрации ПХБ в атмосфере формируются за счет адвективного переноса воздушных масс на большие расстояния.

Ключевые слова: озеро Байкал, бифенилы (ПХБ), атмосферный воздух, концентрации, температура.

Abstract. The dependence of the gas phase of the concentrations of polychlorinated biphenyls (PCBs) in ambient air, measured in Baikalsk (Slyudyansky district, Irkutsk region) in 2022–2023 on temperature soil using linear dependence graphs ($ln\ P_A - 1/T$), has been studied. Based on the equilibrium thermodynamic model (the Clausius–Klaperon equation), it is shown that the slope of the linear dependence (m) reflects the contributions of long-range transport and PCBs intake from local sources. The low slope of the linear relationship indicates that PCB concentrations in the atmosphere are formed due to advective transport of air masses over long distances.

Keywords: Lake Baikal, biphenyls (PCBs), ambient air, concentrations, temperature.

В оценочном докладе АМАП (AMAP, 2021) указано, что климатические изменения (рост среднегодовой температуры) способствует тому, что наблюдаемые уровни некоторых стойких органических загрязнителей (СОЗ), таких как полихлорированные бифенилы, не снижаются в Арктике в той степени, в которой можно было бы ожидать, учитывая сокращение выбросов из их первичных источников. Этим подчеркивается возрастание вклада вторичных источников эмиссии СОЗ, накопленных в природных резервуарах (снег, почва). В этом же ряду могут находится локальные источники накопленного вреда, например, территории выведенных из эксплуатации промышленных предприятий.

К подобным объектам относится территория промплощадки бывшего Байкальского целлюлозно-бумажного комбината, на которой расположены сооружения и производственные помещения. С 2013 г. комбинат прекратил свою деятельность. Тем не менее, среди потенциальных негативных факторов воздействия на окружающую среду – загрязнение приземного воздуха ПХБ, за счет их испарения с поверхности почв.

Считается, что поступление с поверхности земли является причиной современного глобального загрязнения атмосферы ПХБ ввиду существенного сокращения первичных источников в результате прекращения производства ПХБ в 1990-х гг. Для вторичных

источников в роли основного регулятора процесса испарения–осаждения ПХБ выступает температура окружающей среды (Wania et al., 1998).

В г. Байкальске с конца 2021 г. проводится мониторинг загрязнения атмосферного воздуха ПХБ. Отбор проб сопровождается метеорологическими наблюдениями, включающими измерения температуры воздуха и почвы, скорости и направления ветра.

Данные наблюдений в г. Байкальске показывают явную взаимосвязь между концентрациями ПХБ в воздухе и температурой почвы: чем больше температура окружающей среды, тем выше концентрации ПХБ в атмосферном воздухе (рис. 62), причем такая положительная корреляция наблюдается независимо от географического положения станций и отмечается как в фоновых районах, так и в районах с техногенным воздействием (Левшин и др., 2024).

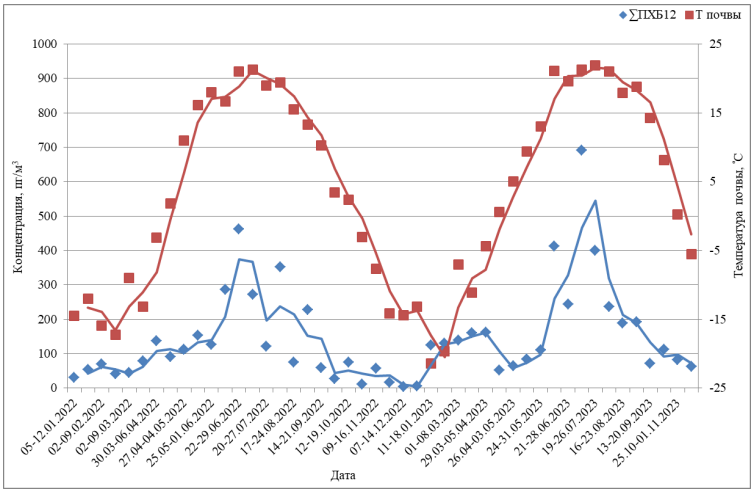


Рисунок 62. Годовой ход зависимостей паровых концентраций $\sum ПХБ_{12}$ и температуры почвы в 2022–2023 гг.

Обмен летучих примесей между почвой и воздухом может быть описан с помощью термодинамического подхода, который предполагает наличие равновесного состояния газовой фазы концентраций индивидуальных конгенеров ПХБ между поверхностью почвы и атмосферного воздуха. В равновесном состоянии в соответствии с широко используемым модифицированным уравнением Клаузиуса– Клейперона логарифм концентрации конгенера ПХБ в воздухе, выраженной в единицах парциального давления, линейно зависит от обратной абсолютной температуры (например, Halsall et al., 1999; Wania et al., 1998):

$$ln\ P_A = -\frac{m}{T} + b \quad , (1)$$

где P_A – парциальное давление ПХБ в газовой фазе, Па; T – средняя температура почвы за период отбора проб, К; $m = \Delta H_v/R$; ΔH_v – энтальпия испарения, Дж/моль; R – универсальная газовая постоянная ((Па•м^3)/(моль•К)).

ΔH_v — тепло, необходимое для фазового перехода чистого соединения. В реальных условиях (Simcik et al., 1999) предположили, что ΔH_v можно определить как энергию,

необходимую для фазового перехода с поверхности почвы, воды или растительности в атмосферу. Таким образом, они обозначили этот термин как ΔH_{sa} – энтальпия обмена почва–воздух.

Измеренная концентрация ПХБ воздухе (C_A, пг/м^3) может быть преобразована в значение летучести f_A (эквивалент парциального давления P_A) с помощью уравнения:

$$f_A = \frac{C_A \cdot 10^{-12} \cdot R \cdot T}{M}, \quad (2)$$

где M – молекулярная масса (г/моль).

Для установления источников поступления ПХБ в атмосферу по экспериментальным данным были рассчитаны коэффициенты наклона (m) графиков уравнения Клаузиуса–Клапейрона (1), которые можно интерпретировать как параметр, указывающий на относительную значимость переноса примесей на короткие и дальние расстояния (Wania et al., 1998). Согласно этому подходу, бóльшие значения наклона указывают на то, что испарение из локальных источников доминируют над дальним переносом ПХБ.

Результаты расчетов наклонов, полученные в результате круглогодичных измерений 2022–2023 гг., представлены в таблице 16.

Таблица 16. Температурная зависимость парциального давления ПХБ в 2022–2023 гг.

Конгенер ПХБ	ПХБ-28	ПХБ-44	ПХБ-52	ПХБ-66	ПХБ-87	ПХБ-101	ПХБ-105	ПХБ-118	ПХБ-138	ПХБ-153	ПХБ-180	ПХБ-187
2022–2023 гг.												
Коэффициент линейной регрессии, m (наклон)	-5113	-5392	-4980	-3869	-5835	-4636	-4402	-4161	-3696	-3452	-2460	-3185
Коэффициент корреляции (Пирсона), r	-0,71	-0,81	-0,84	-0,69	-0,61	-0,73	-0,46	-0,53	-0,52	-0,57	-0,31	-0,47
Коэффициент детерминации, R^2	0,51	0,66	0,7	0,48	0,37	0,53	0,21	0,29	0,27	0,33	0,1	0,22
Количество проб, *n*	46											
Холодный период 2022–2023 (T<0 °C; ноябрь–март)												
Коэффициент линейной регрессии, m (наклон)	-4461	-2335	-1933	-1378	-1938	-980	-2791	-1289	-993	-629	1967	1674
Коэффициент корреляции (Пирсона), r	-0,28	-0,22	-0,23	-0,12	-0,07	-0,07	-0,09	-0,06	-0,05	-0,04	0,08	0,09
Коэффициент детерминации, R^2	0,08	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Количество проб, *n*	18											
Теплый период 2022–2023 (T>0 °C; апрель–октябрь)												
Коэффициент линейной регрессии, m (наклон)	-7076	-8233	-7934	-7792	-9072	-8257	-6545	-6319	-7351	-7383	-6327	-7271
Коэффициент корреляции (Пирсона), r	-0,68	-0,81	-0,82	-0,83	-0,83	-0,85	-0,66	-0,68	-0,74	-0,79	-0,62	-0,75
Коэффициент детерминации, R^2	0,46	0,66	0,67	0,68	0,68	0,73	0,44	0,46	0,55	0,62	0,39	0,56
Количество проб, *n*	28											

Значения параметров (*m*), характеризующих наклон графиков линейных уравнений (1) исследуемых конгенеров варьировались от -2460 до -5835. Все парциальные давления конгенеров ПХБ (за исключением ПХБ-180) имели значительную обратную корреляцию с температурой. Полученные абсолютные значения параметров *m* сопоставимы со значениями, полученные в промышленных городах Манчестер (от -3100 до -8272) и Кардифф (от -2985 до 6222) (Halsall et al., 1999). В работе (Wania et al., 1998) была установлена закономерность в величине наклона графиков (1) от предполагаемых источников ПХБ. Так для городских промышленных районов значения *m* варьируют от -6000 до -7000, диапазон от -4000 до -5000 характерен для сельской местности, для фоновых арктических районов наклон графиков еще меньше и значение *m* составляет примерно -1400.

К прямому сопоставлению наклонов графиков уравнений (1), полученных для разных локаций и в разное время, следует относиться с осторожностью, в связи с тем, что термодинамический подход не учитывает влияние метеоусловий, таких как скорость ветра в период отбора проб. По данным (Wania et al., 1998) наклон графика линейного уравнения (1) существенно выше (*m*=-7236) в периоды низкой скорости ветра (<3 м/с), в то время как при скорости ветра (>9 м/с) температурная зависимость полностью теряется (*m*=-1094). В нашем случае в период исследований 2022–2023 гг. этот фактор не проявился, так как на территории г. Байкальска средняя скорость ветра в период отбора проб составляла 1,1 м/с, а максимальная – не превышала 2 м/с.

Вторая особенность заключается в том, что температурная зависимость концентрации ПХБ от температуры не наблюдается в холодные периоды (Hoff et al., 1992). В нашем исследовании (табл. 16) концентрации ПХБ не зависели от температуры ниже приблизительно 0 °С (с ноября по март включительно). Это приводит к отсутствию линейной зависимости и корреляционной связи $ln\ (P_A)$ от $1/T$, как показано на примере ПХБ-52 на рисунке 63.

В холодный период наблюдений корреляция концентрации (давления пара) конгенеров ПХБ от температуры слабая (|r|<0,3), в то время как при положительных температурах значительно выше (0,62<|r|<0,85), что свидетельствует о тесной взаимосвязи между переменными. Это явление объясняется тем, что при установлении отрицательных температур концентрации ПХБ в атмосфере формируются за счет адвективного переноса воздушных масс с фоновых районов. При повышении температуры фугитивность конгенеров ПХБ в почве увеличивается и испарение с поверхности земли становится доминирующим.

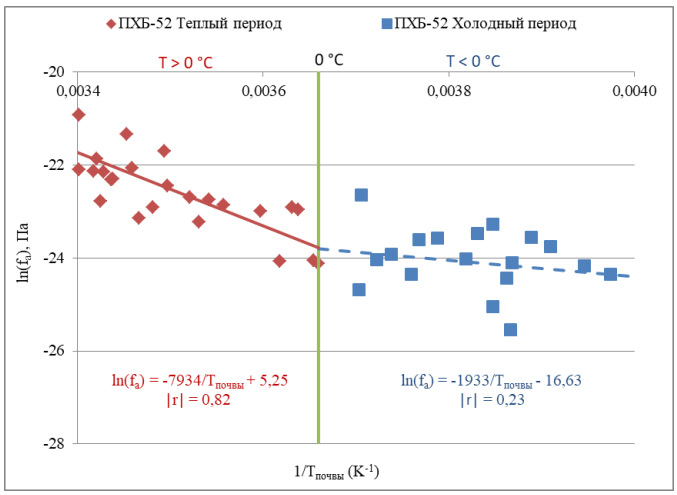


Рисунок 63. Температурная зависимость газовой фазы концентраций ПХБ-52 в теплый и холодный периоды 2022–2023 гг.

Полученные результаты свидетельствуют о важной роли вторичных источников поступления ПХБ в экосистему озера Байкал за счет испарения–осаждения с поверхности почвы. В условиях глобального потепления климата вклад вторичных источников неизбежно возрастает, а в зонах влияния неорганизованных локальных источников в теплое время года почва становится доминантом в формировании уровней содержания ПХБ в воздухе.

Финансирование работ осуществлюсь в рамках федерального проекта «Сохранение озера Байкал» национального проекта «Экология».

Список литературы

Левшин Д.Г., Запевалов М.А., Бурков А.И. (2024) Распределение полихлорированных бифенилов в системе почва–атмосфера на южном побережье озера Байкал. *Гидрометеорология и экология*, № 77, с. 716-738.

AMAP. POPs and Chemicals of Emerging Arctic Concern Influence of Climate Change. 2021 URL: https://oaarchive.arctic-council.org/server/api/core/bitstreams/5b6f0991-2b11-49ce-9a7f-e521067356bf/content

Halsall C.J., Gevao B., Howsam M., Lee R.G.M., Ockenden W.A., Jones K.C. (1999) Temperature dependence of PCBs in the UK atmosphere, *Atmospheric Environment*, vol. 33, pp. 541-552.

Hoff R.M., Muir D.C.G., Grift N.P. (1992) Annual cycle of polychlorinated biphenyls and organohalogen pesticides in air in southern Ontario. 2. Atmospheric transport and sources, *Environmental Science and Technology*, vol. 26 (2), pp. 276-283.

Simcik M.F, Basu I., Sweet C.W., Hites R.A. (1999) Temperature dependence and temporal trends of polychlorinated biphenyl congeners in the Great Lakes atmosphere, *Environmental Science and Technology*, vol. 33, pp. 1991-1995.

Wania F., Haugen J-E., Lei Y. D., Mackay D. (1998) Temperature dependence of atmospheric concentrations of semivolatile organic compounds, *Environmental Science and Technology*, vol. 32 (8), pp. 1013-1021.

ВКЛАД ЛОКАЛЬНОГО ВАРЬИРОВАНИЯ ПЛОТНОСТИ В НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ ОЦЕНОК ЗАПАСОВ ГУМУСА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ДЛЯ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ УОПЭЦ «ЧАШНИКОВО»)

THE CONTRIBUTION OF DENSITY VARIATION TO THE UNCERTAINTY OF ESTIMATES OF HUMUS RESERVES IN RETISOLS FOR DIFFERENT TYPES OF LAND USE (AT "CHASHNIKOVO" RESEARCH SITE)

Манакова О.И., Мешалкина Ю.Л., Сорокин А.С.

Manakova O.I., Meshalkina J.L., Sorokin A. S.

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; *oliamanakova@yandex.ru*

Аннотация. На территории России по программе «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» заложена сеть площадок в различных климатических зонах. В условиях изменения климата точная оценка запасов гумуса в почвах критически важна для ведения национального кадастра парниковых газов и прогнозирования климатических последствий. Существенным ограничением мониторинга является высокая трудоемкость получения данных по плотности почв, необходимых для пересчета содержания гумуса в его запасы. В качестве адаптационной меры для восполнения недостающих данных широко применяются педотрансферные функции (ПТФ). В данном исследовании на примере дерново-подзолистых почв УОПЭЦ «Чашниково» (Московская область) проведена валидация уравнения Честных-Замолодчикова для расчета плотности. Показано, что использование расчетных значений плотности не приводит к статистически значимым ошибкам в оценке запасов гумуса в слое 0-30 см для различных типов землепользования. Результаты работы позволяют рекомендовать применение данной ПТФ для сохранения ценных данных мониторинга содержания углерода и их использования в климатических моделях в условиях отсутствия прямых измерений плотности.

Ключевые слова: профильное распределение, почвенное органическое вещество.

Abstract. A network of sites in various climatic zones has been established in Russia under the Unified National System for Monitoring Climate-Active Substances program. Accurate assessment of soil humus reserves is crucial for national greenhouse gas inventories and climate change impact forecasting. A major monitoring constraint is the labor-intensive process of obtaining soil bulk density data required for converting carbon concentrations into stocks. Pedotransfer functions (PTFs) are widely used as an adaptation tool to fill these data gaps. This study validates the Chestnykh-Zamolodchikov PTF for bulk density calculation using retisols at the "Chashnikovo" research site (Moscow region). It is shown that using calculated density values does not lead to statistically significant errors in estimating topsoil (0-30 cm) humus across different land use types. These results justify the application of this PTF to preserve valuable carbon monitoring data and utilize it in climate models when direct density measurements are unavailable.

Keywords: profile distribution, soil organic matter.

Изменение климата оказывает прямое воздействие на физические свойства почв, включая их плотность, которая является одним из параметров оценки запасов органического углерода. Поскольку почвенный углерод – ключевое звено в глобальном цикле парниковых газов, мониторинг его запасов лежит в основе составления национальных кадастров и прогнозирования климатических сценариев. Однако вклад плотности в общую неопределенность может быть весьма существенным из-за высокой вариабельности, обусловленной гранулометрическим составом, горизонтальной и вертикальной неоднородностью почвенного покрова, сезонной динамикой и особенностями землепользования (Самсонова и др., 2023).

Как следствие, исследователи часто сталкиваются с проблемой нехватки данных по плотности почвы (Честных, Замолодчиков, 2004). Информация об изначальном варьировании плотности почв на площадках мониторинга позволяет наиболее точно оценивать изменения запасов органического вещества в почвах во времени и оценивать влияние климатических изменений. В контексте глобальных задач, таких как разработка прогноза динамики пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России в рамках проекта ВИП ГЗ, выполняемого в условиях различных сценариев землепользования и изменений климата, необходимы детальные данные о варьировании плотности почв.

Часто для сохранения данных о содержании гумуса, не имеющих значения плотности, для расчёта его запасов используются педотрансферные функции. Восполнению данных о плотности почв также служит исследование на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково», где представлены как природные, так и антропогенно преобразованные ландшафты. Получаемые данные используются для расчета запасов углерода и последующего моделирования.

Целью в рамках данного исследование является сравнение расчётов запасов гумуса в слое 0-30 см по данным полевых обследований почв «Чашниково» и тех же данных, где вместо реальной плотности использованы расчётные значения плотности из уравнения Честных-Замолодчикова (Честных, Замолодчиков, 2004).

Работа выполнена на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ «Чашниково» Московской области, Солнечногорский район. Исследования проводились на шести ключевых участках, расположенных на территории около 4 км², относящихся к различным типам землепользования и занимающих разные геоморфологические позиции (табл. 17). Почвенный покров представлен дерново- и агродерново-подзолистыми почвами, сформировавшимися на покровных суглинках, подстилаемых мореной, и характеризующимися разной степенью выраженности подзолистого процесса, оглеенности и языковатости (Шишов и др., 2004).

Таблица 17. Характеристика ключевых участков

Ключевой участок	Растительность	Геоморфологическая позиция	Название почвы
1	Берёзово-еловый лес	Пологий водораздельный склон	Дерново- подзолистая глубокооглеенная мелкая неглубокоосветвленная языковатая
2	Многолетние травы	Пологий водораздельный склон	Агродерново-подзолистая языковатая среднепахотная
3	Еловый лес	Склон 3-5°	Дерново-сверхглубокоподзолистая мелкая
4	Суходольный разнотравный луг	Терраса р. Клязьма	Дерново-глубокоподзолистая профильно глееватая, средне мелкая

Ключевой участок	Растительность	Геоморфологическая позиция	Название почвы
6	Поле под черным паром	Водораздельный склон с выраженными эрозионными процессами	Агродерново-подзолистая языковатая, среднепахотная
7	Косимый злаково-борщевиковый перелог	Пологий водораздельный склон	Дерново- подзолистая старопахотная сверхглубокосветвленная глубокооглееная языковатая

На каждом ключевом участке размером 90×90 м на открытой местности или 45×45 м в лесных массивах был заложен один полнопрофильный почвенный разрез глубиной 110 см. На расстоянии 15–20 м от него были заложены по две прикопки (полуямы) глубиной до 60 см для оценки пространственной неоднородности почвенных свойств.

Плотность почвы определялась методом Н. А. Качинского с помощью режущего кольца известного объема (100 см³). Отбор проб производился из стенки разрезов и прикопок в двухкратной повторности с заданным интервалом: от 0 до 30 см – с шагом 10 см (глубины 0-10, 10-20, 20-30 см); от 30 до 110 см – с шагом 20 см (глубины 30-50, 50-70, 70-90, 90-110 см). Во всех отобранных образцах была определена полевая влажность и плотность. Всего было отобрано и проанализировано 180 образцов на плотность.

В смешанных образцах из двойной повторности было определено содержание органического углерода методом сухого сжигания на C:N анализаторе ESC 8024 Soil Special. Полученные значения были переведены в содержание гумуса умножением на коэффициент 1,724. Содержание фракции < 2 мм определялось методом просеивания, после чего в образце определялась массовая доля мелкозёма. Для полученных данных, которые использовались в исследовании как неизменные при подсчётах запасов гумуса, рассчитаны статистические характеристики (табл. 18). Оценка варьирования мощности слоя h не проводилась.

Таблица 18. Статистическая характеристика аналитических данных, используемых в расчетах запасов гумуса, ср. – среднее арифметическое величины, ст.откл. – стандартное отклонение, cv – коэффициент вариации, n=3

	Содержание гумуса, % (HUM)			Доля мелкозема в объёме почвы, % (f)		
Глубина, см	Ср. знач.	Ст. откл.	cv	Ср. знач.	Ст. откл.	cv
0-10	3,9	0,8	20%	0,98	0,02	2%
10-20	3,1	0,8	25%	0,97	0,01	2%
20-30	2,1	1,1	54%	0,97	0,02	2%

Значения реальной и вычисленной плотности почв по глубинам для шести участков представлены в таблице 19. Расчет плотности проводился по формуле (1):

$$BD= a_1 – a_2/(MID+a_3) + a_4/(HUM+a_5), (1)$$

где BD – плотность почвенного горизонта, г/см^3; HUM – содержание гумуса в горизонте, %; MID – глубина залегания горизонта, см; a_3 – a_4 – параметры уравнения. Как

видно, реальная плотность сильно варьирует, в сравнении с рассчитанными данными, коэффициент вариации отличается более, чем в два раза.

Таблица 19. Полевые и рассчитанные средние значения плотности почв на ключевых участках, г/см^3. BD – плотность почв, Рассч – рассчитанные значения, cv -коэффициент вариации значений между тремя профилями почв на участке, n=3

Ключевой участок	1		2		3		4		6		7	
Глубина, см	BD	cv	BD	cv	BD	cv	BD	cv	BD	cv	BD	cv
0-10	0,90	16%	1,24	1%	1,03	1%	0,97	10%	1,11	10%	1,20	7%
Рассч.	0,99	2,7%	1,00	0,3%	0,98	1,2%	0,96	2,9%	0,98	1,5%	0,99	1,1%
10-20	1,16	13%	1,27	6%	1,16	3%	1,15	8%	1,11	19%	1,31	9%
Рассч.	1,25	0,8%	1,24	0,2%	1,25	0,5%	1,22	2,6%	1,23	1,1%	1,25	1,2%
20-30	1,47	7%	1,36	6%	1,29	6%	1,27	7%	1,28	10%	1,41	7%
Рассч.	1,39	0,1%	1,36	0,5%	1,38	0,3%	1,34	2,1%	1,35	2,0%	1,37	1,3%

Для расчета запасов гумуса были взяты средние значения плотности, содержания гумуса внутри участка для слоёв 0-10, 10-20 и 20-30 см и доля фракции >2 мм. Результаты представлены для n=6 участков вместе, характеризуя тем самым разброс значений на всей территории, также рассчитана относительная неопределённость в % (табл. 20). Расчёт запасов гумуса проводился по формуле (2):

$$ЗГ = HUM * h * BD * f, (2)$$

где ЗГ – запасы гумуса (т/га) для почвенного слоя h; HUM – содержание гумуса в слое, %; h – мощность почвенного слоя, см; BD – плотность сложения почвенного слоя, г/см^3.

Относительная неопределенность запаса гумуса $cv_{ЗГ}$, выраженная в %, которая по сути является аналогом коэффициента вариации, была рассчитана по формуле (3):

$$cv_{ЗГ} = \sqrt{cv_{HUM}^2 + cv_{BD}^2 + cv_h^2 + cv_f^2}\ , (3)$$

где cv_{HUM}, cv_{BD}, cv_h, cv_f – относительные неопределенности (в данном случае коэффициенты вариации) измерения (%), соответственно, содержания гумуса, плотности, мощности слоя и каменистости (Самсонова и др., 2023). Тогда стандартная неопределенность ($\Delta_{ЗГ}$) может быть найдена согласно уравнению (4):

$$\Delta_{ЗГ} = ЗГ * cv_{ЗГ}, (4)$$

где ЗГ – среднее значение запаса углерода.

Таблица 20. Запасы гумуса в т/га в почвах с использованием реальной и рассчетной плотности на всех участках n=6, относительная неопределённость запасов гумуса $cv_{ЗГ}$ в % и стандартная неопределённость $\Delta_{ЗГ}$ ± т/га, рассчитанные по неопределённости входящих в формулу переменных

Среднее значение запасов гумуса по всем участкам, т/га			Стандартное отклонение		Коэффициент вариации cv		Неопределённость $cv_{ЗГ}$ (%) и $\Delta_{ЗГ}$ (± т/га)	
Глубина, см	Реал. плотн.	Рассч. плотн.	Реал. плотн.	Рассч. плотн.	Реал. плотн.	Рассч. плотн.	Реал. плотн.	Рассч. плотн.
0-10	40,6	38,0	6,6	7,6	16%	20%	24% (± 9,6)	20% (± 7,7)
10-20	35,7	37,7	8,0	9,4	22%	25%	26% (± 9,3)	25% (± 9,6)
20-30	26,5	27,4	13,5	14,7	51%	54%	54% (± 14,3)	54% (± 14,7)

Чтобы определить, есть ли значимая разница в полученных значениях запасов гумуса в почве, было проведено сравнение средних по t-критерию, а также при помощи однофакторного дисперсионного анализа. Он показал, что при всех уровнях значимости средние по участкам запасов гумуса в почве равны при использовании полевой и рассчитанной по формуле плотности почвы. При этом стандартные отклонения средних сопоставимы для обоих вариантов плотности почв. Расчет коэффициента вариации по данными реальной плотности получился меньше, чем для плотности по формуле. Но при использовании формулы (3) для оценки неопределённости, коэффициент вариации запасов гумуса для реальных значений стал больше. Такие результаты нагляднее демонстрируют вклад варьирования плотности в запасы гумуса и дают более полную оценку неопределённости.

Исследование выполнено в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Список литературы

Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.

Самсонова В.П. и др. Исследование неопределенности оценок запасов органического углерода в масштабах угодий // Почвоведение. — 2023. — № 11. — С. 1437–1449. DOI: 10.31857/S0032180X23600725

Честных О. В., Замолодчиков Д. Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 937-944.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК АБОРИГЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ЭКОСИСТЕМ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

ON THE POSSIBILITY OF USING OF NATIVE VEGETATION CHARACTERISTICS IN THE ENVIRONMENTAL MONITORING IN THE CENTRAL FOREST STATE NATURE BIOSPHERE RESERVE

Махрова Т.Г.[1, 2], Кухта А.Е.[1], Шуйская Е.А.[3], Шерстнева Е.А.[1]

Makhrova T.G.[1, 2], Koukhta A.E.[1], Shuyskaya E.A.[3], Sherstneva E.A.[1]

[1]ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля»,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б; *anna_koukhta@mail.ru*
[2]Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1; *mathilda2604@mail.ru*
[3]Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник
Россия, 172521, Тверская обл, Нелидовский м.о., пос. Заповедный, д. 32; *forestnauka@gmail.com*

Аннотация. Проведено исследование аборигенной растительности на стационаре Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Работы выполнялись в соответствии с Руководством по комплексному мониторингу (по методике МСП КМ). Сделано заключение о возможности проведения фонового экологического мониторинга, изучения сукцессии, а также выявления трендов уровня биоразнообразия экосистем на территории заповедника с помощью полученной информации.

Ключевые слова. Экологический мониторинг, бореальные экосистемы, растительность, сосна обыкновенная, антропогенное воздействие, изменение климата

Abstract. A native vegetation study was conducted at a site of the International Cooperative Programme on Integrated Monitoring of Air Pollution Effects on Ecosystems (ICP IM) on the territory of the Central Forest State Nature Biosphere Reserve. The work was carried out in accordance with the Manual for Integrated Monitoring (according to the ICP IM methodology). A conclusion was made about the possibility of conducting background environmental monitoring, studying succession, and identifying trends in the biodiversity levels of ecosystems in the reserve using the information obtained.

Keywords. Environmental monitoring, boreal ecosystems, vegetation, Scots pine, anthropogenic impact, climate change.

Введение

Координационно-методическое руководство работами на российской сети станций Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) под эгидой Конвенции по трансграничному переносу загрязнений на большие расстояния в России осуществляет ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля» (ИГКЭ). Работы в рамках МСП КМ проводят по ряду методик, собранных в Руководстве по комплексному мониторингу (Руководство.., 2013).

Один из стационаров МСП КМ в Российской Федерации заложен на территории Центрально-Лесного государственного природного государственного биосферного заповедника (56°26′–56°31′ с.ш.; 32°29′–33°29′ в.д.). Заповедник расположен на главном

Каспийско-Балтийском водоразделе Русской равнины, на водоразделе верховьев р. Волга и р. Западная Двина, на юго-западной оконечности Валдайской возвышенности.

Основной целью биотического блока МСП КМ является регистрация и анализ откликов отдельных видов растений и фитоассоциаций на антропогенное загрязнение атмосферного воздуха вследствие трансграничного переноса загрязняющих веществ, а также на изменение климата. Для выявления и оценки трендов состояния природных экосистем необходима информация о статусе растительного покрова на период начала наблюдений. Следовательно, для выполнения программы необходимо использовать информативное описание аборигенной растительности и её местообитаний на пробных площадях стационара. Целью данной работы являлась разработка геоботанического описания аборигенной растительности на стационаре для осуществления экологического мониторинга в рамках МСП КМ.

Регион исследований

Природные комплексы ЦЛГЗ, типичные для южно-таежной подзоны, размещаются на моренном рельефе. Одной из коренных формаций территории являются сосновые леса сфагновой классификационной группы. Сфагновые и сфагново-багульниковые сосняки произрастают по краям болот (Желтухин, Шуйская, 2017; Пузаченко, Широня, 2020).

Старосельский мох представляет собой болотную систему, расположенную в группе сточных котловин на водораздельной территории рек Межа, относящейся к Западнодвинскому бассейну, и Тудовка, принадлежащей Волжскому бассейну. Площадь болотного массива в границах торфяной залежи составляет 617 га. Разгрузка вод происходит в 3 ручья и систему небольших депрессий (логов). Уровень воды колеблется от 0 до – 0,6 м (Minayeva et al., 2007).

Растительный покров урочища типичен для верховых болот южной тайги: окрайки на пологих склонах формируются фитоассоциациями *Vacinio uliginosi-Pinetum sylvestris* Kliest 1929 em. Matuszkievicz 1962. Их первый ярус сформирован достигающими 20 м деревьями сосны, в нижних ярусах доминируют кустарнички. На плоских участках окрайки развиваются сообщества из *Caricetum rostratae* Osvald 1923 em. Dierssen, 1982 с древостоем сосны, реже березы или вовсе без древостоя. Пологие склоны южной выпуклой части болота представляют собой грядово-мочажинные комплексы. В восточной части отмечен типичный облесенный грядово-мочажинный комплекс с грядами из *Ledo-Sphagnetum fusci* Du-Ruetz, 1921 с доминированием бореальных видов (карликовая березка, морошка) и мочажинами с ценозами *Rhynchosporion albae* Koch, 1926. Западная часть представлена необлесенным грядово-мочажинным комплексом. Здесь на грядах обычны сообщества из *Sphagnion medii* Kaestner & Flossner, 1933 em. Dierssen in Oberdorfer et al., 1977. В обоих типах биотопов в мочажинах доминируют *Sphagnum angustifolium* (C. Jens. ex Russow) C. Jens., *S. balticum* (Russow) Russow

ex C. Jens., *S. cuspidatum* Ehrh. ex Hoffm. Верхние части склонов образованы сосняками с преобладанием *Pinus sylvestris* f. Litwinovii и сообществами бореальной ассоциации *Ledo-Sphagnetum fusci* Du-Ruetz, 1921 («рямами») (Пузаченко, Широня, 2020; Minayeva et al., 2007).

Методика

Согласно Руководству (Руководство.., 2013) в границах стационара МСП КМ были заложены две пробных площади в двух репрезентативных для региона исследований фитоценозах – в сосняке сфагновом и ельнике разнотравном. Описание растительности в данной работе представлено для пробной площади МСП КМ № 2 (ПП2), расположенной в сосняке сфагновом на окраине болота Старосельский мох (рис. 64).

На пробной площади для описания подроста, травянисто-кустарничкового яруса и напочвенного ярусов случайным образом было заложено по 12 площадок размером 1х1 м. Растительность пробных площадок была разделена на ярусы в соответствии с высотой и морфологией особей: 1) древесный ярус – деревья высотой более 5 м; 2) возобновление (подрост) – деревья высотой 1-5 м; 3) травянисто-кустарниковый ярус – кустарники, кустарнички и другие сосудистые растения; 4) напочвенный ярус – мхи и лишайники.

Основным измеряемым параметром травянистого и напочвенного ярусов являлось проективное покрытие для каждого вида (в %). Кроме того, для кустарничково-травянистого яруса определялись следующие показатели: обилие по Друде (Drude,1890), проективное покрытие (%), фенологическое состояние, жизненность по Браун-Бланке–(Braun-Blanquet, Pavillard,1922), жизненная форма по Раункиеру (Raunkiaer, 1907). Названия видов приведены по ресурсу The Plant List (http://theplantlist.org).

Работы были проведены 15.07.2019 силами сотрудников ФГБУ «ИГКЭ» и Дендрологического сада Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Результаты и обсуждение

Пробная площадь ПП2 площадью 100 м^2 размещена в сосняке сфагновом, на окраине болота. Древостой *Pinus sylvestris* L. характеризуется сомкнутостью 0,1, средний диаметр стволов составляет 39,7 см, средняя высота – 12,8 м, средний диаметр крон – 2,6 м. Подлесок отсутствует. В ярусе возобновления доминируют *P. sylvestris*, *Betula pubescens* Ehrh.

На пробных площадках определялись классы встречаемости травянисто-кустарничковых видов. Данная характеристика вычислялась как % площадок, на которых встречен данный вид (вне зависимости от численности). Доминирующие виды характеризуются следующими классами встречаемости: *Eriophorum vaginatum* равен 3, *Ledum palustre* и *Vaccinium uliginosum* – 5, *Vaccinium vitis-idaea* – 4. По проективному покрытию преобладают *Eriophorum vaginatum* (70%) и *Vaccinium vitis-idaea* L. (60%).

В напочвенном ярусе по проективному покрытию абсолютными доминантами являлись виды рода *Sphagnum* (100%). Из сфагновых мхов определены 3 вида: *Sphagnum angustifolium* (Russ. ex Russ.) C.Jens, *S. divinum* Flatberg & K. Hassel и *S. fuscum* (Schimp.) Klinggr. Проективное покрытие каждого вида отдельно не оценивалось.

Рисунок 64.Травяно-кустарничковый ярус на пробной площади МСП КМ

Максимальным обилием по (Drude, 1890), так же, как и проективным покрытием, в травянисто-кустарниковом ярусе характеризуются *Vaccinium myrtillus* и *Vaccinium vitis-idaea* («cop2» и 14% соответственно). В напочвенном ярусе наибольшее обилие по (Drude, 1890) и проективное покрытие свойственно *Sphagnum* sp. («soc» и 100% соответственно). Все представители кустарничково-травянистого яруса относятся к жизненной форме «фанерофит» по (Raunkiaer, 1907) и на момент исследования находились в фенологическом состоянии «вегетация после плодоношения» и.

На исследованной пробной площади (ПП2) в сосняке сфагновом общее проективное покрытие растительности составляет 100%. Отмечен зелёный аспект. Отсутствует разделение на подъярусы.

Результаты изучения травянисто-кустарничкового и наземного ярусов, а также древостоя и возобновления согласуются с ранее опубликованными данными о растительности заповедника (Пузаченко, Широня, 2020; Minayeva, Glushkov, Nosova et al, 2007).

Благодарности

Работа выполнена в рамках темы 4.4. «Развитие методов и технологий мониторинга и оценки загрязнения природной среды вследствие трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ и кислотных выпадений (ЕЭК ООН: ЕМЕП, МСП КМ; ЕАНЕТ)» Плана НИТР Росгидромета, регистрационный номер 125031703847-1.

Выводы

В результате проведённых на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника исследований получены характеристики древесного яруса, подроста, а также травянисто-кустарничкового и наземного ярусов на пробной площади стационара МСП КМ в сосняке сфагновом. Определены такие параметры состояния аборигенной растительности, как классы встречаемости видов, их обилие, проективное покрытие, фенологическое состояние, жизненность, жизненная форма.

Показано, что исследованные фитоценозы ЦЛГЗ характерны для мало нарушенных южно-таёжных экосистем; их состояние свидетельствует о фоновом уровне антропогенного воздействия на бореальные фитоценозы района исследований. Следовательно, описание аборигенной растительности стационара МСП КМ может быть использовано как отправная точка для многолетнего экологического мониторинга, изучения сукцессии, а также выявления трендов уровня биоразнообразия фитоассоциаций территории.

Список литературы

Алисов Б. П. (1956) Климат СССР. – М., Изд. Моск. ун-та.

Желтухин А. С., Шуйская Е. А. (2017) Виды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника, включаемые в Красную книгу Российской Федерации // Nature Conservation Research. Заповедная наука. № 2 (Приложение 1). Стр. 43-60.

Кадастровые сведения о Центрально-Лесном государственном природном биосферном заповеднике за 2021–2024 гг. (2025) Рукопись. Архив Центрально-Лесного заповедника. 213 с.

Кухта А.Е., Пчелкин А.В., Полещук А.М. (2018) Оценка отклика древостоев сосны и ели Центрально-Лесного государственного природного заповедника на трансграничное загрязнение воздуха методами Международной совместной программы комплексного мониторинга // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. Том XXIX № 4. Стр. 29-43.

Пузаченко М. Ю., Широня И. И. (2020) Организация и динамика органогенного рельефа верхового болота // Princ. ekol.. №3 (37). Стр. 45-55.

Руководство по комплексному мониторингу (2013) Перевод с английского. – М., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», URL: http://downloads.igce.ru/publications/ICP_IM_Manuals/Manual_rus_04122013.pdf

Сукачёв В.Н. (1972) Избранные труды в трех томах: Основы лесной типологии и биогеоценологии // под ред. Е. М. Лавренко. Л.: Наука.Т. 1 - 419 с.

Braun-Blanquet J., Pavillard J.(1922) Vocabulaire de SociologieVégétale. Montpellier: Roumégous et Déhan. 16 p.

Drude O. (1890) Handbuch der Pflanzengeographie. Stuttgart: J. Engelhorn, 582 p.

Minayeva, T.Y. & Glushkov, I. & Nosova, N.B. & Starodubtseva, O. & Kuraeva, E. & Volkova E. (2007). Очерк болот Центрально-Лесного заповедника. In book: Kompleksnye issledovaniia v Tsentral'no - Lesnom gosudarstvennom prirodnom biosfernom zapovednike: Ikh proshloe, nastoiashchee i budushchee (Integrated studies in the Central - Forest State Nature Biosphere Reserve: Their Past, Present and Future. Publisher: Tula: Grif and Ko (pp. 267-296).

Raunkiaer C. (1907) Planterigets Livsformesogderes Betydning for Geografien. Koebenhavnog Kristiania.

ПОТЕПЛЕНИЕ В ПРИБАЙКАЛЬЕ В XXI ВЕКЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ

WARMING IN THE BAIKAL REGION IN THE 21ST CENTURY BASED ON THE ANALYSIS OF SPACE IMAGES

Морозова Е.А.[1], Алейникова А.М.[1], Алейников А.А.[2]

Morozova E.A.[1], Aleynikova A.M.[1], Aleynikov A.A.[2]

[1] Российский университет дружбы народов
Россия, 117198, Москва, Миклухо-Маклая, 6; *anshur@mail.ru*
[2] ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская ул., 20Б

Аннотация. В работе по данным изучения космических снимков Modis за XXI век приводится анализ динамики температуры земной поверхности. Фиксируется повышение температуры и увеличение NDVI. Наиболее значительный рост наблюдался после 2014 года. По данным исследования температура увеличилась на 1,38°C в Прибайкалье, на 6,10°C в акватории Байкала и на 1,68°C и 1,64°C на территориях, прилегающих к суше (5 км и 10 км).
Ключевые слова: Прибайкалье, космические снимки, мониторинг, потепление, температура.

Abstract. The work, based on the study of Modis space images for the 21st century, provides an analysis of the dynamics of the earth's surface temperature. An increase in temperature and an increase in NDVI are recorded. The most significant increase was observed after 2014. According to the study, the temperature increased by 1.38 °C in the Baikal region, by 6.10 °C in the Baikal water area and by 1.68 °C and 1.64 °C in the territories adjacent to land (5 km and 10 km).
Keywords: Baikal region, space images, monitoring, warming, temperature.

Для изучения динамики температуры поверхности земли Прибайкалья (Хорошев, Самойлова, 2023). была разработана система мониторинга на основе спутниковых снимков за период 2000–2024 гг., охватывающая акваторию озера Байкал и прилегающие зоны на суше 5 и 10 км. По месячным данным о температуре поверхности земли, полученных по инфракрасным каналам спутника MODIS (LAADS DAAC) была построена карта распределения температуры за каждый исследуемый год, далее по картам выявлена средняя температура за каждый год и построены графики.

Анализ данных по четырем исследуемым регионам (Прибайкалье, Байкальская акватория, Байкал и прилегающая территория в 5 км и 10 км от береговой линии озера) с 2000 по 2023 гг. показывает устойчивую тенденцию к росту среднегодовой температуры (рис. 65) и увеличению ее тренда.

Рисунок 65. Динамика среднегодовых температур Прибайкалья

Наиболее значительный рост наблюдался после 2014 г. Температура увеличилась на 1,38°С в Прибайкалье, на 6,10°С в акватории Байкала (рис. 66) и на 1,68°С и 1,64°С на территориях, прилегающих к суше (5 км и 10 км), соответственно (рис. 67, 68). Это согласуется с тенденцией глобального потепления климата. Температура в районах, прилегающих к суше, выше, чем в водах Байкала, поскольку суша нагревается и остывает быстрее, чем вода.

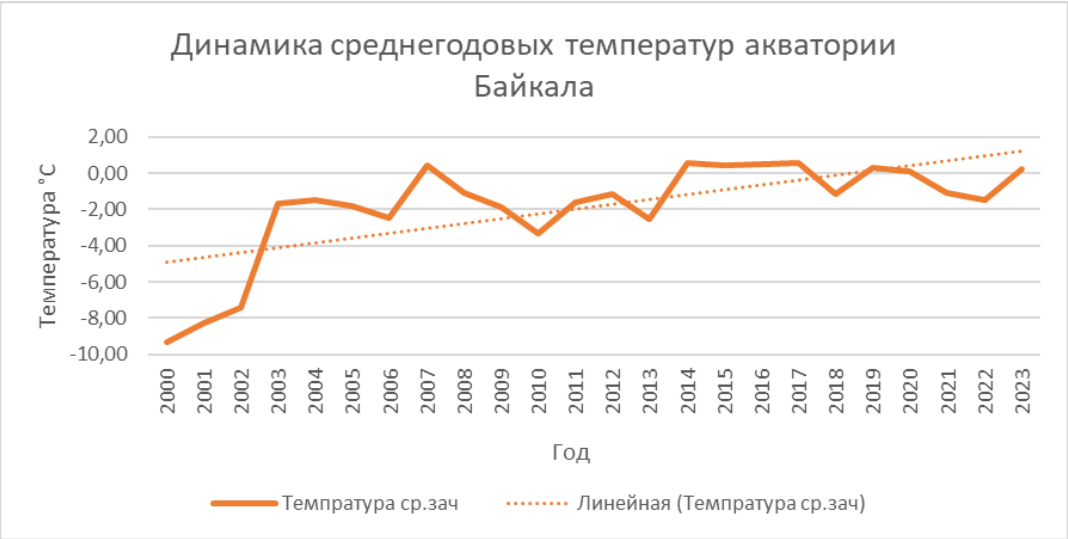


Рисунок 66. Динамика среднегодовых температур акватории Байкала

Рисунок 67. Динамика среднегодовых температур акватории Байкала и прилегающих 5 км суши

Рисунок 68. Динамика среднегодовых температур акватории Байкала и прилегающих 10 км суши

Температура в районах, прилегающих к суше, выше, чем в водах Байкала, поскольку суша нагревается и остывает быстрее, чем вода. Наиболее резкие колебания температуры наблюдались в байкальских водоемах из-за большей теплоемкости воды. Были годы аномальных изменений, такие как 2002 и 2007 гг., когда температура была значительно выше или ниже нормы. Эти аномалии могут быть связаны с климатическими явлениями, такими как Эль-Ниньо, или с региональными закономерностями. Повышение температуры в регионе может иметь серьезные экологические последствия для биоразнообразия, водных сообществ, динамики ледяного покрова и частоты экстремальных погодных явлений.

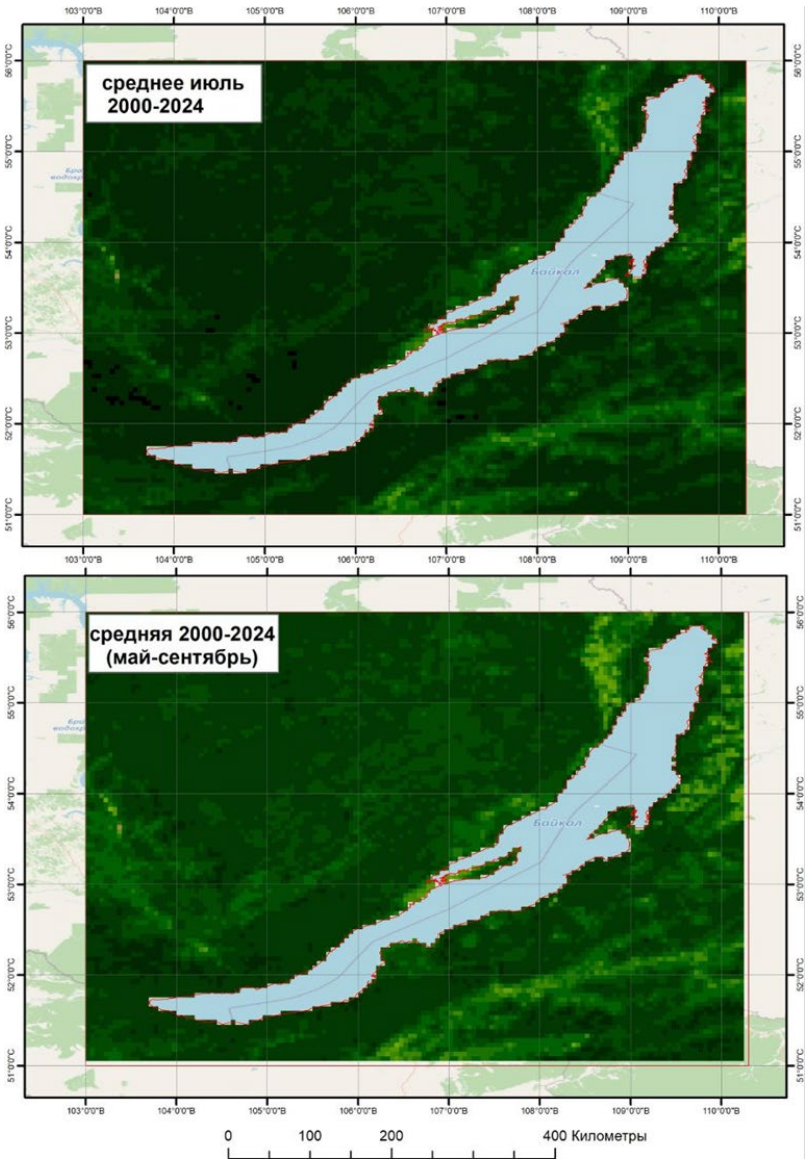


Рисунок 69. Летняя динамика NDVI Прибайкалья

Анализ NDVI за исследуемый период демонстрирует тенденцию к увеличению растительности в Прибайкалье. Значение индекса растительности увеличилось на 0,059 в июле и на 0,038 в период с мая по сентябрь за последний год (рис. 69).

Полученные данные подчеркивают необходимость дальнейшего изучения климатических процессов в Прибайкалье и разработки мер по адаптации к изменению климата с целью сохранения уникальных экосистем региона.

Список литературы

Хорошев А.В., Самойлова Г.С. Прибайкалье // Большая российская энциклопедия: научно-образовательный портал. – 2023. – URL: https://bigenc.ru/c/pribaikal-e-83e0ba/?v=7701018

LAADS DAAC. The Level-1 and Atmosphere Archive & Distribution System Distributed Active Archive Center. – URL: https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/search/

ОРГАНИЗАЦИЯ И НАБЛЮДЕНИЕ ЗА КЛИМАТИЧЕСКИМИ ИЗМЕНЕНИЯМИ В КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

ORGANIZATION AND OBSERVATION OF CLIMATE CHANGE IN THE KYRGYZ REPUBLIC

Токталиева Г.Р., Жантемирова К.К.

Toktaliyeva G.R., Zhantemirova K.K.

КГУ им. И. Арабаева, Иинститут Естественных наук и туризма
Кыргызстан, 720026, Бишкек, Раззакова, 38; *toktalieva1975@mail.ru, ms.kalicha13@mail.ru*

Аннотация. В последние десятилетия во всем мире резко возросло воздействие человека на окружающую среду, стало очевидным, что бесконтрольная эксплуатация природы может привести к весьма серьезным негативным последствиям. В связи с этим возникла еще большая необходимость в детальной информации о состоянии биосферы, природных процессах.

Ключевые слова: Климатические изменения, естественные экосистемы, ледники, деградация земель, биоразнообразия.

Abstract. In recent decades, human impact on the environment has increased dramatically worldwide, making it clear that uncontrolled exploitation of nature can lead to very serious negative consequences. This has created an even greater need for detailed information on the state of the biosphere and natural processes.

Keywords: Climate change, natural ecosystems, glaciers, land degradation, biodiversity.

Объективные данные диагностики экологической обстановки свидетельствует, что на территории Кыргызстана прослеживаются симптомы глобальных негативных процессов, прежде всего, связанных с деградацией земельного фонда и сокращением биологического разнообразия. Под воздействием глобальных тенденций потепления климата возрастает вероятность перспективных рисков для страны, связанных с трансформацией запасов водных ресурсов, ухудшением условий жизнеобеспечения населения и естественных экосистем. Однако, в Кыргызстане еще сохранились уникальные природные сообщества, которые необходимо сохранять для стабилизации экологической обстановки не только в стране, но и в Центральноазиатском регионе (Изменение глобальной температуры…, 1997).

По данным Минитерства экологии, природных ресурсов и технического надзора КР, особую тревогу вызывает в этом плане воздействие изменения климата на состояние *ледников Кыргызстана*.

Ледники – это хранилища запасов пресной воды, которыми питаются многочисленные реки. Они также играют важную роль в установлении определенного климата на обширной территории вокруг. В Кыргызстане насчитывается 8208 ледников, имеющих общую площадь оледенения 8076,9 кв. км, с общим объемом 494,7 куб. км. На сегодняшний день площадь оледенения уже снизилась на 20%. По оценкам специалистов, есть реальная опасность того, что к 2100 году на территории республики не останется ледников. За период 1959-1980 годов на Памиро-Алае исчез 1081 ледник, на Заилийском Ала-Тоо – 71 ледник, резко уменьшился объем ледников массива Акшыйрак, формирующий сток реки Большой Нарын. Утрата

ледников приведет к сокращению суммарного поверхностного стока к 2100 г. более чем в два раза (Второе Национальное сообщение…, 2009).

По оценкам национальных экспертов предполагается значительное расширение пустынного и степного поясов. Ожидается подъем верхней границы пустынного пояса на 400 м, степного на 250 м, лесолугового на 150 м и субальпийского на 100 м. Рост опустынивания, связанный с повышением температуры, будет усугубляться ростом деградации земель, обусловленной водной эрозией из-за увеличения числа поливов. За один полив в орошаемой зоне смывается от 10 тонн до 20 тонн с гектара площади мелкоземлистых частиц – самой плодородной части почв.

Территория Кыргызской Республики в значительной степени подвержена воздействию *опасных процессов и явлений*, таких как оползни, сели, лавины и иные опасности. В результате таяния ледников в горах каждое лето образуются ледниковые озера, некоторые из них достигают больших размеров. Это может стать причиной образования внезапного паводка, причиняя значительный ущерб здоровью и жизни населения. В настоящее время в республике выявлено не менее 5000 оползней, число которых ежегодно возрастает. Оползни приводят не только к разрушению жилых домов, инфраструктуры населенных пунктов, но и представляют угрозу перекрытия русел рек и их притоков, что в свою очередь может привести к селям и паводкам. При выпадении обильных осадков происходит массовая активизация существующих оползней и образование новых. Почти 95% населенных пунктов Кыргызстана находится непосредственно в близости от источников воды, которые расположены преимущественно вдоль русел рек.

Частота и интенсивность наводнений также возрастает. Из-за наводнений происходит загрязнение запасов пресной воды, возрастает риск болезней, передающихся через воду, и образуются места, благоприятные для размножения насекомых, таких как комары являющихся переносчиками болезней. Наводнения приводят к случаям утопления и физическим травмам, разрушению домов и дезорганизации в области оказания медико-санитарных услуг (Изменение климата в Центральной Азии…, 2009).

Изменение климата сопровождается увеличением частоты волн жары, частоты высоких дневных и ночных температур. Воздействие высоких температур в первую очередь испытают на себе представители старших возрастных групп, дети раннего возраста, лица со слабым здоровьем – наиболее уязвимые категории населения.

Сокращение биоразнообразия и смещение границ экосистем. Климатические изменения, даже очень незначительные, могут нарушить баланс видов в экосистемах, и некоторые живые существа будут вынуждены переместиться в другие районы, приспособиться или погибнуть. Ученые подсчитали, что от 15% до 40% видов растений и

животных могут исчезнуть с изменением климата. Уже сегодня происходит рост вымирания в результате изменения климата, особенно среди тех видов, которые вынуждены жить или живут и размножаются в узких диапазонах колебаний окружающей среды. Например, температура, влажность и т.д. Так, к изменяющимся условиям среды не могут приспособиться некоторые виды черепах и лягушек.

Климатические изменения влияют на увеличение *лесных пожаров*, распространяющихся в результате прогнозируемых продолжительных засушливых периодов в лесных регионах, а также способствуют смещению границ экосистем вверх в горы.

С климатообразующей точки зрения, одними из наиважнейших лесных экосистем для нашей страны являются *приречные пойменные леса.* «Своим уютом и надежностью кыргызские юрты во многом обязаны приозерным и приречным пойменным лесам, которые испокон веков давали материал для деревянного легкого и прочного остова. Пойменный лес - уникальный симбиоз деревьев, кустарников и трав, которые своими корнями надежно сохраняют берега от размытия, а русло реки удерживают на одном месте. Там, где ручьи и реки по берегам покрыты густыми зарослями деревьев и кустарников, реки полноводнее, часто встречаются родники и ручьи. Ненарушенный, здоровый пойменный лес – это уникальная экосистема, которая сама расширяет зону своего существования, удерживая и привлекая влагу, делая более мягким и влажным местный климат, стимулируя выпадение осадков. Если реки – кровеносные сосуды земли, то пойменные леса - кровеносные сосуды живой природы», - отмечает профессор Э.Дж. Шукуров (Шукуров, 2010).

Не разрушенные пойменные сообщества обладают большим видовым разнообразием. По ним расселяются многие представители растительного и животного мира. Они поддерживают единство и нормальное функционирование соседних с ними экосистем. В пойменных сообществах обитает большое количество насекомых, в том числе защищающих прилегающие к пойме поля и луга от различных вредителей. Во многом частота и разрушительность пожаров, засух, наводнений, а также ветров в значительной мере провоцируется нарушением лесного покрова.

Нарушенная пойменная экосистема не в силах удержать разрушительную силу горной реки, предотвратить частоту и масштабы ущерба от паводков и селей. Кроме того, такая экосистема снижает уровень увлажненности и приводит к осушению окрестностей рек за счет дренирования подземного стока. Часто пойменные сообщества представлены фрагментарно. Они находятся в географической изоляции друг от друга, что негативно на них влияет. Нет притока свежих особей растений и животных, новых генов. Небольшая популяция животных и растений, оставшаяся в таких условиях, начинает деградировать и вырождаться. Неумеренные рубки и выпас в пойме ведут к почти полному исчезновению таких природных

сообществ во многих местах этого чудесного мира, что усугубляется негативным влиянием последствий изменения климата на реки и их пойму.

Опустынивание и деградация земель. Деградация земель в 20-м веке ускорилась из-за возрастающего общего давления со стороны производства сельскохозяйственных культур и домашнего скота (чрезмерного возделывания, чрезмерного выпаса, конверсии лесов), урбанизации, вырубки лесов и экстремальных погодных явлений, таких как засухи и засоление прибрежных земель, заливаемых волнами. Опустынивание является формой деградации земель, в процессе которой плодородные земли превращаются в пустыни (Шукуров, 2010).

Деградацию земель вызывают многочисленные факторы, включая экстремальные погодные явления, особенно засухи, и деятельность человека, приводящая к загрязнению или деградации качества почв и пригодности земли, что негативно сказывается на производстве пищевых продуктов, средствах к существованию, производстве и предоставлении других продуктов и услуг экосистем.

В Кыргызстане серьезно стоит проблема восстановления пастбищ. По мнению международных экспертов, изучавших после распада Советского Союза состояние пастбищ, в Кыргызстане достаточно было 5 – 10-ти лет для восстановления разрушенных территорий в исходное состояние. Сейчас разрушенные пастбища не используются на протяжении более 20-ти лет, а восстановление так и не произошло. Разрушенные сообщества (матрицы) воспроизводят только себе подобные - разрушенные природные комплексы. Геоботаники такие сообщества называют длительнопроизводными, они достаточно устойчивы в своем копировании самих себя (Изменение климата в Центральной Азии…, 2009).

Ответы на вызовы, связанные с изменением климата, усложняются невысоким уровнем осведомленности о климатических рисках как в государственном управлении, так и среди населения. Поэтому ключевой задачей является формирование понимания обществом серьезности климатических угроз, которые стоят перед страной. Кыргызской Республикой уже предприняты ряд шагов в этом направлении: проведен анализ ситуации в сфере обучения изменению климата, разработаны стратегические приоритеты обучения изменения климату, реализовано ряд пилотных проектов.

Вместе с тем, необходимы комплексные меры повышения потенциала и осведомленности для всех секторов общества. Существенной особенностью климатической политики является ее межсекторальный характер, требующий высокого уровня координации всех заинтересованных сторон – государственных органов, партнеров по развитию, частного и неправительственного секторов, как между собой, так и внутри себя.

КР предприняла определенные шаги в направлении разработки национальных и секторальных стратегий по изменению климата. Однако существует потребность в

обеспечении согласованности многочисленных стратегий, планов и возможностей финансирования, существующих в настоящее время в КР. Одной из возможных инициатив в рамках климатической политики были названы «зеленые» проекты, а также продвижение зеленых технологий, которые требуют формирования благоприятной среды для их использования, что на первоначальном этапе потребует значительного субсидирования для достаточной их финансовой привлекательности. Вышеприведенные меры представляет собой видение и планы КР на долгосрочную перспективу и позволит консолидировать разрозненную политику в области изменения климата, а также будет служить ориентиром для ее реализации.

Список литературы

Второе Национальное сообщение КР по рамочной Конвенции ООН об изменении климата. – Бишкек, 2009.

Изменение глобальной температуры по палеоклиматическим данным (Информационные материалы. ЮНЕП/ОИК, Женева, 1997).

Изменение климата в Центральной Азии в картах и диаграммах по официальной информации стран, представленной в Национальных сообщениях Рамочной конвенции ООН об изменении климата, материалов научных публикаций и информационных сообщений. France, – 2009.

Шукуров Э.Дж., Домашов И. Презентация «Биотическое управление и климат», Бишкек, 2010.

ВЛИЯНИЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА НА ЗООПЛАНКТОН КАМСКОГО И ВОТКИНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩ

INFLUENCE OF CLIMATE WARMING ON ZOOPLANKTON OF THE KAMA AND VOTKINSK RESERVOIRS

Целищева Е.М.

Tselishcheva E.M.

Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»)
Россия, 614000, Пермь, Екатерининская, 32; *tselishcheva@perm.vniro.ru*

Аннотация. В последнее десятилетие в Камском и Воткинском водохранилищах, в связи с потеплением климата, выявлено увеличение биомассы зоопланктона, за счет роста количества ракообразных. Уровень биомассы в 2014–2023 гг. оказался в 2,5–3,0 раза выше отмеченного в 1950–1960-х гг. Обнаружена тенденция к изменению видового состава доминантов: с начала 70-х годов *Daphnia galeata* стала основным компонентом летнего зоопланктона (9% численности и 60% биомассы), с 2010 г. увеличилась численность (24-30%) термофильного рачка *Thermocyclops crassus*, который сменил в доминантном комплексе *T. oithonoides*.
Ключевые слова: зоопланктон, р. Кама, инвазивные виды.

Abstract. In the last decade, the Kama and Votkinsk reservoirs have experienced an increase in zooplankton biomass due to rising temperatures associated with climate change, particularly attributed to the growth in crustacean populations. The biomass levels from 2014 to 2023 were found to be 2.5 to 3.0 times higher than those recorded in the 1950s and 1960s. A trend towards changes in the species composition of dominant organisms has been observed: since the early 1970s, *Daphnia galeata* has become the primary component of summer zooplankton (accounting for 9% of abundance and 60% of biomass). Since 2010, there has been an increase in the population (24-30%) of the thermophilic copepod *Thermocyclops crassus*, which has replaced *T. oithonoides* in the dominant complex.
Keywords: zooplankton, Kama River, invasive species.

С 1960-х годов в северном полушарии отмечают повышение температуры (Т) воздуха и воды водоемов. Скорость роста осредненной по России среднегодовой температуры (линейный тренд) составила +0,50°С/10 лет (вклад в общую изменчивость 60%). Наиболее быстрый рост наблюдается для весенних температур (0,63°С/10 лет), но на фоне межгодовых колебаний тренд больше всего выделяется летом (0,41°С/10 лет: описывает 71% суммарной дисперсии). Сходные тенденции отмечаются и для Приволжского Федерального округа, в который входит Пермский край, где скорость роста осредненной среднегодовой температуры (линейный тренд) составила +0,49°С/10 лет (вклад в общую изменчивость 47%). Наиболее быстрый рост наблюдается для осенних температур (0,56°С/10 лет), для весны (0,48°С/10 лет) и лета (0,43°С/10 лет) отмечены похожие тенденции (Доклад…, 2025).

Исследования видового состава и структуры сообществ зоопланктона Камских водохранилищ особенно актуальны в связи с тем, что на фоне потепления климата наблюдается появление чужеродных инвазийных видов и продвижение их на север по водным объектам Волжского бассейна (Лазарева, 2019). Помимо биоинвазий в планктофауне отмечаются смена доминантных видов, увеличение доли ветвистоусых и веслоногих ракообразных, увеличение продуктивности сообщества, которые вызваны трансформацией экосистем так же на фоне потепления климата (Лазарева и др., 2018; Adrian et al., 2006).

Камское водохранилище – это первая ступень каскада водохранилищ на р. Каме. Это сравнительно узкий, на большем своем протяжении, вытянутый с севера на юг, водоем. В целом для него характерно чередование расширений и сравнительно узких участков, что в значительной мере осложняет его конфигурацию (Двинских, 2004). Воткинское водохранилище образовано в камской долине и представляет собой узкий, вытянутый по руслу Камы водоем со значительной извилистостью, особенно в центральной и верхней частях. Долина р. Кама от г. Перми до г. Чайковский ориентирована с северо-востока на юго-запад. Воткинское водохранилище – типичное русловое водохранилище (Двинских, Мацкевич, 2007).

Материал для данной работы собирали в ходе комплексных экспедиций Пермского филиала «Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии» (ПермНИРО) на Камском и Воткинском водохранилищах, в конце июля – начале августа 2014-2023 гг. Пробы отбирали в пелагиали (глубина более 5 м) и в прибрежье (глубина 1–3 м), по стандартной схеме створов ПермНИРО – 20 разрезов, в трех районах обоих водохранилищ: 11 разрезов в Камском и 9 – в Воткинском. На каждом створе было три станции, одна на русловом участке и две на мелководьях у правого и левого берегов. Но, сетка станций варьировала год от года. Экспедиции на Камском водохранилище не всегда проводили ежегодно, в 2020 и 2022 сборы не проводились.

Зоопланктон учитывали в тотальных пробах, которые отбирали малой сетью Джеди, облавливали весь столб воды от дна до поверхности водоема. Пробы фиксировали 40% формалином до конечной концентрации в пробе 4% и просматривали в лаборатории под микроскопами ЛОМО МСП-2, БИОЛАМ 70 (ЛОМО-Микросистемы, г. Санкт-Петербург) и ЛабоМед-3 вариант 1 (Labor-Microscopes, г. Санкт-Петербург). Обработка материала проводилась в соответствии с общепринятым в практике гидробиологических исследований счетно-весовым методом (Методические ..., 1984).

Среднемноголетняя температура поверхности воды Камского и Воткинского водохранилищ в исследованный период (июль-август 2014-2023 гг.) изменялась в пределах 20,3–20,6°С. Минимальные значения зарегистрированы в 2015 г.: 11°С в Камском водохранилище и 14°С в Воткинском. Наибольший прогрев воды (до 29,5°С) отмечали в аномально жарком 2016 г.

С началом 70-х годов происходило возрастание количественных показателей зоопланктона Камского и Воткинского водохранилищ. Увеличение биомассы наблюдалось по всем группам зоопланктона, но преимущественно развитие получали ветвистоусые ракообразные. Основу планктонной фауны Камского водохранилища в 70е годы составляли мирные зоопланктеры с фильтрационным типом питания (преимущественно виды родов

Daphnia и *Bosmina*) и ювенильные стадии веслоногих рачков, хищные формы были немногочисленны.

По нашим наблюдениям в 2014–2023 гг. увеличилось количество лет с высокими показателями обилия (рисунки 70, 71). По сравнению с данными 2002–2007 гг. (Селеткова, 2015), в Камском водохранилище наблюдается увеличение биомассы зоопланктона в 2–3 раза, особенно ярко эти изменения прослеживаются в центральном и приплотинном районах. Из анализа архивных данных ПермНИРО следует, что в Воткинском водохранилище с 2011 г. количество зоопланктона возросло в 1,5–2 раза.

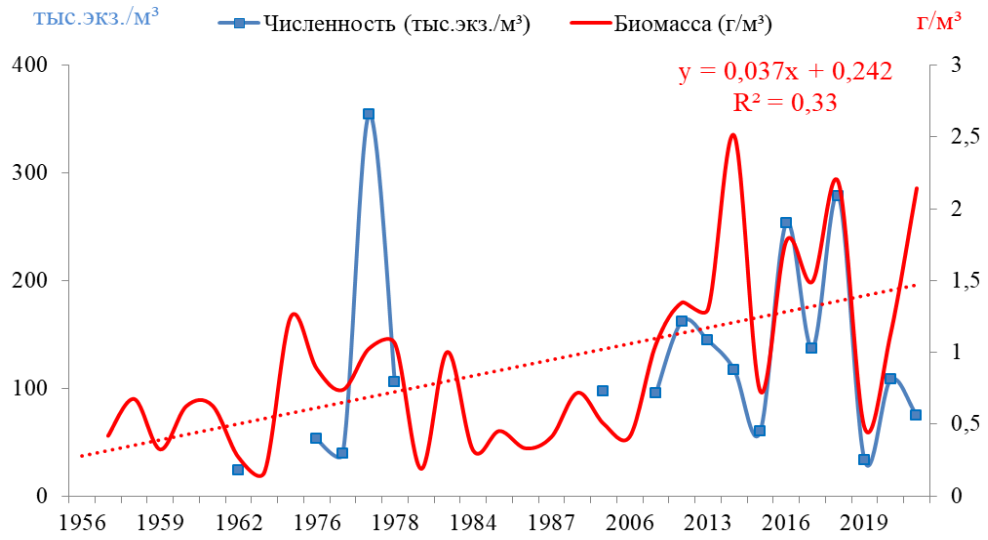


Рисунок 70. Многолетние изменения численности и биомассы Камского водохранилища
Примечание. Здесь и на рисунке 71 линейное уравнение и R^2 даны для биомассы

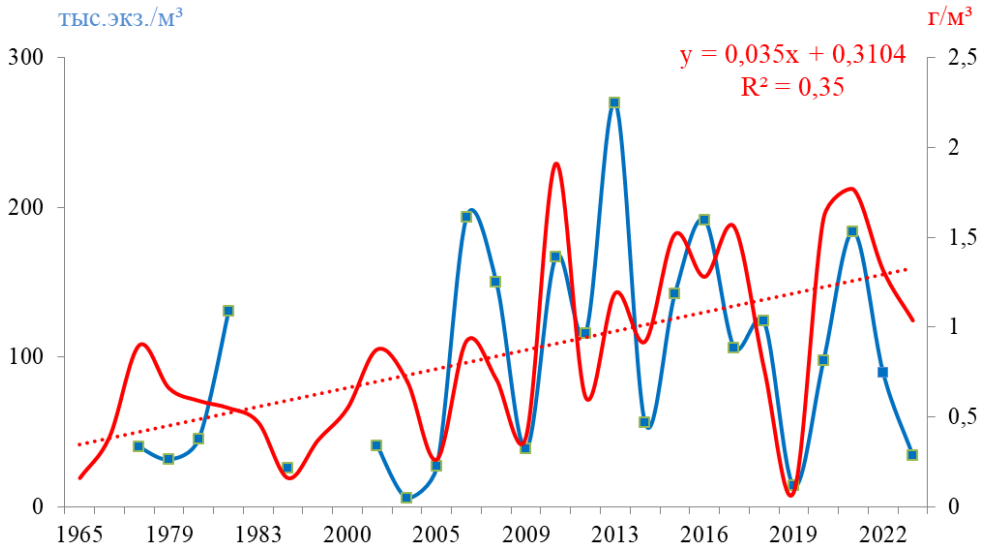


Рисунок 71. Многолетние изменения численности и биомассы Воткинского водохранилища

Это подтверждает рассчитанный коэффициент корреляции Спирмена. Коэффициенты корреляции между годом наблюдений (1988–2023 гг.) и биомассой статистически значимы: для Камского водохранилища r = 0,44, p <0,05, для Воткинского r = 0,59, p <0,05.

В начале 70-х годов прослеживается рост доли ветвистоусых ракообразных в зоопланктоне исследуемых водохранилищ, в отдельные годы доля *Daphnia* gr. *longispina* Müller, 1776 составляла до 80% биомассы зоопланктона (Кортунова, 1983). В 2002-2007 гг. в Камском водохранилище на долю кладоцер приходилось 66% биомассы зоопланктона, почти половину формировала *D.* gr. *longispina* (Селеткова, 2015). В современный период крупная *D. galeata* Sars, 1864 стала основным компонентом летнего зоопланктона, в отдельные годы может формировать до 90% биомассы.

Морфометрические особенности Камского водохранилища – обширное озеровидное расширение и большое количество мелководий, вероятно, способствуют более интенсивному росту биомассы сообщества. Кроме того, причиной подъема биомассы зоопланктона может быть увеличение среднегодовой температуры воздуха и, как следствие, воды водохранилищ. Так, в Пермском крае за последние 40 лет температура воздуха возросла на ~1,5°C (Шкляев, Шкляева, 2011).

В зоопланктоне исследованных водохранилищ зарегистрированы 9–10 видов-вселенцев, впервые обнаруженных в основном в 2010-х гг. Большинство из них представлены южными теплолюбивыми видами. Три из них (кладоцера *Cercopagis pengoi* (Ostroumov, 1892), копеподы *Heterocope caspia* Sars, 1897 и *Eurytemora caspica* Sukhikh et Alekseev, 2013) – солоноватоводные понто-каспийские формы. Из 10 вселенцев обычными для обоих водохранилищ (встречаются ежегодно в >30% проб) стали 4 вида: кладоцера *Diaphanosoma orghidani* Negrea, 1982 и копеподы: *Thermocyclops crassus* (Fisher, 1853), *E. caspica* и *H. caspia*.

С основания Камского и Воткинского водохранилищ из отряда Cyclopoida как доминант регулярно отмечался *Mesocyclops leuckarti* (Claus, 1857) (Кортунова, 1983; Селеткова, 2015), помимо него периодически отмечался *Thermocyclops oithonoides* (Sars, 1863). К настоящему времени наравне с *M. leuckarti* в доминантном комплексе регулярно присутствует *T. crassus*. Если, вначале 2000х на его долю по водохранилищу приходилось не более 1% биомассы (по архивным данным ПермНИРО), то в 2014–2023 гг. в Камском водохранилище вклад *T. crassus* увеличился до 24–30% численности ракообразных и до 20% биомассы зоопланктона.

Cercopagis pengoi найденный впервые в 2016 г. в приплотинном районе Камского водохранилища и верхней части Воткинского, к 2023 г. распространился по всему Воткинскому водохранилищу, в Камском водохранилище этот вид добрался до центрального района.

Таким образом, в связи с тенденцией потепления климата в Камском и Воткинском водохранилищах выявлен рост летней биомассы зоопланктона, особенно интенсивно в последнее десятилетие, и интенсификация вселения новых теплолюбивых видов, успешно натурализующихся в изученных водоемах.

Список литературы

Двинских С.А. Географическое положение // Актуальные вопросы гидрологии и гидрохимии Камского водохранилища. – Пермь: Перм. гос. ун-т, 2004. – С. 29–30.

Двинских С.А., Мацкевич И.К. Характеристика объекта исследования // Комплексные исследования Воткинского водохранилища и оценка его влияния на природу / Под ред. С.А. Двинских и А.Б. Китаева; Перм.ун-т. – Пермь, 2007. – С. 8–30.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 г. – М: Росгидромет, 2025 г. – 135 с.

Кортунова Т.А. Зоопланктон Камского водохранилища и его продукция // Комплексные исследования рек и водохранилищ Урала. – Пермь: Пермский гос. ун-т, 1983. – С. 68–74.

Лазарева В.И. Расселение чужеродных Понто-каспийских видов зоопланктона в водохранилищах Волги и Камы. Российский Журнал Биологических Инвазий. – 2019. – № 3. – С. 29–52.

Лазарева В. И., Сабитова Р. З., Быкова С. В., Жданова С. М., Соколова Е. А. Распределение летнего зоопланктона в каскаде водохранилищ Волги и Камы // Труды ИБВВ РАН. – 2018. – Вып. 83 (86). – С. 62–84.

Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах: Зоопланктон и его продукция. – Л., 1984. – 33 с.

Селеткова Е.Б. Зоопланктон Камского водохранилища. – Биоценозы рек и водохранилищ Западного Урала. Сборник научных трудов. / Санкт-Петербург, 2015. – С. 136–151.

Шкляев В.А., Шкляева Л.С. Пространственный анализ вековых изменений температуры воздуха на Урале // Глубинное строение, геодинамика, тепловое поле Земли, интерпретация геофизических полей / Институт геофизики УрО РАН, Российский фонд фундаментальных исследований, Уральское отделение Евро-Азиатского геофизического общества. – Екатеринбург: УрО РАН, 2011. – С. 409.

Adrian R., Wilhelm S., Gerten D. 2006. Life-history traits of lake plankton species may govern their phenological response to climate warming // Global Change Biology. – 2006. – Vol. 12. – P. 1652.

СОВРЕМЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК, ВЛИЯЮЩИХ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ АВТОМАГИСТРАЛЕЙ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

CURRENT CHANGES IN METEOROLOGICAL CHARACTERISTICS AFFECTING THE OPERATION OF HIGHWAYS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

Черенкова Е.А. [1,2], Семенов В.А. [1,2], Чернокульский А.В. [1,2]

Cherenkova E.A. [1,2], Semenov V.A. [1,2], Chernokulsky A.V. [1,2]

[1] ФГБУН Институт географии Российской Академии наук
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29; *cherenkova@igras.ru*
[2] ФГБУН Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова Российской Академии наук
Россия, 109017, Москва, Андреевский пер., 3

Аннотация. По данным реанализа высокого пространственного разрешения ERA5-Land исследованы метеорологические факторы риска для наиболее крупных автомагистралей в Европейской части России (ЕЧР) в холодный период года за последние четыре десятилетия. В результате сравнения повторяемости сильных снегопадов, переходов температуры воздуха через ноль градусов и метеорологических условий, характерных для гололедных явлений, в периоды 1980-1999 гг. и 2004-2023 гг. были выявлены участки автодорог с повышенным влиянием этих неблагоприятных метеорологических факторов. Обнаружено, что наблюдавшееся на некоторых участках автодорог значимое увеличение числа дней с переходами температуры воздуха через 0°C, не превысило 16%. Наибольшее сокращение числа дней с сильными снегопадами, не превысившее 12%, наблюдалось на М-4, М-12 и М-11. Увеличение повторяемости дней с гололедными явлениями отмечалось на всех автодорогах кроме М-4. Наименьшее совокупное воздействие рассмотренных метеорологических факторов риска проявилось на участках М-4 на Северном Кавказе.

Ключевые слова: изменение климата, климатический риск, снегопады, переходы температуры воздуха через ноль градусов, мокрый снег, гололед, автомобильный транспорт, Европейская часть России.

Abstract. Based on the ERA5-Land high spatial resolution reanalysis data, meteorological risk factors for the largest highways in European Russia (ER) during the cold season over the past four decades were studied. By comparing the frequency of heavy snowfalls, air temperature transitions through zero degrees, and meteorological conditions typical of icy phenomena in the periods of 1980-1999 and 2004-2023, road sections with an increased influence of these unfavorable meteorological factors were identified. It was found that a significant increase in the number of days with air temperature transitions through 0°C, observed on some road sections, did not exceed 16%. The greatest decrease in the number of days with heavy snowfalls, which did not exceed 12%, was observed on the M-4, M-12, and M-11. An increase in the frequency of days with icy phenomena was noted on all roads except the M-4. The lowest combined impact of the meteorological risk factors considered was observed in the M-4 sections of the North Caucasus.

Keywords: climate change, climate risk, snowfalls, air temperature transitions through 0°C, wet snow, glaze ice, road transport, European Russia.

Рост числа опасных погодных явлений в условиях глобального потепления оказывает все более серьезное воздействие на экономику и повседневную жизнь в различных регионах России (Второй, 2014). За последние десятилетия наблюдаются значительные сдвиги в климатических нормах, а также в частоте и интенсивности экстремальных погодных событий, обусловленных экстремальными климатическими режимами (Мохов, Семенов, 2016; Титкова и др., 2018; Zolotokrylin, Cherenkova, 2017). Эти изменения имеют прямое влияние на различные отрасли российской экономики, включая транспорт, где погодные факторы существенно сказываются на состоянии дорожной инфраструктуры, эффективности работы дорожных служб и безопасности движения.

Погодные риски для дорожного хозяйства включают увеличение расходов на уборку снега из-за более частых снегопадов и образование наледи, создающей опасность на дорогах. Циклы замерзания и оттаивания, а также сильные морозы вызывают деформацию и ускоренное разрушение дорожного покрытия. Кроме того, порывы ветра могут приводить к образованию снежных заносов, а сильные осадки и туманы, ухудшая видимость, повышают риск дорожно-транспортных происшествий. В данной работе рассматривается, как за последние сорок лет изменилась частота метеорологических явлений, способных оказывать негативное влияние на эксплуатацию дорожной сети (обильные снегопады, гололед, переходы температуры через ноль градусов), в холодный период года на ключевых автомагистралях (М1, М4, М11 и М12) в густонаселенных районах ЕЧР. По часовым данным глобального реанализа ERA5-Land пространственного разрешения 0.1° x 0.1° (Muñoz, 2024) для холодного периода с ноября по март в период 1980-2023 гг. были рассчитаны число дней с суммами осадков интенсивностью более 5 мм/сутки при отрицательных температурах (индекс SP5mm); с внутрисуточными переходами температуры воздуха через 0°C (индекс DZC, «days zero crossing»); а также с температурой воздуха в интервале от -3°C до +1°C в момент выпадения осадков интенсивностью не менее 0.1 мм/час (индекс IR, «icy roads»), т.е. метеоусловий, которые характерны для образования гололеда и мокрого снега.

По результатам предварительного сравнения воспроизведения перечисленных метеорологических характеристик в реанализе ERA5-Land по сравнению с данными наблюдений на метеостанциях, было обнаружено, что наибольшие искажения отмечаются для характеристик, связанных с атмосферными осадками (рис. 72а-г). Наибольшее завышение (на некоторых участках дорог более чем в 3 раза), выявленное для сильных снегопадов, связано не только с погрешностями осадков в реанализе, но и искажениями в воспроизведении определенных температурных режимов (пример для двух городов ЕЧР приведен на рис. 72в-г).

Рисунок 72. Воспроизведение числа дней с экстремальными осадками (а, б), а также числа дней с осадками более 5 мм/сутки при отрицательных температурах (в, г) по данным реанализа ERA5-Land (показаны красным цветом) по сравнению с данными наблюдений на метеостанциях (показаны черным цветом)

Рост температуры зимой в ЕЧР, особенно на ее северо-западе, в сочетании с увеличением количества осадков, привёл к изменениям погодных условий на трассе М1. На большей части магистрали в холодный период стало наблюдаться меньше сильных снегопадов (рис. 73а), а число дней с температурой около нуля возросло (рис. 73в). В среднем за 20-летний период на М1 наблюдалось около восьми дней в году с сильными осадками, причём

наибольшее их число (до 9 дней/год) зафиксировано в Смоленской области в 2004-2023 гг. Количество дней с переходами температуры через ноль увеличивалось по мере движения от Москвы в сторону Беларуси, достигая 46-52 дней в год (рис. 73в). При сравнении периодов 1980-1999 гг. и 2004-2023 гг., обнаружено, что частота сильных снегопадов в холодный период года незначительно увеличилась (на 1 день в год) после 280-го километра от Москвы (рис. 73а). При этом число дней с температурой около нуля почти равномерно возросло (на 5-9 дней) по всей длине трассы (рис. 73в). Также было отмечено, что на протяжении 250 км от Москвы в сторону Смоленской области число дней с гололедицей возросло на 1-2 дня в год в более поздний период, а далее по трассе наблюдалось аналогичное снижение (рис. 73д). Незначительность этих изменений объясняется высокой изменчивостью погодных условий из года в год.

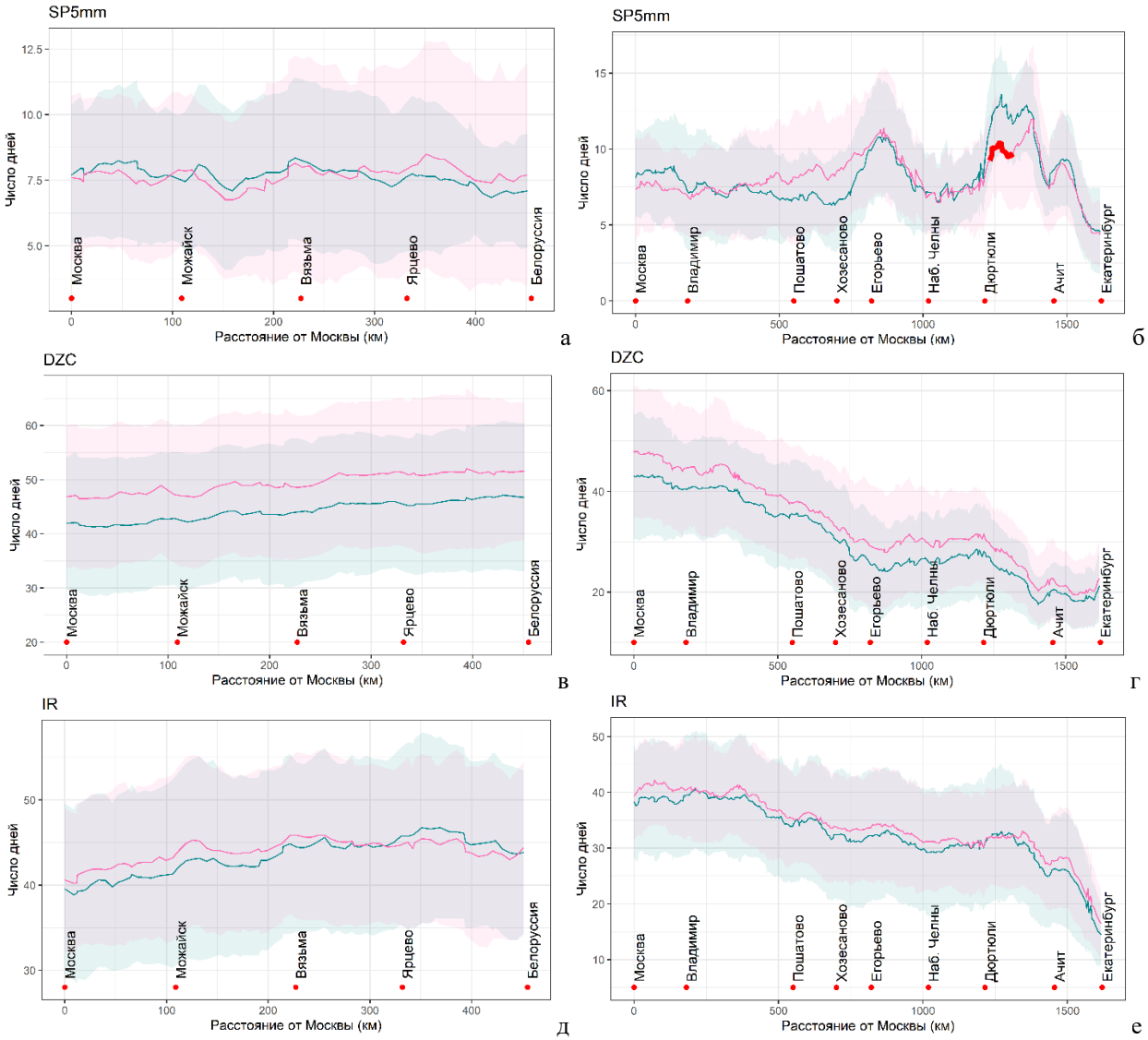


Рисунок 73. Изменчивость значений индекса SP5mm (дни/год) (а, б), индекса DZC (дни/год) (в, г) и индекса IR (дни/год) (д, е) на магистралях М1 (а, в, д) и М12 (б, г, е), средних за холодный сезон в периоды 1980-1999 гг. (голубая линия) и 2004-2023 гг. (красная линия). Коридоры стандартного отклонения на показаны светло-голубым и розовым цветом для соответствующих периодов, серым цветом отображена область их пересечения. Участки дорог со значимыми изменениями в период 2004-2023 гг. по сравнению с 1980-1999 гг. выделены полужирной линией красного цвета

Исследование показало, что наиболее высокие значения индекса SP5mm на трассе М12 в период с ноября по март зафиксированы на территории республик Татарстан и Башкортостан (соответственно 11 и 12-13 дней в год) (рис. 74б). Несмотря на уменьшение данного показателя за последние двадцать лет на участке с максимальной повторяемостью сильных снегопадов (Башкирия) на 3-4 дня/год, среднегодовое значение SP5mm сохраняется на уровне 12 дней. Усиление континентальности климата при движении с запада на восток, сопровождающееся снижением зимних температур, приводит к уменьшению индекса DZC (с 43–48 до 20 дней/год) и IR (с 40 до 15 дней/год) вдоль маршрута от Москвы до Екатеринбурга (рис. 74г). При этом за последние два десятилетия отмечен рост DZC примерно на 6 дней/год по всей протяженности магистрали по сравнению с базовым периодом. Сходные, но менее выраженные изменения зафиксированы и для IR (рис. 74е). Однако изменения рассмотренных индексов статистически незначимы практически вдоль всей М12 за исключением значимых изменений повторяемости сильных снегопадов на небольшом участке дороги возле Дюртюли (рис. 74б).

В холодный сезон вдоль меридионально ориентированной трассы М4 с севера на юг наблюдается уменьшение SP5mm и IR (рис. 74а, 74д) и увеличение DZC вплоть до Приазовья (рис. 74в). За последние двадцать лет наиболее частые интенсивные снегопады фиксировались в Воронежской и южной части Тульской области (рис. 74а). Максимальные значения DZC (63 дня/год) на М4 отмечаются на расстоянии 1000 км от Москвы (Ростовская область) (рис. 74в). Кроме того, в пределах 750 км трассы от Москвы зафиксирован высокий уровень повторяемости IR (до 40 дней/год, рис. 74д). Наибольшая изменчивость всех показателей наблюдается в предгорьях и горных районах Северного Кавказа (рис. 74а, 74в, 74д), что обусловлено значительными колебаниями интенсивности снегопадов, температурных переходов через 0 °С и погодных условий, способствующих образованию мокрого снега и гололеда в условиях сложной орографии. Особый интерес представляет рост DZC (на 8–10 дней/год) на протяжении более 400 км М4 в пределах Воронежской и Ростовской областей в период 2004–2023 гг. по сравнению с базовым двадцатилетием (рис. 74в). Одновременно выявлено статистически значимое снижение SP5mm, IR и DZC на сегментах трассы, расположенных в предгорьях и горах Кавказа (рис. 74а, 74в, 74д).

На магистрали М11 наиболее выраженное снижение SP5mm (на 2 дня/год) за последние два десятилетия отмечается в Новгородской и Ленинградской областях (рис. 74б). Тем не менее высокая повторяемость значений сохраняется на участках Московской (около 7 дней/год) и Тверской областей (8 дней/год). Потепление на северо-западе России привело к росту неустойчивости температурного режима, связанного с фазовыми переходами воды, вдоль всей трассы М11 (рис. 74г). В Ленинградской области фиксируются максимальные показатели DZC: до 50 дней/год в ноябре–марте за последние 20 лет. Кроме того, по данным рис. 74е, наиболее

высокая повторяемость IR (50 дней/год) отмечена в Новгородской области. При этом изменения IR на большей части трассы М11 за последние два десятилетия по сравнению с базовым периодом оказались статистически незначимыми.

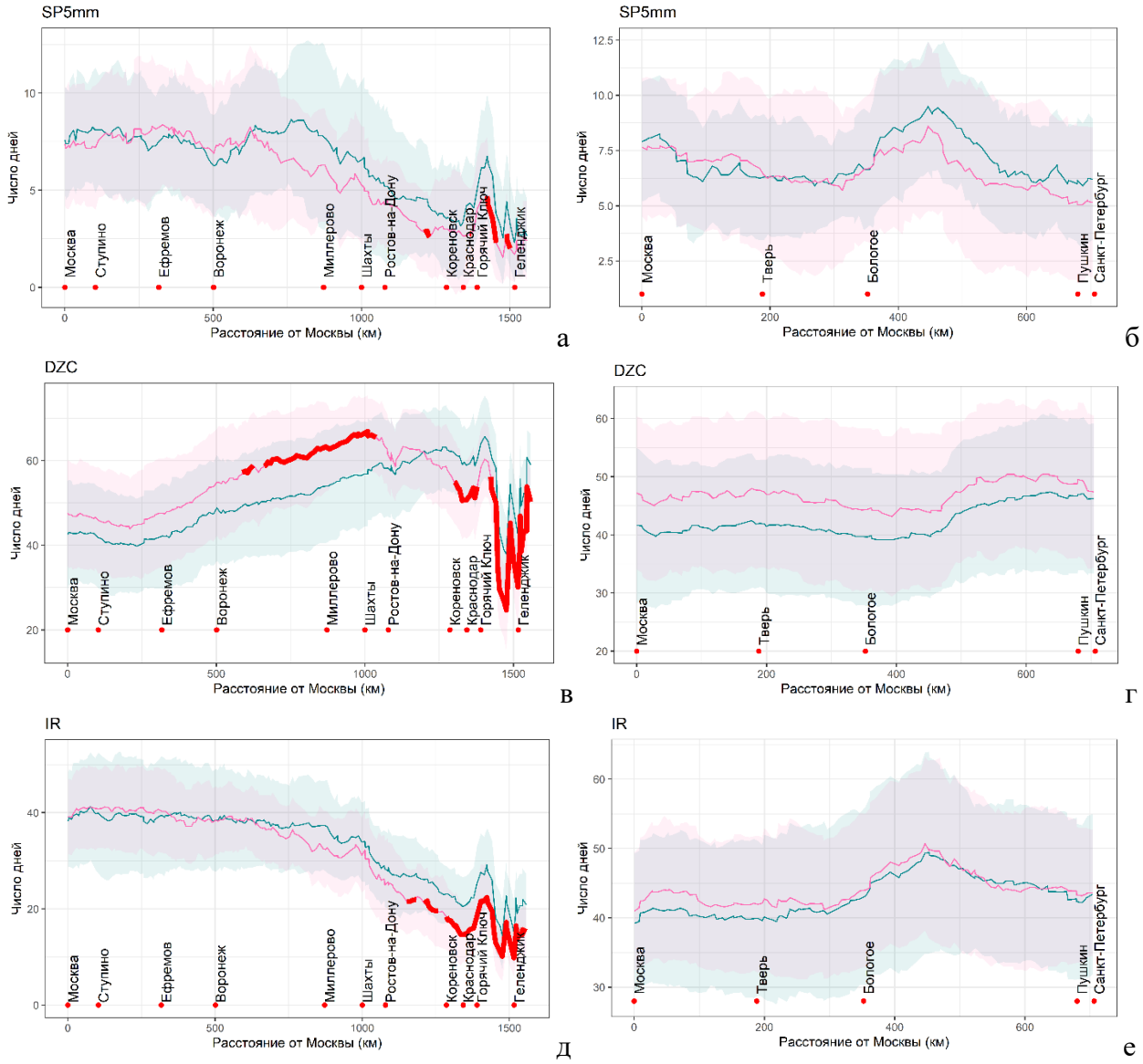


Рисунок 74. То же, что на рисунке 73, но для магистралей М4 (а, в, д) и М11 (б, г, е)

Результаты исследования могут быть использованы как для повышения безопасности функционирования автомобильного транспорта в условиях меняющегося климата, так и для подготовки мер адаптации транспортной отрасли к последствиям изменения климата.

Обработка данных и исследование изменений климатических показателей, влияющих на функционирование автодорог, были выполнены в рамках работ по государственному заданию Института географии АААА-А19-1021051403088-5 (FMWS-2024-0001). Участки автомагистралей, наиболее существенно подверженные изменениям климата, выявлены в рамках Госзадания 103-00001-25-02 (от 20.03.2025).

Список литературы

Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – М.: Росгидромет, 2014. – 1009 с.

Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах и их связь с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. – 2016. – № 2. – С. 16–28.

Титкова Т.Б., Черенкова Е.А., Семенов В.А. Региональные особенности изменения зимних экстремальных температур и осадков на территории России в 1970-2015 г. // Лёд и снег. – 2018. – Т. 58. – № 4. – С. 486–497. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-486-497

Muñoz Sabater J. ERA5-Land hourly data from 1950 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). – 2019. DOI: 10.24381/cds.e2161bac

Zolotokrylin A.N., Cherenkova E.A. Seasonal changes in precipitation extremes in Russia for the last several decades and their impact on vital activities of the human population // Geography, Environment, Sustainability. – 2017. – V. 10. – № 4. – P. 69–82. https://doi.org/10.24057/2071-9388-2017-10-4-69-82

СЕКЦИЯ

«МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ДЛЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ СИСТЕМ»

РАСЧЕТНЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ АРЕАЛЫ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ ОПАСНЫХ ПЕРЕНОСЧИКОВ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЧЕЛОВЕКА: АЗИАТСКОГО ТИГРОВОГО КОМАРА И ТАЕЖНОГО КЛЕЩА

ESTIMATED CLIMATIC RANGES IN RUSSIA OF DANGEROUS HUMAN DISEASE VECTORS: THE ASIAN TIGER MOSQUITO AND THE TAIGA TICK

Богданович А.Ю.

Bogdanovich A.Yu.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *bogda-anton@yandex.ru*

Аннотация. Представлены примеры расчета климатической области распространения (КОР) с помощью системы RANGES. В основе метода – байесовский подход с ежегодным анализом числа «благоприятных» лет и вычислением оценки вероятности точки пространства принадлежать КОР явления. В работе смоделированы климатические ареалы для Азиатского тигрового комара (*Aedes albopictus*) и таёжного клеща (*Ixodes persulcatus*) по данным региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) за периоды 1990–1999, 2030–2039 и 2050–2059 гг. (использовался сценарий RCP8.5; 50 реализаций). В качестве климатических предикторов использованы годовые суммы осадков, сумма активных температур, а также средние январские температуры. Результаты показывают значительное увеличение зон высокого риска для Азиатского тигрового комара и значительное смещение ареала таёжного клеща на север и восток. Полученные данные важны для планирования мониторинга и профилактики векторов заболеваний в условиях климатических изменений.

Ключевые слова: климатические предикторы, Азиатский тигровый комар, таёжный клещ, климатический ареал, климатические изменения, система RANGES.

Abstract. Examples of calculating the Climatic area of distribution (CAD) using RANGES system are presented. The method is based on a Bayesian approach with an annual analysis of the number of “favorable” years and the computation of a probability estimate for each spatial point’s membership in a phenomenon’s CAD. Climatic ranges were modeled for the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*) and the taiga tick (*Ixodes persulcatus*) using data from the regional climate model of Voeikov Main Geophysical Observatory (MGO) for the periods 1990–1999, 2030–2039, and 2050–2059 (RCP8.5 scenario; 50 realizations). Annual precipitation totals, sums of active temperatures, and mean January temperatures served as climatic predictors. The results indicate a substantial expansion of high-risk zones for the Asian tiger mosquito and a pronounced northward and eastward shift of the taiga tick’s range. These findings are critical for planning vector monitoring and disease prevention measures in the context of ongoing climate change.

Keywords: climatic predictors, Asian tiger mosquito, taiga tick, climatic range, climate changes, RANGES system.

Система RANGES (Богданович, 2025) представляет собой программный комплекс для расчета климатической области распространения (КОР) природных явлений, включая климатические ареалы биологических видов. Под КОР понимается географическая зона, в которой сочетание климатических параметров обеспечивает устойчивые условия существования при благоприятном сочетании остальных факторов среды. Для количественного описания климатических условий применяются специализированные индексы и гидрометеорологические величины – климатические предикторы. Границы КОР формируются на основе требований к значениям климатических предикторов, заданных экспертным путём или эмпирически оцененных на основе фактического ареала.

В основе системы RANGES – вероятностный статистический байесовский подход, позволяющий оценивать не только наличие благоприятных климатических условий, но и

степень уверенности в их устойчивости (Семенов и др., 2020; Добролюбов и др., 2023). Вместо усреднённых многолетних показателей каждый год анализируется отдельно: для заданной точки определяется число «благоприятных» лет k из общего числа N лет наблюдений или модельных реализаций. При отсутствии информации о пороговых значениях доли благоприятных лет p_0 принимается равным 0.5. Вероятность того, что доля благоприятных лет p превосходит p_0, вычисляется через неполную бета-функцию Эйлера, а рассчитываемая доверительная вероятность классифицируется в соответствии с рекомендациями МГЭИК: «маловероятно», «средневероятно», «вероятно», «весьма вероятно» и «практически достоверно» (Mastrandrea et al., 2010).

Программная реализация системы RANGES написана на языке программирования Fortran. Система может работать с различными источниками климатических данных: наблюдения, реанализы и данные климатических моделей. Набор поддерживаемых предикторов в настоящий момент включает температурные показатели (средние и экстремальные месячные и суточные значения, суммы активных (САТ), пассивных (СПТ) и эффективных (СЭТ) температур), осадки, число суток с температурой/осадками выше пороговых значений и гидротермический коэффициент Селянинова. В системе есть возможность расширять список индексов, позволяющих более гибко адаптировать расчёты под разные виды.

Также разработан интерфейс RANGES для интуитивного выбора наборов предикторов и их пороговых значений. Пользователь задаёт параметры модели: интересующий временной период, климатическую модель, климатический сценарий, границы исследуемой области. Для будущих климатических оценок вводятся L реализаций модельных траекторий, что увеличивает общее число $N = I \cdot L$ для статистических выводов (I – количество исследуемых лет). Такая схема учета межгодовых и модельных вариаций позволяет получать более надёжные оценки вероятности принадлежности точки КОР.

В качестве примеров в настоящей работе рассчитаны КОР двух опасных видов насекомых-переносчиков заболеваний человека: Азиатского тигрового комара (*Aedes albopictus*) и таёжного клеща (*Ixodes persulcatus*). При расчетах использовались следующие климатические предикторы, отражающие ключевые климатические требования для жизненного цикла и сезонной активности.

1. Для Азиатского тигрового комара (Ганушкина, Дремова, 2011):
   - годовая сумма осадков > 450 мм;
   - среднемесячная температура января > -1.0°C.
2. Для таёжного клеща (Таежный клещ…, 1985; Попов, 2016; Попов, Попова, 2020):

– годовая САТ > 1340°С (температурный порог для САТ = 10°С);
– годовая сумма осадков > 339 мм;
– среднемесячные значения температуры в январе < -5.0°С.

Для обоих видов использованы данные Климатического центра Росгидромета (КЦР), рассчитанные с помощью региональной климатической модели Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) за периоды 1990–1999 гг., 2030–2039 гг. и 2050–2059 гг. по сценарию RCP8.5. Каждый период представлен 50 траекториями реализаций, что обеспечивает надёжность статистических оценок и учитывает неопределённость будущих климатических изменений.

Для минимизации систематических ошибок модельным полям температуры и осадков были применены поправки на основе массива наблюдений CRU TS v.4.04 (Harris et al., 2020) за базовый период 1990–1999 гг. Такая калибровка позволяет снизить разброс между модельными и фактическими данными по средним месячным значениям температуры и суммам осадков. Подробнее о введенных поправках см. (Богданович и др., 2021).

Результаты расчётов выявили заметное расширение КОР Азиатского тигрового комара на север и северо-восток на Европейской части России к середине XXI века при сценарии RCP8.5: доля точек с высокой доверительной вероятностью значительно возрастает по сравнению с базовым периодом 1990–1999 гг. Для периода 2030–2039 гг. рост распространения оказывается умеренным, однако значимым для южных регионов Европейской части страны. Для Таежного клеща наблюдаются как сдвиги КОР в североширотном направлении, так и расширение на восток на всей территории нашей страны. Доверительные оценки для клеща демонстрируют более высокую устойчивость зон распространения, что связано с более широким климатическим коридором предикторов.

Полученные результаты имеют важное значение для здравоохранения: предварительное знание будущих ареалов позволяет планировать меры мониторинга, профилактики и адаптации в наиболее уязвимых регионах. При этом методология системы RANGES требует дальнейшей проработки в части выбора оптимального набора предикторов для разных видов и оценки их чувствительности к изменениям климата.

Список литературы

Богданович А.Ю. Система RANGES: структура, порядок расчета и пример применения // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. – 2025. – № 1(395). – С. 37-50.

Богданович А.Ю., Павлова В.Н., Ранькова Э.Я., Семенов С.М. Влияние изменений засушливости в Росси в XXI веке на пригодность территорий для возделывания зерновых культур // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2021. – № 1. – С 20-35.

Ганушкина Л.А., Дремова В.П. Комары *Aedes aegypti* и *Aedes albopictus* – переносчики арбовирусных инфекций, биология, экология, распространение, отличительные признаки видов // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. – 2011. – № 4. – С. 24-28.

Добролюбов Н.Ю., Семенов С.М., Володин Е.М., Богданович А.Ю. Алгебраический алгоритм статистической оценки параметра биномиального распределения и пример его применения в одной глобальной геоинформационной задаче прикладной климатологии // Метеорология и гидрология. – 2023. – № 10. – С. 16-24.

Попов И.О. Климатически обусловленные изменения аутэкологических ареалов иксодовых клещей *Ixodes ricinus* и *Ixodes persulcatus* на территории России и стран ближнего зарубежья // Дис. … канд. биол. наук, М., ФГБОУ ВО РГАУ − МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2016. – 112 с.

Попов И.О., Попова Е.Н. Идентификация климатических условий, ограничивающих распространение таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и соседних стран // Доклады Российской академии наук. Науки о Земле. – 2020. – Т. 493. – № 1. – С. 94-97.

Семенов С.М., Попов И.О., Ясюкевич В.В. Статистическая модель для оценки формирования климатогенных угроз по данным мониторинга климата // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 5. – С. 59-65.

Таежный клещ *Ixodes persulcatus* Schulze (*Acarina, Ixodidae*) / Под ред. Н.А. Филипповой. – Морфология, систематика, экология, медицинское значение. – 1985. – Л., Наука. – 416 с.

Harris I., Osborn T.J., Jones P.D., Lister D. Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset // Scientific Data. – 2020. – Vol 7. – P. 109(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. (Core Writing Team). IPCC Fifth Assessment Guidance Note for Lead Authors IPCC Cross-Working Group for Uncertainties. Jasper Ridge, CA, USA 6-7 July 2010. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2010. Available at http://archive.ipcc.ch/pdf/supporting-material/uncertainty-guidance-note.pdf

МОДЕЛИРОВАНИЕ БУДУЩИХ ИЗМЕНЕНИЙ СТОКА ПОЛОВОДЬЯ НА РЕКАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ ДО СЕРЕДИНЫ 21 ВЕКА

MODELING OF FUTURE CHANGES IN SPRING RUNOFF IN EUROPEAN RUSSIA UNTIL THE MIDDLE OF THE 21ST CENTURY

Калугин А.С.

Kalugin A.S.

ФГБУН Институт водных проблем Российской академии наук
Россия, 119333, Москва, Губкина, 3; *kalugin-andrei@mail.ru*

Аннотация. Для расчетов речного стока использованы гидрологические модели рек бассейна Оки, Камы, Дона, Северной Двины, Печоры и Урала на платформе комплекса ECOMAG. Для определения влияния естественной и антропогенной составляющих изменения климата на сток за период весеннего половодья рек Европейской части России в условиях современного и будущего климата использованы данные ансамбля моделей динамики Земной системы CMIP6 с учетом только колебаний климатической системы и с учетом влияния антропогенной деятельности. Такой подход на основе расчетов по моделям формирования речного стока с использованием указанных климатических данных позволяет оценить влияние как естественной изменчивости климата в период развития индустриализации на изменения речного стока, так и выделить антропогенную составляющую изменения климата в полученных гидрологических рядах.

Ключевые слова: моделирование формирования стока, изменения климата, ЕТР.

Abstract. Hydrological models of the rivers of the Oka, Kama, Don, Northern Dvina, Pechora and Ural basins on the platform of the ECOMAG complex were used for river runoff calculations. To determine the influence of natural and anthropogenic components of climate change on the runoff during the spring flooding of the rivers of the European part of Russia under current and future climate conditions, data from the CMIP6 ensemble of Earth system dynamics models were used, considering only climate system fluctuations and the influence of anthropogenic activity. Such an approach based on calculations using the models of river runoff formation with the use of these climatic data allows us to assess the impact of both natural climate variability during the period of industrialization development on changes in river runoff and to identify the anthropogenic component of climate change in the obtained hydrological series.

Keywords: runoff formation modeling, climate changes, European Russia.

Модели формирования стока шести речных бассейнов Оки, Камы, Дона, Северной Двины, Печоры и Урала с суточным шагом позволяют описать по метеорологическим станционным данным пространственное распределение по территории водосборов процессов формирования снежного покрова и снеготаяния, промерзания и оттаивания почвы, вертикального тепло- и влагопереноса в мерзлой и незамерзшей почве, эвапотранспирации, поверхностного и подповерхностного движения воды по водосбору, грунтового стока, движения воды в речной системе (Калугин, 2023; Kalugin et al., 2024). Гидрологические модели на платформе комплекса ECOMAG откалиброваны по данным о расходах воды за многолетний период в разных створах речной сети.

Для проведения расчетов гидрологических последствий изменений климата модели были адаптированы для задания в качестве граничных условий временных рядов среднесуточных величин температуры и относительной влажности воздуха, осадков, рассчитанных по ансамблю моделей Земной системы CMIP6. Для выявления климатообусловленных изменений речного стока расчеты по данным климатических моделей выполнены в естественных условиях формирования стока.

Для бассейнов Оки, Камы, Дона, Северной Двины, Печоры и Урала оценены аномалии гидрометеорологических характеристик в течение климатического периода 21 века 2021-2050 гг. относительно величин, определенных для исторического базового периода 1985-2014 гг. по данным ансамбля CMIP6. Расчеты проведены по данным каждой из моделей Земной системы, после чего проведено усреднение по ансамблю для SSP-сценариев SSP245 и SSP585. Затем проекции среднесуточных метеорологических величин по данным каждой модели Земной системы при определенном SSP-сценарии на 21 век заданы в качестве входных данных в модели формирования стока рек, с помощью которых рассчитаны характеристики стока.

Для периода 2021-2050 гг. разница в изменениях показателей весеннего половодья между SSP-сценариями SSP245 и SSP585 не велика. По сценарию SSP585 потепление более интенсивное, что отражается на уменьшении глубины промерзания почвы и запасов воды в снежном покрове, а также сдвиге половодья на более ранние сроки в зависимости от речного бассейна. В силу того, что реализация сценария SSP245 рассматривается IPCC как более вероятная для различных регионов Земного шара, то при анализе изменчивости показателей весеннего половодья на реках Европейской части России акцент сделан на этом сценарии.

Согласно результатам моделирования в 2021-2050 гг. дата начала весеннего половодья сдвигается на 3-7 суток раньше, а дата окончания половодья – на 5-11 суток раньше. Это приводит к сокращению продолжительности периода половодья на 2-5 дней. Причем наибольшие значения соответствуют бассейнам Камы, Оки и Северной Двины. Объем стока половодья снижается больше всего на Дону и Оке на 12-14%, на Каме и Северной Двине 7-10% при почти неизменной величине для Печоры и небольшой отрицательной тенденции на р. Урал. Снижение среднего максимального расхода воды на Дону составляет 16%, на Оке 10%, на Печоре 8%, для остальных рек в пределах 4%. Дата формирования максимального расхода воды в среднем сдвигается на 3-8 суток раньше, за исключением р. Урал. Доля стока половодья относительно годовой величины снижается на 2-4% на Каме, Урале, Печоре и Северной Двине, а на Оке и Дону наоборот тенденция слабо положительная в пределах 2%, что объясняется более интенсивным снижением стока в летне-осенний период на наиболее южных водосборах среди исследуемых.

Исследование проведено при поддержке РНФ (проект № 23-77-01097 – оценка гидрологических последствий изменения климата) и государственного задания ИВП РАН (FMWZ-2025-0003 – модельные расчеты).

Список литературы

Калугин А.С. Сток рек Европейской территории России при глобальном потеплении на 1.5 и 2 градуса // Водные ресурсы. – 2023. – Т. 50, № 4. – С. 451–464.

Kalugin A.S., Chukanov V.V., Motovilov Yu.G., Mastryukova A.V., Popova N.O., Chernobrovkin N.N. Regulation of the Ural River flow under current and projected climate conditions // Water Resources. – 2024. – V. 51, No. 5. – P. 630–642.

ИЗМЕНЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АРЕАЛОВ СИБИРСКОГО ШЕЛКОПРЯДА И ЕГО КОРМОВЫХ ХВОЙНЫХ ПОРОД ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ КЛИМАТА В СИБИРИ

POTENTIAL RANGE CHANGES OF SIBERIAN MOTH AND ITS HOST CONIFERSOUS TREES UNDER A WARMING CLIMATE OVER SIBERIA

Парфенова Е.И., Баранчиков Ю.Н., Чебакова Н.М.

Parfenova E.I., Baranchikov Y.N., Tchebakova N.M.

Институт леса им. В.Н. Сукачева ФИЦ КНЦ СО РАН
Россия, 660036, Красноярск, Академгородок №50, стр. 28; *lyeti@ksc.krasn.ru*

Аннотация. Смоделирована локализация потенциального ареала сибирского шелкопряда в соответствии с климатическими пределами его существования в современном климате и при потеплении к середине текущего века. Полученное распределение скорректировано потенциальным распространением основных лесообразующих хвойных пород Сибири, являющихся его кормовым ресурсом. В соответствии с моделью ареал сибирского шелкопряда ограничен на севере температурой августа ≥13.5ºС и индексом сухости ≤3.5, который лимитирует ареал хвойных пород на юге. Биоклиматические конвертные модели ареалов лесообразующих хвойных пород получены на основе требований к теплу и увлажнению, устойчивости к холоду. Климат к 2050-м гг. рассчитан на основе климатической модели INM-CM5-0 Института вычислительной математики РАН и двух сценариев изменения климата CMIP6: умеренного ssp1-2.6 (с учетом зеленой энергетики) и сильного ssp5-8.5 (business-as-usual). При потеплении потенциальные ареалы основных лесообразующих хвойных и сибирского шелкопряда будут смещаться на северо-восток Сибири. Однако в зоне вечной мерзлоты прогнозируется заметное расхождение их ареалов, так как продвижение темнохвойных, сосны и лиственницы сибирской на север будет замедлено вследствие инерционности летнего протаивания почвогрунтов, глубина которого определяет подходящие для них местообитания.

Ключевые слова: сибирский шелкопряд, основные лесообразующие хвойные породы, биоклиматические модели, сценарии изменения климата.

Abstract. We modeled potential ranges of Siberian moth harmonized with ranges of its major host Siberian coniferous trees in current and a warming climate by the midcentury. Our Siberian moth model limits the moth range by the August temperature ≥13.5ºC in the north and by the Annual Moisture Index ≤3.5 that limits conifers ranges in the south. Our bioclimatic envelope models of forest-forming confers were built on their principal requirements for warmth and water and cold resistance. Climates by the 2050-s were calculated from the climate model INM-CM5-0 of the Institute of Computing Mathematics, RAS, and two CMIP6 climate change scenarios: moderate ssp1-2.6 (green energy) and extreme ssp5-8.5 (business-as-usual). In a warming climate, potential ranges of Siberian moth and major conifer species would shift to the north-east of Siberia. However, in the permafrost zone their ranges were predicted to diverge significantly due to evergreen conifers shifting northward would be slowed by inertial summer soil thawing, the upper layer depth of which determines suitable site conditions for evergreen conifers and Siberian larch.

Keywords: Siberian moth, coniferous forest-forming tree species, bioclimatic models, climate change scenarios.

Изменения в растительном покрове, связанные с изменениями климата, будут форсироваться как природными (пожары, ветровалы, вспышки размножения насекомых и фитопатогенов, инвазийные процессы) так и антропогенными (вырубка лесов) факторами. Одним изприродных агентов является сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.) – самый опасный вредитель сибирских лесов (Рожков, 1965). Его распространенность объясняется широкой кормовой базой, включающей большинство хвойных лесообразующих пород Сибири: в основном это *Pinus sibirica, Abies sibirica,* и *Larix* spp. и изредка *Picea obovata* и *Pinus sylvestris*. Ранее нами были получены климатические конвертные модели ареалов основных лесообразующих хвойных пород Сибири, на основе которых было смоделировано

их потенциальное распространение в условиях современного (базового) и будущего климата, спрогнозированного по климатическим моделям и сценариям CMIP6 (Parfenova et al. 2024).

Цель данной работы – смоделировать потенциальный ареал сибирского шелкопряда и его взаимодействие с ареалами основных лесообразующих хвойных пород для середины текущего века для территории Сибири на основе отечественной модели общей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) INM-CM5-0 Института вычислительной математики РАН (Володин, 2022) и двух сценариев социально-экономического развития последнего Обобщенного доклада МГЭИК (2021): ssp1-2.6 (мягкого, предполагающего переход на зеленую энергетику) и ssp5-8.5 (жесткого, предполагающего использование ископаемого топлива (www.ipcc-data.org)).

Материалы и методы

Климатические слои базового климата (1961-1990) были построены по данным 240 метеостанций Сибири путем сплайновой интерполяции в пакете ANUSPLIN. Слои будущего климата были построены по данным модели INM-CM5-0 для двух крайних сценариев изменения климата: ssp1-2.6 и ssp5-8.5 (подробнее см. Parfenova et al., 2024).

Климатические параметры ареала сибирского шелкопряда были определены как пересечение условий теплообеспеченности – температуры августа выше или равной 13.5ºC (Кондаков, 2002) – и влагообеспеченности, достаточной для существования хвойных пород, определенной по годовому индексу влажности, AMI (Annual moisture index, равный GDD_5/осадки за год), менее или равному 3.5. Сопряжением пределов тепло- и влагоресурсов ареала сибирского шелкопряда с климатическими слоями базового и будущего климата были выделены его потенциальные местообитания, соответственно, для базового климата и для климата середины текущего века на территории Сибири.

Также в пакете TerrSet v.20 был проведен сопряженный анализ потенциальных ареалов основных лесообразующих хвойных пород и сибирского шелкопряда и оценена степень их пересечения в базовом и прогнозном климате.

Результаты и обсуждение

Потенциальные ареалы сибирского шелкопряда в Сибири в будущем климате 2050-х гг. для умеренного ssp1-2.6 и жесткого ssp5-8.5 сценариев изменения климата могут увеличиться и сдвигаться в северо-восточном направлении (рис. 75). При сильном потеплении в соответствии со сценарием ssp5-8.5 потенциальный ареал может увеличиться вдвое.

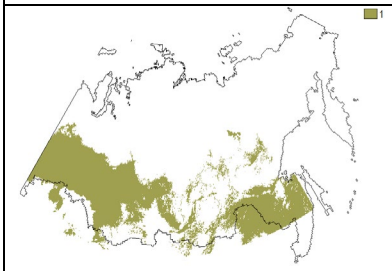
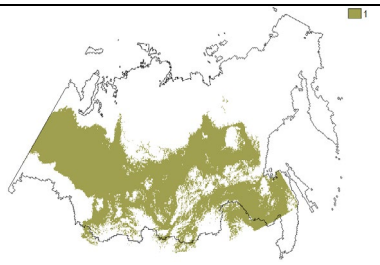
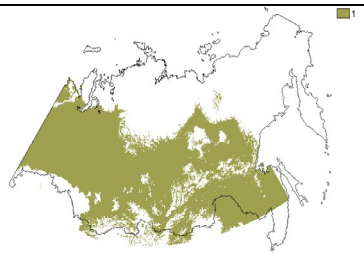
Базовый климат	Климат 2050	
	ssp126	ssp585
		

Рисунок 75. Потенциальные ареалы сибирского шелкопряда к 2050-м гг. при потеплении климата

Потенциальные ареалы основных лесообразующих хвойных (кедра, пихты, ели, сосны обыкновенной и двух видов лиственницы (сибирской и даурской)) также продвинутся на северо-восток, но скорость продвижения будет лимитирована инерционным характером протаивания вечной мерзлоты (Parfenova et al. 2024). Взаимодействие потенциальных ареалов сибирского шелкопряда и его кормовых лесообразующих пород в Сибири приведено на рис. 76. Для всех пород, кроме лиственниц, большая часть потенциального ареала сибирского шелкопряда в будущем климате выйдет за пределы ареалов хвойных пород. Для темнохвойных пород и сосны обыкновенной это происходит за счет того, что климат приземного слоя, будучи уже благоприятным для существования сибирского шелкопряда, не является достаточным условием для продвижения этих пород в область распространения вечной мерзлоты.

Следует отметить, что область пересечения ареалов хвойных и сибирского шелкопряда в будущем климате расширяется для всех пород.

В данной работе мы ограничили климаареал обитания сибирского шелкопряда, руководствуясь наблюдениями Ю.П. Кондакова (2002), который определил северную границу его распространения многолетней температурой августа 13.5 °C. За южную границу климаареала сибирского шелкопряда мы приняли южную границу распространения хвойных лесов, определяемую условиями увлажнения, достаточного для их существования. Некоторые авторы (Goroshko et al., 2025) для прогноза рисков появления вспышки сибирского шелкопряда используют такие прокси-климатические факторы, как топография и солнечная радиация (приходящая), что не дает возможность делать долгосрочный прогноз, т.к. топография не меняется в течение столетий, а потепление климата происходит за счет увеличения тепличных газов в атмосфере, а не увеличения приходящей радиации.

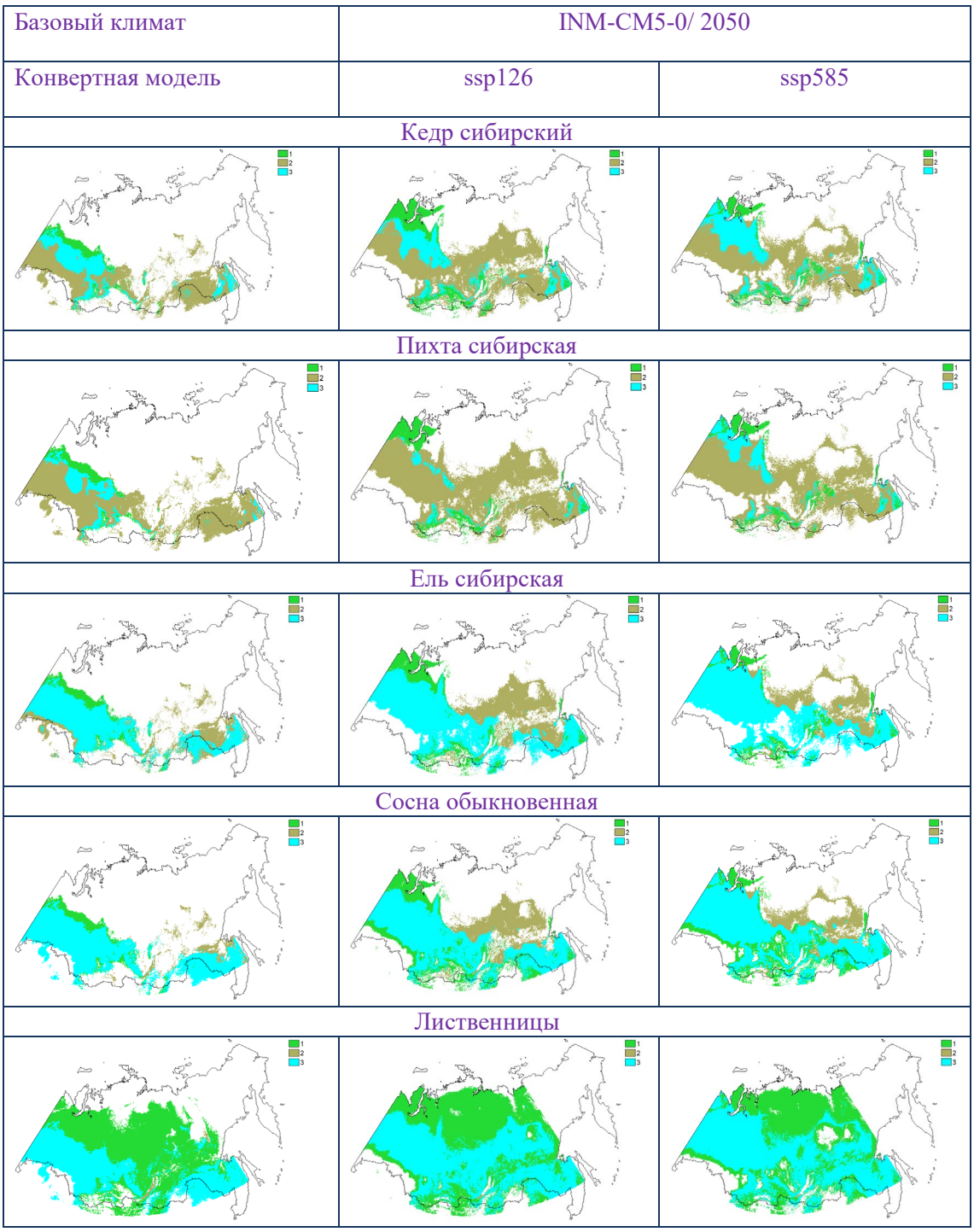


Рисунок 76. Пересечение потенциальных ареалов хвойных пород и сибирского шелкопряда: 1 – ареал породы не совпадает с ареалом сибирского шелкопряда; 2 – ареал сибирского шелкопряда не совпадает с ареалом породы; 3 – ареалы сибирского шелкопряда и породы совпадают

Наша биоклиматическая модель является статической моделью конвертного типа, имеющая как преимущества, так и недостатки по сравнению с моделями машинного обучения (MaxEnt, Random Forest и т.п.), широко используемыми в последнее десятилетие (Kriticos et al., 2024). Она основана на предельных значениях тепло- и влагообеспеченности, характерных для климаареала сибирского шелкопряда. В перспективе эта модель может быть улучшена путем использования климатических параметров, характерных для критических фаз

жизненного цикла сибирского шелкопряда. В прогнозном климате будущего с более мягкими, чем в современном климате зимами, гусеницы сибирского шелкопряда могут не выживать, т.к. они адаптированы к холодным зимам континентального типа (Nougadère et al., 2025).

Работа выполнена в рамках базовых проектов FWES-2024-0023 и FWES-2024-0029.

Список литературы

Володин Е.М. Вероятные изменения климата в XXI веке на территории России по данным модели климата INM-CM5-0 // *Метеорология и гидрология*. – 2022. –№5, – с. 5–13.

Кондаков Ю.П. Массовые размножения сибирского шелкопряда в лесах Красноярского края // *Энтомологические исследования в Сибири*. Вып. 2. Красноярск: РЭО, 2002. – С. 25–74.

Рожков А.С. *Массовое размножение сибирского шелкопряда и меры борьбы с ним*. – М.: Наука, 1965. – 179 с.

Goroshko A.A., Sultson S.M., Ponomarev E.I., Demidko D.A., Slinkina O.A., Mikhaylov P.V., Tatarintsev A.I, Kulakova N.N., Khizhniak N.P. Risk Modeling for the Emergence of the Primary Outbreak Area of the Siberian Moth *Dendrolimus sibiricus* Tschetv. in Coniferous Forests of Central Siberia // *Forests* 2025. – Vol. 16. – P. 160. https://doi.org/10.3390/f16010160

Kriticos D., Szyniszewska A., Bradshaw C., Li C., Verykouki E., Yonow T., et al. 2024 Modelling tools for including climate change in pest risk assessments // *EPPO Bulletin*. – 2024. – Vol. 54(Suppl. 1). – P. 38–51. https://doi.org/10.1111/epp.12994

Nougadère A., Makowski D., Scala M., Sánchez B. et al. 2025. *Dendrolimus sibiricus* – Pest Report to support the ranking of EU candidate priority pests. EFSA supporting publication. EN–9243. – 50 pp. doi:10.2903/sp.efsa.2025.EN–9243

Parfenova E.I., Bazhina E.V., Kuzmin S.R., Kuzmina N.A., Kuznetsova G.V., Senashova V.A., Antonov G.I., Conard S.G., Tchebakova N.M. Potential Changes in Distribution of Major Conifers and Their Seed Mass across Siberia by the Mid-Twenty-First Century in a Warming Climate // Forests. – 2024. – Vol. 15. – P. 1691. https://doi.org/10.3390/f1510169

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ САМШИТОВОЙ ОГНЕВКИ *CYDALIMA PERSPECTALIS* В КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ НАЧАЛА 21 ВЕКА

MODELING THE POTENTIAL DISTRIBUTION OF THE BOXWOOD MOTH *CYDALIMA PERSPECTALIS* UNDER EARLY 21ST CENTURY CLIMATIC CONDITIONS

Попов И.О.[1], Попова Е.Н.[2]

Popov I.O.[1], Popova E.N.[2]

[1]ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, 20Б;
ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29; *igor_o_popov@mail.ru*
[2]ФГБУН Институт географии РАН
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29; *en_popova@mail.ru*

Аннотация. Проведено моделирование современного климатического ареала самшитовой огневки *Cydalima perspectalis* Walker, 1859 - опасного вредителя растений рода самшит (*Buxus* L.). Собраны сведения о локусах фактического обнаружения самшитовой огневки. В качестве предикторов распространения использовали шесть биоклиматических параметров. Разработаны и применены оригинальные методики определения числа точек псевдо-отсутствия и их селективной генерации. Окончательное моделирование осуществлялось с помощью градиентного бустинга. Был рассчитан и картографирован современный евразийский климатический ареал самшитовой огневки. Показано, что инвазия в Евразии еще не достигла своих пределов. Установлено, что наибольшей важностью для построения модели климатического ареала *C. perspectalis* обладает сумма осадков самого сухого месяца (47.6%). Выявлено различие в климатических условиях между нативной и инвазионной частями ареала и сделаны предположения о возможных причинах его возникновения.

Ключевые слова: *Cydalima perspectalis*, инвазии, моделирование распространения видов, градиентный бустинг.

Abstract. The modeling of the modern climatic range of the boxwood moth *Cydalima perspectalis* Walker, 1859, a dangerous plant pest of the genus boxwood (*Buxus* L.), was carried out. Data on its detection loci were collected. Six bioclimatic parameters were used as predictors of distribution. Original methods for determining the number of pseudo-absence points and their selective generation were developed and applied. The final modeling was carried out using gradient boosting. The modern Eurasian climatic range of the boxwood moth was calculated and mapped. It is shown that the invasion in Eurasia has not yet reached its limits. It was found that the most important factor for constructing the climatic range model was the precipitation of the driest month (47.6%). The difference in climatic conditions between the native and invasive parts of the range was revealed.

Keywords: *Cydalima perspectalis*, invasions, species distribution modeling, gradient boosting.

Самшитовая огневка (*Cydalima perspectalis* Walker, 1859) — опасный облигатный вредитель растений рода самшит (*Buxus* L.) из семейства огневок-травянок (Crambidae, Lepidoptera), способный приводить к полной дефолиации самшитовых деревьев, их угнетению и усыханию (Гниненко и др., 2014). Нативный ареал самшитовой огневки включает Китай, Японию, Корейский полуостров, Приморский край Российской Федерации. Имеются сведения о находках *C. perspectalis* на территории Пакистана.

В начале 21 века этот вид был случайно завезен в Западную Европу, где стал стремительно распространяться. Инвазия началась в 2006 году, когда самшитовая огневка была обнаружена в Германии, в городе Вайль-на-Рейне (Weil-am-Rhein), куда она, по-видимому, была завезена из Китая вместе с саженцами самшита. К настоящему времени документирована инвазия *C. perspectalis* в следующие страны: Франция, Германия,

Великобритания, Ирландия, южные регионы Швеции, Испания, Португалия, Польша, Чехия, Словакия, Венгрия, Хорватия, Сербия, Македония, Греция, Румыния, Болгария, Италия, Мальта, Турция, Грузия (Bras et al., 2019). В России самшитовая огневка обнаружена в Краснодарском крае, в Крыму, в Чеченской республике, в Республике Северная Осетия-Алания, в Адыгее и Ставропольском крае.

Таким образом, современный ареал самшитовой огневки делится на две четко обособленные части: нативную (Восточная и Южная Азия) и инвазионную (Европа и Западная Азия). Учитывая крайне широкую распространенность кормовой базы данного вида, климатические условия являются единственным фактором, ограничивающим его распространение.

Целью настоящей работы было создание модели современного климатического ареала самшитовой огневки в Евразии и идентификация областей ее дальнейшей возможной инвазии на этом материке.

Сведения о распространении самшитовой огневки в Евразии были взяты из базы данных GBIF (18247 записей) и Nation Biodiversity Network Atlas (4646 записей). Также было проанализировано 78 публикаций, давших информацию о 320 локализациях вида в Юго-Западной Азии и Восточной Европе, плохо представленных в двух указанных базах данных. После пространственного прореживания осталось 1575 точек на территории Евразии, которые и использовались в дальнейшем анализе (Попова, Попов, 2025).

В качестве источника данных по климату использовали база метеоданных CRU TS 4.03. На основе этих данных для применения в качестве предикторов распространения *C. perspectalis* были рассчитаны значения 19 стандартных биоклиматических параметров (BIO1-BIO19) для периода 1999—2018 гг., соответствующего временному интервалу подавляющего большинства обнаружений *C. perspectalis*. Из них были отобраны шесть параметров (BIO2, BIO3, BIO11, BIO14, BIO15, BIO18), характеризующихся наименьшей попарной корреляцией. Они были использованы в дальнейшем исследовании.

Разные регионы Евразии характеризуются разной плотностью выявленных точек обнаружения. Для выравнивания этих различий был использован алгоритм повышающей балансировки численности образцов SMOTE (Synthetic Minority Oversampling Technique). В результате было получено 3653 искусственных образца, которые вместе с выявленными действительными локусами дают 5232 точки в пространстве биоклиматических признаков.

Генерация точек псевдо-отсутствия производилась в несколько этапов. Предварительно случайным образом равномерно генерировались точки в географическом пространстве в прямоугольнике с координатами от 30° з.д. до 180° в.д. и от 0° до 70° с.ш., включающем весь наблюдаемый ареал самшитовой огневки и захватывающем значительные

территории вокруг него в Евразии и Африке. С помощью триангуляции Делоне было определено такое число точек псевдо-отсутствия, при котором их плотность в пространстве признаков несколько ниже плотности точек обнаружения — 30 тысяч точек. Далее при помощи алгоритма снижения дисбаланса между классами образцов AllKNN было произведено отсеивание точек псевдо-отсутствия в областях с повышенной плотностью точек обнаружения, т.е. в области предполагаемой экологической ниши вида. В результате было получено 26741 точка псевдо-отсутствия.

Окончательное моделирование экологической ниши проводилось с помощью алгоритма градиентного бустинга XGBoost. Полученная модель была проецирована на климатическую ситуацию 1999—2018 гг., а климатический ареал нанесен на карту (рис. 77).

Как видно на рисунке 77, в Евразии имеется ряд областей, относительно которых нами не обнаружено опубликованных данных о распространении *C. perspectalis*, но которые могут стать или, возможно, уже стали частью ее ареала. В нативной части климатического ареала самшитовой огневки (рис. 77б) таких областей меньше, чем в инвазионной, но все-таки они присутствуют. Это некоторые области в южной и восточной частях Китая и территория КНДР. Также выявляется область, пригодная для распространения самшитовой огневки, протянувшаяся узким поясом от восточных районов Афганистана через Пакистан, Непал, Бутан, север и северо-восток Индии до границы с Китаем.

Результаты моделирования инвазионной части климатического ареала самшитовой огневки свидетельствуют о заселении к настоящему моменту практически всей территории Западной Европы, однако отсутствуют данные об его обнаружении в центральной и западной частях Ирландии, в значительной части Шотландии и на севере Норвегии. В Восточной Европе климатические условия благоприятствуют распространению *C. perspectalis* практически на всей территории Польши, в Калининградской области Российской Федерации, в восточных регионах Литвы, в Румынии, в западных регионах Украины, на западном побережье Черного моря этой страны и на ее севере, в районе Киева. Показана возможность распространения на территории Азербайджана и ряда регионов Турции.

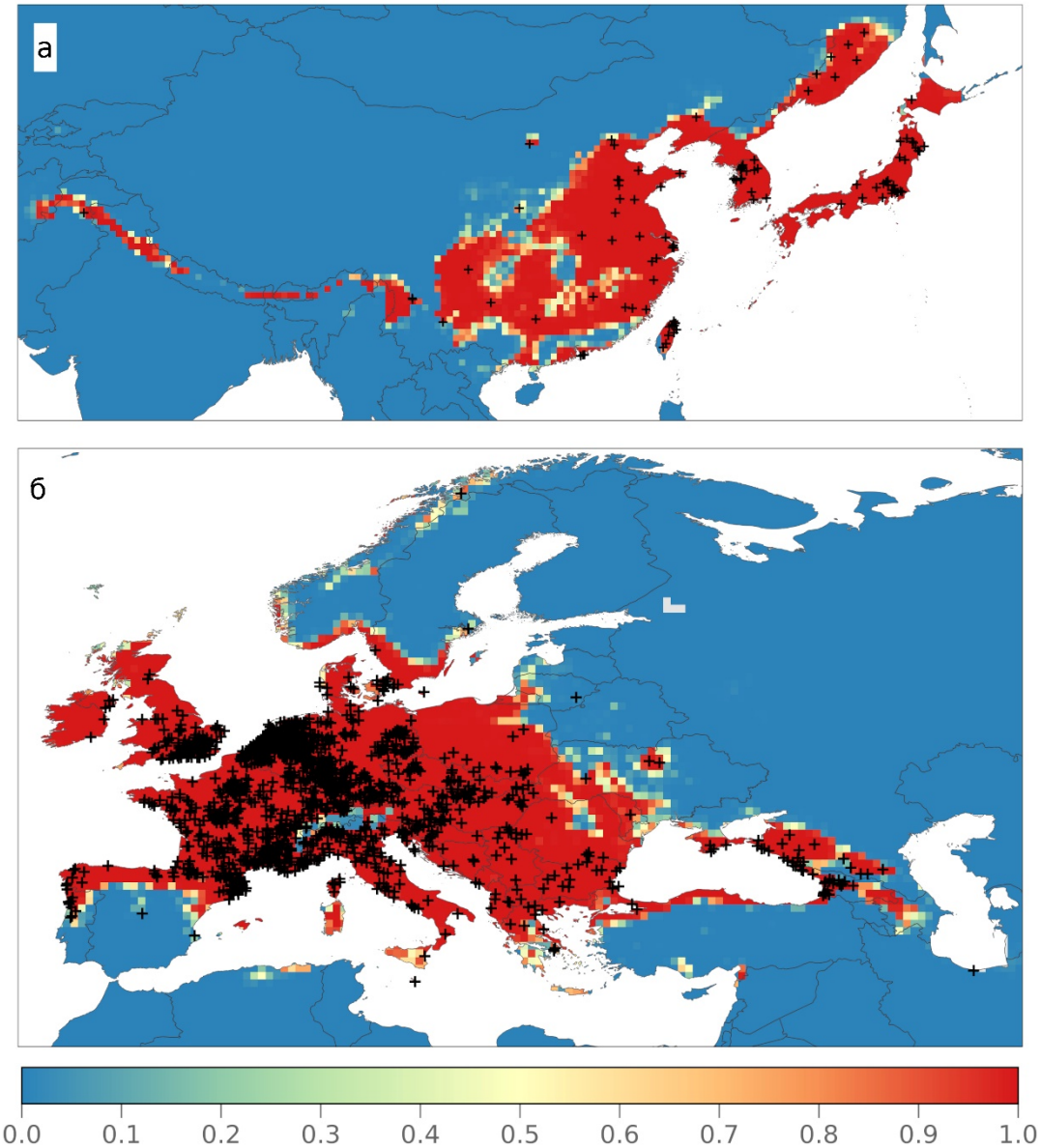


Рисунок 77. Карты модельного евразийского климатического ареала *C. perspectalis*: *а* и *б* — карты вероятностной модели нативной и инвазионной частей климатического ареала соответственно. Внизу — шкала вероятности принадлежности территории к модельному климатическому ареалу. Символом “+” обозначены фактические точки обнаружения *C. perspectalis* в Евразии (Попов, Попова, 2024)

На территории России, помимо Калининградской области, возможно распространение *C. perspectalis* на всей территории Крыма. В других областях Российской Федерации дальнейшая инвазия, согласно полученной модели, маловероятна.

Анализ важности биоклиматических параметров для построения модели климатического ареала *C. perspectalis* показывает, что наибольшей важностью (47.6%) обладает сумма осадков самого сухого месяца (параметр BIO14). Далее по важности, хотя и значительно в меньшей степени (22.1%), следует средняя температура самого холодного квартала (BIO11), а на третьем месте (18.6%) стоит сумма осадков самого теплого квартала (BIO18). Также было обнаружено сильное различие эколого-климатических характеристик мест обитания самшитовой огневки в нативной и инвазионной частях ареала.

Анализ климатических факторов, влияющих на распространение самшитовой огневки, выполнен за счет средств темы 3.2 «Мониторинг глобального климата, климата РФ и ее регионов. Развитие методов и технологий мониторинга, специализированных баз климатических данных. Исследование климатической изменчивости на масштабах от внутрисезонного до нескольких десятилетий и основных ее факторов» плана НИТР Росгидромета на 2025-29 гг., утвержденного приказом № 416 от 26.12.2024. Исследование потенциально возможного расширения ареала самшитовой огневки на территории Евразии выполнено в рамках Государственного задания Института географии РАН.

Список литературы

Гниненко Ю.И., Ширяева Н.В., Щуров В.И. Самшитовая огневка – новый инвазивный организм в лесах российского Кавказа // Карантин растений. – 2014. – Vol. 1, No. 7. – P. 32-36.

Попов И.О., Попова Е.Н. Моделирование современного климатического ареала *Cydalima perspectalis* (Lepidoptera, Crambidae) в Евразии // Ж. общей биологии. – 2024. – Т. 85, N 4. С. 313–331. - https://doi.org/10.31857/S0044459624040044 - EDN: UTNJYP.

Попова Е.Н., Попов И.О. Ареал возможного распространения самшитовой огневки *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) на территории России и соседних стран Евразии в климатических условиях первого двадцатилетия XXI века // Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025622847, дата гос. регистрации в Реестре баз данных 03.07.2025. Правообладатель: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт географии Российской академии наук» (ФГБУН «ИГ РАН»).

Bras A., Avtzis D.N., Kenis M., Li H., Vétek G. et al. A complex invasion story underlies the fast spread of the invasive box tree moth (*Cydalima perspectalis*) across Europe // Journal of Pest Science. – 2019. – No. 92. – P. 1187–1202.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ

CLIMATE CHANGE AND INFECTIOUS DISEASES IN CENTRAL ASIA

Рахимов Р.Р., Гареев Р.Ф.

Rakhimov R.R., Gareev R.F.

Научно-исследовательский институт вирусологии Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра эпидемиологии, микробиологии, инфекционных и паразитарных заболеваний
Узбекистан, 100194, Ташкент, ул. Янги шахар, 7А; *rakhimov.r0106@mail.ru*

Аннотация. Актуальность климатических изменений в контексте эпидемиологической ситуации в Центральной Азии требует углубленного анализа. Повышение температуры, изменение режима осадков, рост числа экстремальных погодных явлений усиливают распространение респираторных, кишечных и тропических инфекций. В настоящем исследовании рассмотрено влияние климатических факторов на эпидемиологические процессы, с использованием данных научной литературы. Подчеркнута необходимость адаптации стратегий эпиднадзора и профилактики.

Ключевые слова: климатические изменения, инфекционные заболевания, Центральная Азия, эпиднадзор, респираторные инфекции, кишечные инфекции, тропические заболевания.

Abstract. The impact of climate change on infectious diseases is a growing concern for Central Asia. Rising temperatures, altered rainfall patterns, and more frequent extreme weather events are contributing to the spread of respiratory, intestinal, and tropical infections. This study reviews available literature and highlights the epidemiological implications of climate change, emphasizing the need for improved disease surveillance and adaptive public health strategies in the region.

Keywords: climate change, infectious diseases, Central Asia, surveillance, respiratory infections, intestinal infections, tropical diseases.

Введение

Центральная Азия представляет собой регион, особо уязвимый к последствиям климатических изменений, включая рост температур, изменение режима осадков и увеличение частоты экстремальных погодных явлений (McMichael et al., 2006; Romanello et al., 2023). Эти климатические сдвиги создают благоприятные условия для расширения ареала многих возбудителей инфекционных заболеваний, включая респираторные, кишечные и тропические инфекции. Так, повышение средней температуры воздуха способствует удлинению сезона активности клещей и комаров – переносчиков болезней, таких как лейшманиоз, лихорадка Западного Нила и денге (Wu et al., 2016; Epstein, 2001).

Также наблюдается изменение циркуляции вирусов гриппа и других респираторных патогенов, что связано с температурными и влажностными колебаниями (Moriyama et al., 2020). Климатические факторы влияют и на распространение кишечных инфекций, в том числе холеры и сальмонеллеза, особенно в условиях ограниченного доступа к чистой воде и ухудшения санитарной инфраструктуры (Chou et al., 2010). В связи с этим необходимо комплексное изучение связи климатических изменений с эпидемиологической ситуацией в Центральной Азии.

Цель исследования. Оценить влияние климатических изменений на распространение инфекционных заболеваний в странах Центральной Азии на основе анализа современных научных данных.

Материалы и методы

Проведен обзор научной литературы, опубликованной в базах данных PubMed, Scopus, Web of Science и eLibrary за период 2010-2025 гг. Использованы данные Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Всемирной метеорологической организации (ВМО) и Программы ООН по окружающей среде (UNEP). Акцент сделан на данные, касающиеся региона Центральной Азии и сопредельных территорий, с анализом эпидемиологических, климатических и демографических факторов.

Результаты и обсуждение

Климатические изменения в Центральной Азии в последние десятилетия сопровождаются ростом среднегодовых температур на 0,2-0,4°C за десятилетие, снижением уровня осадков в некоторых районах и учащением засух (WHO, 2024). Эти факторы оказывают прямое и косвенное воздействие на динамику инфекционных заболеваний (рис. 78). В частности, увеличение температуры приводит к расширению ареала переносчиков таких инфекций, как лейшманиоз, малярия и клещевой боррелиоз (Ready, 2014).

Влияние климатических факторов на респираторные инфекции проявляется в изменении сезонности и тяжести течения заболеваний. Например, высокая температура и пыльные бури, характерные для региона, увеличивают уязвимость населения к гриппу, коронавирусной инфекции и другим ОРВИ за счет повреждения слизистых оболочек и ухудшения состояния воздуха (Armin et al., 2021). Исследования показывают, что пик заболеваемости гриппом в Центральной Азии смещается в зависимости от климатических условий, а эпидемии могут усиливаться в периоды резких температурных колебаний (WHO, 2023).

Кишечные инфекции, такие как сальмонеллез, ротавирусная и норовирусная инфекции, также подвержены влиянию климатических факторов. Повышение температуры и перебои в водоснабжении увеличивают риск фекально-оральной передачи. В ряде исследований отмечено, что в засушливые годы повышается частота острых кишечных инфекций, особенно среди детей младшего возраста (Levy et al., 2016). Это связано как с дефицитом воды, так и с ухудшением санитарных условий. Также важно отметить рост устойчивости патогенов к окружающей среде в условиях высоких температур.

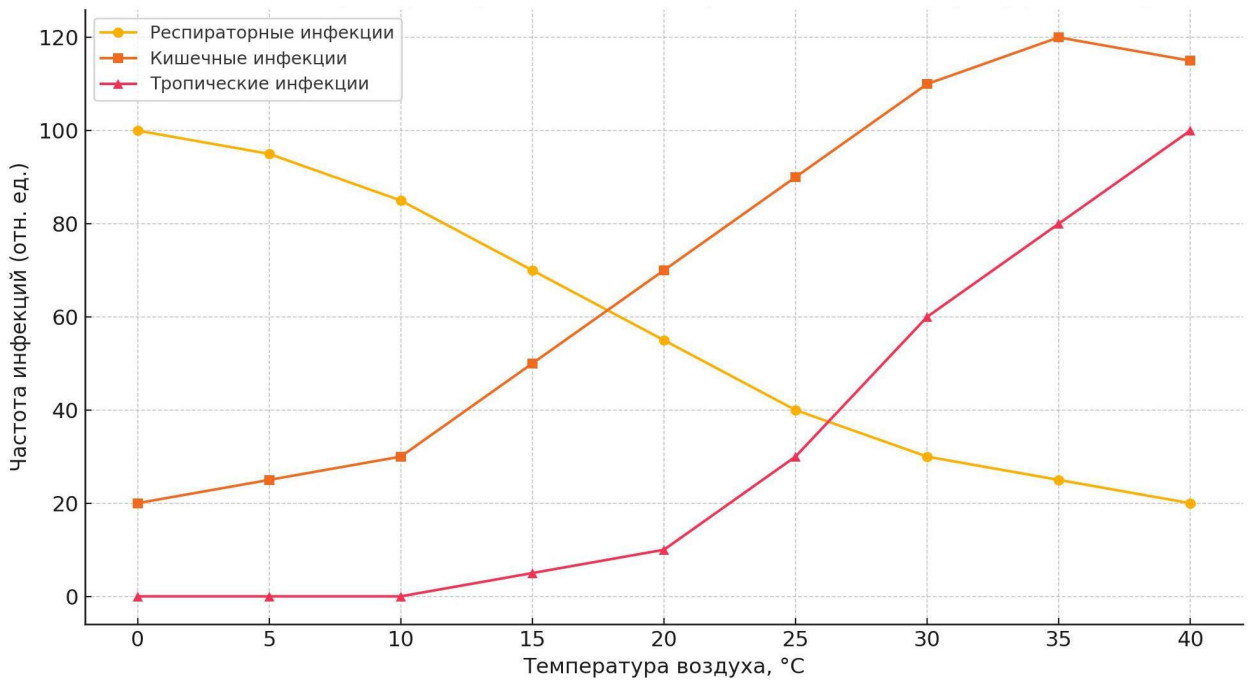


Рисунок 78. Зависимость распространения инфекций от температуры воздуха

Климатическая миграция, вызванная опустыниванием и засухами, приводит к скоплению населения в городах, что увеличивает нагрузку на инфраструктуру и создает условия для вспышек инфекционных болезней. Отсутствие устойчивых систем водоснабжения и санитарии, особенно в сельских и горных районах, усиливает влияние климатических изменений на здоровье.

Несмотря на нарастающую угрозу, в странах Центральной Азии эпиднадзор и адаптация к климатическим вызовам пока недостаточно интегрированы. Необходимы дополнительные меры по усилению мониторинга, расширению систем раннего оповещения и внедрению климаточувствительных программ профилактики инфекционных заболеваний.

Выводы

Климатические изменения оказывают существенное влияние на эпидемиологическую обстановку в Центральной Азии. Увеличение заболеваемости респираторными, кишечными и тропическими инфекциями требует адаптации стратегий эпиднадзора и профилактики. Необходимо междисциплинарное сотрудничество в области здравоохранения, климатологии и экологии для создания устойчивых систем реагирования.

Список литературы

Armin S., Emilov B., Postma M.J., Chavannes N.H., Sooronbaev T., van Boven J.F.M. Airborne dust and respiratory diseases in Central Asia: A growing concern // Epidemiology and Infection. – 2021. – Vol. 149. – Article e89.

Chou W.-C., Wu J.L., Wang Y.C., Huang H., Sung F.C., Chuang C.Y. Modeling the impact of climate variability on diarrhea-associated diseases in Taiwan (1996-2007) // Science of the Total Environment. – 2010. – Vol. 409, № 1. – P. 43–51.

Epstein P.R. Climate change and emerging infectious diseases // Microbes and Infection. – 2001. – Vol. 3, № 9. – P. 747–754.

Levy K., Woster A.P., Goldstein R.S., Carlton E.J. Untangling the impacts of climate change on waterborne diseases // Environmental Science and Technology. – 2016. – Vol. 50, № 11. – P. 6283–6294.

McMichael A.J., Woodruff R.E., Hales S. Climate change and human health: present and future risks // Lancet. – 2006. – Vol. 367, № 9513. – P. 859–869.

Moriyama M., Hugentobler W.J., Iwasaki A. Seasonality of Respiratory Viral Infections // Annual Review of Virology. – 2020. – Vol. 7. – P. 83–101.

Ready P.D. Epidemiology of visceral leishmaniasis // Clinical Epidemiology. – 2014. – Vol. 6. – P. 147–154.

Romanello M. et al. The 2023 report of the Lancet Countdown on health and climate change // Lancet. – 2023. – Vol. 402, № 10415. – P. 2346–2394.

WHO. Influenza surveillance in the Eastern Mediterranean and Central Asia Region. – 2023.

WMO. State of Climate in Asia 2023. – World Meteorological Organization, 2024.

Wu X., Lu Y., Zhou S., Chen L., Xu B. Impact of climate change on human infectious diseases: Empirical evidence and human adaptation // Environmental International. – 2016. – Vol. 86. – P. 14–23.

СЕНТЯБРЬСКИЙ МИНИМУМ ПЛОЩАДИ АРКТИЧЕСКИХ МОРСКИХ ЛЬДОВ 2012 Г. В СОПОСТАВЛЕНИИ С ДАННЫМИ АНСАМБЛЯ МОДЕЛЕЙ CMIP6

ARCTIC SEPTEMBER SEA ICE AREA MINIMUM IN 2012 IN LIGHT OF CMIP6 CLIMATE MODELS RESULTS

Романенко В.А.[1, 2], *Семенов В.А.*[1, 3]

Romanenko V.A.[1, 2], *Semenov V.A.*[1, 3]

[1]Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., 3
[2] НИВЦ МГУ, Россия, 119234, Москва, ул. Колмогорова, 1с4; *romanenko.victor.geo@mail.ru*
[3]Институт географии РАН, Россия, 119017, Старомонетный пер., 29

Аннотация. В этой статье были проанализированы рекордные минимумы площади морского льда в сентябре 2012 года, а также аналогичные минимумы в климатических моделях за тот же период. Было обнаружено, что как наблюдаемые, так и смоделированные минимумы морского льда связаны с определенной атмосферной циркуляцией в августе прошлого года – диполем давления с циклоном над Северным Ледовитым океаном и антициклоном над северной частью Тихого океана. Такая циркуляция способствовала ускоренному таянию морского льда как динамически, так и термодинамически. В данной работе анализируется влияние вклада аномалий различных метеорологических полей на величину аномалии площади льда в Арктике в определенные годы.

Ключевые слова: морской лед, CMIP6, ERA5, минимум площади морского льда, композитные аномалии.

Abstract. At this paper the record minima of sea ice area in September 2012, along with similar minima in climate models for the same period was analysed. It was found that both the observed and modeled sea ice minima are associated with a certain atmospheric circulation in the previous August – a pressure dipole with a cyclone over the Arctic Ocean and an anticyclone over the North Pacific Ocean. Such circulation contributed to the accelerated melting of sea ice both dynamically and thermodynamically. In this paper, the influence of the contribution of anomalies of various meteorological fields on the magnitude of the ice area anomaly in the Arctic in certain years is analyzed.

Keywords: sea ice, CMIP6, ERA5, minimum of sea ice area, composite anomalies.

Сокращение площади арктических морских льдов является одним из самых важных индикаторов современного глобального потепления. Согласно данным реанализа ERA5, это сокращение составляет примерно 0.62 млн. км^2 в год по всей Арктике, причем наибольший его темп, 82000 км^2, характерен для сентября, месяца с наименьшей площадью льда в году. В современном ряду спутниковых наблюдений, начавшихся с 1979 г., данных на основе анализа самолетных и других инструментальных наблюдений с 1953 г., а также по данным реконструкций площади морских льдов (ПМЛ) с начала 20 века и ранее (Kwok R. et al., 2018), абсолютный минимум площади морских льдов был отмечен в сентябре 2012 г. И до сих пор 2012 г. является рекордным с минимальной площадью 2.8 млн. км^2, что на 2 млн. км^2 меньше средней для сентября площади за период 1979–2000 гг.. Минимальный рекорд держится, несмотря на продолжающийся рост глобальной температуры, температуры в Северном полушарии и в Арктике. Такая динамика ПМЛ ставит ряд важных вопросов. Является ли замедление темпов сокращения площади морских льдов случайной аномалией или это проявление новой тенденции долгопериодных циклических колебаний с возможным ростом площади в ближайшее десятилетие?

Среди главных причин такого низкого значения многие ученые считают продолжительное действие отрицательной аномалии давления в центральной Арктике в предшествующий август, которая проявилась в виде смещающегося с востока на запад циклонического образования, способствующего резкому таянию льда в этот месяц за счет динамического (сильные ветры) и термодинамического факторов (положительная аномалия длинноволновой радиации) (Lukovich J. et al., 2021; Simmonds I. et al., 2012; Zhang J. et al., 2013).

В данном исследовании проанализированы временные ряды моделей CMIP6 сценариев historical и SSP585. Всего в наличии 38 моделей, из них отобраны те, у которых минимальная площадь льда за 1980–2024 гг. наблюдалась до 2020 гг. Площадь льда получена путем умножения исходных данных по концентрации морского льда (КМЛ) в каждой ячейке модельной сетки на ее площадь и дальнейшего суммирования по всей территории севернее 45º с.ш. В настоящей работе проанализированы аномалии КМЛ, как по данным реанализа ERA5, так и по данным ансамбля моделей CMIP6. Использовался ансамбль из всех 36 моделей и ансамбль из 10 лучших моделей, отобранных по следующему принципу. За период с 1980 по 2020 гг. рассчитан сентябрьский тренд площади (рис. 79) морского льда. Также рассчитана rmse ее сезонного хода между фактической, по данным ERA5 для площади, и предсказанными (климатические модели). Модели с наименьшей RMSE и трендом, близким к наблюдаемому (80000 км^2 в год в год площади) были отобраны в ансамбль моделей, максимально реалистично воспроизводящих характеристики морского льда. В данный ансамбль вошли модели, отмеченные на рисунке 79.

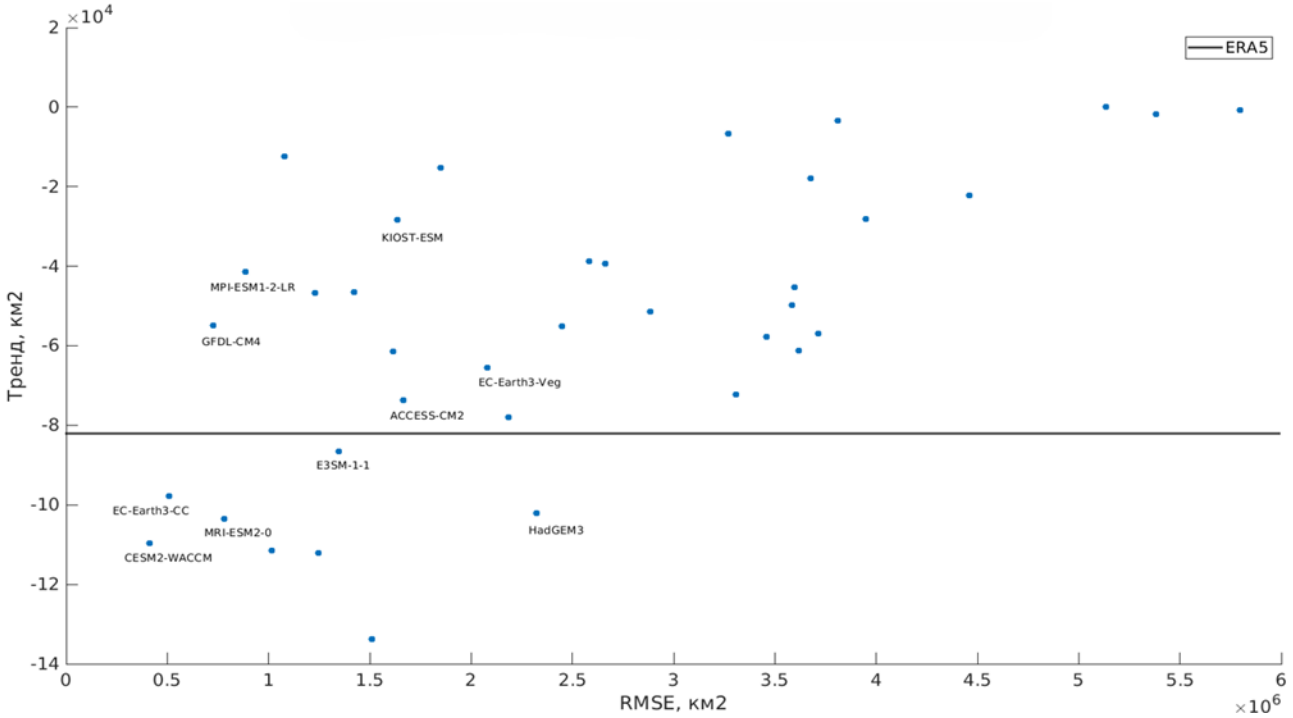


Рисунок 79. Зависимость сезонного хода rmse площади морского льда от его сентябрьского тренда

В работе построены и проанализированы композитные аномалии КМЛ в сентябре как для моделей CMIP6 по всему ансамблю и ансамблю из 10 лучших моделей, так и для реанализа ERA5 (рис. 80). Они получены путем разности сентябрьской КМЛ в год ее минимальных значений для каждой модели и среднего за сентябрь 1980–2020 гг. и дальнейшего осреднения по ансамблю. Для ERA5 рассчитана аномалия КМЛ в сентябре 2012 г. по отношению к среднему за данный месяц в 1980–2020 гг. Наибольшие аномалии КМЛ характерны для Сибирской Арктики, где большую часть времени существовал циклон в августе 2012 г., что можно видеть как по данным климатических моделей, так и по данным реанализа. Однако модели недооценивают степень сокращения площади льда в годы минимума по сравнению с реальными данными. Согласно ERA5, максимальные значения аномалии КМЛ достигали в сентябре 2012 г. 60–70%, в то время как по данным CMIP6 только 30% в среднем по ансамблю всех моделей в годы минимума (рис. 80 сверху слева) и до 45% по ансамблю из 10 лучших моделей (рис. 80 снизу слева).

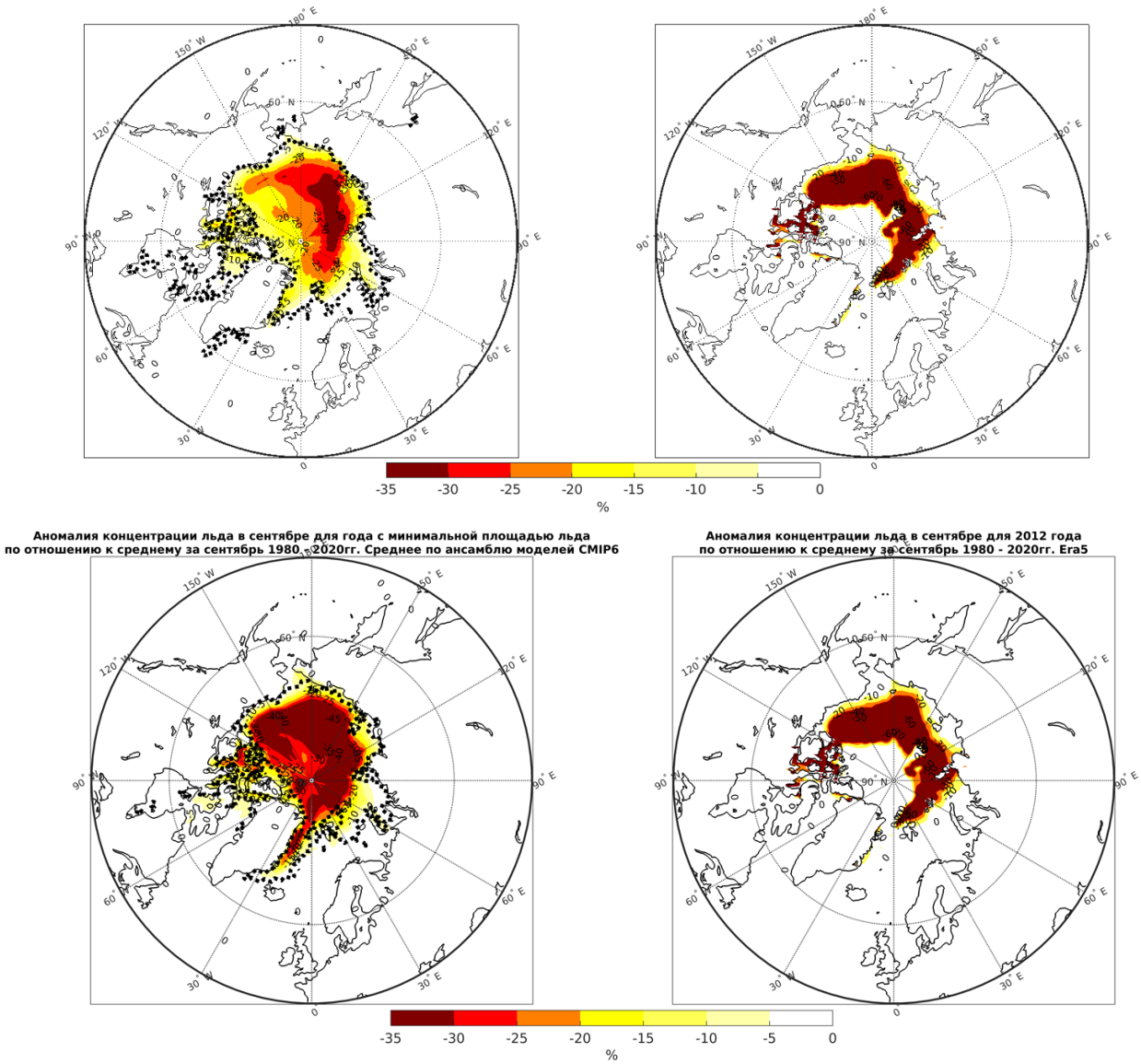


Рисунок 80. Композитная аномалия КМЛ в сентябре для лет с максимальной отрицательной аномалией площади льда в моделях CMIP6 (слева) и реанализе ERA5 (справа) за период 1980–2020 гг. по ансамблю всех моделей (сверху слева) и ансамблю из 10 лучших моделей (снизу слева). Пунктиром выделены области с 95% значимостью областей экстремальных аномалий КМЛ

На рисунке 81 представлена композитная аномалия атмосферного давления для предшествующего аномальному сентябрю августа. Как мы можем видеть, зоне действия циклона в Центральной и Восточной Арктике соответствует область отрицательной аномалии давления. При этом над Западной Арктикой, в частности, над Гренландией, наблюдается положительная аномалия давления. Данный диполь прослеживается на композитной карте аномалии давления в среднем по всему ансамблю моделей (рис. 81 сверху слева) с менее выраженными по площади областями аномалий каждого знака. Среднее по ансамблю 10 лучших моделей (рис. 81 снизу слева) воспроизводит обширную область отрицательной аномалии давления над Арктикой, что меньше соотносится с композитной аномалией давления по данным ERA5.

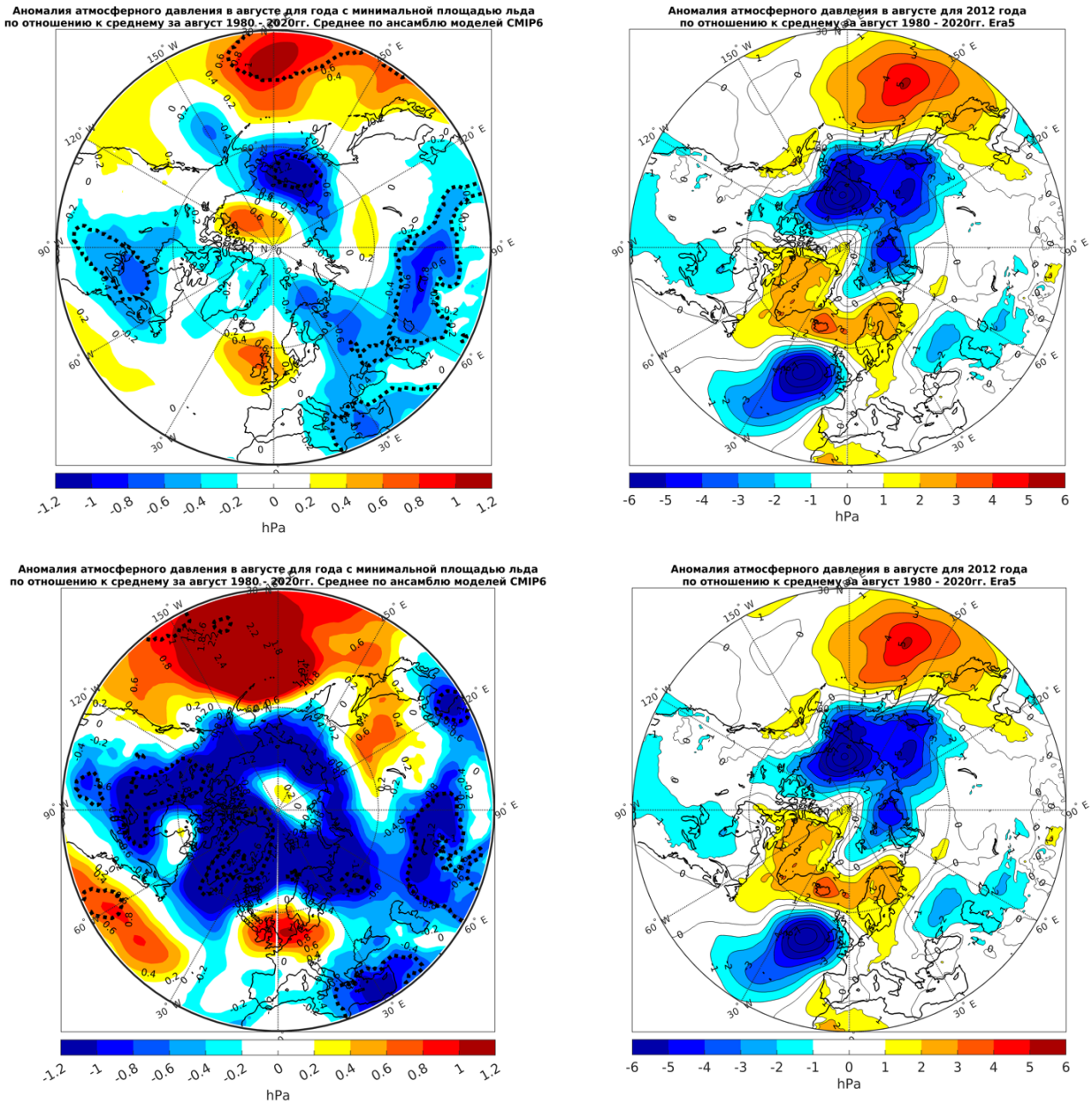


Рисунок 81. Композитная аномалия атмосферного давления в августе для лет с максимальной отрицательной аномалией площади льда в моделях CMIP6 (слева) и реанализе ERA5 (справа) за период 1980–2020 гг. по ансамблю всех моделей (сверху слева) и ансамблю из 10 лучших моделей (снизу слева).

Список литературы

Kwok R. Arctic Sea ice thickness, volume, and multiyear ice coverage: Losses and coupled variability (1958-2018). Environmental Research Letters 13(10), 2018. https://doi.org /10.1088/1748-9326/aae3ec.

Lukovich J. et al. Summer Extreme Cyclone Impacts on Arctic Sea Ice. Journal of Climate 34(12):1-54, 2021. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0925.1.

Simmonds I. et al. The great Arctic cyclone of August 2012. Geophysical Research Letters 39, L23709, 2012. https://doi.org/10.1029/2012GL054259.

Zhang J. et al. The impact of an intense summer cyclone on 2012 Arctic Sea ice retreat. Geophysical Research Letters 40(4):720-726, 2013. https://doi.org/10.1002/grl.50190.

https://nsidc.org/

СЕКЦИЯ
«НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА, В ТОМ ЧИСЛЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОСНОВАННЫХ НА ПРИРОДЕ РЕШЕНИЙ»

НАУЧНАЯ ОБОСНОВАННОСТЬ И РЕГИОНАЛЬНАЯ СПЕЦИФИКА – ОСНОВА ЭФФЕКТИВНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

SCIENTIFIC VALIDITY AND REGIONAL SPECIFICITY ARE THE BASIS FOR EFFECTIVE NATURAL CLIMATE SOLUTIONS

Ахмаева Э.Э.

Akhmaeva E.E.

ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет»
Россия, 625003, Тюмень, Володарского, 6; *e.e.akhmaeva@utmn.ru*

Аннотация. В условиях нарастающих климатических изменений природно-климатические решения (ПКР) становятся приоритетным инструментом адаптационных стратегий. Однако, эффективность данных решений напрямую зависит от качества их научного обоснования и степени адаптации к региональным особенностям. Шаблонное применение ПКР несет с собой риски оправданных затрат и снижение результативности адаптационных мер. В работе представлены ключевые региональные факторы, определяющие эффективность внедрения природно-климатических решений, обосновывается их надлежащее научное обоснование.

Ключевые слова: природно-климатические решения, региональная специфика, научная обоснованность, климатическая адаптация.

Abstract. In the context of increasing climate change, natural climate solutions (RCC) are becoming a priority tool for adaptation strategies. However, the effectiveness of these solutions directly depends on the quality of their scientific justification and the degree of adaptation to regional peculiarities. The boilerplate application of RCC carries with it the risks of justified costs and a decrease in the effectiveness of adaptation measures. The paper presents the key regional factors determining the effectiveness of the implementation of natural and climatic solutions, substantiates their proper scientific justification.

Keywords: natural climate solutions, regional specifics, scientific validity, climate adaptation.

Природно-климатические решения представляют собой инструменты смягчения изменения климата через защиту, восстановление и устойчивое управление экосистемами, которые поглощают и накапливают углерод, одновременно обеспечивая дополнительные экологические и социально-экономические выгоды. Эти подходы включают лесовосстановление, защиту водно-болотных угодий, устойчивые сельскохозяйственные практики и другие меры, основанные на использовании естественных процессов для сокращения концентрации парниковых газов в атмосфере. Природно-климатические решения привязываются к конкретному ландшафту (Albert, 2021; Colléony and Shwartz 2019; Young, 2019). Следовательно, для максимальной эффективности использования ресурсов и обеспечения устойчивости к изменяющимся условиям необходимо при планировании ПКР адаптировать универсальные подходы к специфическим местным условиям и вызовам.

Современная практика внедрения ПКР часто страдает от недостаточного учета региональных особенностей: климата, рельефа, хозяйственной деятельности, социально-экономических состояния населения, а также законодательства. Применение унифицированных подходов (зарубежных) на территории России без учета региональной специфики снижает потенциал ПКР и может привести к непредвиденным негативным

последствиям. Отсутствие системы критериев для оценки соответствия выбираемых решений региональной специфике является существенным пробелом в методологии планирования адаптационных мероприятий для субъектов Российской Федерации.

Автором предлагается следующий перечень ключевых региональных факторов, определяющих эффективность природно-климатических решений (рис. 82).

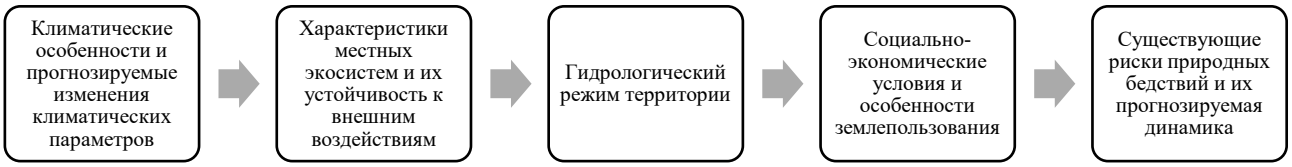


Рисунок 82. Ключевые региональные факторы, определяющие эффективность ПКР

Будучи климатически разнообразной территорией, Россия включает в себя такие пояса как арктический пояс (низкая температура января, короткое холодное лето, ускорение потепления), субарктический пояс (продолжительная холодная зима, короткое прохладное лето, значительные сезонные колебания температуры), умеренный пояс (континентальный климат с жарким летом и холодной зимой во внутренних регионах, более мягкий морской климат в прибрежных зонах), субтропический пояс (теплый климат черноморского побережья с мягкой зимой и жарким летом). Изменение климата может сказаться на данных климатических поясах через повышение среднегодовой температуры, увеличение количества осадков в северных регионах, снижение летних осадков в южных и центральных регионах, сокращение периода устойчивого снежного покрова и увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений. Данные изменения могут повлиять на эффективность внедрения природно-климатических решений через учет изменения вегетационного периода при планировании сельскохозяйственных ПКР, различные требования к проектированию водоудерживающих и противоэрозионных мероприятий, а также необходимость адаптации выбора растительных видов к изменяющимся условиям.

Есть говорить про местные экосистемы и их устойчивость к внешним воздействиям, то устойчивость ключевых экосистем территории России определяется рядом факторов. Видовое разнообразие и функциональная взаимозаменяемость видов играет важную роль обеспечения стабильности экологических процессов. Степень антропогенной трансформации имеет прямую связь с жизнеспособностью экосистем. Генетическое разнообразие ключевых видов обеспечивает их адаптивность к изменяющимся условиям среды. При проектировании природно-климатических решений для региональных экосистем России необходимо

учитывать ряд особенностей. Важно использовать местные виды, адаптированные к региональным особенностям, увеличивая вероятность успешного восстановления экосистем и увеличения поглощающего эффекта. Также при разработке природно-климатических решений важно учитывать естественные процессы смены сообществ и динамические изменения в экосистемах. В условиях ограниченности ресурсов целесообразно концентрировать усилия на защите территорий, которые наиболее подвержены негативным воздействиям и одновременно представляют собой высокую ценность с позиции предоставляемых экосистемных услуг, обеспечивая максимальную эффективность внедрения ПКР.

Водные системы России, представленные крупными реками (Волга, Обь, Енисей и другие), отличаются разнообразными режимами стока и источниками питания. Особыми экологическими характеристиками отличаются уникальные озерные системы (Байкал, Ладожское и Онежское озера), играющие важную роль в водном балансе страны. Обширные заболоченные территории Западной Сибири выполняют функции природных водорегуляторов и поглотителей углекислого газа (Petersen, 2025) поддерживают стабильность гидрологического режима. Территории с многолетней мерзлотой формируют особый гидрологический режим ограниченной фильтрации. Абсолютно иная ситуация складывается в южных регионах страны, которые сталкиваются с дефицитом водных ресурсов, что создает дополнительные вызовы для водохозяйственного комплекса страны.

Изменение климата оказывает существенное влияние на гидрологический режим, проявляясь, например, в изменении годового и сезонного стока. Наблюдается повышение риска наводнений в одних регионах, при одновременном усилении засушливости в других частях страны. Деградация многолетней мерзлоты в северных и северо-восточных территориях сказывается на характере поверхностного и подземного стока. Климатические изменения вызывают колебания уровня грунтовых вод в водоемах и влажности почв, нарушая водных баланс территории. Повышение температуры в водоемах способствует усилению процесса эвтрофикации, негативно сказываясь на качестве ресурсов и состоянии водных экосистем.

Гидрологически ориентированные ПКР включают в себя восстановление и сохранение водно-болотных угодий (Cohen-Shacham, 2021), которые служат естественными регуляторами водного режима территорий. С помощью создания биодренажных систем получается эффективно управлять поверхностным стоком и снижать риски наводнений. Лесовосстановление в водоохранных зонах и на водосборных площадях способствует стабилизации гидрологического режима. Особое внимание стоит уделить малым рекам (коих в России достаточно). Их реабилитация и создание природных противопаводковых буферов являются важными механизмами снижения рисков наводнения и восстановления

естественных водных экосистем. Внедрение методов агролесоводства для регулирования водного режима сельскохозяйственных угодий обеспечивает устойчивое управление водными ресурсами в аграрных ландшафтах, способствуя адаптации сельского хозяйства к изменению климата.

Критерий социально-экономических условий и особенностей землепользования складывается из-за различной значительной дифференциации плотности населения, разного уровня экономического развития и финансового обеспечения регионов, различной структуры экономики и неравномерного развития инфраструктуры.

Успешное внедрение ПКР требует адаптации проектов к местным социально-экономическим условиям, учитывающей специфику каждого региона и сообщества. При планировании необходимо учитывать интересы различных землепользователей, находить компромиссные решения, находящиеся на балансе экологических, экономических и социальных аспектов. Значительную ценность представляет интеграция традиционных знаний коренных народов, часто обладающие уникальным опытом устойчивого управления природными ресурсами территорий. Для масштабирования ПКР необходимо развитие экономических стимулов для частных земле- и природопользователей, включая механизмы платежей за экосистемные услуги и налоговые льготы.

Надлежащее научное обоснование природно-климатических решений требует комплексного анализа местных экосистем и функций, позволяющего понять экологические процессы и взаимосвязи. Важным компонентом является моделирование долгосрочных эффектов внедряемых решений, учитывая динамику экосистем и климатических изменений. Необходима тщательная оценка сопутствующих выгод и потенциальных рисов, включая воздействие на биоразнообразие, качество воды, секвестрацию углерода и социально-экономические аспекты, что методологически сближает данный подход с процедурой оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС), хотя с большим акцентом на климатическую устойчивость и адаптационный потенциал. Критически важным является анализ предлагаемых решений в условиях различных климатических сценариев, обеспечивающий их эффективность даже при неопределенности будущих климатических условий.

Для обеспечения эффективности природно-климатических решений предлагается разработка методологии, которая будет включать в себя региональную классификацию территории по климатическим и экосистемным параметрам, создание матрицы соответствия типов ПКР региональным условиям, разработку протоколов научного обоснования для каждого типа ПКР, систему индикаторов мониторинга эффективности внедряемых решений и механизмы адаптивного управления, позволяющие корректировать применяемые решения в режиме реального времени на основе получаемых данных.

Таким образом, региональная специфика и ее научная обоснованность при выборе, реализации и оценки эффективности природно-климатических решений являются не второстепенными, а определяющими факторами. Научно-обоснованные и регионально адаптированные ПКР способны обеспечить устойчивую адаптацию территорий к изменению климата при оптимальном использовании имеющихся ресурсов. Предлагаемые автором ключевые региональные факторы, определяющие эффективность ПКР, и составляющие методологии выбора и обоснования ПКР существенно повысят результативность адаптационных стратегий и дадут возможность минимизировать риски неэффективных инвестиций, как частных, так государственных.

Исследование выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках проекта «Тюменский карбоновый полигон» (FEWZ-2024-0016).

Список литературы

Albert C., Brillinger M., Guerrero P. et al. Planning nature-based solutions: Principles, steps, and insights // Ambio. – 2021. – Vol. 50. – P. 1446–1461.

Arctic hotspots study reveals areas of climate stress in Northern Alaska, Siberia. – URL: https://www.woodwellclimate.org/arctic-hotspots-climate-stress-in-northern-alaska-siberia/

Colle´ony A., and Shwartz A. Beyond assuming co-benefits in nature-based solutions: A human-centered approach to optimize social and ecological outcomes for advancing sustainable urban planning // Sustainability. – 2019. – Vol. 11. – P. 1–18.

IUCN, 2016. Nature-based solutions to address global societal challenges / Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., Maginnis, S. - IUCN, Gland, Switzerland, 2016. – 97 p.

Young A.F., J.A. Marengo J.O. Martins Coelho G.B. Scofield C.C.de Oliveira Silva, Prieto C.C. The role of naturebased solutions in disaster risk reduction: The decision maker’s perspectives on urban resilience in Sa˜o Paulo State // International Journal of Disaster Risk Reduction. – 2019. – Vol. 39. – P. 101219.

АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ РОССИИ

ALGORITHM FOR CONSTRUCTING A FOOD SECURITY SYSTEM FOR RUSSIA

Ашабоков Б.А.[1,2], Ташилова А.А.[1], Барекова М.В[1]., Кешева Л.А.[1], Теунова Н.В.[1]

Ashabokov B.A.[1,2], Tashilova A.A.[1], Barekova M.V.[1], KeshevaL.A.[1], Teunova N.V.[1]

[1]ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Россия, КБР, 360001, Нальчик, пр. Ленина, 2
[2] ФГБУ «Институт информатики и проблем регионального управления» КБНЦ РАН
Россия, КБР, 360000, Нальчик, И. Арманд, 37А; *ashabokov.boris@mail.ru*

Аннотация. В работе затронуты проблемы обеспечения продовольственной безопасности России в условиях изменения климата, к которым относится построение иерархической системы производства сельхозкультур. Элементом верхнего уровня данной системы является отраслевая система производства сельхозкультур, а элементами следующего уровня – региональные системы их производства. Данная иерархическая система должна быть адаптирована к изменению климата. При этом цель ее адаптации, которая заключается в достижении продовольственной безопасности страны в каждой точке интервала адаптации, должна быть оптимальным образом распределена между системами регионального уровня. В алгоритме необходимо предусмотреть возможности расширения данной цели, т.к. она может заключаться не только в обеспечении продовольственной безопасности страны, но и в обеспечении активного участия России в достижении глобальной продовольственной безопасности. Сформулированы задачи, возникающие на пути решения данной проблемы, обсуждаются методы их решения.

Ключевые слова: продовольственная безопасность, обеспечение, адаптация, системы производства сельхозкультур, отраслевая, региональная.

Abstract. The work is affected by the problems of ensuring the food security of Russia in the context of climate change, which include the construction of a hierarchical system for the production of agricultural cultures. The element of the upper level of this system is the sectoral system of the production of agricultural cultures, and the elements of the next level are regional systems of their production. This hierarchical system should be adapted to climate change. At the same time, the purpose of its adaptation, which is to achieve the country's food security at each point of the adaptation interval, should be optimally distributed between regional -level systems. In the algorithm, it is necessary to provide for the possibilities of expanding this goal, because it can consist not only in ensuring the food security of the country, but also in ensuring the active participation of Russia in achieving global food security. The tasks arising on the way to solve this problem are formulated, and the methods of solving them are discussed.

Keywords: food safety, ensuring, adaptation, systems of agricultural production, industry, regional.

Глобальное потепление климата становится фактором, способным оказать колоссальное негативное влияние на процессы, происходящие в обществе и в окружающей природной среде. Особенно значительными его последствия могут оказаться для систем производства сельхозпродукции на всех уровнях, что не может не повлиять на обеспечение продовольственной безопасности общества, включая и глобальную продовольственную безопасность. Ниже под такой системой понимается система, основным элементом которой является растениеводческая отрасль, а вспомогательными элементами - отрасли, обеспечивающие растениеводство средствами производства, удобрениями, средствами защиты растений от болезней и вредителей, системы подготовки специалистов и обеспечения научно-технологическими достижениями и т.д.

Высокая чувствительность сельского хозяйства к изменению климата делает построение иерархической системы производства сельхозпродукции отраслевого уровня, обладающей адаптивными свойствами к изменениям внешней среды, необходимым условием

обеспечения продовольственной безопасности на всех уровнях. Ниже предлагается алгоритм построения такой системы.

Алгоритм состоит из двух этапов.

Основные задачи, которые решаются на первом этапе формулируются в виде:

1. Декомпозиция системы производства сельхозкультур отраслевого уровня.

2. Формирование целей систем производства сельхозкультур регионального уровня. В качестве таких целей используются оптимальным образом распределенные между региональными системами производства сельхозкультур показатели системы отраслевого уровня, указанные в стратегиях ее развития.

3. Распределение между регионами сельхозкультур и определение примерной структуры их производства, позволяющей достижение продовольственной безопасности.

4. Определение условий внешней среды (природных, экономических, политических, социальных и т.д.), под влиянием которых формируются спрос и предложение продукции сельского хозяйства на различных уровнях, включая и глобальный уровень. С изменением условий производства культур вследствие потепления климата возникает необходимость решения следующих задач:

- заменены части культур другими, устойчивыми к новым условиям производства;

- определения мероприятий, с помощью которых формируемые природными факторами урожайности культур, могут быть доведены до целевых показателей.

Важно отметить, что в условиях изменения климата внешняя среда для системы обеспечения продовольственной безопасности становится «подвижной», что делает предсказание последствий ее изменений достаточно сложной проблемой. Это создает серьезные трудности на пути как построения системы обеспечения продовольственной безопасности страны, так и достижения продовольственной безопасности. В этих условиях стратегической целью России должно стать обеспечение продовольственной независимости. Такой же целью должно стать и повышение экономической доступности продовольственных товаров, т.к. при нынешнем уровне доходов населения вряд ли можно вести речь об обеспечении продовольственной безопасности.

5. Обеспечение выполнения требований к системам производства сельхозкультур:

- влияние функционирования системы на климат на интервале адаптации должно находиться в допустимых пределах.

- влияние изменения климата на функционирование системы на этом интервале должно находиться в таких же пределах.

Таким образом, на первом этапе построения системы обеспечения продовольственной безопасности на качественном уровне определяются цели региональных систем производства

сельхозкультур, комплекс сельхозкультур и структуры их производства в регионах. Можно сказать, что на этом этапе осуществляется подготовка систем регионального уровня к адаптации к изменению климата.

На втором этапе решаются две крупные задачи:

1. Адаптация региональных систем производства сельхозкультур к изменению климата. В результате решения данной задачи получаются системы, которые будут элементами адаптированной к изменению климата отраслевой системы (Ашабоков и др., 2020). Состояние проблемы адаптации сельского хозяйства к изменению климата затронуто в работах (Суховеева, 2020; Grigorieva, 2023). Как показано в этих работах, достижения в этом направлении пока еще достаточно ограничены.

Задачи плана адаптации систем производства сельхозкультур сформулированы в работах (Ашабоков и др., 2020, Ашабоков и др., 2023). К этим задачам относится и разработка методов снижения потерь сельского хозяйства от экстремальных погодных явлений. В работе (Ашабоков и др., 2020) приведены методы снижения потерь сельского хозяйства от засух и градобитий, основанные на использовании различной уязвимости сельхозкультур этими явлениями, т.е. механизмами управления потерями отрасли от этих явлений становится структура производства сельхозкультур.

Отметим, что адаптация системы отраслевого уровня играет роль планирования производства сельхозкультур в объемах, необходимых для обеспечения продовольственной безопасности страны и связана с решением широкого круга задач.

2. Синтез системы отраслевого уровня.

Синтез системы отраслевого уровня основан на использовании результатов решения первой задачи, т.е. элементами данной системы будут адаптированные к изменению климата региональные системы производства сельхозкультур. Адаптивные свойства отраслевой системой приобретаются от систем регионального уровня. В результате решения данной задачи получается основной элемент системы обеспечения продовольственной безопасности, а именно, иерархическая система производства сельхозкультур отраслевого уровня, обладающая адаптивными свойствами к изменению климата и способная обеспечить продовольственную безопасность страны. Таким образом, цель полученной системы заключается в производстве сельхозкультур в таких объемах и такого качества, которые необходимы для достижения продовольственной безопасности. В работе (Постановление правит. РФ, 2023) приводится перечень сельхозкультур, производство которых необходимо для обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации.

Решение этой задачи требует разработки и использования модели, в рамках которой могут быть объединены региональные системы производства сельхозкультур. В качестве

такой модели может быть использована, например, модель оптимального распределения ограниченных ресурсов между региональными системами производства сельхозкультур. На основе модели на каждом шаге временной сетки на интервале адаптации должна быть осуществлена корректировка параметров этих систем, что обеспечит выполнение принципа целостности систем производства сельхозкультур.

Остановимся в краткой форме на учете в изложенном алгоритме обеспечения животноводческой продукцией населения страны. Очевидно, что разработка и использование такой модели, в которой будут учитываться процессы производства продукции растениеводства и животноводства с учетом их взаимосвязей, будут встречать серьезные трудности. В связи с этим предлагается использовать упрощенный вариант данной модели. Упрощение заключается в том, что фиксировать объемы ресурсов (земельных, финансовых и т.д.), которые необходимы для достижения целей системы производства животноводческой продукции. Затем для построения иерархической системы производства животноводческой продукции формулируются и решаются соответствующие задачи. В этом случае такими задачами будут задачи, соответствующие задачам второго этапа алгоритма.

Заключение. 1. Изложен алгоритм построения иерархической системы обеспечения продовольственной безопасности России с учетом изменений климата. Согласно алгоритму к элементам данной системы относятся отраслевая и региональные системы производства сельхозкультур, а адаптация их к изменению климата является необходимым условием достижения продовольственной безопасности.

2. Алгоритм состоит из двух этапов. На первом этапе осуществляются декомпозиция исходной (отраслевой) системы обеспечения продовольственной безопасности, формулировка и решение возникающих на нем задач. На втором этапе осуществляется адаптация региональных систем производства сельхозкультур и синтез системы отраслевого уровня.

3. Сформулированы основные задачи этапов построения иерархической системы обеспечения продовольственной безопасности, обсуждаются методы их решения.

4. Сформулированы основные задачи плана адаптации отраслевой системы производства сельхозкультур, результаты их решения должны использоваться для получения мероприятий, позволяющих адаптировать данную систему к изменению климата.

5. Цели адаптации отраслевой системы производства сельхозкультур, согласно алгоритму, должны быть достигнуты совместно с системами регионального уровня, что требует распределения целей отраслевой системы между региональными системами.

6. Адаптивные свойства к изменению климата системе производства сельхозкультур отраслевого уровня передаются от адаптированных к изменению климата систем регионального уровня.

7. Функционирование системы обеспечения продовольственной безопасности и важнейших ее элементов (систем производства сельхозкультур различных уровней) должно быть управляемым. Поэтому ключевое значение для обеспечения развития этих систем принимает развитие соответствующих научных направлений.

Список литературы

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. – Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. – 476 с.

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Формирование плана адаптации аграрного сектора Кабардино-Балкарии к изменению климата: задачи и методы решения//Метеорология и гидрология. – 2023. – № 10. – С. 57–65.

Постановление правительства РФ «Об утверждении Перечня и видов сельскохозяйственных растений, производство и выращивание которых направлено на обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации, сорта и гибриды которых подлежат включению в Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию». – 2023.

Суховеева О.Э. Адаптация землепользования к изменениям климата в России // Метеорология и гидрология. – 2020. – №12. – С. 20–26.

Grigorieva E., Livenets A., Stelmakh E. Adaptation of Agriculture to Climate Change: A Scoping Review/ Climate 2023, 11, 202. https://doi.org/10.3390/ cli1110020

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ ОТРАСЛЕВОГО УРОВНЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

ADAPTATION OF THE AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEM AT THE INDUSTRY LEVEL TO CLIMATE CHANGE

Барекова М.В[1]., Ашабоков Б.А.[1,2], Ташилова А.А.[1], Кешева Л.А.[1], Теунова Н.В.[1]

Barekova M.V.[1], Ashabokov B.A.[1,2], Tashilova A.A.[1], Kesheva L.A.[1], Teunova N.V.[1]

[1] ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Россия, КБР, 360001, Нальчик, пр. Ленина, 2*; mbarekova@mail.ru*
[2] ФГБУ «Институт информатики и проблем регионального управления» КБНЦ РАН
Россия, КБР, 360000, Нальчик, И.Арманд, 37А; *ashabokov.boris@mail.ru*

Аннотация. Изложен алгоритм адаптации системы производства сельхозкультур отраслевого уровня к изменению климата. Он основан на трансформации существующей системы в систему, обладающую адаптивными свойствами к изменению климата. Отмечено, что в результате решения данной проблемы должна быть получена эффективно функционирующая иерархическая система, элементами которой являются системы производства сельскохозяйственной продукции регионального уровня. При этом она должна быть способна достигнуть стоящие перед ней цели, которые не ограничиваются обеспечением продовольственной безопасности страны. Система должна быть в состоянии обеспечить связанные с ней отрасли сырьем и, кроме этого, активное участие России в обеспечении глобальной продовольственной безопасности. Сформулированы задачи данной проблемы, предложены методы их решения.

Ключевые слова: изменение климата, алгоритм адаптации, система производства сельхозпродукции, отраслевой уровень.

Abstract. An algorithm for adapting the agricultural production system to climate change is described, which is based on the transformation of existing agricultural production systems at various levels into systems with adaptive properties to climate change. It is noted that as a result of solving this problem, an effectively functioning hierarchical system should be obtained, the elements of which are agricultural production systems at the regional level. At the same time, it must be able to achieve their goals, which are not limited to ensuring the country's food security. The system should be able to provide related industries with raw materials and, in addition, Russia's active participation in ensuring global food security. The tasks of this problem are formulated, and methods for their solution are proposed.

Keywords: climate change, the adaptation algorithm, agricultural production system, industry level.

Последствия глобального потепления климата могут оказаться особенно значительными для систем производства сельхозпродукции на всех уровнях, что не может не повлиять на системы обеспечения продовольственной безопасности, включая и глобальную продовольственную безопасность. В докладе рассматривается система производства сельхозпродукции отраслевого уровня, основным элементом которой является растениеводческая отрасль, а вспомогательными элементами - отрасли, обеспечивающие растениеводство средствами производства, удобрениями и т.д.

Из работ, посвященных исследованию климатических изменений условий производства растениеводческой продукции, можно отметить работы (Ашабоков и др., 2020; Сиптиц и др., 2021). В работе (Ашабоков и др., 2020), например, приведены результаты анализа изменений режима температуры и осадков в различные сезоны года и в различных климатических зонах юга ЕТР и показано, что изменения отмеченных метеорологических параметров уже в состоянии заметно повлиять на показатели производства сельхозпродукции.

Если тенденции в их динамике сохранятся, то большинство регионов юга ЕТР до середины нынешнего столетия окажется в зоне средней и сильной засухи. Такая тенденция наблюдается и в других регионах страны.

Крайне негативными для сельского хозяйства могут оказаться и последствия экстремальных погодных явлений, интенсивность и частота которых увеличиваются с изменением климата. В условиях юга ЕТР наиболее важными из этих явлений можно считать градобития, высокие температуры и нехватку влаги в почве (Ашабоков и др., 2020). Высокая чувствительность сельского хозяйства к изменению климата делает создание иерархической системы производства сельхозпродукции отраслевого уровня, обладающей адаптивными свойствами к изменениям внешней среды, необходимым условием достижения продовольственной безопасности (Ашабоков и др., 2020; Ашабоков и др., 2023; Суховеева, 2020; Клементс и др., 2011; Галкин, 2021). Очевидно, что системы, не способные адаптироваться к изменениям климата, будут разрушены (Месарович и др., 1978).

Адаптация различных сфер деятельности к изменению климата связана с решением большого круга задач. В проблеме адаптации систем производства сельскохозяйственной продукции эти задачи группируются следующим образом: 1. Задачи, формирующие план адаптации системы к изменению климата; 2. Задачи, решения которых направлены на снижение влияния функционирования системы на климат; 3. Задачи, решения которых направлены на снижение неблагоприятного влияния изменения климата на функционирование системы; 4. Задачи, решения которых направлены на использование благоприятных последствий изменения климата для повышения эффективности системы. Важно отметить, что на уровне регионов задачи в этих группах будут отличаться в некоторых деталях.

Длина интервала адаптации не может превышать длину отрезка времени, на котором могут быть найдены достаточно надежные решения задач плана адаптации. В случае систем производства сельскохозяйственной продукции данный интервал, по нашему мнению, не может превышать 5-7 лет (Ашабоков и др., 2020).

В предлагаемом алгоритме адаптации системы отраслевого уровня предполагается, что в удовлетворении потребностей страны в продукции сельского хозяйства принимают участие все ее элементы. Очевидно, что система отраслевого уровня является вышестоящей по отношению к системам регионального уровня.

Алгоритм состоит из двух этапов:

- определение на качественном уровне целей систем производства сельхозпродукции отраслевого и регионального уровня, номенклатуры сельхозкультур и структуры их производства на региональном уровне, обеспечивающих достижение целей систем;

- синтез системы отраслевого уровня.

К основным задачам первого этапа можно отнести следующие: упрощение системы производства сельхозкультур с учетом особенностей рассматриваемой задачи; декомпозиция системы производства сельхозпродукции отраслевого уровня; формирование целей систем регионального уровня; подбор сельхозкультур и примерной структуры их производства в регионах; определение мероприятий, с помощью которых урожайности культур, формирующиеся под влиянием природных факторов, могут быть доведены до целевых показателей.

Запись требований к объемам производства культур требует проведения анализа и прогноза спроса и предложения сельскохозяйственной продукции на внешнем рынке.

Обязательными требованиями к системам производства сельхозкультур являются:

-влияние функционирования системы на климат на интервале адаптации должно находиться в допустимых пределах;

-влияние изменения климата на функционирование системы на этом же интервале должно находиться в допустимых пределах.

Отсюда возникает задача представления этих требований в виде, позволяющем учитывать их в моделях систем различных уровней. Для учета первого из этих требований в модели функционирования системы должны быть использованы взятые РФ обязательства по выполнению решений Парижской конференции по климату.

Учет второго требования требует проведения анализа и прогноза изменения климата на интервале адаптации, а также определения основных механизмов его влияния на производство сельхозпродукции, включая влияние экстремальных погодных явлений.

Таким образом, на первом этапе адаптации системы отраслевого уровня на качественном уровне определяется ее структура, формулируются цели систем отраслевого и регионального уровней, определяются комплекс сельхозкультур и структуры их производства в регионах, позволяющие достигнуть цели систем отмеченных уровней.

На втором этапе алгоритма решаются две крупные задачи. Одной их них является адаптация систем производства сельхозкультур регионального уровня к изменению климата. На этом уровне может оказаться нецелесообразным ограничиваться адаптацией растениеводческой отрасли, данная проблема, по нашему мнению, должна быть рассмотрена для системы «растениеводство–перерабатывающая отрасль» с учетом взаимосвязей между ее элементами, что приведет к повышению ее эффективности. Задачи плана адаптации данной системы и методы их решения приводятся в работе (Ашабоков и др., 2020). Важно отметить, что адаптивные свойства системе отраслевого уровня передаются от систем регионального уровня.

Что касается проблемы снижения потерь отрасли от экстремальных погодных явлений, то для ее решения комбинация активных и пассивных методов является наиболее перспективной. Пассивные методы снижения потерь сельского хозяйства от градобитий и аридизации сельхозугодий изложены в работе (Ашабоков и др., 2020).

К важнейшим задачам адаптации системы отраслевого уровня (после решения задач адаптации региональных систем) относится синтез данной системы. Здесь следует отметить, что адаптация к изменению климата элементов отраслевой системы (систем регионального уровня) обеспечивает выполнение принципа целостности данной системы. В рамках решения задачи Синтез отраслевой системы производства сельхозкультур требует разработки модели, в рамках которой могут быть объединены адаптированные к изменению климата региональные системы производства сельхозкультур. Модель оптимального распределения ограниченных ресурсов между региональными системами производства сельхозкультур может быть использована в качестве такой модели.

Таким образом, в работе изложен алгоритм адаптации системы производства сельхозкультур отраслевого уровня к изменению климата. Алгоритм состоит из двух этапов: первый - декомпозиция исходной системы отраслевого уровня и решение задач этапа, и второй - синтез системы отраслевого уровня, которая будет адаптирована к изменению климата. Согласно алгоритму цели адаптации отраслевой системы производства сельхозкультур, достигаются совместно с системами регионального уровня, что требует распределения качественных целей отраслевой системы в количественные цели региональных систем производства сельхозкультур. Сформулированы основные задачи этапов алгоритма и методы их решения. Адаптивные свойства к изменению климата системе отраслевого уровня передаются от адаптированных к изменению климата систем регионального уровня.

Список литературы

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. – Нальчик: ООО «Фрегат», 2020. – 476 с.

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н. В. Формирование плана адаптации регионального аграрного сектора к изменению климата: задачи и методы решения. Журнал «Метеорология и гидрология». – 2023. – №10. – С. 57-65.

Галкин Д. Г. Направления адаптации сельского хозяйства к последствиям глобальных климатических изменений / Вестник РЭУ им. Г. В. Плеханова. – 2021. – Том 18. – № 2 (116).

Клементс, Р., Дж. Хэггэр, А. Кезада, и Дж. Торрес (Clements, R., J. Haggar, A. Quezada, and J. Torres, 2011). Технологии по адаптации к изменению климата – Сельскохозяйственный сектор. Кс. Чжу (X. Zhu) (Ред.). Центр ЮНЕП в Рисо, Роскилде (Risø Centre, Roskilde). – 2011.

Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России//Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2 (185). – С. 75-86.

Суховеева О.Э. Адаптация землепользования к изменениям климата в России. Метеорология и гидрология. – 2020. – №12. – С. 20-26.

The Climate Change Challenge: A Review of the Barriers and Solutions to Deliver a Paris Solution/F.D. Santos [and etc.]//Climate. – 2022. – Vol. 10. – P. 75.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ И ЧАСТОТА ОПАСНЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В БИОМАХ ЮГА ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

DISTRIBUTION AND FREQUENCY OF DANGEROUS METEOROLOGICAL EVENTS IN THE BIOMES OF THE SOUTHERN FAR EAST

Журавлева Н.С.

Zhuravleva N.S.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *n.zhuravleva@igce.ru*

Аннотация. Выполнена обработка и анализ многолетних метеорологических данных, собранных с 9 метеостанций, расположенных в пределах биомов: Сахалино-Сихотэ-Алиньского, Сихотэ-Алиньского южного и Южного Дальневосточного островного. Установлено, что наиболее часто фиксируемыми явлениями являются и высокий снежный покров (до 70 дней в год) и очень сильный ветер (до 47 дней в год). При этом выявлен редкий факт – превышение второго порога по высоте снежного покрова отмечается чаще, чем превышение первого порога в интервале до второго. Очень сильный дождь (до 6 дней в год), очень сильный снег (до 2 дней в год), сильные метели (до 16 дней в год) так же часто фиксируются. Сильный мороз, сильная жара, смерчи, чрезвычайная пожарная опасность, суховеи наблюдаются реже раза в год.

Ключевые слова: опасные гидрометеорологические явления, биомы Росси, Дальний Восток.

Abstract. The processing and analysis of long-term meteorological data collected from 9 meteorological stations located within the biomes of Sakhalin-Sikhote-Alin, Southern Sikhote-Alin and Southern Far Eastern Island has been performed. It has been established that the most frequently recorded dangerous meteorological events are high snow cover (up to 70 days per year) and very strong wind (up to 47 days per year). At the same time, a rare fact has been revealed - exceeding the second threshold by snow cover height is observed more often than exceeding the first threshold in the interval up to the second. Very heavy rain (up to 6 days per year), very heavy snow (up to 2 days per year), strong blizzards (up to 16 days per year) are also frequently recorded. Severe frost, extreme heat, tornadoes, extreme fire hazard, dry winds are observed less than once a year.

Keywords: dangerous meteorological events, biomes of Russia, Russian Far East.

Для исследования были выбраны три горных биома Дальнего Востока России: Сахалино-Сихотэ-Алиньский, Сихотэ-Алиньский южный, Южный Дальневосточный островной. Биомы представляют собой уникальные природные комплексы, отличающиеся высоким уровнем биологического разнообразия и значительной долей эндемичных видов (карта «Биомы России», 2018). Территории располагаются на стыке нескольких ботанико-географических областей: Восточно-Сибирской, Даурской, Маньчжурской и Охотской (Гвоздецкий и др., 1987), что обусловливает богатство и мозаичность флоры и фауны.

Глобальное изменение климата оказывает влияние на распределение и учащение опасных метеорологических явлений (ОМЯ) (Третий оценочный доклад…, 2022). На территориях, относящихся к ДВФО, встречаются и учащаются: сильный ветер, очень сильные осадки, метель и снег, сильный мороз, аномально холодная погода, град, сильный гололед, налипание мокрого снега, заморозки, туман. Для рассматриваемой территории характерны аномалии температуры, залегания снежного покрова, уменьшение запаса воды в снеге, тенденция к увеличению сумм осадков, скорости ветра, засушливость в земледельческой зоне (Доклад об особенностях климата…, 2025).

В связи с этим для данной территории необходимо оценить частоту ОМЯ, наносящих ущерб биоразнообразию: очень сильный ветер, очень сильный дождь, очень сильный снег, сильный мороз, сильная жара, сильная метель, высокий снежный покров, смерч, чрезвычайная пожароопасность, суховей.

Для расчётов были использованы данные с метеорологических станций (рис. 83): Советская Гавань, Александровск-Сахалинский, Мыс Терпения, Владивосток, Преображение, Пограничное, Поронайск, Южно-Сахалинск, Южно-Курильск.

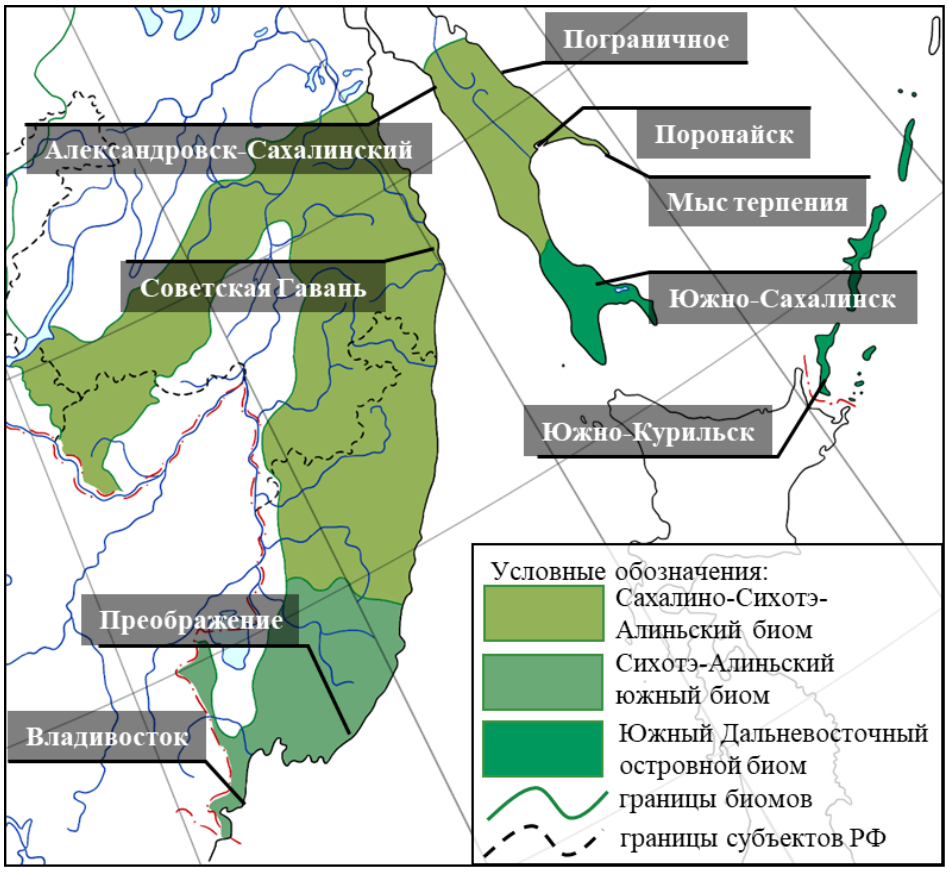


Рисунок 83. Расположение метеостанций на территории исследуемых биомов

Для расчёта частоты ОМЯ использовались специализированные массивы: основные метеорологические данные – срочные данные, максимальная скорость ветра, сумма осадков, температура воздуха по сухому термометру (Булыгина и др., 2014а), интенсивность атмосферного явления, шифр атмосферного явления (Булыгина и др., 2015) и суточные данные по высоте снежного покрова (Булыгина и др., 2014б). По научно-прикладному справочнику «Климат России» были отобраны и рассчитаны данные по чрезвычайной пожарной опасности (повторяемость) и суховеям (среднее многолетнее число дней) за весь период наблюдений (НПС «Климат России», 2020). Информация о количестве смерчей в рассматриваемых биомах бралась из базы данных смерчей в российских регионах (Чернокульский и др., 2021).

Для ОМЯ использовались пороговые значения воздействия, основанные на потенциальном нанесении ущерба природным системам или их отдельным компонентам.

Выделяются два уровня порогов: первый – при котором возможно нанесение существенного ущерба, и второй – когда последствия приобретают катастрофический характер (Липка и др., 2024). На основе этих критериев были рассчитаны значения частоты, усреднённые по годам для двух интервалов – в диапазоне между первым и вторым порогом и превышающие второй порог (табл. 21).

Таблица 21. Частота возникновения ОМЯ по пороговым значениям интенсивности в год

Станция	Порог	Очень сильный ветер	Очень сильный дождь	Очень сильный снег	Сильный мороз	Сильная жара
Сахалино-Сихотэ-Алиньский биом						
Советская Гавань	1	10,43	2,77	1,4	0	0
	2	0,17	0,63	0,27	0	0
Александровск-Сахалинский	1	17,15	1,07	0,27	0,02	0
	2	0,17	0,1	0,01	0	0
Мыс терпения	1	54,43	1,44	0,68	0	0
	2	3,68	0,11	0,03	0	0
Пограничное	1	4,19	2,02	1,93	0,19	0,02
	2	0,09	0,4	0,3	0	0
Поронайск	1	5,06	3,13	1,09	0,17	0
	2	0,04	0,52	0,08	0	0
Сихотэ-Алиньский южный биом						
Владивосток	1	44,62	4,15	0,58	0	0
	2	0,47	1,14	0,08	0	0
Преображение	1	6,81	4,18	0,47	0	0
	2	0,09	1,58	0,08	0	0
Южный Дальневосточный островной биом						
Южно-Сахалинск	1	5,53	2,75	1,06	0	0
	2	0,11	0,49	0,08	0	0
Южно-Курильск	1	47,75	6,62	0,97	0	0
	2	1,47	1,71	0,05	0	0

Станция	Порог	Сильная метель	Высокий снежный покров	Смерч	Чрезвычайная пожарная опасность	Суховей
Сахалино-Сихотэ-Алиньский биом						
Советская Гавань	1	2,7	30,32	0,42	0,76	0
	2	0,43	21,33		0	0,11
Александровск-Сахалинский	1	11,33	21,11		0,55	0
	2	0,96	5,39		0	0
Мыс терпения	1	16,73	1,98		0,04	0
	2	11,65	0,27		0	0
Пограничное	1	3,23	31,74		0,37	0
	2	0,65	70,01		0	0,02
Поронайск	1	1,81	40,72		0	0
	2	0	53,99		0	0
Сихотэ-Алиньский южный биом						
Владивосток	1	5,83	0,48	0,19	0,57	0
	2	1,85	0,02		0	0
Преображение	1	0,79	0		0,57	0
	2	0,27	0		0	0
Южный Дальневосточный островной биом						
Южно-Сахалинск	1	5,31	20,74	н/д	0	0
	2	0,63	25		0	0
Южно-Курильск	1	9,77	8,22		0	0
	2	4,63	0,48		0	0

Очень сильный ветер наиболее часто отмечается на мысе Терпения (1 порог 25 м/с): 54,43 дня в год, 2 порог (≥33 м/с): 3,68 дня). В то же время, на станциях Преображение, Поронайск, Южно-Сахалинск – количество дней с очень сильным ветром по 1 порогу – меньше 1 дня в год. По 2 порогу явление отмечается редко, кроме станций мыс Терпения и Южно-Курильск.

Очень сильные дожди наиболее часто фиксируются в Приморье, особенно в районе станций Преображение и Владивосток, где превышение первого порога (≥30 мм/сут.) наблюдается в среднем более 4 дней в год. Реже на станциях Поронайск, Южно-Сахалинск, Южно-Курильск, Советская Гавань от 2 до 3 дней в год по 1 порогу. По 2 порогу (≥60 мм/сут.) выделяются станции Преображение и Южно-Курильск – 1,58 и 1,71 дней в год.

Южные и островные районы сильнее подвержены очень сильному снегу 1 порога (≥20 мм/сут.), который отмечается на станциях Советская Гавань, Пограничное, Поронайск и Южно-Сахалинск более 1 дня в год. На остальных станциях реже – 0,2-0,7 дня в год. Снегопады превышающие 2 порог (≥40 мм/сут.) чаще всего фиксировались на станции Пограничное – раз в 9 лет.

Рассматриваемые территории в основном не подвержены сильным морозам, исключение – север Сахалино-Сихотэ-Алиньского биома – станциях Советская Гавань, Пограничное и Поронайск, по 1 порогу (≤-35°C) зафиксировано 0,017–0,19 дня в год, явление возникает реже, чем раз в 5 лет. По 2 порогу (≤-50°C) явление не фиксируются.

Сильная жара (≥35°C) не характерна для данных биомов. На всех станциях наблюдаемое значение нулевое – таких температур не фиксировалось ни разу за весь период наблюдений.

Сильная метель отмечается во всех рассматриваемых биомах по первому порогу (при ветре ≥15 м/с) более одного дня в год, чаще всего в Сахалино-Сихотэ-Алиньсоком биоме. На станциях Мыс Терпения и Южно-Курильск 2 порог (≥25 м/с) превышается чаще чем 11,65 и 4,63 дней в год соответственно.

Высокий снежный покров достигает второго порога (60 см) везде за исключением станции Преображение в Южном Сихотэ-Алиньском биоме. Причём на станциях Пограничное и Паранайск второй порог превышается чаще, чем количество дней в интервале от первого до второго порогов (40-60 см).

Смерчи, выходящие на сушу, были зафиксированы на Сахалино-Сихотэ-Алиньском биоме и Южном Дальневосточном островном биомах реже, чем раз в два года и реже, чем в 5 лет соответственно.

Чрезвычайная пожароопасность наиболее характерна для материковой части Сахалино-Сихотэ-Алиньского биома. Наиболее высокая повторяемость по 1 порогу (индекс

горимости ≥1001) – на станциях Владивосток (0,57 дней в год), Советская Гавань (0,76), Преображение (0,50).

Суховеи не характерны для региона, за исключением отдельных засушливых лет. По первому порогу (интенсивный суховей) 0,20 дней в год на станции Пограничное – раз в 5 лет, в других местах – значения 0,00-0,11, что соответствует частоте раз в десятилетие и реже.

Большинство ОМЯ второго порога, как правило, фиксируются значительно реже, чем первого, однако выявлена особенность высоты снежного покрова на станциях Пограничное и Паранайск, что свидетельствует об уникальности региональных климатических условий, связанных с образованием снежного покрова. ОМЯ, преобладающим по частоте среди обоих порогов, является высота снежного покрова (в среднем 70,01 день в год на станции Пограничное) и по первому порогу очень сильный ветер (54, 43 дня в год – Мыс Терпения).

Список литературы

Булыгина О.Н., Веселов В.М., Александрова Т.М., Коршунова Н.Н. «Описание массива данных по атмосферным явлениям на метеорологических станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2015620081 от 15 января 2015 г.

Булыгина О.Н., Веселов В.М., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549 от 10 апреля 2014 г., 2014а.

Булыгина О.Н., Разуваев В.Н., Александрова Т.М. «Описание массива данных характеристик снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР». Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014621201 от 26 августа 2014 г., 2014б.

Гвоздецкий Н. А., Михайлов Н. И. Физическая география СССР. Азиатская часть: учеб. для студ. геогр. спец. вузов 4-е изд., исправ. и доп //Москва: Высш. шк. – 1987. – 512 с.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. – Москва, 2025. – 104 стр.

Липка О. Н., Андреева А. П., Стишкина С. А. Подверженность природных систем суши опасным гидрометеорологическим явлениям и пороговые значения их воздействий // Фундаментальная и прикладная климатология. - 2024. - №3. - С. 329-377.

Огуреева Г.Н., Леонова Н.Б., Емельянова Л.Г. и др. 2018. Карта «Биомы России». М.1:7 500 000. Издание 2-е переработанное и дополненное / Научн. ред. Г.Н. Огуреева. Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, 2018.

Разуваев В.Н. Булыгина О.Н., Коршунова Н.Н., Клещенко Л.К., Кузнецова В.Н., Трофименко Л.Т., Шерстюков А.Б., Швець Н.В., Давлетшин С.Г., Зверева Г.Н. Научно-

прикладной справочник «Климат России». Свидетельство о государственной регистрации № 2020621470 от 18 августа 2020 г.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В. М. Катцова; Росгидромет. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.

Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И., Шихов А.Н., Ажигов И.О., Селезнева Е.В., Захарченко Д.И., Антонеску Б., Куне Т. Смерчи в российских регионах // Метеорология и гидрология, 2021, №2, с. 17–34.

ОБНАРУЖЕНИЕ И ТУШЕНИЕ МНОГОЛЕТНИХ (ТРАНССЕЗОННЫХ) ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА

HOLDOVER (OVERWINTERING) PEAT FIRES DETECTION AND EXTINGUISHING UNDER CLIMATE CHANGE CONDITIONS

Куксин Г.В., Крючковская Л.А.

Kuksin G.V., Kryuchkovskaya L.A.

АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров»
Россия, 127591, Москва, ул.Дубнинская, 26, корп.4; *gkuksin@cplp.ru*

Аннотация. На территории России все чаще регистрируются торфяные пожары, переживающие зимний сезон в активном состоянии. При переходе в следующий пожароопасный сезон очаги тления торфа дают начало другим видам ландшафтных пожаров, увеличивая эмиссии парниковых газов и создавая угрозу для жизни и здоровья людей. При этом сами пережившие зиму (транссезонные) торфяные пожары становятся более сложными в тушении. Установлены особенности строения таких длительно действующих очагов, определены основные факторы, способствующие устойчивости очагов зимой и в течение последующего пожароопасного сезона, определены особенности, определяющие способность очагов к возобновлению. Отработаны технологии прямого и косвенного тушения многолетних очагов, определен объем необходимой воды для прямого тушения. Предложен способ расчета объема сгорающего торфа в очаге для более точной оценки выбросов парниковых газов в результате торфяных пожаров. Предложен способ выявления тех болот, где развитие транссезонных пожаров наиболее вероятно, на основе данных спутникового мониторинга.

Ключевые слова: торфяные пожары, зимующие пожары, транссезонные пожары, уровень грунтовой воды, удельный расход воды, выбросы парниковых газов, спутниковый мониторинг.

Abstract. Peat fires that remain active throughout the winter season are increasingly being registered in Russia. During the transition to the next fire hazardous season peat smoldering gives rise to other types of wildland fires, increasing greenhouse gas emissions and posing a threat to human life and health. At the same time, overwintering (holdover) peat fires become more difficult to extinguish. The structural features of such long-acting smoldering spots and the main factors contributing to the stability of the spots in winter and during the subsequent fire hazardous season were identified, and the characteristics determining the spots' ability to resume were determined. Direct and indirect extinguishing technologies for holdover fire spots were developed, and the volume of water required for direct extinguishing was measured. A method is proposed for calculating the volume of burned peat for a more accurate assessment of greenhouse gas emissions resulting from peat fires. A remote sensing method is proposed for identifying peatlands where the overwintering fires are more likely to develop.

Keywords: peat fires, overwintering fires, holdover fires, groundwater level, specific water consumption, greenhouse gas emissions, remote sensing.

Торфяные пожары являются специфическим видом ландшафтных пожаров, имеющим свои характерные особенности (Софронов, Волокитина, 1986). В последние годы участились случаи обнаружения транссезонных (зимующих) торфяных пожаров как на территории России (Секерин и др., 2022), так и на северных территориях США и Канады (Scholten et al., 2021). Установлены некоторые особенности развития транссезонных торфяных пожаров и факторы, способствующие сохранению тления в зимний период (Куксин и др., 2024). Распространение этого явления является как следствием изменившихся особенностей пожароопасного сезона на фоне глобального потепления, так и фактором, вносящим вклад в изменение климата (Scholten et al., 2021).

В некоторых случаях перезимовавшие торфяные пожары продолжают свое развитие в следующем сезоне и оказываются особенно сложными в тушении. Необходимо выработать практические рекомендации по дистанционным методам обнаружения и тушения

транссезонных очагов на основе установленных особенностей структуры очагов и факторов, способствующих их устойчивости, а также разработать подход к расчету объема сгорающего торфа в очаге для более точной оценки выбросов парниковых газов в результате торфяных пожаров и, как следствие, корректной оценки влияния проблемы транссезонных пожаров на изменение климата.

Исследование проводилось в 2022-2025 гг. на действующих многоочаговых зимующих и перезимовавших пожарах в Свердловской, Костромской, Омской, Владимирской, Рязанской областях. Выявление очагов тления проводилось с применением беспилотных воздушных судов (БВС) с тепловизионными камерами DJI Mavic 3T. Для работы отбирались активные очаги тления торфа, расположенные на участках, где в течение предшествовавшего пожароопасного сезона или нескольких сезонов подряд наблюдалось тление торфа. В ряде случаев это были очаги, которые возобновились после неудачного тушения.

Наземное обследование очагов проводилось с использованием тепловизора, встроенного в защищенный смартфон Doogee V20 Pro. Для определения глубины и обнаружения скрытых участков использовались термопары типа К в щупах-термометрах. Для определения структуры очагов производились почвенные разрезы. Из всех выраженных в структуре очага слоев (зола, торфяной уголь, разогретый торф) отобраны пробы грунта, которые высушивались до прекращения измерения массы, после чего проводилось определение их зольности в соответствии с ГОСТ 11306-2013. Также отобранные пробы подвергались пробам с зажиганием от источника открытого огня.

Тушение очагов проводилось как прямым методом – перемешиванием тлеющего материала с водой, подаваемой пожарными стволами от переносных мотопомп, так и косвенным методом – подтоплением очагов с применением наливных дамб для создания толщи воды над очагом тления. Качество тушения контролировалось переносными щупами-термометрами в зоне подачи воды и тепловизорами в контрольных шурфах после тушения, а также при помощи логгеров температуры EL-USB-TC, подключенных к термопарам типа К, установленным неподвижно в разных слоях очага. Определение удельного расхода воды осуществлялось с применением гидротестера «Спец-01».

Исследование зимних очагов подтвердило, что они возникают в результате развития не потушенных в течение пожароопасного сезона очагов тления торфа и приурочены прежде всего к участкам с низким уровнем грунтовой воды (УГВ) осенью и плотной дерновиной или минеральным грунтом (отсыпка дороги, кавальер канала, минерализация верхнего слоя в результате сельскохозяйственной деятельности) над тлеющим очагом. При этом из-за зимнего понижения УГВ очаги имеют зимой глубину до 3 м, а в условиях дефицита кислорода в

нижних слоях и под нависающими краями происходит активное образование торфяного угля (торфяного кокса).

В весенний период с подъемом УГВ очаги становятся менее глубокими, так как нижние слои остывают, но на поверхности от тлеющего торфа загорается сухая растительность. Этот процесс ускоряется из-за выбросов горячего пара при подтоплении нижних раскаленных слоев: подъем пара увеличивает вентиляцию и значительно повышает температуру верхних слоев золы и угля. Аналогичный эффект подъема пара, стимулирующего начало открытого горения, наблюдался при тушении очагов подтоплением с термометрическим контролем (рис. 85). Открытое горение по поверхности торфяника создает новые очаги тления, формируя к лету сложную структуру торфяных очагов разного возраста.

В летний период перезимовавшие очаги развиваются с выгоранием осевшего слоя торфа, который в зимний период нависал над краями очага. Такой «вторичный» очаг, формирующийся над погребенной «зимней» частью очага, формирует многослойную структуру, состоящую из чередующихся слоев торфяной золы, угля и торфа. Слои торфяного угля плотные и гидрофобные. При вскрытии очагов после тушения струями воды верхних слоев нижние слои очага оставались сухими и имели температуру более 270 °С. Именно эта особенность очагов приводит к трудностям в тушении и возобновлению тления на таких очагах после тушения без термометрического контроля (рис. 84).

Рисунок 84. Фото транссезонных почвенных очагов в зимнем (слева), весеннем (в центре) и летнем (справа) состоянии

Удельный расход воды (тонны на 1 м^2 поверхности очага) при прямом тушении компактными струями из ручных стволов РС-50 составляет для многолетних очагов около 3 тонн в конце зимы и около 2 тонн в летний (при среднем удельном расходе воды на «ординарные» неперезимовавшие очаги около 1 тонны). Для надежного тушения многолетних

очагов необходим термометрический контроль с применением щупов-термометров с особенным вниманием к нижним слоям погребенной золы и угля.

Косвенное тушение (подтопление) применялось с использованием быстровозводимых наливных дамб высотой 30 см. Термометрический контроль для анализа скорости остывания в разных слоях проводился логгерами температуры с термопарами типа К (рис. 85). По сравнению с косвенным тушением «ординарных» неперезимовавших очагов требуется более длительный период времени, когда очаги находятся под толщей воды, и тщательный термометрический контроль с применением щупов-термометров через каждый 0,5-1 м поверхности.

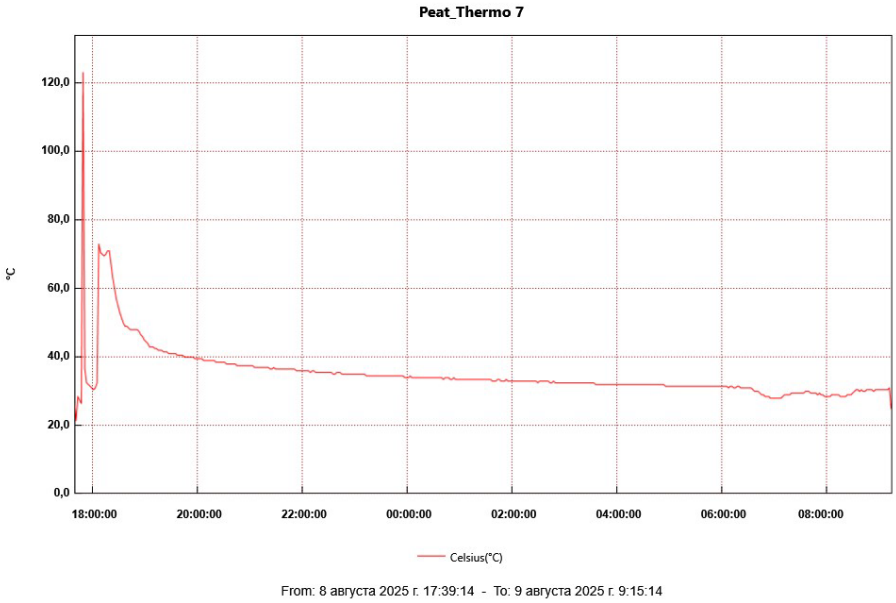


Рисунок 85. Остывание очага тления торфа в ходе тушения подтоплением. Чередование пиков высокой температуры и временных периодов охлаждения объясняется последовательным протеканием воды в различные слои очага и выбросами пара

Лабораторные опыты с отобранными пробами торфяного угля показали, что его зольность составляет около 30 % с незначительными колебаниями (от 27 до 33 %) в различных прослоях. Огневые эксперименты показали, что пробы способны гореть и поддерживать горение (тление) при воздействии на них источника высокой температуры. Таким образом, можно утверждать, что, если в нижних слоях очага сохраняются участки с температурой выше температуры воспламенения торфа и торфяного угля, очаг может возобновляться и продолжать свое развитие.

Представление о слоистой структуре очагов на основе полученных значений зольности слоев угля, золы и торфа в сочетании с оценками площадей очагов по данным обследования с БВС и измерениями глубин очагов щупами-термометрами позволяют точнее оценивать объемы выбросов парниковых газов при длительных торфяных пожарах с учетом недожога

органики в золе и в подземных слоях очага. На основе расчетов, проведенных для исследованных болот, можно предложить учитывать объем сгорающего торфа в очаге как произведение площади очага (проекции очага на поверхность почвы, включая скрытые участки) на глубину очага до верхнего слоя торфяного угля (если он есть) или до плотного дна очага. Использование в расчетах глубины очага как глубины до слоя золы приводит к существенным недооценкам выбросов, а использование глубины очага как глубины до границы нагретого слоя по данным щупов-термометров приводят к существенным завышениям расчетных объемов выбросов.

Для дистанционного отбора тех торфяников, где более вероятны транссезонные пожары, ключевой характеристикой может выступать пространственное совпадение или примыкание весенних и осенних термоточек MODIS / VIIRS в рамках одного года, так как данный параметр показывает возможное действие пожара с весны до осени. Также следует обращать внимание на пространственное совпадение или примыкание осенних термоточек предшествующего года и весенних термоточек следующего – данный параметр показывает вероятный переход осеннего пожара через зиму в весенний пожар с открытым горением. Для более детального анализа могут быть использованы снимки среднего пространственного разрешения Sentinel-2 в комбинации каналов SWIR, на которых ключевым параметром для выявления действующих транссезонных пожаров является изменение формы кромки пожара на последовательных сериях снимков.

Список литературы

ГОСТ 11306-2013. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности. Введ. 2015-01-01. – М.: Стандартинформ, 2019. – 10 с.

Куксин Г. В., Секерин И. М., Залесов С. В. Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №3 (141).

Секерин И. М., Годовалов Г. А., Ерицов А. М., Залесов А. М. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесной вестник. – 2022. – Т. 26. – № 5. – С. 64–70.

Софронов М. А., Волокитина А. В. Лесные почвенно-торфяные пожары на юге Западной Сибири // Лесное хозяйство. – 1986. – № 5. – С. 56–58.

Scholten R.C., Jandt R., Miller E.A., Rogers B.M., Veraverbeke S. Overwintering fires in boreal forests // Nature. – 2021. – Vol. 593. – P. 399–404.

ВЛИЯНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА НА ПСИХИЧЕСКОЕ ЗДОРОВЬЕ: ОПАСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ, ПОДВЕРЖЕННОСТЬ, УЯЗВИМОСТЬ И НАПРАВЛЕНИЯ АДАПТАЦИИ

THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON MENTAL HEALTH: HAZARDS, EXPOSURE, VULNERABILITY AND ADAPTATION PERSPECTIVES

Сорокина Д.Д.

Sorokina D.D.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *d.sorokina@igce.ru*

Аннотация. Статья представляет собой обзор зарубежных и российских источников на тему связи последствий изменения климата и состояния психического здоровья. Описывается ряд прямых, косвенных и опосредованных воздействий изменения климата на психическое здоровье, приведены основные уязвимые группы населения и направления адаптации. Эффекты для психического здоровья включают ухудшение состояния пациентов с уже диагностированными заболеваниями, формирование новых случаев расстройств, а также общее ухудшение эмоционального состояния. В настоящий момент наиболее изучены последствия экстремальных природных явлений. В меньшей степени в научной литературе представлены примеры воздействия долгосрочного роста средней температуры и частого повторения экстремальных природных явлений, а также проявление симптомов сезонного аффективного расстройства. Изучение этих областей вкупе с дестигматизацией, развитием зеленых городских насаждений, разработки специализированных психотерапевтических подходов и включением индикаторов психического здоровья в национальные стратегические документы являются перспективными направлениями работы.

Ключевые слова: изменение климата, психическое здоровье, адаптация к изменению климата, климатические риски, волны жары, экстремальные погодные явления, уязвимые группы населения, сезонное аффективное расстройство, климатическая тревожность.

Abstract. The article is a review of foreign and Russian sources on the topic of climate change and mental health. Direct, indirect and mediated impacts of climate change on mental health are described, the main vulnerable population groups and adaptation directions are given. Effects on mental health include both worsening of the condition of patients with diagnosed mental illnesses and forming new cases. The effects of extreme natural events are currently the most studied. To a lesser extent, the scientific literature provides examples of the effects of long-term increases in mean temperatures, frequent repetition of extreme natural events and symptoms of seasonal affective disorder. Study of these areas together with destigmatization, urban plantations development, specialized psychotherapeutic approaches and incorporating mental health indicators into national strategical documents are promising areas of work.

Keywords. climate change, mental health, climate change adaptation, climate risk, heat waves, extreme weather events, vulnerable groups, seasonal affective disorder, climate anxiety.

Климатическое воздействие на психическое здоровье может быть прямым следствием как отдельных экстремальных природных явлений, так и постепенного долгосрочного изменения климатических характеристик. Итог такого воздействия варьируется от неклинических изменений до психических расстройств и ущерба физическому здоровью (Cissé et al., 2022).

Наиболее изучено влияние острых климатических рисков, особенно наводнений и ураганов, так как они представляют собой типичный пример травмирующего события. С очень высокой достоверностью исследования выявляют значительные негативные последствия для психического здоровья у людей, переживших штормы (Boscarino et., al, 2014), наводнения (Baryshnikova, Pham, 2019), волны жары, лесные пожары и засухи (Hayes, Poland, 2018).

Наиболее доказанным следствием является развитие клинической депрессии и ПТСР: они наблюдались у как минимум 20-30 % людей в течение первых нескольких месяцев после

урагана и наводнений (Obradovich et al., 2018). На психическое здоровье после экстремальных ситуаций также оказывают влияние долгосрочные нарушения, проявляющиеся в течение нескольких лет: проблемы со сном, головные боли, обострение хронических заболеваний (Ревич и др., 2019).

Другим достаточно изученным фактором влияния на психическое здоровье является экстремальная жара. Повышение температуры окружающей среды связано с повышенным риском ухудшения симптомов, госпитализации, суицидального поведения и смерти для людей с уже диагностированными психическими заболеваниями (Thompson et al., 2018). Это обусловлено сочетанием нескольких факторов: прием лекарств, которые могут нарушать нормальные механизмы терморегуляции или менять субъективное восприятие температуры, биодоступность биологических веществ, которые потенциально связаны с психофизиологией многих аффективных расстройств, пренебрежение мерами профилактиками из-за снижения способности сохранять когнитивную осведомленность об окружающей обстановке, нарушения сна (Cianconi et al., 2020; Sorensen, Hess, 2022). В Третьем национальном оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации Б. Ревич также приводит данные о том, что волны жары могут вести к нарушению высшей нервной деятельности, росту количества самоубийств и учащении алкогольных симптомов (Ревич, 2022).

Изменение климата также угрожает благополучию, определяемому в терминах способности реализовать свой потенциал и полноценно участвовать в жизни общества. Жара может ограничивать трудовые возможности, снижает способность к обучению (Park et al., 2021).

Малоизученной сферой также является влияние комплексов метеорологических факторов и изменения частоты их возникновения вследствие изменения климата. Погодные условия могут влиять на настроение человека, но у некоторых людей такая реакция носит регулярный и сильно выраженный характер, влияя на качество жизни. В таких случаях можно говорить о сезонном аффективном расстройстве (САР). Существуют две формы САР в зависимости от сезона ухудшения состояния: типичная зимне-осенняя и атипичная летняя. Работы, прогнозирующие влияние изменении климата на распространенность и тяжесть САР, в настоящее время отсутствуют. Однако, можно предположить, что в зависимости от региона симптомы САР могут и усиливаться, и смягчаться, как и для типичной, так и атипичной формы.

Косвенное климатическое воздействие включает огромный спектр механизмов. В качестве доказанных примеров можно привести:

- отсутствие продовольственной безопасности из-за засух и наводнений связано с различными проблемами психического здоровья как для детей, так и для взрослых (Lund et al., 2018);
- рост числа самоубийств и злоупотреблений психоактивными веществами у представителей профессий, которые могут пострадать от изменения климата, в особенности у фермеров (Kabir, 2018);
- потеря членов семьи в результате экстремального погодного явления, повышает риск психических заболеваний (Keyes et al., 2014);
- сдвиги в географическом распространении переносчиков трансмиссивных болезней, таких как болезнь Лайма, могут привести к психиатрическим симптомам с поражением головного мозга (Mora et al., 2022);
- травмирование психики вследствие утраты дома, миграции, а также потеря чувства самостоятельности и контроля (Deci, Ryan, 2012);
- горе из-за деградации местных или ценных ландшафтов (соластальгия) (Albrecht et al., 2007).

Сам факт наблюдения за развертыванием последствий изменения климата и недостаточных действий правительств может сопровождаться влиянием на психическое здоровье даже при проживании в относительно благоприятном с точки зрения климата регионе. Совокупность таких симптомов как чрезмерная тревожность, чувство предательства и недоверия к правительству в связи с бездействием в отношении климата или вины из-за неспособности остановить изменение климата называется “экотревожностью” или “климатической тревожностью”. Такое состояние не является заболеванием, хотя может и проявляться в виде классических психиатрических диагнозов (Hickman et al., 2021).

Наиболее уязвимыми группами населения являются люди с психическими заболеваниями, представители климатозависимых профессий, женщины, дети, молодежь, коренные народы, пожилые, люди, живущие в бедности, и люди с мобильными нарушениями (Cissé et al., 2022; Sorensen, Hess, 2022). Дети и подростки особенно уязвимы к посттравматическому стрессу после экстремальных погодных явлений, а повышенная восприимчивость к проблемам психического здоровья может сохраняться и во взрослом возрасте (Hellden et al., 2021). Кроме того, представители поколения Z по сравнению с поколением Y более озабочены экологическими рисками и подвержены “климатической тревожности” (Журавлев, Нестик, 2020). Пожилые и маломобильные люди могут испытывать дополнительное давление из-за ограничений передвижения во время наводнений и ураганов. Женщины в принципе больше ограничены в правах в условиях гендерного неравенства и часто несут повышенную психическую нагрузку (Manning, Clayton, 2018).

Относительно воздействия изменения климата на северные малые коренные народы большинство исследований сосредоточены на хозяйственных проблемах и их последствиях для физического здоровья, тогда как гораздо меньше известно о том, как эти изменения влияют на психическое здоровье (Cunsolo et al., 2015). В своей работе Б.А. Ревич выявляет у коренных малочисленные народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации увеличение случаев межличностных конфликтов, депрессии и других форм социального стресса вследствие чувства изолированности на фоне истощения местных ресурсов и перебоев в работе транспортной инфраструктуры (Ревич, 2009).

Направления адаптации охраны психического здоровья в условиях изменения климата могут совпадать с направлениями адаптации системы здравоохранения в целом, а также с общепринятыми практиками в профилактике и лечении психических расстройств:

- дестигматизация. Дестигматизация включает в себя нормализацию разговоров о психических особенностях и расстройствах, информирование населения, разрушение стереотипов о больных людях и т.д. (Raj, 2022);
- социальная поддержка уязвимых групп населения перед лицом климатического кризиса. Например, это могут льготы на лекарства или посещение специалистов (Hayes, Poland, 2018);
- в данный момент не разработано специализированных психотерапевтических подходов для симптомов, связанных с климатическими изменениями (Clayton, 2021);
- наличие зеленых пространств, градостроительное проектирование и городское планирование, поощряющее физически активную мобильность, также может улучшить психическое здоровье (Ревич, 2023).

Таким образом, современные исследования показывают, что изменение климата представляет собой серьёзную угрозу для психического здоровья населения. Это воздействие проявляется через острые стрессовые реакции и хронические последствия для здоровья. При этом как прямые, так и косвенные воздействия вызывают широкий спектр состояний – от краткосрочного ухудшения самочувствия до стойких клинических расстройств.

Список литературы

Журавлев А.Л., Нестик Т.А. Влияние изменения климата на человека: психологический анализ // Психологический журнал. – 2020. – Т. 41, № 5. – С. 86–96.

Ревич Б.А. Значение зеленых пространств для защиты здоровья населения городов //Анализ риска здоровью. – 2023. – №. 2. – С. 168-185.

Ревич Б.А. Климатические изменения как новый фактор риска для здоровья населения Российского Севера //Экология человека. – 2009. – №. 6. – С. 11-16.

Ревич Б.А. Погодные экстремумы и здоровье населения / Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. – под ред. В. М. Катцова. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, 2022 – С. 275– 288.

Ревич Б. А., Малеев В. В., Смирнова М. Д. Изменение климата и здоровье: оценки, индикаторы, прогнозы. – Под ред. Ревича Б. А. (д.м.н.) и Кокорина А. О. (к.ф.-м.н.). – Москва: ИНП РАН, 2019. – 196 с. DOI: 10.33029/0016-9900-2020-99-2-176-181. – Текст: электронный.

Albrecht G. et al. Solastalgia: the distress caused by environmental change //Australasian psychiatry. – 2007. – Т. 15. – №. 1_suppl. – С. S95-S98. – doi:10.1080/10398560701701288

Baryshnikova N. V., Pham N. T. A. Natural disasters and mental health: A quantile approach //Economics letters. – 2019. – Т. 180. – С. 62-66.

Boscarino J. A. et al. Mental health outcomes among vulnerable residents after Hurricane Sandy: implications for disaster research and planning //Am J Disaster Med. – 2014. – Т. 9. – №. 2. – С. 107-120.

Cianconi P., Betrò S., Janiri L. The impact of climate change on mental health: a systematic descriptive review //Frontiers in psychiatry. – 2020. – Т. 11. – С. 490206. – doi:10.3389/fpsyt.2020.00074

Cissé G., McLeman R., Adams H., Aldunce P., Bowen K., Campbell-Lendrum D., Clayton S., Ebi K.L., Hess J., Huang C., Liu Q., McGregor G., Semenza J., Tirado M.C. Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities // In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge: Cambridge University Press, 2022. – С. 1041–1170. – doi:10.1017/9781009325844.009

Clayton S. Climate change and mental health //Current Environmental Health Reports. – 2021. – Т. 8. – С. 1-6. – doi:10.1007/s40572-020-00303-3

Cunsolo A. et al. Examining relationships between climate change and mental health in the Circumpolar North //Regional Environmental Change. – 2015. – Т. 15. – №. 1. – С. 169-182.

Deci E. L., Ryan R. M. Self-determination theory //Handbook of theories of social psychology. – 2012. – Т. 1. – №. 20. – С. 416-436.

Hayes K., Poland B. Addressing Mental Health in a Changing Climate: Incorporating Mental Health Indicators into Climate Change and Health Vulnerability and Adaptation Assessment // Int. J. Environ. Res. Public Health. – 2018. – Т. 15. – № 9:1806. – doi:10.3390/ijerph15091806.

Hellden D. et al. Climate change and child health: a scoping review and an expanded conceptual framework // Lancet Planet. Health. – 2021. – Т. 5, № 3. – С. E164–E175.

Hickman C. et al. Climate anxiety in children and young people and their beliefs about government responses to climate change: a global survey //The Lancet Planetary Health. – 2021. – T. 5. – №. 12. – C. e863-e873.– doi:10.1016/S2542-5196(21)00278-3

Kabir S. M. S. Psychological health challenges of the hill-tracts region for climate change in Bangladesh //Asian journal of psychiatry. – 2018. – T. 34. – C. 74-77. – doi:10.1016/j.ajp.2018.04.001

Keyes K. et al. The burden of loss: unexpected death of a loved one and psychiatric disorders across the life course in a national study // Am. J. Psychiatry. – 2014. – T. 171, № 8. – C. 864–871. – doi:10.1176/appi.ajp.2014.13081132

Lund C., Baron E., Breuer E. Social determinants of mental disorders and the Sustainable Development Goals: a systematic review of reviews // Lancet Psychiatry. – 2018. – T. 5. – C. 357–369.

Manning C., Clayton S. Threats to mental health and wellbeing associated with climate change // In: Psychology and Climate Change. – London: Academic Press, 2018. – C. 217–244.

Mora C. et al. Over half of known human pathogenic diseases can be aggravated by climate change // Nat. Clim. Change. – 2022. – T. 12. – C. 869–875.

Obradovich N. et al. Empirical evidence of mental health risks posed by climate change //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2018. – T. 115. – №. 43. – C. 10953-10958. – doi:10.1073/pnas.1801528115

Park R. J., Behrer A. P., Goodman J. Learning is inhibited by heat exposure, both internationally and within the United States //Nature human behaviour. – 2021. – T. 5. – №. 1. – C. 19-27. – doi:10.1038/s41562-020-00959-9

Raj C. T. The effectiveness of mental health disorder stigma-reducing interventions in the healthcare setting: An integrative review //Archives of Psychiatric Nursing. – 2022. – T. 39. – C. 73-83. – doi:10.1016/j.apnu.2022.03.005

Sorensen C., Hess J. Treatment and prevention of heat-related illness //New England Journal of Medicine. – 2022. – T. 387. – №. 15. – C. 1404-1413.

Thompson R. et al. Associations between high ambient temperatures and heat waves with mental health outcomes: a systematic review //Public health. – 2018. – T. 161. – C. 171-191. – doi:10.1016/j.puhe.2018.06.008

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА: ЗАДАЧИ ПЛАНА АДАПТАЦИИ, МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

ADAPTATION OF AGRICULTURAL PRODUCTION SYSTEM TO CLIMATE CHANGE: ADAPTATION PLAN TASKS, SOLUTION METHODS

Ташилова А.А.[1], Ашабоков Б.А.[1,2], Барекова М.В[1]., Кешева Л.А.[1], Теунова Н.В.[1]

Tashilova A.A.[1], Ashabokov B.A.[1,2], Barekova M.V.[1], Kesheva L.A.[1], Teunova N.V.[1]

[1] ФГБУ «Высокогорный геофизический институт»
Россия, 360030, Нальчик, пр. Ленина 2; *tashilovaa@mail.ru*
[2] ФГБУ «Институт информатики и проблем регионального управления» КБНЦ РАН
Россия, Нальчик, ул. И. Арманд, 34а

Аннотация. В связи с изменением климата обсуждаются проблемы адаптации производства сельскохозяйственной продукции на региональном уровне, являющемся первым этапом в решении задач адаптации на отраслевом и федеральном уровнях, обеспечивающих продовольственную безопасность страны. При этом отмечается, что для данного уровня более целесообразным является рассмотрение этой проблемы для агропромышленного комплекса (АПК) в целом, то есть для системы «сельское хозяйство - перерабатывающая отрасль». Приводятся формулировки целей адаптации, задач плана адаптации указанного сектора экономики к изменению климата и методы их решения.

Ключевые слова: изменение климата, сельское хозяйство, агропромышленный комплекс, адаптация, цели, задачи адаптации.

Abstract. In connection with climate change, the problems of adaptation of agricultural production at the regional level are discussed, which is the first stage in solving the problems of adaptation at the sectoral and federal levels, ensuring food security of the country. It is noted that for this level it is more appropriate to consider this problem for the agro-industrial complex (AIC) as a whole, that is, for the system "agriculture - processing industry". The formulations of the adaptation goals, objectives of the adaptation plan for this sector of the economy to climate change are given. And the methods result of solving.

Keywords: climate change, agriculture, agro-industrial complex, adaptation, goals, adaptation tasks.

Глобальное изменение климата в существенной степени повышает актуальность анализа и прогноза изменения климата и его последствий для различных сфер деятельности, разработки методов снижения рисков, связанных с опасными погодными явлениями, а также решения множества других задач (Ашабоков, 2020; Бедрицкий, 2009; Мохов, 2018; Сиптиц, 2021). В современный период климатические изменения и их прогнозы указывают на устойчивые тенденции повышения температуры и усиления климатической изменчивости (Третий Оценочный доклад, 2022; Доклад об особенностях климата, 2025). Соответственно, экстремальные погодные явления, становятся более частыми и интенсивными в глобальном масштабе в ближайшем будущем (Золина, 2016, Катцов, 2014).

Цель Парижской конференции по климату состояла в том, чтобы выработать соглашение, которое позволило бы мировому сообществу реализовать в установленные сроки меры по смягчению последствий изменения климата. В качестве одной мер была предложена адаптация функционирования различных систем к изменению климата, среди которых важнейшее место занимают системы производства сельхозкультур. Связано это с тем, что системы, оказавшиеся не в состоянии адаптироваться к его изменениям, будут разрушены.

Важнейшей из этих систем является система производства сельхозкультур, под которой в работе понимается система, основным элементом которой является растениеводческая отрасль, а вспомогательными элементами – системы, обеспечивающие ее средствами производства, удобрениями, средствами защиты растений, системы подготовки специалистов, обеспечения научно-технологическими достижениями и т.д. На региональном уровне, по нашему мнению, нецелесообразно ограничиваться адаптацией производства продукции растениеводства, к изменению климата следует адаптировать систему «растениеводство–перерабатывающая отрасль» с учетом взаимосвязей между ее элементами. Такой подход повысит эффективность системы, доходы региона.

Цель адаптации системы заключается в трансформации ее в такую систему, обладающей адаптивными свойствами к изменению климата, и способной выполнять свои функции, одновременно удерживая влияние системы на климат и обратное влияние изменения климата на систему в допустимых пределах.

Она требует решения широкого круга задач, которые делятся на группы.

1.Задачи формирования плана адаптации системы к изменению климата.

2.Задачи, решение которых направлено на снижение влияния функционирования системы на климат.

3.Задачи, решение которых направлено на снижение неблагоприятного влияния изменения климата на функционирование системы.

4.Задачи, решение которых направлено на использование благоприятных последствий изменения климата для повышения эффективности системы.

Первая группа задач заключается в формулировке задач плана адаптации и реализации мероприятий, которые получаются в результате их решения. Эти задачи должны быть скорректированы и решены через определенные интервалы времени, называемые интервалами адаптации. Длина этого интервала не может превышать длину отрезка времени, на котором могут быть найдены достаточно надежные решения задач плана адаптации. Основные задачи плана адаптации отмеченной системы формулируются в виде:

1) анализ и прогноз изменений регионального климата и динамики факторов, влияющих на продуктивность сельскохозяйственных культур;

2) анализ и прогноз изменений условий внешней среды на интервале адаптации (природных, экономических, технологических, политических, демографических и т.д.), в которых будет функционировать региональная система;

3) разработка модели функционирования региональной системы «растениеводство–перерабатывающая отрасль»;

4) решение задачи согласования целевых показателей развития данной системы;

5) построение моделей агроклиматических ресурсов (моделей урожайностей культур, которые формируются природными факторами), определение их динамики;

6) определение климатосберегающих агротехнических мероприятий, с помощью которых возможно доведение урожайностей культур, обусловленных природными факторами, до целевых индикаторов;

7) разработка метода и определение траектории системы «растениеводство – перерабатывающая отрасль» на интервале адаптации;

8) усовершенствование существующих и разработка новых методов снижения потерь сельского хозяйства, связанных с экстремальными погодными явлениями;

9) оптимизация структуры вспомогательных служб (служб поставки и обслуживания сельскохозяйственной техники, удобрений, строительства объектов, научной поддержки, подготовки специалистов и т.д.).

Эти задачи должны быть решены на каждом интервале адаптации, а затем при необходимости корректироваться на каждом шаге данного интервала. Необходимо отметить, что объемы производства сельхозкультур, необходимые для достижения целей систем регионального уровня, желательно заранее оценить и изложить их значения (по годам) в стратегиях развития этих систем. Это позволит принимать заблаговременные решения, позволяющие повысить эффективность производства сельскохозяйственной продукции.

Особенности информационного обеспечения делают естественным рассмотрение данной задачи в рамках теории принятия решений (Kelly et al, 2000). Метод основан на решении задачи оптимизации, в результате которого находится оптимальная структура производства сельскохозяйственных культур с учетом влияния на них экстремальных погодных явлений (град, засуха), а также всех требований, которые должны соблюдаться в процессе производства сельхозкультур.

Адаптация системы регионального уровня играет роль планирования достижения целей данной системы, которые определяются целями вышестоящей системы (отраслевой и федеральный уровни).

Список литературы

Ашабоков Б.А., Федченко Л.М., Ташилова А.А., Кешева Л.А., Теунова Н.В. Пространственно-временное изменение климата юга европейской территории России, оценка его последствий, методы и модели адаптации АПК. – Нальчик, ООО «Фрегат», 2020, – 476 с.

Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Хандожко Л.А. и др. Основы оптимальной адаптации экономики России к опасным проявлениям погоды и климата // Метеорология и гидрология. – 2009. – №4. – С. 5–14.

Доклад об особенностях изменения климата на территории Российской Федерации за 2024 г. – М.: Росгидромет, 2025. – 135 с. http://climatechange.igce.ru/index

Золина О.Г., Булыгина О.Н. Современная климатическая изменчивость характеристик экстремальных осадков в России // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2016. – Т. 1. – с. 84–103.

Мохов И.И. Оценка способности современных климатических моделей адекватно оценивать риск возможных региональных аномалий и тенденций изменения. Доклады Академии наук. Физика атмосферы и океана. – М.: Наука, 2018. – Т. 479, № 4. – С. 452–455.

Сиптиц С.О., Романенко И.А., Евдокимова Н.Е. Модельные оценки влияния климата на урожайность зерновых и зернобобовых культур в регионах России // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2. – С. 75–86.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.

Kelly P.M., Adger W.N. Theory and practice in assessing vulnerability to climate change and facilitation adaption // Climate Change. – 2000. – Vol. 47. – P. 325–352.

ОСУШЕННЫЕ ТОРФЯНИКИ: НЕЙРОСЕТЕВАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ

DRAINED PEATLANDS: NEURAL NETWORK SEGMENTATION BASED ON SATELLITE IMAGERY

Чалая Т.В.[1], Куксин Г.В.[2]

Chalaya T.V.[1], Kuksin G.V.[2]

[1] Ассоциация «Охрана природы»
Россия, 125040, Москва, а/я 47; *tchalaya@earthtouches.me*
[2]АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров»
Россия, 127951, Москва, ул. Дубнинская д.26 к.4-127; *gkuksin@cplp.ru*

Аннотация. В работе рассматривается задача автоматизированного выделения осушенных торфяников по спутниковым изображениям высокого разрешения. Проблема осушения торфяников имеет важное значение в контексте климатических изменений, так как такие территории становятся источником выбросов углекислого газа, в том числе в результате пожаров. Для решения задачи была собрана выборка по данным *Esri World Imagery* и вручную размеченным полигонам осушенных торфяников. Использованы архитектуры сегментационных нейросетей: U-Net с различными энкодерами, DeepLabv3+ и FPN. Лучшие результаты показала модифицированная U-Net с предобученным энкодером ResNet50. Метрика качества (IoU) достигла значений до 0.66 на валидации, при этом визуальный анализ предсказаний показал способность модели воспроизводить характерные пространственные паттерны осушенных участков. Исследование подтверждает перспективность применения глубокого обучения для автоматизации мониторинга осушенных торфяников.

Ключевые слова: семантическая сегментация, спутниковые снимки, торфяники, U-Net, глубокое обучение, спутниковый мониторинг, автоматическая классификация по космическим снимкам.

Abstract. The paper considers the problem of automated detection of drained peatlands based on high-resolution satellite images. The problem of peatland drainage is important in the context of climate change, as such areas become a source of carbon dioxide emissions, including as a result of fires. To solve the problem, a sample was collected from Esri World Imagery data and manually marked polygons of drained peatlands. The architectures of segmentation neural networks were used: U-Net with various encoders, DeepLabv3+ and FPN. The best results were shown by the modified U-Net with the pre-trained ResNet50 encoder. Quality metric (IoU) reached values up to 0.66 during validation, while visual analysis of predictions showed the ability of the model to reproduce characteristic spatial patterns of drained areas. The study confirms the promise of using deep learning to automate the monitoring of drained peatlands.

Keywords: semantic segmentation, satellite images, peatlands, U-Net, deep learning, satellite monitoring, automatic classification from satellite images.

В XX веке многие болота в России подвергались дренированию для промышленной добычи торфа. Осушение торфяников является одним из значимых факторов деградации болотных экосистем и изменения климата, превращая уникальные углеродные накопители в источники выбросов парниковых газов (Yang et al, 2025). Помимо климатической функции, торфяники выполняют роль резерватов биоразнообразия: на фрагментированных ландшафтах именно они сохраняют местообитания многих видов растений и животных.

После того, как торф перестал быть необходим как источник топлива и торфодобыча прекратилась, значительные площади остались в нарушенном состоянии: дренажные каналы продолжают функционировать, что проводит к понижению уровня грунтовых вод. Это не только увеличивает эмиссии углекислого газа за счет окисления подсушенного торфа, но и создает условия для формирования крупных очагов пожаров. В последние годы в связи с изменением климата такие очаги все чаще могут переживать зиму и возобновляться (Куксин

и др., 2024). Поэтому осушенные торфяники относятся территориям с повышенной пожарной опасностью.

Возгорания торфа сопровождаются выделением токсичного дыма, содержащего угарный газ и канцерогенные соединения, что представляет прямую угрозу здоровью населения. Дополнительно они становятся источником масштабных выбросов углекислого газа, ослабляя роль болот как глобального углеродного поглотителя.

В связи с этим возникает задача картирования осушенных торфяников — для оценки пожарной опасности, выработки природоохранных мер и разработки стратегий адаптации к изменению климата. Однако ручные методы очень трудоемки и требуют экспертных компетенций.

В 2010-х гг. экспертами и волонтёрами природоохранных организаций был создан уникальный ресурс – веб-карта «Пожарная опасность осушенных торфяных болот» (peatland.nextgis.com). Веб-карта ежедневно отображает термоточки в границах осушенных торфяников, что позволяет в режиме реального времени обнаружить потенциальные возгорания и, в случае необходимости, оперативно на них отреагировать. Для торфяных пожаров это очень важно - небольшие очаги могут быть легко потушены на ранних стадиях, в то время как при распространении огня на большие площади и вглубь торфа тушение потребует выделения больших сил и средств.

Веб-карта содержит более 13 000 полигонов отрисованных вручную осушенных торфяников. Тем не менее, эти данные все еще неполные и требуют доработки и уточнения. Кроме того, сохраняются неточности и несовершенство слоя из-за неоднородной работы многих волонтеров, а также по причине того, что не во все периоды работы над слоем были доступны снимки высокого пространственного разрешения. В настоящий момент данный ресурс принадлежит АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров», который активно развивает и совершенствует карту. Автоматические методы картирования осушенных торфяников могли бы значительно ускорить процесс доработки карты.

Современные исследования демонстрируют эффективность методов глубокого обучения для автоматизированного мониторинга по данным дистанционного зондирования Земли. Так, предложены сравнительные исследования сверточных архитектур (U-Net++, MA-Net, Swin-UperNet) для сегментации лесных рубок (Мельников и др., 2024); разработаны модели на базе Attention U-Net, показавшие высокие результаты в задачах картирования обезлесения (John et al, 2022); активно исследуются подходы к многоисточниковой классификации торфяников с использованием мультиспектральных и радарных данных (Zelioli et al., 2025). Появляются работы по применению трансформерных моделей (SegFormer, MaskFormer) для задач сегментации вырубок с высокой точностью (Мельников и др., 2024,

Каюмов, 2023). Однако в области автоматизированного картирования именно осушенных торфяников исследований крайне мало.

В качестве исходных данных в исследовании использовались спутниковые изображения высокого разрешения (*Esri World Imagery*) и слой полигонов осушенных торфяников, подготовленный проектом peatfires.nextgis.com. Для обучения вручную выбраны 49 крупных объектов (десятки–сотни км²), что позволило сформировать датасет из тайлов размером 4096×4096 пикселей.

Для сегментации применялись архитектуры U-Net, DeepLabv3+ и FPN с предобученными энкодерами (ResNet34/50, EfficientNet b0–b7). Аугментации включали отражения, повороты, изменение яркости, шум и нормализацию по ImageNet. Функция потерь комбинировала BCE и Dice, также применялась адаптивная взвешенная схема. Обучение проводилось на GPU с ранней остановкой, количество эпох варьировало от 25 до 50.

Наилучшие показатели достигнуты при использовании архитектуры U-Net с энкодером RezNet50 без заморозки слоёв: значение метрики IoU на валидации составило 0.66. Визуальный анализ также подтвердил, что модель успешно воспроизводит характерные элементы осушенных торфяников, включая фрезерные поля и участки гидроторфа.

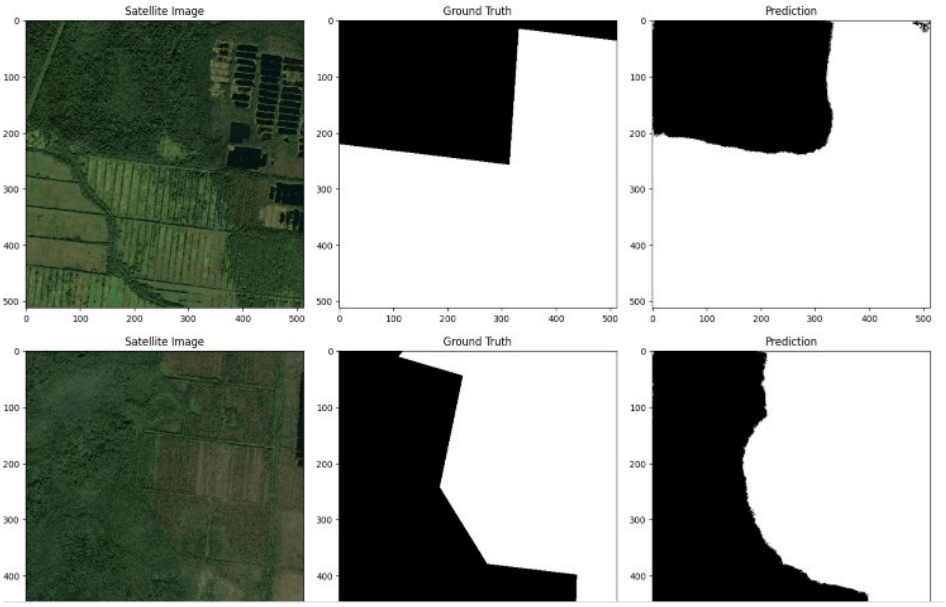


Рисунок 86. Визуализация предсказаний модели на тестовой выборке.
Порядок изображений: спутниковый снимок, маска, предсказанная маска

Результаты показывают перспективность применения архитектур U-Net с предобученными энкодерами для задачи выделения осушенных торфяников по спутниковым снимкам. Несмотря на ограниченность обучающей выборки, модель продемонстрировала способность к генерализации и выявлению характерных пространственных структур. Дальнейшие шаги предполагают: расширение датасета за счет большего числа объектов;

использование мультиспектральных данных Sentinel-2 для повышения устойчивости; тестирование трансформерных архитектур (SegFormer, MaskFormer).

Список литературы

Каюмов О.О. Сегментация лесных рубок по данным спутниковых снимков на базе модели MaskFormer / О.О. Каюмов, А.В. Пятаева // Международный научно-исследовательский журнал. – 2023. – №10 (136). – URL: https://research-journal.org/archive/10-136-2023-october/10.23670/IRJ.2023.136.16 DOI: 10.23670/IRJ.2023.136.16

Куксин Г. В., Секерин И. М., Залесов С. В. Особенности развития очагов торфяных пожаров в зимний период // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – №3 (141).

Мельников А.В., Полищук Ю.М., Русанов М.А., Аббазов В.Р., Кочергин Г.А., Куприянов М.А., Байсалямова О.А., Соколков О.И. Сравнительный анализ нейросетевых моделей для картографирования лесных рубок по летним космическим снимкам // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2024. – Т. 24, № 5. – С. 806–814. doi: 10.17586/2226-1494-2024-24-5-806-814

Мельников А.В. Кочергин Г.А., Аббазов В.Р., Байсалямова О.А., Русанов М.А., Полищук Ю.М. Нейросетевая модель для сегментации космических снимков в мониторинге факторов обезлесения территории // Вестник ЮУрГУ. Компьютерные технологии. – 2023 – Т. 23, №3. – С. 5–15.

Пожарная опасность осушенных торфяных болот. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://peatfires.nextgis.com

John D., Zhang C. An attention-based U-Net for detecting deforestation within satellite sensor imagery // Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. – 2022. – Vol. 107. – 102685.

Yang T. et al. Impact of drainage on peatland soil environments and greenhouse gas emissions in Northeast China //Scientific Reports. – 2025. – Т. 15. – №. 1. – С. 8320.

Zelioli L. et al. Peatland pixel-level classification via multispectral, multiresolution and multisensor data using convolutional neural network //Ecological Informatics. – 2025. – С. 103233.

СЕКЦИЯ
«СИНЕРГИЯ АДАПТАЦИИ И МИТИГАЦИИ»

ВОЗМОЖНОСТИ СМЯГЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА В КОНТЕКСТЕ РАЗВИТИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В РЕГИОНАХ КИТАЯ

CLIMATE CHANGE MITIGATION AND ADAPTATION OPPORTUNITIES IN THE CONTEXT OF RENEWABLE ENERGY DEVELOPMENT IN CHINA'S REGIONS

Алексеева Н.Н., Садртинов К.Д

Alekseeva N.N., Sadrtinov K.D.

МГУ имени М.В. Ломоносова
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; *nalex01@mail.ru, sadrtinov.kirill@yandex.ru*

Аннотация. Взаимосвязи между возобновляемой энергетикой, смягчением антропогенного воздействия и адаптацией к изменениям климата изучены недостаточно. Цель доклада – рассмотрение эффективности ВИЭ в сокращении выбросов углекислого газа на уровне отдельных провинций Китая, а также региональных особенностей адаптации к изменению климата с учетом развития ВИЭ. На основе расчетов «невыбросов» углекислого газа за счет замены солнечными и ветроэлектростанциями угольной генерации сделаны оценки вклада в смягчение воздействий для 7 провинций КНР за период 2017–2024 гг. Показано, что в провинциях Фуцзянь и Чжецзян достигаются наибольшие объемы «невыбросов» CO_2. Вклад ВИЭ в адаптацию к климатическим изменениям в рассмотренных провинциях имеет общие и региональные особенности, которые обусловлены географическими и социально-экономическими факторами.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, выбросы углекислого газа, адаптация, Китай.

Abstract. The relationships between renewable energy, mitigation of anthropogenic impact on climate change, and adaptation are poorly understood. The objective of the report is to consider the effectiveness of renewable energy in reducing carbon dioxide emissions at the level of provinces of China, as well as regional features of adaptation to climate change, taking into account the development of renewable energy. Based on calculations of carbon dioxide "non-emissions" due to the replacement of coal generation with solar and wind power plants, estimates are made of the contribution to mitigation for 7 provinces of the PRC for the period 2017–2024. It is shown that Fujian and Zhejiang provinces achieve the largest volumes of CO_2 "non-emissions". The contribution of renewable energy sources to adaptation to climate change in the provinces considered has general and regional characteristics, which are determined by geographical and socio-economic factors.

Keywords: renewable energy, carbon emissions, adaptation, China.

Китай играет ключевую роль в развитии мировой климатической ситуации в отношении как выбросов парниковых газов (занимает первое место с 2006 г.), так и поглощения углекислого газа. В последние десятилетия в стране ведется работа по адаптации к текущим и ожидаемым изменениям климата, применяются различные типы адаптационных мероприятий с учетом природно-климатических особенностей обширной территории КНР. В 2022 г. принята «Национальная стратегия по адаптации к климатическим изменениям до 2035 г.», заменившая собой прежнюю стратегию, принятую в 2013 г. Новая стратегия (National Climate Change …, 2022) призвана дополнить текущие усилия Китая по преодолению климатических рисков. Как известно, климатическая политика Китая реализуется в рамках строительства «экологической цивилизации», усилий по декарбонизации экономики и энергетического перехода. Китай предпринимает активные меры по преобразованию энергетического сектора, нацеленные на выполнение климатических обязательств и достижение углеродной нейтральности до 2060 г., используя экономические и экологические выгоды развития возобновляемых источников энергии (ВИЭ). ВИЭ предлагают множество

возможностей для адаптации, начиная от повышения энергетической безопасности до поддержки устойчивых методов землепользования и укрепления экономической устойчивости (Grigorios, Ioannis, 2023). Однако взаимосвязи между возобновляемой энергетикой, смягчением воздействий и адаптацией к изменениям климата сложны, что требует всестороннего анализа различных аспектов. В работе исследуется эффективность ВИЭ в сокращении выбросов углекислого газа на уровне отдельных провинций Китая, а также региональные особенности адаптации к изменению климата с учетом развития ВИЭ.

Действия и инициативы Китая по адаптации к изменению климата «в новый период» строятся с учетом разной подверженности и уязвимости территорий и регионов климатическим рискам, о чем говорится в Национальной стратегии адаптации. Отметим, что в ней отсутствуют конкретные количественные показатели, позволяющие оценить эффективность адаптационных мероприятий в сфере энергетики, при этом ВИЭ в контексте адаптации вообще не упоминаются. В то же время во многих районах мира, особенно удаленных от централизованных систем энергообеспечения, развитие солнечной и ветровой энергетики рассматривается как инструмент адаптации, устраняющий уязвимость к экстремальным температурам и другим опасным климатическим явлениям (Abidi et al, 2024).

Для исследования выбраны семь ключевых провинций: две центральные – Шэньси и Шаньси, две восточные (приморские) провинции Фуцзянь и Чжецзян, и три северо-западные (аридные) – Ганьсу, Нинся-Хуэйский автономный район (далее Нинся) и Синьцзян-Уйгурский автономный район (далее СУАР), в которых в последние годы отмечен интенсивный прирост мощностей солнечных и ветроэлектростанций.

Оценки смягчения воздействия к изменениям климата при переходе на ВИЭ на региональном уровне охватывают период после ратификации Парижского соглашения Китаем (2017-2024 гг.) и основаны на показателе «невыбросов» CO_2. Предполагается, что построенные солнечные (СЭС) и ветроэлектростанции (ВЭС) заменили угольные теплоэлектростанции (ТЭС), которые генерировали бы такой же объем электроэнергии, что и энергоустановки на ВИЭ и потенциально внесли вклад в сокращение выбросов CO_2 («невыбросы») в провинциях КНР. Расчеты региональных «невыбросов» CO_2 (млн т/год) опираются на данные о годовом потреблении топлива в целях сжигания для получения электроэнергии, коэффициенты выбросов различных видов угля (используемые в исследуемых провинциях) и средние оценки выбросов на единицу произведенной электроэнергии на углеродных и неуглеродных источниках. Удельные выбросы угольных ТЭС представляют отношение годового объема выбросов CO_2 всеми угольными ТЭС к годовой выработке электроэнергии всеми угольными ТЭС в провинции. В расчетах годовых эмиссий CO_2 при сжигании топлива в провинциях КНР применен эталонный подход МГЭИК

(Руководящие принципы…, 2006). Годовая выработка произведенной электроэнергии угольными ТЭС (ТВтч) в провинции оценена по объемам потребления (State Statistics…, 2025) и удельной теплоте сгорания разных типов угля. Учитывались также удельные выбросы в жизненном цикле солнечных модулей и ветротурбин, они приняты на уровне 64 г CO_2/кВтч и 14 г CO_2/кВтч соответственно по данным исследований IPCC (Углеродные выбросы …, 2023). Региональный вклад в сокращение выбросов CO_2 при переходе на ВИЭ представляет сумму «невыбросов» CO_2 при сжигании угля в связи с генерируемыми объемами электроэнергии на СЭС и ВЭС и сумму выбросов от электростанций на ВИЭ.

Регионы КНР существенно отличаются по природным условиям, уровню социально-экономического развития, топливно-энергетическому комплексу, специализации экономики, экологической обстановке, что отразилось и на эффективности потенциала ВИЭ в снижении эмиссий углекислого газа в провинциях.

В центральных провинциях Шэньси и Шаньси с обширной угольной базой используют высококачественные антрацитовые угли местных месторождений для сжигания на ТЭС, более того, в провинциях продолжают открывать новые угольные ТЭС, растет потребление топлива и угольная генерация. Параллельно вводились в эксплуатацию энергоустановки на ВИЭ, эффективность работы которых не высока. В 2017–2024 гг. в Шэньси, с учетом косвенных эмиссий от ВИЭ (1 млн т CO_2 в 2024 г.), общие «невыбросы» CO_2 увеличивались с 7 до 30 млн т CO_2/год, в среднем 4,6 млн т CO_2/год. В Шаньси «невыбросы» CO_2 составили от 14 до 59 млн т CO_2/год, в среднем 5,6 млн т CO_2/год, с учетом выбросов 1,5 млн т CO_2 в 2024 г. от ВИЭ.

Обратная тенденция отмечается в восточных густонаселенных провинциях. Фуцзянь – одна из немногих провинций Китая, где потребление угля около 15%, более две трети в энергобалансе приходится на неископаемое топливо, что отражает прогресс в снижении выбросов CO_2. Объёмы «невыбросов», максимальные среди исследуемых провинций, 46–204 млн т CO_2 в 2017–2024 г., (в среднем 30 млн т CO_2/год), что связано с огромными удельными выбросами угольных ТЭС, работающих на местных битуминозных углях, поэтому провинция потенциально дает наибольший вклад в сокращение выбросов CO_2 за счет развития ВИЭ. По провинции Чжецзян отсутствуют данные по потреблению топлива после 2019 г., из-за чего нельзя провести полную оценку вклада провинции в сокращение эмиссий. Но стоит отметить схожую тенденцию с соседней провинцией Фуцзянь по снижению доли угольной генерации, вероятно, после 2019 г. такой тренд сохранялся. Объемы «невыбросов» при переходе на ВИЭ увеличились с 30 до 55 млн т CO_2/год с 2017 по 2019 гг.

В провинциях Ганьсу и Нинся формируется мощный и разнообразный энергетический комплекс. За 2017–2024 гг. в Нинся объемы «невыбросов» увеличивались от 18 до 49 млн т CO_2/год (в среднем 3,8 млн т CO_2/год), в Ганьсу – от 24 до 61 млн т CO_2/год (4,6 млн т CO_2/год).

Наконец, СУАР – малонаселенный регион, большей частью неосвоенный, с обширной минерально-сырьевой базой и наибольшим ресурсным потенциалом ВИЭ. В СУАР явно выражен тренд активного наращивания потребления угля, что выражается в росте угольной генерации, при этом увеличивается потребление неископаемого топлива за счет ВИЭ. Потенциально провинция перспективна в снижении выбросов CO_2 за счет ВИЭ. Однако проявляется углеродный след от развития солнечной и ветроэнергетики, косвенные эмиссии от ВИЭ составили 2,7 млн т CO_2 в 2024 г. Объемы «невыбросов» CO_2 с учетом выбросов от ВИЭ варьируют от 33 млн т CO_2 в 2017 г. до 98 млн т CO_2 в 2024 г. (в среднем 8,1 млн т/год).

Потенциально ВИЭ в провинциях КНР имеют различный вес в сокращении общих региональных выбросов CO_2. Дополнительное снижение региональных выбросов CO_2 за счет внедрения ВИЭ в среднем составляет 1,2% в год в Шаньси и 1,6% в год в Ганьсу за 2017–2022 гг. В остальных провинциях за 2017–2019 гг. дополнительно в среднем сократились выбросы CO_2 за счет развития ВИЭ на 0,6% в год в Шэньси и Нинся, 1,7–1,8% в год в СУАР и Фуцзяне. Максимальные темпы сокращения выбросов CO_2 фиксируются в Чжецзяне (3,5% в год), где в целом отмечена отрицательная динамика выбросов CO_2 после 2018 г. Таким образом, отказ от строительства новых ТЭС в пользу СЭС и ВЭС дает самые большие объемы «невыбросов» CO_2 в провинциях Фуцзянь и Чжецзян, что создает больше возможностей в смягчение воздействий на климат на основе развития ВИЭ в восточных провинциях Китая.

Несмотря на то, что основная цель развития возобновляемой энергетики заключается в смягчении воздействий, а не в адаптации к климатическим изменения, китайские эксперты рассматривают производство энергии на основе ВИЭ как механизм адаптации в части удовлетворения спроса на энергию в ответ на последствия изменения климата (Xu et al, 2025). Вклад ВИЭ в адаптацию к климатическим изменениям в рассмотренных провинциях имеет как общие, так и региональные особенности. К общим относится децентрализация и диверсификация систем энергоснабжения за счет ВИЭ, которые минимизируют риски и не приведут к значительным потерям мощности при превышении уровня температуры +35 °C, характерным для обычных энергосистем. Со стороны потребителей возобновляемая энергия поддерживает меры по борьбе с повышением температуры и аномальной жарой (IRENA, 2025). В аридных провинциях электроэнергия, вырабатываемая в том числе на несетевых ВИЭ, может использоваться в ирригационных системах, снижая негативное влияние засух. Это особенно актуально для поливных земель в СУАР и Нинься. Для промышленно развитых провинций (Шэньси, Шаньси) распределённый характер возобновляемой энергии повышает устойчивость развития индустриальных и технологических парков, предоставляя автономные решения, которые могут использоваться в случае повреждения или экстремальных погодных явлений, затрагивающих основную сеть. То же самое касается провинций Фуцзянь и Чжецзян,

особенно их экономически развитых прибрежных округов с крупными промышленными кластерами. Развитие офшорной ветряной энергетики и распределительных солнечных электростанций (на крышах домов, офисов и т.п.) позволяет более рационально использовать ограниченные земельные ресурсы, а подключение морской ветроэнергетики к национальной энергосети позволяет этим провинциям с наиболее высоким подушевым доходом населения обеспечивать рост затрат на охлаждение и/или отопление, а также для устойчивой поддержки экономической деятельности в долгосрочной перспективе.

Исследование выполнено в рамках темы Госзадания № 121040100322-8 географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Список литературы

Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК. Том 2. Энергетика. МГЭИК. – 2006.

Углеродные выбросы от безуглеродных источников, 2023. URL: https://blogs.forbes.ru/2023/07/06/uglerodnye-vybrosy-ot-bezuglerodnyh-istochnikov/

Abidi I., Nsaibi M. Assessing the Impact of Renewable Energy in Mitigating Climate Change: A Comprehensive Study on Effectiveness and Adaptation Support // Int. Journal of Energy Economics and Policy. – 2024. – Vol. 14(3). P. 442–454.

Grigorios L.K., Ioannis S. Enhancing Climate neutrality and resilience through coordinated climate action: Review of the synergies between mitigation and adaptation actions // Climate. – 2023. – Vol. 11. 105.

IRENA. Renewable energy in climate change adaptation: Metrics and risk assessment framework. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. – 2025. 44 p.

National Climate Change Adaptation Strategy 2035. May 10, 2022. URL: https://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/14/5695555/files/9ce4e0a942ff4000a8a68b84b2fd791b.pdf

State Statistics. National Bureau of Statistics, 2025. URL: https://data.stats.gov.cn/easyquery.htm?cn=C01

Xu Y.-L., Li K., Zhang X.-Y., Zhao M.-Y. Climate change adaptation technology development of key socioeconomic sectors and ecosystem in China // Advances in Climate Change Research. – 2025. https://doi.org/10.1016/j.accre.2025.07.006

ОЦЕНКА НЕОБХОДИМОСТИ РАЗВИТИЯ ДОЛГОСРОЧНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ПРЕДИКТОРОВ НА ТЕРРИТОРИИ КАМЧАТСКОГО КРАЯ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ РЕГИОНА

ASSESSMENT OF THE NEED FOR LONG-TERM MONITORING OF CLIMATICALLY ACTIVE SUBSTANCES AND THEIR PREDICTORS IN THE KAMCHATKA TERRITORY FOR THE IMPLEMENTATION OF THE REGION'S CLIMATE POLICY

Ахметова Б.Р., Безденежных В.А.

Akhmetova B.R., Bezdenezhnykh V.A

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *b.ahmetova@igce.ru*

Аннотация. В докладе обосновывается необходимость организации долгосрочного мониторинга климатически активных веществ (КАВ) и их предикторов на территории Камчатского края. Подчеркивается уникальность экосистемы региона и важность получаемых данных для верификации климатических моделей, прогнозирования изменений и разработки мер адаптации. Реализация пилотных наблюдений, включая отбор проб и инструментальный анализ, позволит улучшить качество управленческих решений и скорректировать мероприятия климатической стратегии, направленной на низкоуглеродное развитие и адаптацию к изменениям климата.

Ключевые слова: черный углерод, климатически активные вещества, мониторинг, климатическая политика.

Abstract. The report emphasizes the need for long-term monitoring of climatically active substances and their predictors in the Kamchatka Territory. It highlights the uniqueness of the region's ecosystem and the significance of the data collected for verifying climate models and forecasting changes. The implementation of pilot observations, including sampling and instrumental analysis, is expected to improve the quality of management decisions and adapt the climate strategy to low-carbon development and climate change adaptation.

Keywords: black carbon, climate-active substances, monitoring, climate policy.

Камчатка – регион с уникальной экосистемой, предоставляющий широкие возможности для научных исследований. В настоящее время одними из наиболее актуальных становятся исследования в области изучения климата, в частности, наблюдения за содержанием климатически активных веществ (КАВ), поскольку такие исследования позволяют понять, что способствует тем или иным климатическим изменениям, спрогнозировать влияние изменения климата на экосистему и экономику, а также разработать меры по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним.

В 2023 г. в Совет по реализации ФНТП в области экологического развития РФ и климатических изменений на 2021-2030 гг. утвердил Временный перечень климатически активных веществ, в отношении которых реализуются мероприятия важнейшего инновационного проекта госзначения (ВИП ГЗ) «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Во временный перечень были включены такие вещества как диоксид углерода, метан, закись азота, перфторуглероды, гидрофторуглероды, а также атмосферный аэрозоль и черный углерод.

Наблюдения за эмиссией климатически активных веществ и их предикторов должны отвечать принципам единства и сопоставимости методов наблюдений, сбора, обработки, хранения и распространения полученной информации для возможности их применимости при верификации климатических моделей.

В рамках организации пилотных наблюдений за эмиссией КАВ и их предикторов на территории Камчатского края проводятся отборы проб атмосферного воздуха, осадков, снежного покрова и почв, инструментальные определения массового содержания климатически активных веществ в полученных пробах различными физико-химическими методами, а также статистическая обработка полученных результатов, включая корреляционный анализ и тракторный анализ полученных данных.

Данные об эмиссии климатически активных веществ и их предикторов, полученные в ходе реализации проекта, помогут улучшить качество принимаемых управленческих решений в целях адаптации региона к изменениям климата, которая включает в себя качество жизни граждан и сохранение экосистемы. Эти данные в дальнейшем будут использоваться для корректировки мероприятий плана реализации Стратегии низкоуглеродного развития до 2050 года, которая разработана во исполнение поручения президента и утверждена в ноябре прошлого года.

Исследование выполнено в рамках проекта «Организация пилотных наблюдений за эмиссией климатически активных веществ» гранта «Проведение комплексных территориальных исследований на территории Камчатского края, направленных на получение актуальных сведений о состоянии территорий/акваторий региона с применением современных подходов и методов».

Список литературы

Голубева, А. С. Концепция устойчивого развития Российской Федерации: анализ инноваций в области низкоуглеродной экономики / А. С. Голубева, М. С. Рябова. – Вестник экономики, права и социологии. – 2021. – № 4. – С. 56–62.

Распоряжение Правительства РФ № 3240-р от 29 октября 2022 г. Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» и плана мероприятий по реализации его первого этапа (2022–2024 годы). – URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_430313/

Стратегия социально-экономического развития Камчатского края до 2035 года. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/b03adcd9c54137d0a32008271ffc8fa2/strategiya_socialno_ekonomicheskogo_razvitiya_kamchatskogo_kraya_do_2035_goda.pdf

ДИНАМИКА ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ СМЯГЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ И АДАПТАЦИИ К КЛИМАТИЧЕСКИМ ИЗМЕНЕНИЯМ (НА ПРИМЕРЕ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ)

LAND USE DYNAMICS IN CLIMATE CHANGE MITIGATION AND ADAPTATION WITH YAROSLAVSKAYA OBLAST (RUSSIA) AS AN EXAMPLE

Банчева А. И., Алексеева Н.Н., Попова Ю.С.

Bancheva A.I., Alekseeva N.N., Popova Yu.S.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, географический факультет
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, 1; *ban-sai@mail.ru*

Аннотация. Рассмотрены особенности трансформации землепользования/наземного покрова Ярославской области как инструмента для митигации и адаптации к климатическим изменениям на региональном уровне. Оценка изменений проведена на основе двух баз пространственных данных по наземному покрову (Европейского космического агентства и Института космических исследований РАН) с длительным временным рядом данных. По обеим базам данных выявлены преобладающие траектории изменений наземного покрова (увеличение и сокращение древесного покрова), сделан вывод о нетто-увеличении залесенной площади в Ярославской области за период последних десятилетий. С точки зрения климатический политики это является положительным фактором в сфере смягчения климатических изменений. Важность учета динамики землепользования видна по региональному плану адаптации Ярославской области (2023), в котором около половины приоритетных адаптационных мероприятий связано с совершенствованием управления пахотными и лесными землями, водными объектами. Сделан вывод о том, что изменения землепользования в Ярославской области, произошедшие в последние несколько десятилетий, в целом соответствуют наблюдаемым последствиям изменениям климата.

Ключевые слова: изменение климата, наземный покров, углеродный баланс, ЗИЗЛХ, адаптационные мероприятия.

Abstract: The article considers the features of the transformation of the land use and land cover pattern in the Yaroslavl region as a tool for mitigation and adaptation to climate change at the regional level. The assessment of changes is based on two spatial databases on land cover (of the European Space Agency and the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences) with a long time series of data. Based on both databases, the prevailing trajectories of land cover changes (increase and decrease in tree cover) were identified, and a conclusion was made about a net increase in forested area in the Yaroslavl region over the past decades. From the point of view of climate policy, this is a positive factor in the field of climate change mitigation. The importance of taking into account the dynamics of land use is reflected in the regional adaptation plan of the Yaroslavl region (2023), in which about half of the priority adaptation measures are related to improving the management of arable and forest lands, water bodies. It is concluded that land use changes in the Yaroslavl region that have occurred over the past few decades are generally consistent with the observed consequences of climate change.

Keywords: climate change, land cover, carbon balance, LULUCF, adaptation measures.

Изменения землепользования являются существенным фактором, влияющим на эмиссии и поглощение углекислого газа, а также запасы органического углерода в фитомассе растительности, почвах и других пулах, и, следовательно, требуют детального анализа и оценки в рамках разработки мер по смягчению антропогенных воздействий на изменения климата и реализации климатической политики стран. Однако по сравнению с другими пятью источниками выбросов парниковых газов, принятыми МГЭИК, категория «Землепользование, изменение землепользования и лесное хозяйство» отличается большими неопределенностями в оценках и методологическими сложностями в расчетах.

Многие страны, проводящие активную климатическую политику, в настоящее время достигли существенного прогресса в оценках выбросов и поглощений углекислого газа

наземными экосистемами, в основе которого лежат многолетние исследования динамики землепользования, оценки запасов углерода в пулах фитомассы и почв различных природных зон и ландшафтов, полученные как на основе разнообразных полевых данных, так и путем моделирования (такие оценки приводятся в рамках национальной отчетности, предоставляемой странами в Секретариат РКИК ООН, например, в национальных докладах о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, двухгодичных докладах по траспарентности (Первый двухгодичный…, 2024)).

Российская Федерация, являясь страной-участницей РКИК ООН и Парижского соглашения, проводит активную климатическую политику, реализуя различные инструменты для смягчения воздействий и адаптаций к изменениям климата. В том числе, ввиду географических особенностей страны и огромного потенциала экологических услуг, для России исключительно важны точные оценки объемов поглощения углекислого газа наземными экосистемами. Проводимые в настоящее время в рамках ВИП ГЗ работы консорциума РИТМ Углерода позволяют аккумулировать данные, собираемые на локальном уровне на территории всей страны, объединяя их в единую базу данных. При этом остаются актуальными исследования, проводимые на региональном уровне (например, на уровне субъектов Российской Федерации), позволяющие более точно оценить происходящие на местах процессы трансформации землепользования и экосистемные услуги (в т.ч. динамику запасов углерода как отражение мер по митигации). В меньшей степени они затрагивают механизмы адаптации, эффективность которых предполагает максимальный учет территориальных особенностей климатических воздействий, и следовательно, должна опираться в том числе на географические особенности территории, включая характер использования земель.

Цель данной статьи – оценка трансформации структуры землепользования Ярославской области как инструмента для митигации и адаптации к климатическим изменениям на региональном уровне. В работе использовались доступные базы пространственных данных по землепользованию и наземному покрову, имеющий длительный временной ряд и дробную легенду. Это данные по наземному покрову Инициативы по изменению климата Европейского космического агентства (ESA) за 1992–2019 гг. (The European space…, 2023), а также данные по типам экосистем ИКИ РАН (2002, 2020 гг.) (Барталёв и др., 2011). Также использовался Региональный план адаптации к изменениям климата Ярославской области (2023) (Электронный фонд правовых…, 2025), разработанный в соответствии с методикой Минэкономразвития России.

На основе анализа переходов классов наземного покрова за период нескольких десятилетий можно получить представление об основных направлениях трансформации

землепользования, обусловленных разнообразными процессами, имеющими геоэкологические последствия.

Анализ данных ESA показал, что за период 1992–2019 гг. изменения наземного покрова произошли в Ярославской области на площади 2,44 тыс. км^2, или 6,8 % территории области. Наиболее обширно представлен процесс залесения, который зафиксирован на месте бывших пахотных, луговых, кустарниковых земель – за 27 лет на площади более 1000 км^2 вырос редкостойный мелколиственный лес. Согласно нашим оценкам, мелколиственные леса более всего увеличили свои площади в Борисоглебском, Гаврилов-Ямском и Некоузском районах. Пример увеличения лесной площади со смешанным хвойно-мелколиственным древостоем – южная часть Ростовского района, а также локальные участки недалеко от города Гаврилов-Ям. Восстановлению древостоя во многом способствовал процесс забрасывания пахотных угодий в 1990-е гг. вследствие распада совхозно-колхозной системы. Сокращение площади древесного покрова зафиксировано на пощади чуть менее 500 км^2, в основном за счет распашки на месте молодой древесной поросли (Алексеева и др., 2024).

Анализ данных ИКИ РАН, которые отличаются более дифференцированной легендой классов экосистем, показал, что за период 2002–2020 гг. изменения в наземном покрове коснулись около 25,5% территории Ярославской области (9,22 тыс. км^2). Помимо процессов расширения и сокращения древесного покрова (зарастание лугов лиственным лесом и наоборот) также отмечаются процессы изменения видового состава лесов: к примеру, смена смешанного леса или смешанного леса с преобладанием лиственных пород – лиственным лесом или смешанным лесом. Такие переходы объясняют столь высокий показатель трансформированных земель (более 25%).

В результате оценки двух преобладающих траекторий изменений наземного покрова (увеличение и сокращение древесного покрова) по обеим базам данных получен вывод о нетто-увеличении залесенной площади в Ярославской области за период последних десятилетий. С точки зрения климатический политики это является положительным фактором в борьбе по смягчению климатических изменений, т.к. процесс залесения связан с накоплением углерода в фитомассе. Однако однозначные выводы делать затруднительно из-за необходимости комплексного подхода к развитию территории с учетом таких факторов как поддержка и развитие сельскохозяйственной отрасли, устойчивое экономическое развитие региона, социальное благополучие населения.

Кроме изменений древесного покрова отмечены также процессы расширения водно-болотных угодий, правда в меньших масштабах. Они в основном выражаются в заболачивании редкостойных мелколиственных лесов. Из значимых тенденций можно указать также на расширение застроенных территорий, которое происходило в основном на месте пахотных

угодий. Застройка происходит наиболее активно в Ярославском, Рыбинском и Переславском районах.

Учет климатических рисков для экосистем, пахотных и лесных земель, водных объектов и др. категорий земель заложен в Региональный план адаптации к изменениям климата Ярославской области (2023). На территории области в результате климатических изменений среднегодовые температуры повысились на 2° С за период 1960–2022 гг., при этом наиболее был выражен рост температур в холодное время года. Вследствие этого ожидается увеличение продолжительности вегетационного периода, что может привести к смещению границ таежной зоны на север, сдвигу на север смешанных лесов с сокращением их площади. Одновременно прогнозируется замещение хвойных пород лиственными насаждениями и увеличение среднегодового прироста за счет лиственных пород (Третий оценочный …, 2022).

Отмечается также увеличение годового количества осадков, в основном в зимний и весенний периоды. Повышение температур и изменение режима увлажнения привели к увеличению числа дней с высокой горимостью и усилению риска лесных и торфяных пожаров. В условиях более теплого и влажного климата ожидается рост ветрового воздействия, которое ведет к увеличению площади ветровых повреждений лесов и хозяйственных объектов.

В Региональном плане адаптации Ярославской области не менее половины приоритетных адаптационных мероприятий (всего 34) в той или иной степени связано с совершенствованием управления пахотными и лесными землями, водными объектами. В качестве мер по адаптации экосистем запланировано создание новых и расширение действующих ООПТ, лесовосстановление и лесоразведение с достижением положительного баланса воспроизводства лесов, усиление мониторинга и профилактика лесных пожаров и др. В сфере сельскохозяйственного землепользования к приоритетным мерам адаптации относится применение влагосберегающих технологий в системе предпосевной подготовки почвы, снегозадержание на полях, а также пересмотр видового и сортового состава сельскохозяйственных культур. Это позволит перейти к более урожайным культурам, эффективно использующим запасы продуктивной влаги в ранневесенний период вегетации.

Таким образом, изменения землепользования в Ярославской области, произошедшие в последние несколько десятилетий, в целом соответствуют наблюдаемым последствиям изменениям климата. Комплекс адаптационных мероприятий, запланированный в части землепользования, нацелен на снижение климатических и экологических рисков, а также на использование новых благоприятных возможностей в результате изменений климата.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова № 121040100322-8.

Список литературы

Алексеева Н. Н., Банчева А. И., Гринфельдт Ю. С., Третьяченко Д. А. Региональная оценка трансформации землепользования на основе геопространственных данных (на примере Ярославской области) //ИнтерКарто. ИнтерГИС. – 2024. № 30 (2). – С. 136–152.

Барталев С. А., Егоров В. А., Ершов Д. В., Исаев А. С., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Уваров И. А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2011. Т. 8. № 4. – С. 285–302.

Первый двухгодичный доклад Российской Федерации по вопросам транспарентности / МПР, Росгидромет. – М., 2024. – 94 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме / Росгидромет. – С.-П.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.

Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. Постановление Правительства Ярославской области от 23 мая 2023 года N 489-п. Об утверждении регионального плана адаптации к изменениям климата Ярославской области. – URL: https://docs.cntd.ru/document/406668348

The European Space Agency. MRLC maps series from 1992 onwards (v207 and v2.1.1). – URL: https://clck.ru/3DS5Zj

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ПРОЕКТЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ КАК СПОСОБ АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА

CLIMATE PROJECTS IN AGRICULTURE AS A WAY TO ADAPT TO CLIMATE CHANGE

Вертянкина В.Ю.

Vertyankina V.Yu.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *victoria_vert@mail.ru*

Аннотация. Отрасль сельского хозяйства наиболее уязвима к изменению климата. В связи с чем возникает необходимость применения различных технологий для адаптации аграрного сектора. Одной из таких мер является разработка и реализация климатических проектов на землях сельскохозяйственного назначения. Разработка климатических проектов предусмотрена на законодательном уровне РФ. Реализация климатических проектов должна быть разработана согласно нормативно – правовой базе, которая учитывает все основные принципы и задачи. На сегодняшний день разработан ряд методологий, нацеленных на разработку и реализацию климатических проектов.

Ключевые слова: изменение климата, сельское хозяйство, климатические проекты.

Abstract. The agricultural sector is the most vulnerable to climate change. In this case, there is a need to use various technologies to adapt the agricultural sector. One of such measures is the development and implementation of climate projects on cropland. The development of climate projects is provided for at the legislative level of the Russian Federation. The implementation of climate projects must be developed in accordance with the regulatory framework, which considers all the basic principles and objectives. To date, a number of methodologies have been developed aimed at the development and implementation of climate projects.

Keywords: climate change, agriculture, climate project.

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 21 сентября 2019 г. № 1228 Российская Федерация является Стороной участницей Парижского соглашения, которое предусматривает рыночные механизмы сокращения выбросов парниковых газов и передачу на международном уровне результатов реализации мероприятий по предотвращению изменения климата. Сельское хозяйство является наиболее уязвимым сектором экономики к изменению климата. В тоже время сельское хозяйство относится к одному из основных направлений в области обеспечения продовольственной безопасности страны. Согласно Указу Президента РФ от 26 октября 2023 года №812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации» одной из задач климатической политики является «разработка и реализация оперативных и долгосрочных мер по адаптации» к изменениям климата и «разработка комплекса мероприятий, которые обеспечивают сокращение (предотвращение) выбросов парниковых газов или увеличение их поглощения (климатических проектов) и могут быть реализованы в Российской Федерации, других государствах и регионах мира». Реализация климатических проектов на территории РФ предусмотрена согласно Федеральному закону от 2 июля 2021 г. № 296-ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов».

Разработка и реализация климатических проектов должна быть основана на определенной нормативно – правовой базе, которая содержит информацию об основных принципах и критериях реализации климатических проектов.

Одним из наиболее значимых критериев является принцип дополнительности. Все мероприятия, реализуемые в рамках проектной деятельности, должны быть дополнительными к уже существующим мерам на нормативном и законодательном уровне на территории Российской Федерации. То есть мероприятия в рамках проектной деятельности не могут быть реализованы без осуществления климатического проекта, а следовательно, не могут оказывать влияния на совокупное сокращение выбросов ПГ и увеличение поглощения за рамками проведения климатического проекта (Романовская, 2023). С целью корректного учета основных принципов климатических проектов необходимо руководствоваться разработанными методологиями.

Подходы к реализации климатических проектов на сельскохозяйственных землях включают в себя внедрение определенных практик и технологий, которые направлены на:

- сокращение выбросов от сельскохозяйственной деятельности – в этом случае изменения в практике управления сельским хозяйством оказывают прямое влияние на источники выбросов парниковых газов;
- увеличение запасов углерода – сельскохозяйственные почвы могут быть источником или поглотителем углерода в зависимости от методов ведения сельского хозяйства.

В области сельского хозяйства на сегодняшний день ФГБУ Институтом глобального климата и экологии им. академика Ю. А. Израэля» были разработаны методики для реализации климатических проектов, нацеленные на поддержание плодородия почв, лесовосстановление и лесоразведение.

Методология реализации климатического проекта «Изменение запасов углерода в почве пахотных земель» применима к проектам, которые нацелены на внедрение технологий устойчивого управления сельскохозяйственными угодьями, в том числе почвозащитное ресурсосберегающее земледелие (ПРЗ). Согласно данной методологии, проектная деятельность должна быть нацелена на сохранение и/или увеличение почвенного углерода. Деятельность по проекту осуществляется на пахотных землях, используемых под однолетние (за исключением риса) или многолетние культуры, в том числе кормовые травы. Деятельность по проекту не может осуществляться на территориях, занятых водно – болотными угодьями, включая осушенные торфяники, территории лесных массивов и на заброшенных участках сельскохозяйственных угодий, в том числе подлежащих распашке и участках, занятых инфраструктурой, и не должна приводить к снижению урожайности сельскохозяйственных

культур. Во время реализации проекта урожайность должна быть, как минимум эквивалентна первоначальному (базовому) уровню урожайности (в среднем за пять лет, до начала разработки проекта).

С целью минимизации риска непостоянства результатов проекта по сохранению углерода в почвах разработчик проекта обязан предоставить гарантию того, что по окончанию реализации проекта результаты сохранятся на 100 лет. Если такие гарантии не могут быть предоставлены, то количество достигнутых сокращений выбросов/увеличенного поглощения в проекте должно быть дисконтировано соразмерно количеству лет, на которые не распространяются гарантии. Методология по «Изменению запасов углерода в почве пахотных земель» в 2024 г. была отнесена к системе стандартов реализации климатических проектов (ПНСТ 901 – 2023).

Методология реализации климатического проекта по «Замене синтетических удобрений путем внесения побочных продуктов животноводства». Данная методология применима к проектам, которые нацелены на оптимизацию использования удобрений путем замены синтетических удобрений на побочные продукты животноводства (ППЖ). По аналогии с методологией об изменениях запасов углерода в почвах деятельность по проекту должна быть нацелена на сохранение плодородия почв сельскохозяйственных угодий. При реализации проекта должны учитываться требования к обращению побочными продуктами животноводства, прописанные в ФЗ от 14.07.2022 № 248 – ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» и Постановлении Правительства РФ от 31.10.2022 № 1440 «Об утверждении требований к обращению побочными продуктами животноводства». На момент написания статьи методология проходит процедуру общественных обсуждений и находится на утверждении на сайте реестра углеродный единиц (https://carbonreg.ru/ru/).

Также в процессе обсуждения и утверждения находится Методология реализации климатического проекта «Увеличение накопления углерода в сельскохозяйственных почвах по результатам агролесомелиорации и агрофитомелиорации».

Согласно данной методологии, в качестве проектной деятельности понимается создание и/или восстановление ранее нарушенных агролесомелиоративных и агрофитомелиоративных насаждений, включая дальнейший агротехнический и лесоводственный уход за насаждениями в течение всего зачетного периода. Реализуемые климатические проекты должны достигать как традиционных целей агролесо- и агрофитомелиорации (регулирование водного, воздушного, теплового и питательного режимов почв), так и иметь измеримый климатический эффект, выражающийся в увеличении накопления углерода с учетом принципа дополнительности. Проектная деятельность осуществляется на землях сельскохозяйственного

назначения. Создаваемые и/или восстанавливаемые насаждения могут находиться в частной, государственной, муниципальной и иных формах собственности.

Список литературы

Постановление Правительства РФ от 21 сентября 2019 г. №1228 «О принятии Парижского соглашения» Электронный ресурс http://government.ru/docs/37917/

Постановление Правительства РФ от 31 октября 2022 г. № 1940 «Об утверждении требований к обращению побочных продуктов животноводства».

Романовская А.А. Подходы к реализации экосистемных климатических проектов в России // Известия РАН. Серия географическая, 2023, том 87, № 4, с. 463-478.

Система стандартов реализации климатических проектов «Методика для проектов по оценке запасов органического углерода в почве на пахотных землях» (ПНСТ 901-2023) Электронный ресурс https://carbonreg.ru/pdf/methodology/standard/PNST_901-2023.pdf

Указ Президента Российской Федерации от 26.10.203 г. №812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации» Электронный ресурс http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910

Федеральный закон от 02.07.2021 г. №296 – ФЗ «Об ограничении выбросов парниковых газов» Электронный ресурс http://www.kremlin.ru/acts/bank/47013

Федеральный закон от 14 июля 2022 г. №248 – ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

О МЕРАХ ПО МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ В ТРАНСПОРТНОМ СЕКТОРЕ РОССИИ

ON MITIGATION AND ADAPTATION MEASURES IN THE TRANSPORT SECTOR OF RUSSIA

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; *v774007@yandex.ru*
[2] ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»
Россия, 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64; *vladislavlytoff@igce.ru*

Аннотация. Транспорт оказывает значительное влияние на климат, являясь одним из крупнейших источников выбросов парниковых газов. В свою очередь, климатические изменения воздействуют на транспортную инфраструктуру, функционирование транспортных средств, логистические процессы и цепочки поставок товаров. Целью работы являлся анализ мер, направленных на снижение выбросов парниковых газов и адаптацию к факторам климатического риска в транспортном секторе. Отмечается, что комплексная реализация мероприятий по адаптации и митигации способствует повышению устойчивости транспортного сектора к климатическим рискам, позволяет оптимизировать затраты и увеличить эффективность как краткосрочных, так и долгосрочных решений в области климата.

Ключевые слова: изменение климата, декарбонизация, климатические риски, адаптация, митигация, синергия, транспорт.

Abstract. Transport has a significant impact on climate, being one of the largest sources of greenhouse gas emissions. In turn, climate change affects transport infrastructure, functioning of vehicles, logistics processes and supply chains of goods. The purpose of the article was to analyze measures for mitigating greenhouse gas emissions and adaptation to climate change risks within the transport sector. It is noted that the integrated implementation of adaptation and mitigation activities contributes to the resilience of the transport sector to climate risks, optimizes costs and increases the effectiveness of both short-term and long-term climate solutions.

Keywords: climate change, decarbonization, climate risks, adaptation, mitigation, synergy, transport.

Согласно выводам Шестого оценочного доклада МГЭИК человеческая деятельность меняет климат беспрецедентным образом. Глобальное потепление обусловлено растущими антропогенными выбросами парниковых газов (далее – ПГ), в основном в результате сжигания ископаемого топлива. В ближайшие десятилетия прогнозируется дальнейшее повышение концентрации ПГ в атмосфере, рост температуры приземного воздуха и усиление изменения климата во всех регионах планеты (IPCC, 2021). Для России регулирование выбросов ПГ особенно актуально. По оценке Росгидромета, средняя скорость роста среднегодовой температуры воздуха в стране в 1976-2020 гг. составила 0,51°С за десятилетие, что в 2,8 раза больше скорости роста глобальной температуры за тот же период (Третий…, 2022).

Транспорт является одним из крупнейших в России эмитентов ПГ. На рисунке 87 представлены суммарные выбросы ПГ от внутреннего транспорта в РФ по данным Национального кадастра антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом (далее – Национальный кадастр) (Национальный…, 2025). В период 2010–2023 гг. выбросы от внутреннего транспорта

увеличились на 40%. Динамика выбросов ПГ определялась, в основном, тенденциями развития экономики и международной торговли. С 2020 по 2023 гг. значительное влияние на снижения выбросов ПГ в транспортном секторе оказали эпидемия Covid-19 и санкции западных стран, которые были реализованы как в виде запрета движения транспорта между Россией и странами Европейского союза, так и в виде ограничений торговли, которые, в свою очередь, повлияли на транспортные потоки.

В 2023 г. выбросы ПГ от внутреннего транспорта составили 218 млн. т CO_2-экв., что эквивалентно 10,5% совокупных выбросов ПГ с территории России или 13% выбросов ПГ от сектора «Энергетика».

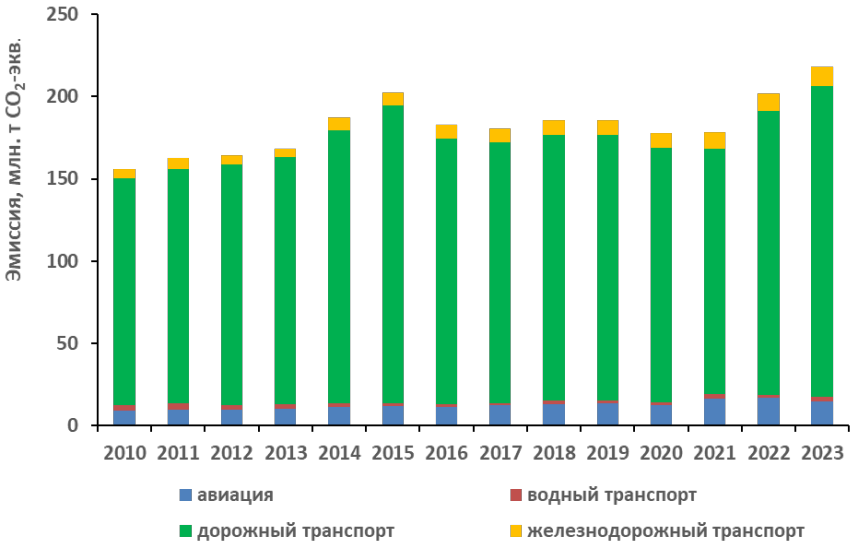


Рисунок 87. Динамика выбросов парниковых газов от внутреннего транспорта в России

Основной вклад в выбросы ПГ от сжигания топлива на транспорте вносит дорожный транспорт (86,4%), за ним с большим отрывом следуют авиация (6,7%), железнодорожный транспорт (5,5%) и водный транспорт (1,4%).

В условиях нарастающих климатических изменений ключевыми направлениями глобальной экологической политики становятся митигация и адаптация. Митигация (смягчение изменений климата) достигается путем ограничения или предотвращения выбросов ПГ и активизации деятельности по удалению этих газов из атмосферы. Адаптация является процессом приспособления экологических, социальных и экономических систем к климатическим изменениям и их воздействиям, направленным на смягчение или компенсацию вызванных ими ущербов, а также использование открывающихся благодаря изменениям климата новых возможностей (IPCC, 2001). Необходимо отметить, что деятельность только по адаптации при отсутствии митигации невозможна. При сильном росте глобальной температуры, вследствие увеличения выбросов ПГ, последствия изменения климата могут

стать настолько масштабными и разрушительными, что адаптация перестанет быть эффективной и возможной, либо станет чрезвычайно дорогой. В то же время, необходимо уделять большое внимание деятельности по адаптации, потому что даже самые жесткие меры по снижению выбросов ПГ не позволят избежать дальнейшего изменения климата в течение следующих нескольких десятилетий вследствие инерции климатической системы.

Декарбонизация транспортного сектора является актуальной задачей в достижении целей углеродной нейтральности экономики. Требования по снижению уровня выбросов ПГ от транспортного комплекса определены в Транспортной стратегии РФ на период до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года и в Стратегии социально-экономического развития России с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (Транспортная…, 2021; Стратегия…, 2021). Основные направления декарбонизации в транспортном секторе включают повышение энергоэффективности за счет улучшения конструкции транспортных средств и оптимизации маршрутов и логистики, переход на низкоуглеродные виды топлива и технологии, реализацию «модального сдвига» (перевод грузовых и пассажирских потоков с менее экологичных видов транспорта на более экологичные), внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для более эффективного управления транспортными потоками.

Климатические изменения оказывают воздействие на транспортную инфраструктуру, функционирование транспортных средств (увеличение износа транспортных средств и рост расходов на их обслуживание), логистические процессы и цепочки поставок товаров. Транспортный сектор особенно уязвим не только по отношению к экстремальным явлениям глобальных масштабов, но и к медленнодействующим неблагоприятным процессам в связи с изменением климата (ожидаемым ростом средних температур, повышением среднего уровня моря, более частым наводнениям, засухам, морозам и др.) (Последствия…, 2013).

Уязвимость транспортного сектора к климатическим воздействиям различается по регионам и видам транспорта. В Плане адаптации к изменениям климата в области транспорта отмечены следующие климатические риски для транспортного комплекса РФ: деградация/таяние многолетнемерзлых грунтов; повышение средних температур, периоды аномальной жары/засухи; изменение среднего уровня моря, усиление разрушительной силы штормов/ сгонно-нагонных явлений, изменение силы и направления волн; изменение интенсивности/ частоты экстремальных осадков (наводнения и засухи); природные пожары; сильный ветер/грозы (План…, 2022). Основные отрицательные последствия воздействия климатических рисков на транспортный сектор включают разрушения и повреждения транспортной инфраструктуры, сбои в работе транспорта (временные и длительные остановки в грузовых и пассажирских перевозках, сокращение периода навигации), увеличение износа транспортных средств, рост затрат на ремонт/обслуживание транспортных средств и

инфраструктуры, снижение безопасности работы транспорта и увеличение аварийности. Адаптационные меры в транспортном секторе должны быть направлены на уменьшение факторов уязвимости и повышение устойчивости систем к климатическим воздействиям. Основные направления адаптация транспортного сектора к изменению климата включают:

- учет климатических рисков и климатических прогнозов при планировании, проектировании, строительстве и эксплуатации объектов транспортной инфраструктуры;
- физическую защиту транспортной инфраструктуры (например, термостабилизация грунтов в криолитозоне с помощью различных технических решений (вентиляционные каналы в насыпях, термосифоны, винтовые сваи и др.), укрепление береговой линии, строительство дамб для защиты от наводнений));
- разработку технологий быстрого восстановления транспортной инфраструктуры с минимальными затратами;
- разработку и внедрение новых технологий и строительных материалов, устойчивых к воздействиям климата;
- разработку и внедрение интеллектуальных транспортных систем (ИТС) для управления транспортными процессами;
- регулярный мониторинг состояния транспортной инфраструктуры и оперативное проведение ремонтных работ в случае необходимости.

В настоящее время для достижения большей эффективности в борьбе с изменением климата рассматривают синергию направлений по адаптации и митигации. Синергия — эффект усиления взаимодействия двух или более факторов, характеризующийся тем, что совместное действие факторов существенно превосходит простую сумму действий каждого из них. Довольно часто действия по митигации и адаптации носят взаимовыгодный характер. Так, меры по митигации могут повышать адаптационный потенциал, а меры по адаптации снижать выбросы ПГ. Например, внедрение ИТС способствует как митигации, благодаря повышению энергоэффективности и снижению потребления энергоресурсов всей транспортной системы, так и адаптации к изменению климата через повышение устойчивости транспортного сектора за счет оптимизации трафика, мониторинга состояния транспортной инфраструктуры, раннего оповещения и планирования эффективных маршрутов в случае природных катаклизмов и чрезвычайных ситуаций. Посадка зеленых насаждений вдоль автомобильных и железных дорог способствует снижению приповерхностной температуры, тем самым защищая асфальт и другие элементы транспортной инфраструктуры от перегрева (адаптация), а также увеличению поглощения углекислого газа деревьями (митигация). Использование синергии адаптации и митигации в транспортном секторе способствует

повышению устойчивости транспортного комплекса к климатическим рискам, позволяет оптимизировать затраты и увеличить эффективность как краткосрочных, так и долгосрочных решений в области климата.

Список литературы

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990 – 2023 гг. 2025. Москва, ИГКЭ. В 2-х частях.

План адаптации к изменениям климата в области транспорта/ Приказ Министерства транспорта от 02.03.2022 № 69. URL: https://mintrans.gov.ru/documents/6/11749?type=

Последствия изменения климата для международных транспортных сетей и адаптация к ним. Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций. Нью-Йорк и Женева, 2013 год. URL: https://unece.org/DAM/trans/main/wp5/publications/climate_change_2014r.pdf

Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 29 октября 2021 г. N 3052-р.

Транспортная стратегия Российской Федерации до 2030 года с прогнозом до 2035 года/ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 года №3363-р. URL: http://static.government.ru/media/files/7enYF2uL5kFZlOOpQhLl0nUT91RjCbeR.pdf

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 124 с.

IPCC. Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change // Eds. McCarthy J.J., Canziani O.F., Leary N.A. et al. Cambridge. UK and N.Y., USA: Cambridge University Press. 2001. P. 877-912.

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.). – Cambridge University Press, 2021. – 1300 p.

ОТ ГЛОБАЛЬНЫХ БАЗ К НАЦИОНАЛЬНЫМ: КАК ИСТОЧНИК ВХОДНЫХ ДАННЫХ ФОРМИРУЕТ ПРОГНОЗ СЕКВЕСТРАЦИИ УГЛЕРОДА ПАХОТНЫХ ПОЧВ

NATIONAL VS. GLOBAL DATA: HOW DATA SOURCE INFLUENCES SOIL CARBON SEQUESTRATION FORECASTS

Добровольская В.А.[1], Мешалкина Ю.Л.[1], Горбачева А.Ю.[2]

Dobrovolskaya V. [1], Meshalkina J. [1], Gorbacheva A. [2]

[1] Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, ф-т почвоведения
Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12; *gafiatulina.valeriya@mail.ru*
[2] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 109028, Москва, Покровский бульвар, д. 11; *aygorbacheva@hse.ru*

Аннотация. В работе рассмотрена функция секвестрации углерода почвами как двусторонний инструмент митигации и адаптации к последствиям изменений климата. Проведена сравнительная оценка скорости секвестрации углерода в пахотных почвах Московской области по стандартной методике ФАО, основанной на глобальных климатических данных и модели MIAMI для расчета чистой первичной продукции (NPP), и альтернативной методике с использованием локальных статистических данных Росстата об урожайности и посевных площадях. Установлено, что использование данных Росстата позволяет получить более детализированную и точную пространственную оценку потоков углерода. Медианное значение скорости секвестрации для сценария неизменного хозяйствования (СНХ) по методике ФАО составило 0,09 т С/га в год, в то время как расчет на основе данных Росстата показал значительное увеличение этого показателя – до 0,31 т С/га в год. Результаты свидетельствуют о том, что пахотные почвы Московской области являются чистым поглотителем углерода, а переход на методику, основанную на национальной статистике, позволяет выявить значительную вариабельность потенциала секвестрации между муниципальными образованиями, что крайне важно для разработки адресных агроклиматических политик.

Ключевые слова: секвестрация углерода, пахотные почвы, модель RothC, чистая первичная продукция, Росстат.

Abstract. The paper considers soil carbon sequestration as a dual-purpose tool for climate change mitigation and adaptation. There is a comparative assessment of the carbon sequestration rate in the arable soils of the Moscow Region using the standard FAO methodology, based on global climate data and the MIAMI model for estimating net primary production (NPP), and an alternative methodology utilizing local statistical data from Rosstat on crop yields and sown areas. It was found that the use of Rosstat data provides a more detailed and accurate spatial assessment of carbon fluxes. The median sequestration rate for the business-as-usual (BAU) scenario according to the FAO methodology was 0.09 t C/ha per year, while the calculation based on Rosstat data showed a significant increase in this indicator to 0.31 t C/ha per year. The results indicate that the arable soils of the Moscow Region are a net carbon sink, and the transition to a methodology based on national statistics reveals significant variability in sequestration potential between municipalities, which is crucial for developing targeted agro-climatic policies.

Keywords: carbon sequestration, arable soils, RothC model, net primary production, Rosstat.

Введение. Управление почвенным органическим углеродом является уникальной стратегией, одновременно обеспечивающей снижение концентрации CO_2 в атмосфере (митигацию) и устойчивость агроэкосистем к климатическим стрессам (адаптацию) через повышение содержания почвенного органического углерода, улучшение характеристик влагоемкости, структуры и микробиома почвы.

Актуальность оценки секвестрационного потенциала сельскохозяйственных почв значительно возросла в последнее десятилетие, что обусловлено глобальными усилиями по разработке мер смягчения изменений климата и адаптации к этим изменениям, в том числе развитием национальных систем углеродного регулирования (Парижская конференция, 2015).

Почвы, являясь крупнейшим наземным резервуаром органического углерода, играют ключевую роль в глобальном углеродном цикле.

В международной практике для оценки потенциала секвестрации углерода широко применяются стандартизированные методики, такие как предложенная Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) в рамках проекта GSOCseq (Peralta, 2022). Данный подход основан на использовании динамических моделей (например, RothC) и опирается на глобальные климатические базы данных и универсальные алгоритмы расчета чистой первичной продукции (NPP), такие как модель MIAMI (Smith, 2005). Хотя такой подход обеспечивает сопоставимость результатов на глобальном уровне, его существенным ограничением является нивелирование региональной и локальной специфики, связанной с реальной агротехнологической практикой, уровнем интенсификации земледелия и местными почвенно-климатическими условиями (Романенков, 2023).

Для Российской Федерации, обладающей огромными и крайне неоднородными по своим условиям площадями пашни, задача получения точных и пространственно детализированных оценок секвестрационного потенциала стоит особенно остро в свете задач выполнения климатических обязательств и развития внутреннего рынка углеродных единиц (Стратегия, 2021).

В связи с этим возникает необходимость в разработке и апробации альтернативных методик, которые бы в большей степени учитывали реальную практику. Одним из перспективных путей является использование официальной государственной статистики, которая аккумулирует детальные данные об урожайности и структуре посевных площадей на уровне муниципальных образований (Кренке, 2020). Такой подход позволяет перейти от теоретического, климатически обусловленного потенциала продуктивности к оценке реальных потоков органического вещества в агроценозах.

Материалы и методы. Исследование проведено для пахотных почв Московской области, стратифицированных по почвенно-экологическим зонам (Урусевская, 2020). Прогноз динамики запасов почвенного органического углерода (ПОУ) выполнен на 20-летний период с использованием модели RothC. Моделирование включает три ключевых этапа: фазу инициализации (spin-up) для выхода на равновесное состояние запасов углерода на 2000 год, фазу временно́й гармонизации (warm-up) для корректировки запасов углерода на 2020 год с использованием реальных климатических данных, и фазу прогноза (forward) для расчета динамики углерода до 2040 года по различным сценариям землепользования. На каждом этапе модель RothC использует входные данные о климате, свойствах почвы и поступлении растительных остатков для расчета потоков углерода между пулами с разной скоростью разложения.

Ключевое различие методик заключалось в расчете ежегодного поступления углерода в почву (NPP). По первой методике (предложена ФАО) NPP рассчитан по модели MIAMI на основе климатических параметров (Smith, 2005). По второй методике (с использованием данных Росстата) NPP рассчитан на основе данных БД ПМО (https://rosstat.gov.ru/dbscripts/munst/) за 2011-2020 гг. по урожайности и посевным площадям основных сельскохозяйственных культур с последующим пересчетом в биомассу и углерод по регрессионным уравнениям (Левин, 1977).

Результаты и обсуждение. Расчеты по методике ФАО, основанные на глобальных климатических данных, показали, что продуктивность агроэкосистем Московской области (NPP) варьирует в относительно узком диапазоне от 4,63 до 5,06 т С/га в год с медианным значением 4,90 т С/га в год (рис. 88). Пространственное распределение этого показателя было плавным и предсказуемым, с тенденцией к увеличению значений с северо-востока на юго-запад области, что в целом отражает общий градиент изменения теплообеспеченности и увлажнения на территории региона. Данный подход, однако, нивелирует локальную антропогенную специфику, так как рассчитывает потенциальную, а не реальную продуктивность, достижимую в идеальных условиях.

Коренным образом иную картину продемонстрировало использование детализированных данных Росстата. Медианное значение NPP оказалось несколько выше и составило 5,40 т С/га в год, отмечен больший разброс значений – от минимальных 3,48 т С/га в год до максимальных 8,70 т С/га в год. Такой диапазон указывает на существование значительной, ранее не учитывавшийся неоднородности реальной продуктивности агроценозов по муниципальным образованиям. Были выявлены ярко выраженные ареалы высокой продуктивности, приуроченные к Озерскому, Дмитровскому и Ленинскому районам (7,23; 7,50 и 8,70 т С/га в год соответственно), и зоны, где реальная продуктивность существенно не дотягивает до климатического потенциала (Серебряно-Прудский, Зарайский, Рузский районы: 3,48; 3,60 и 3,64 т С/га в год соответственно). Это перераспределение продуктивности напрямую коррелирует с уровнем интенсификации земледелия и технологической оснащенности хозяйств в разных районах области.

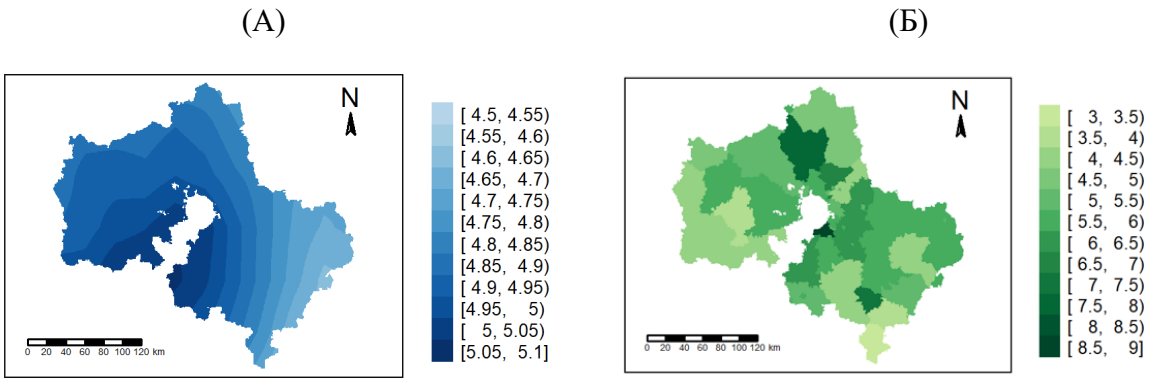


Рисунок 88. Чистая первичная продукция (NPP, т С/га в год) Московской области: (А) по методике ФАО, (Б) по данным Росстата

Кардинальное расхождение в исходных данных о потоках органического вещества напрямую и предсказуемо повлияло на итоговый прогноз скорости секвестрации углерода. Моделирование по стандартной методике ФАО дало консервативную медианную оценку скорости секвестрации для сценария неизменного хозяйствования (СНХ) на уровне 0,09 т С/га в год (рис. 89). Вариабельность прогнозных значений между районами была низкой, а пространственная картина – сглаженной, что ограничивало ее практическую применимость для адресного управления.

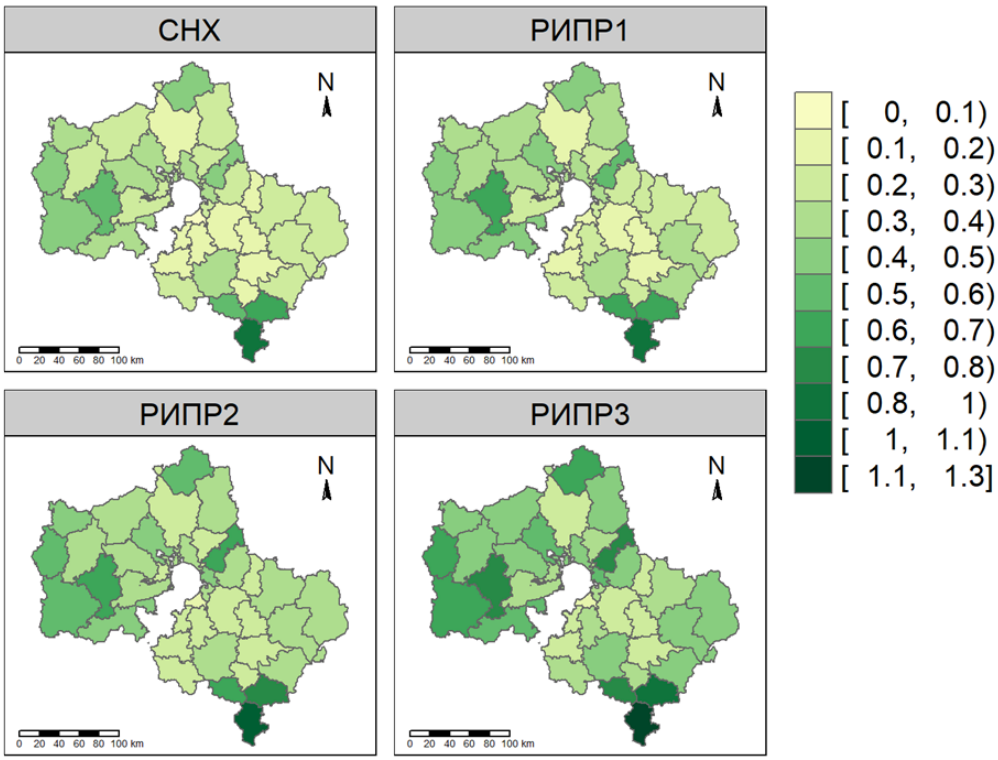


Рисунок 89. Скорость секвестрации (т С/га в год) Московской области по данным Росстата

Напротив, моделирование, основанное на данных Росстата, показало более чем трехкратное увеличение медианной скорости – 0,31 т С/га в год – и выявило четкую и экономически обоснованную пространственную дифференциацию. Статистический анализ показал, что распределение значений сместилось вправо, а межквартильный размах увеличился, что свидетельствует о появлении значительного "хвоста" высоких значений. Наибольший секвестрационный потенциал был характерен для южных и юго-восточных районов области (Зарайский, Каширский, Серебряно-Прудский), где значения для сценария СНХ превышали 0,8 т С/га в год. При моделировании интенсивного сценария рационального землепользования (РИПР3) прогнозируемая скорость секвестрации в этих районах достигала 1,57 т С/га в год.

Детальный анализ в разрезе почвенно-экологических зон, расположенных в Московской области, (табл. 22) подтвердил общий тренд, но также выявил важную особенность: абсолютный прирост скорости секвестрации при переходе на локализованные данные был максимальным не для изначально более продуктивных черноземов оподзоленных (зона М), а для серых лесных почв (зона Л). Это позволяет предположить, что существующий потенциал серых лесных почв реализуется более эффективно, чем потенциал черноземов.

Таблица 22. Сравнительная оценка скорости секвестрации углерода (т С/га в год) по двум методикам для разных почвенно-экологических зон Московской области

	Методика ФАО	Использование локальных данных
Е Зона дерново-подзолистых почв южной тайги	0,075	0,257
Л Зона серых лесных почв лиственных лесов	0,100	0,535
М Зона оподзоленных, выщелоченных и типичных черноземов и серых лесных почв лесостепи	0,134	1,024

Таким образом, применение методологии, основанной на реальных статистических данных, не просто увеличивает средние оценки, но и выявляет точечные территории-доноры углеродного баланса, что имеет ключевое значение для планирования климатических проектов и точечного внедрения практик регенеративного земледелия.

Выводы

Использование локальных статистических данных Росстата вместо глобальных климатических моделей для расчета NPP позволяет получить пространственно

детализированные оценки скорости секвестрации углерода пахотными почвами Московской области.

Установлено, что пахотные почвы региона в целом являются нетто-поглотителем углерода, а их медианный секвестрирующий потенциал при текущем ведении хозяйства составляет 0,31 т С/га в год.

Выявленная значительная вариабельность секвестрационного потенциала между муниципальными образованиями (от 0,02 до 1,45 т С/га в год) демонстрирует необходимость перехода к адресному планированию как климатических проектов – инструмента для митигации изменений климата – так и внедрению практик устойчивого землепользования с целью адаптации к подобным изменениям.

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Список литературы

Кренке А.Н., и др. Анализ возможностей использования данных государственной статистики для мониторинга углеродного баланса агроэкосистем // Вестник сельскохозяйственной науки. – 2020. – № 5. – С. 12–19.

Левин Ф.И. Методические указания по учету фитомассы… – М., 1977. – 45 с.

Парижское соглашение Рамочной конвенции ООН об изменении климата. – 2015.

Романенков В.А., и др. Валидация модели RothC на данных длительных полевых опытов России // Почвоведение. – 2023. – № 2. – С. 45–56.

Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 29.10.2021 № 3052-р).

Урусевская И. С. Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000 000. Пояснительный текст и легенда к карте: Учебное пособие / Отв. ред. И.С. Урусевская // Москва. – 2020. – 100 с.

Peralta G., et al. GSOCseq Technical Manual. – Rome: FAO, 2022. – 70 p.

Smith P., et al. Carbon sequestration in croplands: the potential in Europe and the global context // European Journal of Soil Science. – 2005. – Vol. 56, № 4. – P. 673–680.

НАБЛЮДЕНИЯ ЗА СОДЕРЖАНИЕМ КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ, КАК ИНСТРУМЕНТ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЦЕЛЯХ МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

TRACKING CLIMATE-FORCING AGENTS TO SUPPORT DECISION-MAKING FOR CLIMATE CHANGE MITIGATION AND ADAPTATION

Козлова Е.Н.[1], Саратовцева Е.Е.[1,2], Позднякова Е.А.[1]

Kozlova E.N. [1], Saratovtseva E.E[1,2]., Pozdnyakova E.A. [1]

[1] Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б; *e.pozdnyakova@igce.ru*
[2]Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева
Россия, 125047, г. Москва, Миусская площадь, д. 9, стр. 1; e*rza2010@yandex.ru*

Аннотация. В работе рассмотрены необходимость и перспективы развития системы фонового мониторинга климатически активных веществ (КАВ). Система фонового мониторинга КАВ представлена как совокупность различных сетей наблюдения: наблюдательных сетей Росгидромета и Национальной сети мониторинга климатически активных веществ в наземных экосистемах России. Показаны различные подходы к формированию сетей наблюдения. Приведена обобщенная схема расположения станций системы фонового мониторинга.

Ключевые слова: климатически активные вещества, парниковые газы, черный углерод, сеть наблюдения.

Abstract. The paper discusses the necessity and opportunity of developing a background system for monitoring climatically active substances. The background monitoring system of climatically active substances presented as a set of different observation networks: observation networks of Roshydromet and the National system for monitoring the dynamics of climatically active substances in terrestrial ecosystems of the Russian Federation. Various approaches to the formation of observation networks are shown. A generalized scheme with the location of proposed stations background system for monitoring climatically active substances is presented.

Keywords: climate active substances, greenhouse gases, black carbon, monitoring system.

Изменение климата может приводить к неблагоприятным последствиям, создающим угрозу для всего человечества и существующей биологической системе в целом (Указ Президента РФ, 2023). Важность этой проблемы отражена в международных документах, таких как: Рамочная конвенция Организации Объединённых Наций об изменении климата (1992), Парижского соглашения по климату (2015), Киотский протокол (1995) и другие. Источником угрозы изменения климата является антропогенная деятельность, в результате которой, в частности, происходит преобразование атмосферы Земли. В следствии антропогенной активности в атмосферу поступает большое количество веществ (газов и аэрозолей), способных оказывать влияние на свойства атмосферы: способность поглощать и отражать излучение Солнца и Земли, задерживать и переносить тепловую энергию и прочее. Такие вещества получили название «климатически активные вещества» (КАВ).

В целях принятия взвешенных решений по митигации (в части оценки эффективности мер по снижению выбросов) и адаптации (части выявления уязвимостей и разработки мер) к изменению климата необходимо получение достоверных данных наземного мониторинга.

В настоящее время в России отсутствует единая система наземного инструментального мониторинга КАВ. Однако в ходе реализации важнейшего инновационного проекта

государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» (ВИП ГЗ) предполагается создание системы фонового мониторинга климатически активных веществ.

Целью проекта являются создание и развитие Единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ (далее - Национальная система) путем научного, нормативного и инфраструктурного обеспечения сбора, обработки, анализа, хранения и использования достоверных и признанных на международном уровне наблюдаемых и расчетных данных для объективной оценки антропогенных и природных потоков климатически активных веществ на территории Российской Федерации, их концентраций в атмосфере и влияния на глобальный и региональный климат, а также разработки методологической основы для ее последующего использования на постоянной основе при реализации мер, направленных на экологическую (низкоуглеродную) трансформацию отраслей российской экономики, адаптацию экономики и населения страны к изменениям климата, а также защиту российских подходов на международных платформах.

Система фонового мониторинга климатически активных веществ в Российской Федерации должна включать станции наблюдения за составом атмосферы, отдельные исследования потоков климатически активных веществ в естественных экосистемах, а также систему оценки антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов.

В настоящие работе представлен обзор наблюдательных сетей, которые предполагается объединить в рамках единой системы фонового мониторинга КАВ. Отметим, что для организации системы наблюдений необходимо определить: перечень веществ и параметры, подлежащие мониторингу; подходы и методы наблюдения, для обеспечения единства измерений и сопоставимости их результатов; расположение станций наблюдения, для получения информации, характеризующей, как отдельные регионы, так и территорию России в целом.

Отнесение к климатически активным веществам парниковых газов не вызывает сомнений, однако последние десятилетия все больше внимания уделяется влиянию аэрозольных частиц на климат. Это связано с переоценкой как прямого радиационного, так и учета косвенного воздействия аэрозолей (J.E.T. Houghton, Y. H. Ding, David J Griggs, 2001).

Согласно данным Всемирной метеорологической организации (ВМО), основные климатически активные вещества подразделяются на «долгоживущие» (парниковые газы) и «короткоживущие» (газы и аэрозоли) вещества. Перечень основных климатически активных веществ представлен в таблице 23.

Таблица 23. Перечень климатически активных веществ (долгоживущих газов, короткоживущих газов и аэрозолей в атмосфере) и их влияние на климат

Газы и аэрозоли	Среднее время жизни	Воздействие на климат (влияние на температуру)
Долгоживущие газы		
Диоксид углерода	Более 100 лет	↑
Метан	10 лет	↑
Оксид диазота (закись азота)	120 лет	↑
Короткоживущие газы и аэрозоли		
Тропосферный озон	Дни-недели	↑
Чёрный углерод	1 неделя	↑
Пыль	дни	↓
Нитраты	1 неделя	↓
Сульфаты	1 неделя	↓

В 2023 году Советом по реализации Федеральной научно-технической программы в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений на 2021-2030 годы был утверждён Временный перечень климатически активных веществ, в отношении которых реализуются мероприятия ВИП ГЗ (табл. 24).

Таблица 24. Временный перечень климатически активных веществ

№п.п.	Наименование климатически-активного вещества (группы веществ)	Измеряемая характеристика
1.	Диоксид углерода	Приземная концентрация, общее содержание, потоки
2.	Метан	
3.	Закись азота	
4.	Атмосферный аэрозоль	Счетная концентрация, распределение по размерам, вертикальный профиль, оптическая плотность, приземная концентрация.
5.	Черный углерод	Вертикальный профиль, оптическая плотность, приземная концентрация.
6.	Гексафторид серы	Приземная концентрация
7.	Трифторид азота	
8.	Гидрофторуглероды	
9.	Перфторуглероды	

Мониторинг состава атмосферы на государственном уровне осуществляется государственной наблюдательной сетью (ГНС), находящейся в ведении Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет).

В настоящее время наблюдения за фоновыми уровнями КАВ (метан, диоксид углерода, черный углерод, паль) ведется на ограниченном перечне станций ГНС. Так, например, согласно Приказу Об утверждении перечня станций Росгидромета, выполняющих наблюдения по программе Глобальной службы атмосферы Всемирной метеорологической организации (ГСА ВМО) на территории Российской Федерации мониторинг Парниковых газов проводят на 4-х станциях наблюдения: Териберка, Тикси, Воейково, Новый порт, согласно программе комплексного фонового мониторинга, наблюдения за парниковыми газами проводится на одной станции (Приокско-Террасный заповедник), наблюдения за пылью (одним из параметров аэрозолей) на 4-х станциях, а пилотная сеть мониторинга черного углерода насчитывает 5 станций наблюдения. Таким образом, мониторинг некоторых КАВ проводится на менее, чем 15 станциях, при этом станции расположены не регулярно и охватывают лишь часть территории РФ. Этого количества и уровня оснащения станций недостаточно для получения необходимой информации.

В связи с чем, актуальной задачей является увеличение количества станций наблюдения КАВ. В настоящее время существует 3 основных концепции развития сети фонового мониторинга КАВ.

Согласно концепции ФГБУ «ИГКЭ» необходимо проведение наблюдений на инфраструктуре действующих сетей фонового состояния окружающей природной среды и трансграничного переноса веществ, сети мониторинга черного углерода. А также организация новых станций наблюдения. В рамках функционирования сети:

- проводить измерения парниковых газов и аэрозолей;
- увеличить количество станций до 20-25 шт. (15 шт. до 2030 года)
- расположить станции в соответствии с РД 52.44.916-2021;
- обеспечить международный уровень данных.

Согласно концепции ФГБУ «ГГО» развитие сети мониторинга за счет расширение действующей сети станций ГСА ВМО с проведением наблюдений за содержанием парниковых газов в атмосфере. В рамках функционирования сети необходимо:

- проводить измерения содержания парниковых газов;
- увеличить количество станций до 19-24 шт.;
- расположить станции в соответствии с рекомендациями ВМО (Global Greenhouse Gas Watch, 2024);
- обеспечить международный уровень данных.

Согласно концепцией, предложенной консорциумом «РИТМ углерода» необходимо проведение мониторинга потоков климатически активных веществ и запасов углерода на территориях Российской Федерации. В рамках функционирования сети необходимо:

- проводить измерения потоков парниковых газов;
- увеличить количество станций не менее чем до 30 шт.;
- разместить станции наблюдений по биоклиматическим зонам, а в одной зоне в разных типах экосистем;
- обеспечить международный уровень данных.

Дополнительно предполагается проведение мониторинга некоторых КАВ на одной или двух станциях под руководством ФГБУ «ААНИИ».

Территориальное расположение предполагаемых к развитию сетей наблюдения представлен на рисунке 90 (некоторые маркеры «РИТМа углерода» включают в себя две и более станций, расположенные в одной зоне в разных типах экосистем).

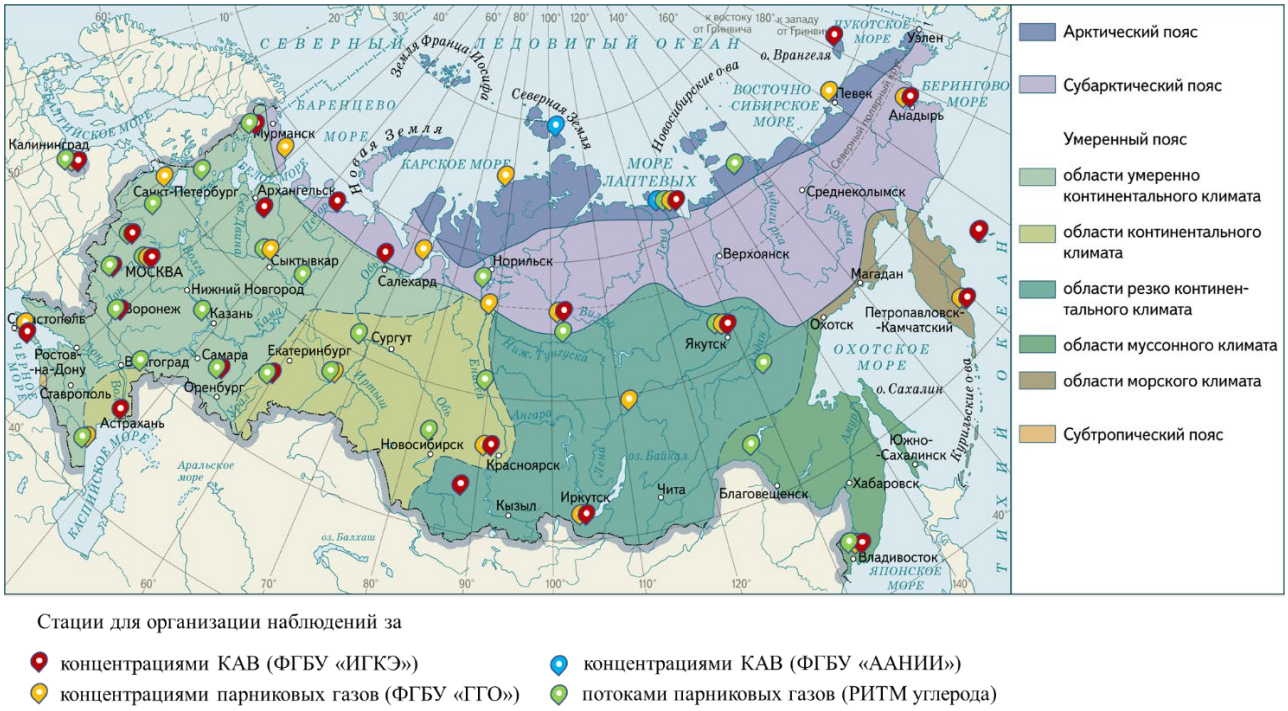


Рисунок 90. Территориальное расположение станций фонового мониторинга КАВ

Совместное использование результатов наблюдения представленных сетей мониторинга предположительно позволит создать необходимую базу для комплексной оценки реализуемых и проектируемых мер по декарбонизации отраслей экономики и адаптации населения и экономики к изменениям климата, обеспечат основу для продвижения российских подходов на международных переговорах в сфере климата и устойчивого развития, принятия решений в целях митигации и адаптации к изменениям климата.

Список литературы

Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812 «Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации»." Официальное опубликование правовых актов. – URL: http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202310260009

IPCC, 2001. Climate change 2001: The scientific basis: contribution of Working Group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/Houghton JT, Ding YD, Griggs DJ, Noguer M, van der Linden PJ, Dai X, Maskell K, Johnson CA, (Eds.) – Cambridge university press; 2001. – 881.

Global Greenhouse Gas Watch (G3W), 2024.- URL: https://g3w.wmo.int/site/global-greenhouse-gas-watch-g3w

О ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ СОДЕРЖАНИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ В АТМОСФЕРЕ ДЛЯ ПРИНЯТИЯ МЕР ПО МИТИГАЦИИ И АДАПТАЦИИ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА

ON APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF GREENHOUSE GAS ABUNDANCE IN THE ATMOSPHERE FOR MITIGATION AND ADAPTATION TO CLIMATE CHANGE

Козлова Е.Н., Позднякова Е.А.

Kozlova E.N., Pozdnyakova E.A.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская, 20Б; *sowest88@yandex.ru*

Аннотация. В статье обсуждается важность мониторинга содержания парниковых газов в атмосфере. Рассмотрены два подхода к оценке: инвентаризация выбросов на основе пересчётных коэффициентов (метод «снизу-вверх») и прямые наблюдения за содержанием и потоками парниковых газов (метод «сверху-вниз»). Представлены примеры реализации рассматриваемых подходов на международном уровне и на территории Российской Федерации.
Ключевые слова: парниковые газы, антропогенные выбросы, мониторинг.

Abstract. The article discusses the importance of greenhouse gas monitoring. Two approaches of greenhouse gas abundance estimation in the atmosphere are considered: inventory of emissions based on conversion factors (bottom-up method) and direct observations of greenhouse gas content and fluxes (top-down method). Examples of the considered approaches implementation at the international level and on the territory of the Russian Federation are presented.
Keywords: greenhouse gases, anthropogenic emissions, monitoring.

Антропогенная активность, в том числе промышленная и хозяйственная деятельность, признаны основными источниками, способствующими возникновению одного из наиболее серьёзных рисков для жизни на земле – изменения климата (Kyoto Protocol, 1997; Парижское соглашение, 2015; Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации, 2023). Один из результатов антропогенной деятельности, способствующих изменению климата – увеличение содержания парниковых газов (ПГ) в атмосфере Земли. Парниковые газы – это газы способные поглощать длинноволновое излучение, исходящее от поверхности Земли, не позволяя ему удаляться в космическое пространство, покидая атмосферу Земли. Тем самым парниковые газы способствуют увеличению температуры нижних слоёв атмосферы и поверхности Земли, т.е. оказывают «парниковый эффект».

Основными парниковыми газами являются: пары воды, диоксид углерода, метан, оксид диазота (закись азота), галогенированные газы.

В результате антропогенной деятельности (сжигание ископаемого топлива, промышленная деятельность, сельское хозяйство, обезлесение) происходит увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере (табл. 25), что в свою очередь приводит к увеличению количества задерживаемого тепла, повышению средней глобальной температуры и сопутствующим изменениям климата. Вклад отдельных парниковых газов в увеличение

радиационного воздействия на климат Земли представлен на рисунке 91 (WMO WDCGG DATA SUMMARY WDCGG, 2024).

Таблица 25. Глобальное среднегодовое содержание парниковых газов (по данным WMO Greenhouse gas bulletin, 2024)

	CO_2	CH_4	N_2O
Глобальное среднегодовое содержание ПГ в 2023 г.	420,0±0,1 ppm	1934±2 ppb	336,9±0,1 ppb
Содержание ПГ в воздухе в доиндустриальную эпоху (в 1750 г)	278,3 ppm	729,2 ppb	270,1 ppb
Содержание ПГ в воздухе в 2023 г. относительно 1750 г.	151%	265%	125%

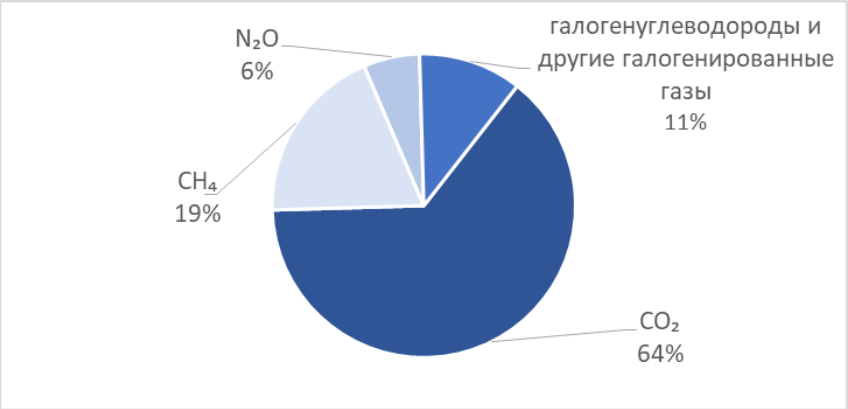


Рисунок 91. Вклад парниковых газов в увеличение радиационного воздействия

Рисунок 92. Схема механизма влияния ПГ на климат и возможные действия по решению проблемы

Для предотвращения резких изменений климата Земли необходимо сокращение выбросов парниковых газов, основанное на научно обоснованной информации. На этом фоне растет спрос на доступные и надежные данные о парниковых газах для удовлетворения потребностей научных исследований и предоставления информации для использования лицами, принимающими решения. Причинно-следственная связь и возможные действия в связи с изменением климата схематично отображены на рисунке 92.

Существует два подхода к оценке поступления парниковых газов в атмосферу, их условно называют оценки «снизу-вверх» и «сверху-вниз».

Оценка «снизу – вверх» (в англоязычной литературе называется «bottom-up» или «activity-based methods») основана на расчёте выбросов парниковых газов от индивидуальных источников (секторов хозяйственной деятельности) с использованием коэффициентов выбросов. Этот метод позволят оценить эмиссию парниковых газов от антропогенных источников. На данном методе основана деятельность в рамках Парижского Соглашения и МГЭИК. Национальный кадастр, сформированный в целях выполнения обязательств Российской Федерации по Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, Киотскому протоколу и Парижскому соглашению по климату также использует данный подход. При этом важно учитывать, что для получения более точной информации по эмиссии парниковых газов методом «снизу-вверх» нужно использовать пересчётные коэффициенты выбросов, основанные на надёжных данных, в том числе экспериментальных. Так, в рамках первого этапа ВИП ГЗ в 2022-2024 гг. была проведена работа по уточнению национальных коэффициентов выбросов парниковых газов по различным секторам хозяйственной деятельности, всего было уточнено 22 коэффициента.

Подход «снизу-вверх» позволяет довольно точно оценивать антропогенные выбросы, если он основан на качественных данных (т.е. учтены все активности и использованы точные коэффициенты выбросов). Однако данный подход хуже работает при попытке оценить неуправляемые выбросы естественного происхождения. Кроме того, сбор данных, их анализ, верификация требуют много времени, поэтому информация, получаемая методом «снизу-вверх» поступает с задержкой в 1-2 года. Тем не менее, метод является международно признанным.

Метод «сверху-вниз» (в англоязычной литературе называется «top-down» или «atmospheric-based monitoring») основан на атмосферных наблюдениях и моделировании для оценки потоков парниковых газов. Данный метод включает измерение содержания парниковых газов в атмосфере, а также измерение потоков парниковых газов, что позволяет учитывать не только эмиссию, но и стоки исследуемых компонентов атмосферы. Возможно проведение как дискретных измерений с определённой периодичностью, так и непрерывных наблюдений. Преимущество данного метода заключается в возможности быстрого получения информации, в том числе в режиме реального времени. Ограничением является вариабельность потоков и концентраций парниковых газов, в следствии чего требуется довольно большое количество пунктов наблюдения, для достаточного охвата территории. Данный метод принят на межправительственном уровне, широко поддерживается и развивается международным научным сообществом. По инициативе Всемирной

метеорологической организации (ВМО) была разработана программа глобального мониторинга парниковых газов Global Greenhouse Gas Watch (G3W Overview), призванная отслеживать содержание и выбросы парниковых газов (с пространственным разрешением 1×1 градус – разрешение географической сетки по широте и долготе, около 100×100 км) и их перемещение в атмосфере. G3W предполагает получение данных об основных парниковых газах (CO2, CH4, N2O) со спутников и наземных станций. В рамках инициативы ВМО выпускает руководящие документы с рекомендациями по организации наблюдений за парниковыми газами, в том числе в части проведения измерений и проектирования сетей наблюдения. В Российской Федерации также проводятся наблюдения за содержанием парниковых газов в фоновых районах и районах, подверженных антропогенному воздействию (доклад о климате), а также осуществляется мониторинг экосистемных потоков парниковых газов (Курбатова Ю.А., 2025). В рамках ВИП ГЗ ведётся работа по модернизации сети фонового мониторинга климатически активных веществ, в том числе парниковых газов (Об утверждении…, 2022; Об утверждении…, 2024), для получения всеобъемлющей информации о содержании парниковых газов в атмосфере и потоках на территории Российской Федерации.

Представленные два подхода не могут быть напрямую сравниваемыми, оба имеют свои достоинства и ограничения, поэтому наилучшим выбором будет их грамотное сочетание. Например, использование атмосферных наблюдений для уточнения расчётных коэффициентов, используемых для инвентаризации антропогенных выбросов парниковых газов, или для верификации моделей, прогнозирующих изменение климата.

Использование описанных подходов направлено на получение и анализ объективной информации, требуемой для научного обоснования принятия тех или иных политических решений в области борьбы с изменением климата. Для разработки стратегии и планов по митигации изменения климата необходима надёжная основа, базирующаяся на наблюдениях за содержанием парниковых газов в атмосфере, а также оценке антропогенных выбросов и поглощений парниковых газов. От того, насколько точно и корректно данные мероприятия отражают существующую ситуацию, зависит успех предпринимаемых действий по адаптации и смягчению последствий изменения климата.

Список литературы

Курбатова Ю.А., Куричева О.А. Каталог эколого-климатических станций Российской системы климатического мониторинга. 2025. 28 с. - Электронный ресурс. URL: https://ritm-c.ru/wp-content/uploads/2025/04/ec-buklet_04.2025_ritm.pdf

Об утверждении важнейшего инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ" и плана мероприятий ("дорожной карты") по реализации первого этапа (2022 - 2024 гг.) важнейшего

инновационного проекта государственного значения "Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ"/Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2022 № 3240-р. - Электронный ресурс. URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405491263/?ysclid=mf6wm1baca251418868

Об утверждении Климатической доктрины Российской Федерации/Указ Президента РФ от 26 октября 2023 г. № 812. - Электронный ресурс. URL: http://www.kremlin.ru/acts/bank/49910/page/1

Об утверждении дополнительной программы мониторинга климатически активных веществ/ Приказ Росгидромета № 423 от 28.12.2024.

Парижское соглашение. 2015. Рамочная конвенция Организации объединенный наций об изменении климата. – Организация Объединенных Наций, 30 с. - Электронный ресурс. URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/04a533fab96b645ac4c038913623653c/parizhskoe_soglashenie.pdf

Climate Change 2021 The Physical Science Basis IPCC Sixth Assessment Report 2021. - Электронный ресурс. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport.pdf

G3W Overview. - Электронный ресурс. URL: https://g3w.wmo.int/site/global-greenhouse-gas-watch-g3w/g3w-overview

Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change. 1998. - United Nations, 21 p. - Электронный ресурс. URL: http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpeng.pdf

WMO Greenhouse Gas Bulletin №20. 2024. - Электронный ресурс. URL: https://library.wmo.int/viewer/69057/download?file=GHG-20_en.pdf&type=pdf&navigator=1

WMO WDCGG DATA SUMMARY WDCGG № 48. 2024. - Электронный ресурс. URL: https://gaw.kishou.go.jp/static/publications/summary/sum48/sum48.pdf

ЭФФЕКТЫ ОТ ОБВОДНЕНИЯ НАРУШЕННЫХ ТОРФЯНИКОВ

EFFECTS OF REWETTING OF DISTURBED PEATLANDS

Медведева М.А.[1], Коротков В.Н.[2]

Medvedeva M.[1], Korotkov V.[2]

[1] ФГБУН «Институт лесоведения Российской академии наук»
Россия, 143030, Московская обл., Одинцовский район, Советская ул., 21; *medvedeva@ilan.ras.ru*
[2] ФГБУ Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, город Москва, Глебовская ул., д.20б; *korotkovv@igce.ru*

Аннотация. С использованием данных спутниковых наблюдений о пожарах MODIS ИКИ РАН и о торфяниках ГИС Института лесоведения РАН определены площади пожаров на торфяниках Московской области за 2001-2023 гг. Было определено, что при анализе в рамках торфяных месторождений пожары в основном происходили на нарушенных массивах, где ранее проводилась добыча торфа. На примере обводненного в 2010 г. торфяника «Радовицкий Мох» площадью 1 535 га вычислены выбросы от пожаров до обводнения. После работ по обводнению установлено сокращение выбросов от пожаров на 34 т CO_2-экв. га$^{-1}$ год$^{-1}$. Представленный подход предлагается использовать для оценки эффективности климатических проектов.

Ключевые слова: торфяные болота, пожары, обводнение торфяников, климатические проекты, парниковые газы.

Abstract. In the work, based on the peatland GIS from Institute of Forest Science RAS and MODIS fire contours for 2001-2023 from SRI RAS for Moscow Oblast (MO). It was determined that almost all of the burnt peatlands were disturbed. Using the example of the peatland Radovitsky Mokh, which was rewetted in 2010, with an area of 1,535 hectares, a calculation of emissions from fires before rewetting was made, according to which after rewetting, a reduction of 34 t C-eq. ha-1year-1, taking into account probable emissions of CO_2+CH_4 with fires. It is proposed to use such calculations for tasks on assessing the effectiveness of climate projects.

Keywords: peatlands, peat fires, rewetted peatlands, climate projects, greenhouse gases.

Торфяной пожар отличается от обычных лесных пожаров тем, что огонь может уходить под землю – горит слой торфа. Особенно опасные торфяные пожары появляются на нарушенных (осушенных) торфяниках. При горении торфа образуется много содержащего опасные для здоровья вещества дыма и парниковые газы. В настоящее время выбросы парниковых газов от пожаров на торфяниках не оцениваются из-за отсутствия данных о площадях пожаров на торфяниках на площадях управляемых водно-болотных угодий, к которым относятся осушенные торфяники.

В работе использовалась ГИС по торфяным месторождениям Московской области (Сирин и др., 2014), которая содержит информацию о площади нарушенных и ненарушенных торфяников (рис. 93). Площади пожаров на торфяниках оценивались путем совмещения в пространстве границ всех природных пожаров с границами торфяников.

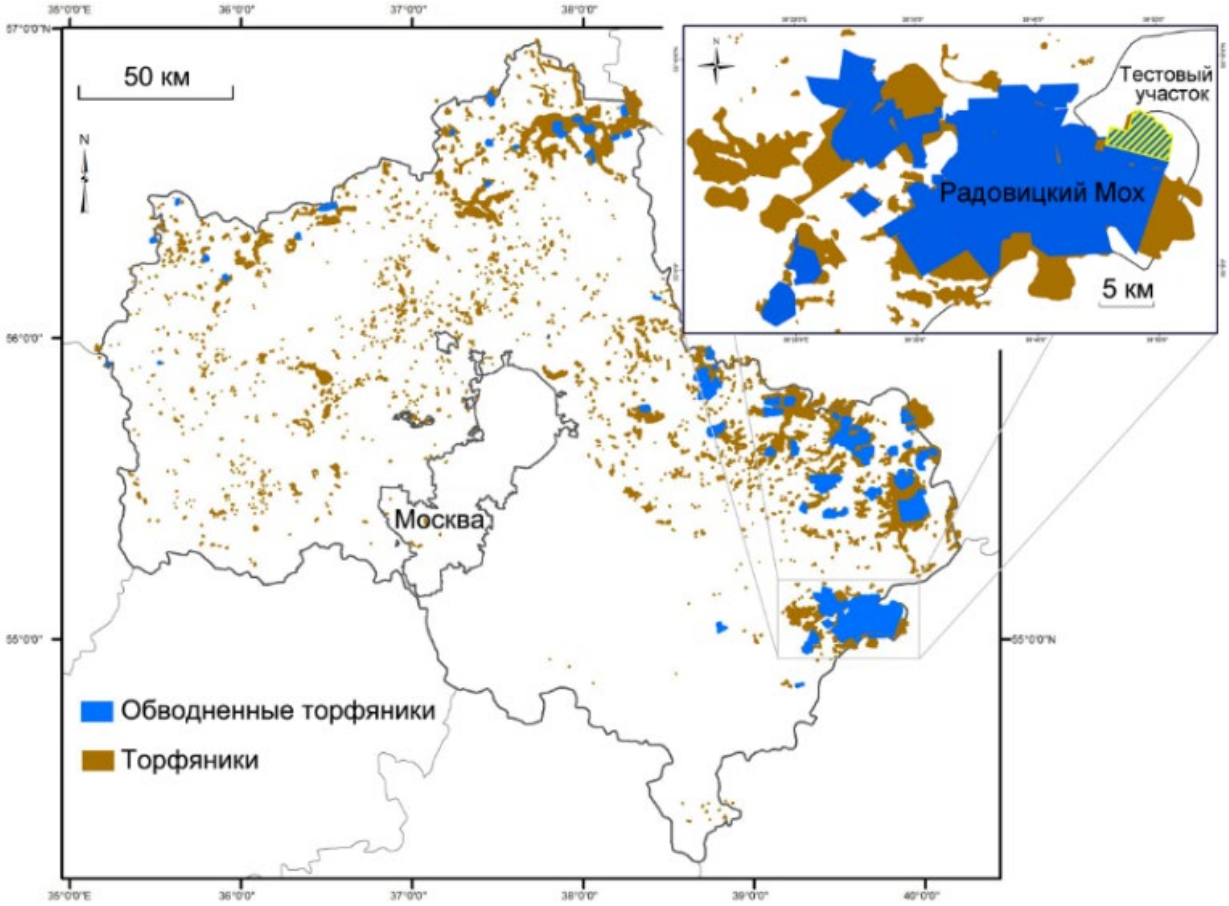


Рисунок 93. Торфяные месторождения Московской области. На укрупненном фрагменте представлен торфяной массив «Радовицкий Мох» с анализируемым участком площадью 1 535 га

Методическое руководство МГЭИК предлагает использовать формулу для вычислений выбросов парниковых газов от пожаров (IPCC, 2006):

$$L_{пожар} = A \cdot M_B \cdot C_f \cdot G_{ef} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где: $L_{пожар}$ – масса выбросов парниковых газов от пожара; тонн каждого парниковых газов, например, CO_2, CH_4, N_2O;

A – выжигаемая площадь, га;

MB – масса доступного для горения топлива, тонн/га. Сюда входят фитомасса, подстилка и мертвая древесина, торф;

C_f – коэффициент сгорания; не имеет размерности (по таблице 2.6, IPCC, 2006);

G_{ef} – коэффициент выбросов; г/кг сжигаемого сухого вещества (таблица 2.5, IPCC, 2006).

Коэффициенты выбросов парниковых газов для (1) представлены в руководстве (IPCC, 2006) и в публикации Akagi (2011). Для расчета выбросов от разных типов пожаров применялись данные Руководства (IPCC, 2013) по водно-болотным угодьям, в котором запасы сгораемого органического вещества для неосушенных торфяников оценены в 66 т га$^{-1}$, для осушенных – 336 т га$^{-1}$. В таблице 2.7 (IPCC, 2006) приведены коэффициенты выбросов в кг, приходящиеся

на тонну сгораемого вещества: CO_2-C – 362; CH_4 – 9. Так в основе для расчетов выбросов от торфяных пожаров лежит площадь торфяного пожара и масса сгораемого органического вещества.

Выявление торфяных пожаров и их учет отдельно от других типов пожаров важны для оценки выбросов парниковых газов. На основе данных космической съемки MODIS и базы данных Института лесоведения РАН собрана информация о площадях торфяных пожаров на территории Московской области за 2001-2023 гг. Торфяные пожары в основном были приурочены к нарушенным торфяникам, на которых ранее осуществлялась добыча торфа. Для пожаров Московской области на нарушенных и ненарушенных торфяников проведена оценка выбросов парниковых газов. Суммарный выброс парниковых газов от торфяных пожаров на территории Московской области на нарушенных и ненарушенных торфяниках за период с 2001 г. по 2023 гг. отличается на два порядка (соответственно 81,8 млн т CO_2-экв. и 0,6 млн т CO_2-экв.). Реализация проекта по вторичному обводнению осушенных торфяников привело к сокращению площадей торфяных пожаров и массы соответствующих выбросов парниковых газов более чем в 7 раз. На участках ненарушенных торфяников средние значения площадей торфяных пожаров и массы выбросов после обводнения сократились более чем в 3 раза.

На примере обводненного в 2010 г. торфяника площадью 1 535 га Радовицкий Мох (рис. 93) выполнен расчет выбросов от торфяных пожаров до обводнения. Для уточнения границ пожара на тестовом объекте «Радовицкий мох» использовались снимки Landsat-5 TM до и после пожара (Медведева и др., 2020; Sirin and Medvedeva, 2022).

По полученным оценкам после обводнения за год происходит сокращение выбросов парниковых газов на 34 т CO_2-экв. га$^{-1}$ год$^{-1}$ с учетом вероятных выбросов CO_2 и CH_4 с пожарами. Такие вычисления предлагается применять для оценки эффективности проведения климатических проектов. С учетом оценок потоков типов покрова основной вклад в снижение потоков парниковых газов при обводнении происходит за счет снижения пожароопасности торфяника.

Работа проводилась при поддержке Российского научного фонда (№ 23-74-00067) в рамках проекта «Научные основы выявления торфяных среди других природных пожаров и оценки связанных с ними потерь углерода как фактора влияния на климат».

Список литературы

Медведева М.А., Макаров Д.А., Сирин А.А. Применимость различных спектральных индексов на основе спутниковых данных для оценки площадей торфяных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2020. – Том. 17. – № 5. – С. 157-166; doi: 10.21046/2070-7401-2020-17-5-157-166

Сирин А.А., Маслов А.А., Валяева Н.А., Цыганова О.П., Глухова Т.В.

Картографирование торфяных болот Московской области по данным космической съемки высокого разрешения // Лесоведение. – 2014. – № 5. – С. 65-71.

Akagi S.K., Yokelson R.J., Wiedinmyer C., et al. Emission factors for open and domestic biomass burning for use in atmospheric models // Atmos. Chem. Phys. – 2011. – Vol. 11. – P. 4039–4072; doi: 10.5194/acp-l 1-4039-2011

IPCC. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). vol. 4 Agriculture, forestry and other land use – Published: IGES, Japan, 2006.

IPCC. 2013 Supplement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Wetlands, Hiraishi T., Krug T., Tanabe K., Srivastava N., Baasansuren J., Fukuda M. and Troxler T.G. (eds) – Published: IPCC, Switzerland, 2014.

Sirin A., Medvedeva M. Remote sensing mapping of peat-fire-burnt areas: identification among other wildfires – Remote Sens. – 2022. – Vol. 14. – 194; doi: 10.3390/rs14010194

УТОЧНЕНИЕ ОЦЕНОК ВЫБРОСОВ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ОТ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УГОДИЙ (ВОЗДЕЛЫВАЕМЫЕ ЗЕМЛИ, СЕНОКОСЫ И ПАСТБИЩА)

CLARIFICATION OF GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM AGRICULTURAL LAND (CROPLAND AND GRASSLAND)

Пожидаева А.Е., Вертянкина В.Ю.

Pozhidaeva A.E., Vertyankina V.Yu.

ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»
Россия, 107258, Москва, Глебовская 20Б; *a.pozhidaeva@igce.ru*; *victoria_vert@mail.ru*

Аннотация. В статье представлены результаты работы, выполненной в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ». Цель работы - уточнение оценки выбросов парниковых газов (CO_2, CH_4) от осушенных органогенных почв земель сельскохозяйственного назначения (возделываемые земли, сенокосы и пастбища) в национальном кадастре парниковых газов.

Ключевые слова: парниковые газы, землепользование, адаптация, смягчение последствий, изменение климата, углерод, метан, органогенные почвы, МГЭИК.

Abstract. The article demonstrates the results of the work carried out within the framework of the implementation of the most important innovative project of national importance "Unified National Monitoring System for climatically active substances". The aim of the investigation is to clarify greenhouse gas emissions (CO_2, CH_4) from drained organogenic soils of agricultural lands (cultivated lands, hayfields and pastures cropland and grassland) in the national inventory report of greenhouse gas.

Keywords: greenhouse gases, land use, adaptation, mitigation, climate change, carbon, methane, organogenic soils, IPCC.

Почва является крупнейшим резервуаром органического углерода (Sun et al., 2020; Кудеяров, 2022; Zając et al., 2025), который способен удалять CO_2 из атмосферы и трансформировать его в почвенный углерод. Что представляет собой хорошую меру по смягчению последствий изменения климата.

Особое место в изучении изменения климата отведено органогенным почвам. Органогенные почвы, особенно торфяники, являются важными поглотителями углерода (Zając et al., 2025). По данным Conchedda (2020) они покрывают всего 3 % площади суши, но при этом они составляют 30 % от общего содержания углерода в почве.

Изменение землепользования и перевод органогенных почв в пахотные земли является одной из причин изменения климата. По данным Leifeld et al., 2019; Swindles et al., 2019; Conchedda et al., 2020; Zając et al., 2025 осушение органогенных почв для сельскохозяйственных нужд вызывает проблемы с высокими выбросами углекислого газа.

Оценка выбросов парниковых газов из осушенных органогенных почв постоянных возделываемых земель и кормовых угодий осуществляется в соответствии с Руководящими принципами МГЭИК (МГЭИК,2006) и по уровню сложности расчетов соответствует первому уровню с применением официальных статистических данных Росстата (https://rosstat.gov.ru).

В рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения

(ВИП ГЗ) в Национальном Кадастре парниковых газов России с 2024 года были актуализированы следующие сведения:

- площади осушенных органогенных почв пахотных земель;
- национальный коэффициенте углерода для органогенных почв (Павлик, 2012).

Органогенные почвы

С 2024 г. в Национальный Кадастр парниковых газов России внесены уточненные данные по площадям осушаемых органогенных почв пахотных и пастбищных земель, полученные на основании предоставленных данных по площадям осушаемых органогенных почв Министерством сельского хозяйства РФ с уточнениями ФГБНУ ФИЦ "Почвенный Институт им. В.В. Докучаева». Данная оценка была проведена для каждого субъекта Российской Федерации (рис. 94) с последующим получением результирующей площади для территории всей страны путем суммирования площадей осушаемых органогенных почв в каждом субъекте РФ. В результате этого уточнения из 1 326 994 га возделываемых осушенных земель было подтверждено 355 639 га.

По проведенным пересчетам, осушаемые органогенные почвы составляют 26,8 % от всей площади осушаемых почв сельскохозяйственного назначения как пахотных, так и пастбищных угодий (НДК, 2025).

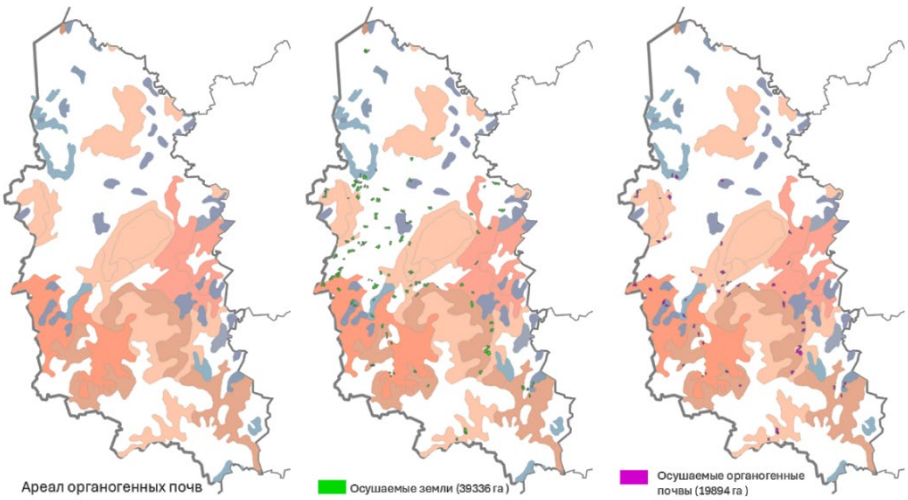


Рисунок 94. Иллюстрация учета площади возделываемых осушаемых земель сельскохозяйственного назначения с участием органогенных почв в составе их почвенного покрова по данным ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» на примере Псковской области: представлен ареал органогенных почв Псковской области, зеленым цветом обозначены осушаемые земли с/х назначения по данным ЕГРПР, фиолетовым цветом представлены осушаемые органические почвы с/х назначения (НДК, 2025)

Согласно уточненным данным площадь осушаемых органогенных почв возделываемых земель в 2023 г. составила 669,9 тыс. га вместо используемых ранее в расчетах 2499,6 тыс. га, а площадь осушаемых органогенных почв сенокосов и пастбищ – 472,8 тыс. га вместо 1764,2 тыс. га. Для всего отчетного временного ряда были проведены перерасчеты площадей

органогенных почв в подсекторах пахотных и пастбищных земель (рис. 95), а также переоценка величин потока/поглощения парниковых газов в Кадастре парниковых газов РФ 2025 г.

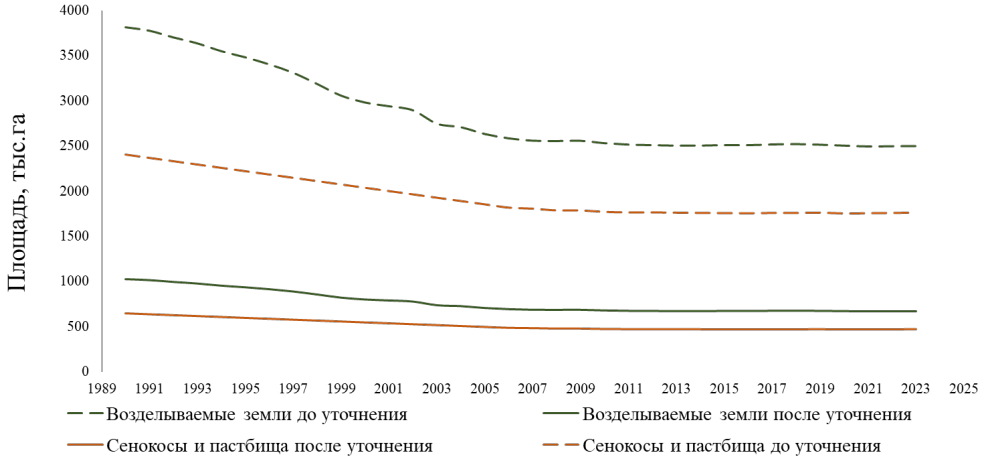


Рисунок 95. Площади осушаемых органогенных почв сельскохозяйственных угодий

Для осушаемых органогенных почв пахотных земель был также уточнен национальный коэффициент эмиссии углерода (Павлик, 2012). Согласно данному исследованию при выращивании многолетних трав на сено на торфяных почвах заливных лугов (агрозем торфяный типичный, агрозем торфяный глееватый, агрозем торфяно-минеральный типичный) средняя годовая эмиссия CO_2 находится на уровне 6,3 ± 2,0 по сравнению с контролем эмиссии на залежи.

В результате пересчета среднее значения выбросов парниковых газов от возделываемых осушенных органогенных почв сельскохозяйственных земель с 1990 г. сократились в 1.4 раза. Выбросы снизились с 32,5 до 22,6 млн т CO_2-экв. год$^{-1}$ (рис. 96).

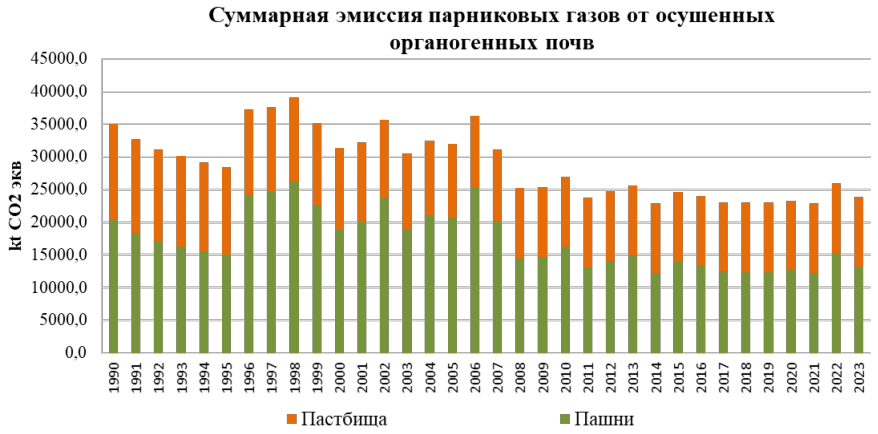


Рисунок 96. Суммарная эмиссия парниковых газов (CO_2, CH_4) от осушенных органогенных почв

Минеральные почвы

На сегодняшний день в Национальном кадастре оценка изменения запасов углерода в минеральных почвах соответствует первому уровню сложности, который подразумевает учет запаса углерода лишь при изменении запасов органического углерода в результате изменения в системе управления земель. Изменения запасов углерода в минеральных почвах постоянных пахотных земель и кормовых угодий принято равным нулю (НДК, 2025).

В дальнейшем, для получения более точных оценок необходимо внедрения альтернативных методов, основанных на применении национальных данных. Определяется два основных способа усовершенствования или уточнения оценок.

Первый способ связан с использованием данных Росагрохимслужбы по распределению площадей земель сельскохозяйственных угодий с разным содержанием гумуса. Полученные данные с 2013 по 2022 гг. включают в себя площадь обследованных земель, в том числе пашни, по субъектам РФ, а также распределение обследованных площадей по категориям содержания гумуса (< 2,0 %, 2,01-4,0 %, 4,01-6,0 %, 6,01-8,0 %, 8,01-10,0 % и >10 %) и позволяют провести предварительную оценку накопления или потерь почвенного органического вещества. На настоящий момент прорабатывается возможное использование предоставленных данных для уточнения оценок потоков парниковых газов в минеральных почвах сельскохозяйственных угодий на уровне субъектов Российской Федерации для последующего включения в Национальный кадастр.

Второй способ связан с применением метода математического моделирования (метод стационарного состояния (Steady State Method)). Предлагаемый метод основан на расчетах изменения содержания органического вещества почв исходя из поступления и выноса углерода в результате возделывания различных сельскохозяйственных культур, внесения удобрений, воздействия климатических факторов и физических параметров почв (IPCC, 2019). Для проведения прогнозных оценок с помощью моделирования необходима дополнительная информация по гранулометрическому составу пахотных горизонтов почв (содержание глины и песка); по содержанию лигнина по видам возделываемых культур и количеству внесенных удобрений с разделением на типы.

Список литературы

Кудеяров В. Н. 2022. Секвестрация углерода в почве: факты и проблемы (аналитический обзор) // Успехи современной биологии, 2022, Т. 142, № 6, с. 545-559.

МГЭИК (2006). Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. в 5-ти томах. Том 4. Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования Хаяма: Институт глобальных стратегий окружающей среды. Режим доступа: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/vol4.html

НДК (2025) Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2023 гг. в 2 томах, Москва.

Павлик С.В. (2012). Оценка эмиссии парниковых газов из сельскохозяйственных почв при использовании различных агротехнологий: автореф. дис. … канд. биол. наук. Санкт-Петербург. – 29 с.

Росстат (2023) Российский статистический ежегодник, Стат. Сборник, М., (https://rosstat.gov.ru)/

Conchedda, G. and Tubiello, F. N.: Drainage of organic soils and GHG emissions: validation with country data, Earth Syst. Sci. Data, 12, 3113–3137, https://doi.org/10.5194/essd-12-3113-2020, 2020.

IPCC (2019) Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, in Calvo Buendia, E. Tanabe, K. Kranjc, A. Baasansuren, J. Fukuda, M. Ngarize, S. Osako, A. Pyrozhenko, Y. Shermanau, P. and Federici, S. (eds), Published IPCC, Switzerland. IPCC (2014, 2013) Revised Supplementary Meth/

Leifeld J., Wüst-Galley C., and Page. S. 2019. “Intact and Managed Peatland Soils as a Source and Sink of GHGs From 1850 to 2100.” Nature Climate Change 9: 945–947. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0615-5

Sun W., Canadell J. G., Yu L., Yu L., Zhang W., Smith P., Fischer T., & Huang Y. (2020). Climate drives global soil carbon sequestration and crop yield changes under conservation agriculture. Global Change Biology, 26(6), 3325–3335. https://doi.org/10.1111/gcb.15001

Swindles G. T., P. J. Morris D. J. Mullan et al. 2019. “Widespread Drying of European Peatlands in Recent Centuries.” Nature Geoscience 12: 922–928. https://doi.org/10.1038/s41561-019-0462-z

Zając E. et al. Changes in Soil Organic Carbon Stocks and Chemical Properties in Organogenic Soils Under Long-Term Agricultural Use in Central Europe, Poland //Land Degradation & Development. – 2025.

СЕКЦИЯ

«АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА ООПТ»

ПРЕДЛОЖЕНИЯ К ВЕДЕНИЮ ЛЕТОПИСИ ПРИРОДЫ В ЗАПОВЕДНИКАХ И НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКАХ В СВЯЗИ С ИЗМЕНЕНИЯМИ КЛИМАТА

PROPOSALS FOR IMPLEMENTATION OF THE NATURE CHRONICLE PROGRAM IN STATE NATURE RESERVES AND NATIONAL PARKS IN CONNECTION WITH CLIMATE CHANGE

Благовидов А.К., Голыбина А.В., Очагов Д.М., Петров Т.А., Стишов М.С.

Blagovidov A.K., Golybina A.V., Dmitriy M. Ochagov D.M., Petrov T.A., Stishov M.S.

Федеральное государственное бюджетное учреждение "Всероссийский научно-исследовательский институт охраны окружающей среды" (ФГБУ “ВНИИ Экология”)
Россия, 117628, Москва, 36 км МКАД, двлд 1, стр.4; *reception@vniiecology.ru*

Аннотация. На основании многолетних работ с материалами Летописей природы государственных природных заповедников и национальных парков предпринята попытка дополнить структуру годового отчёта по Летописи актуальными разделами, подчеркнуть важность нерегулярных наблюдений, а также оценить трудозатраты на выполнение ежегодного минимального объема работ в рамках ведения Летописи природы.

Ключевые слова: Летопись природы, государственный природный заповедник, национальный парк, фенология, мониторинг, многолетние данные, климат, динамика биоты, трудозатраты, человеко-дни.

Abctracts. Based on long-term data from the Nature Chronicle program of state nature reserves and national parks, an attempt was made to complement the structure of the annual report on the Chronicle with relevant sections, to emphasize the importance of stochastic observations, to estimate the labor costs for completing the annual minimum volume of work within the framework of maintaining the Chronicle of Nature.

Keywords: nature chronicle program, state nature reserve, national park, phenology, monitoring, long-term data, climate, biota dynamics, labor costs, man-days.

Летопись природы – старейшая и традиционная программа ведения наблюдений и исследований в заповедниках и, теперь, в национальных парках. В 1940 г. появилась первая Инструкция по ведению Летописи природы. Она состояла из 9 разделов: территория заповедника, погода, воды, рельеф-почвы-недра, флора и растительность, животное население, календарь природы, деятельность человека, летопись событий. К 1950 г. Летопись вели 10 заповедников.

Программа Летописи природы «преследует цель систематически, в течение неопределённо длительного времени, собирать сведения по динамике природных явлений и процессов в пределах заповедника и на сопредельных территориях» (Филонов, Нухимовская, 1990).

Библиография работ о многолетней динамике биоты, основанных на материалах Летописей природы, насчитывает, только в последние годы, более 200 названий.

Особенностью этой программы является сочетание исследований на стационарах и обобщения результатов разовых, случайных наблюдений. В этом её особенность, которую ни в коем случае нельзя потерять. Сейчас традиции и техника натуралистических наблюдений стремительно утрачиваются сотрудниками, непосредственно не связанными с проведением исследований, а это – важнейший компонент работы в природе, сколь бы развитыми современными технологиями она не сопровождалась. Умение видеть, слушать и понимать

происходящее по-прежнему ценно, незаменимо и должно быть сохранено у всех, кто работает «в поле». Сохранение и развитие этих навыков требует кропотливой работы, а, значит, немалых затрат сил и времени как у инструкторов – научных сотрудников, так и у обучаемых – инспекторов, лаборантов, работников экопросвещения. Сейчас при оценке необходимых ресурсов такая деятельность не учитывается.

«Летопись природы включает минимальный, но обязательный объём работ, без которого невозможно решать основные задачи» (Филонов, Нухимовская, 1990). Этот традиционный подход к программе как средству накопления результатов наблюдений, сделанных возможно широким кругом наблюдателей, остаётся, как нам кажется, актуальным и правильным.

Разумеется, экологический мониторинг на ООПТ ни в коем случае не должен быть ограничен рамками Летописи. В современных условиях работы по мониторингу должны включать с себя комплекс детальных стационарных программ, метрологически и статистически обеспеченных в соответствии с современными запросами и отраслевыми требованиями, иметь научных кураторов, поддерживающих соответствующие базы данных. Этот куратор, в соответствии со своими требованиями и стандартами обеспечивает выполнение метрологических и методических требований, обеспечивает финансирование программы, использование и публикацию данных. Как, например, лесопатологический, эпидемиологический или охотхозяйственный мониторинг. Летопись природы должна быть им комплементарной, но не быть их составной частью.

Также составной частью Летописи не должны быть другие программы исследований, требующие более углублённого и детального подхода. Например, программы инвентаризации видового состава биоты, анализа структуры популяций индикаторных видов животных и факторов, её определяющих, анализа сукцессионных процессов в растительных сообществах и т.д.

«Минимальный, но обязательный объём работ» должен включать в себя сбор сведений во всех экосистемах (оробиомах, высотных поясах) ООПТ по одной и той же схеме. Территория ООПТ должна иметь инфраструктуру для наблюдений: размеченные стационарные маршруты, участки, пробные площади и т.п.

Регулярно проводимые на стационарах учёты и измерения должны проводиться по сопоставимым методикам. Эти методики и вносимые в них уточнения должны быть зафиксированы в специальных паспортах. Исполнители должны регулярно проходить тренировки по этим методикам для обеспечения преемственности результатов во времени, пространстве и квалификации.

Сбор нерегулярных наблюдений должен быть организован от всех работников ООПТ, а также волонтёров, подтвердивших свою квалификацию у соответствующих научных сотрудников. Должны быть приняты меры по поощрению наиболее активных поставщиков сведений. Для записи и хранения этих сведений необходимо использовать программные модули для смартфонов, позволяющие легко трансформировать данные в таблицы Excel. Эти модули должны работать, в том числе, автономно, без связи с сотовым оператором.

Предполагается, что все данные в Летописи природы будут представлять собой электронные таблицы с автоматической возможностью интеграции в базы данных. Однако, на протяжении ещё многих лет будут повторяться ситуации, когда работа с твёрдыми копиями окажется более удобной, чем с электронными форматами. Поэтому возможность, или даже обязательность изготовления твёрдых копий пока целесообразно сохранить.

Накопленные за год материалы обобщаются в очередном томе Летописи природы. Этот том обязательно должен публиковаться за авторством составителей разделов и с обязательным упоминанием всех, кто представил включенные в него сведения.

Представляется важным Разделы Летописи сохранить традиционными, дополнив современными вызовами.

- Территория и изменения границ.
- Сведения о погоде и гидрологической обстановке.
- Календарь природы, проявление фенологических маркеров.
- Фенологические наблюдения на постоянных пробных площадях.
- Флора и растительность, в т.ч. редкие и индикаторные виды.
- Фауна и животное население, т.ч. регистрация встреч зверей фотоловушками и видовые очерки об индикаторных видах.
- Антропогенная нагрузка на ООПТ: последствия антропогенного воздействия.
- Взаимодействие с местными жителями и коренными народами.
- Краткий обзор результатов работы сторонних организаций.

Преемственность результатов наблюдений может быть соблюдена только в том случае, если на все стационарные учёты и работы ведутся паспорта. В паспорта своевременно должны вноситься пометки об уточнении методик и координат с объяснением причин внесения этих изменений. Сейчас такая работа выполняется не всегда и не везде, прежде всего, из-за отсутствия средств и специалистов.

Важнейшей частью работы по Летописи является сбор сведений от персонала ООПТ и натуралистов о встречах животных, необычных растениях и грибах, аномальных явлениях. Обучение, поддержание и тренировка такой корреспондентской сети требует от

координаторов разделов Летописи немалых затрат сил, времени и энергии. Но без сопоставления таких сведений с результатами детальных работ любое мероприятие по многолетнему экологическому мониторингу не может быть основательным. Примером могут быть проанализированные нами записи о встречах птиц в Летописях природы заповедника Кедровая Падь с 1975 по 2012 гг. (рис. 97).

Рисунок 97. Пример анализа динамики встреч птиц различных видов по годам (по данным из Летописи природы заповедника Кедровая Падь)

Всего в формат электронных таблиц было преобразовано 21059 записей. За весь период наблюдений зарегистрированы встречи 270 видов птиц, 189 из которых регистрировались 3 года и более. Число встреч у 31% видов увеличивается, у 23% - уменьшается, встречаемость 30% остается стабильной, 16% видов не отмечались в последние 11 лет наблюдений: с 2001 по 2012 гг. Списки видов, встреченных за год, слабо коррелируют друг с другом и пересекаются не более, чем на 60% (Благовидов и др., 2024) 80% видов оказались отмеченными хотя бы 1 раз только через 24 года наблюдений. Это при том, что население птиц оценивают обычно за 2-3 года.

В России сейчас почти 250 государственных природных заповедников, национальных парков и государственных природных заказников федерального значения. Программа Летописи должна быть, по возможности, похожей у всех. Попытка распределить территории по группам с относительно схожими типами экосистем и условиями работы показала, что таких групп получается, как минимум, 28 – для территорий и 4 – для акваторий.

«Составить методическое пособие, пригодное для всех заповедников страны, невозможно. Поэтому его следует рассматривать как принципиальную схему, которую заповедники, находящиеся в самых различных природных условиях, разрабатывают применительно к своим локальным условиям» (Филонов, Нухимовская, 1990). Работы непосредственно в рамках Летописи природы предполагают значительную типизацию. Но в большинстве заповедников и национальных парков представлено несколько типов экосистем, в некоторых – более 10: Убсунурская Котловина – 14, Магаданский – 13, Курильский 12, Баргузинский, Буреинский, Таймырский – 11. Если говорить о методичном охвате всего

разнообразия особо охраняемой территории, надо понимать, что объём работы в таких ООПТ возрастает многократно.

Простейший расчёт приводит к довольно внушительным числам. Проведение рекогносцировочных работ на модельном участке занимает 3-5 чел.-дн. за высадку (в среднем – 4), и детальные работы (в большинстве своем – разнообразные учеты) - 8-12 (10) чел.-дн., полекамеральные – 2-4 (3) чел.-дн. Работы проводятся 3 раза в год – в теплый сезон, в холодный сезон и в межсезонье. Полевое звено состоит минимум из 2-х человек, т.е. непосредственно полевые работы по Летописи требуют порядка 100 человеко-дней. Доставка звена исполнителей к стационару и обратно требует 2 дней и участия водителя, Доставка к удаленным и очень удаленным стационарам занимает 2 или 3 дня. И это при том, что стационары должны быть размещены в местах, доступных для наземного и/или водного транспорта. Затраты на материально-техническое обеспечение в данном случае мы не рассматриваем. Результаты оценочного расчета трудозатрат на выполнения программы Летописи природы только в заповедниках выводят на цифру 123500 человеко-дней. Выполнение программы Летописи природы в национальных парках потребует 84000 человеко-дней. И это для выполнения минимального объёма работ.

Таким образом, если всерьёз говорить, что все заповедники и национальные парки должны вести Летопись природы в качестве базового инструмента экологического мониторинга в условиях изменения климата, то для её продолжения остро необходимы значительные ресурсы. Они необходимы как для ведения планомерных многолетних наблюдений, так и для восстановления навыков натуралистических наблюдений с участием всех полевых сотрудников и круга волонтёров. Именно эта часть работы, наряду с фотоловушками, обеспечивает стохастический компонент знаний об изменениях в природных комплексах, а именно он наиболее ценен.

Список литературы

Благовидов А.К., Беляев Д.А., Петров Т.А., Очагов Д.М., Голыбина А.В., Терехов А.С. Многолетние изменения в населении птиц заповедника «Кедровая падь»: опыт преобразования машинописных материалов из Летописей природы в формат электронных таблиц //Охрана окружающей среды и заповедное дело. – 2024, т.5, № 3, с.150-163.

Филонов К.П., Нухимовская Ю.Д. Летопись природы в заповедниках СССР. Методическое пособие. М.: Наука, 1990. – 143 с.

МОНИТОРИНГ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЭКОТОНЕ «ЛЕС-ТУНДРА» НА ТЕРРИТОРИИ ТАЙМЫРСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

MONITORING OF WOODY VEGETATION IN THE FOREST-TUNDRA ECOTONE ON THE TERRITORY OF THE TAIMYR NATURE RESERVE

Бондарев А.И.[1], Бондарь М.Г.[2]

Bondarev A.I.[1], Bondar M.G.[2]

[1]Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН им. А.С. Исаева
Россия, 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 84/32, стр. 14; *abond822@yandex.ru*
[2]ФГБУ «Заповедники Таймыра»
Россия, 663305, г. Норильск, ул. Кирова, 24 пом. 56; *mikisayan@yandex.ru*

Аннотация. Приведено описание программы мониторинга древесной растительности в экотоне «лес-тундра», расположенном на территории Таймырского государственного биосферного заповедника, лесные участки которого представляют наиболее северные местоположения древесной растительности в северном полушарии. Отмечается, что программа разработана в рамках международной Циркумполярной программы мониторинга биоразнообразия (CBMP). Представлена структура, методологические подходы к составлению и этапы разработки программы. Описана архитектура базы данных объектов мониторинга древесной растительности. Отмечено, что на территории заповедника сеть мониторинга включает тридцать три постоянных объекта мониторинга площадью от 0.25 до 1 га с глубиной первичной информации от 30 до 50 лет, а также десять пунктов фотомониторинга с фиксированными координатами их расположения.

Ключевые слова: лесотундровый экотон, программа мониторинга, редколесья и редины, Таймырский заповедник, *Larix gmelinii*.

Abstract. The following is a comprehensive description of a program dedicated to the monitoring of woody vegetation within the "forest-tundra" ecotone situated in the Taimyr State Biosphere Reserve. The forested sites of the reserve represent the northernmost habitats of woody vegetation in the Northern Hemisphere. It is emphasized that the program was conceived within the framework of the international Circumpolar Biodiversity Monitoring Program (CBMP). The composition, methodological approaches to data compilation, and stages of program development are outlined. The architecture of the database encompassing the monitoring of woody vegetation is elaborated upon. Furthermore, it is highlighted that the reserve's monitoring network comprises thirty-three permanent observation sites, varying in size from 0.25 to 1 hectare, with a primary data depth spanning 30 to 50 years, alongside ten fixed-coordinate photomonitoring points.

Keywords: forest-tundra ecotone, monitoring program, sparse forests and single-tree areas, Taimyr Nature Reserve, *Larix gmelinii*.

Аномально быстрое потепление Арктики (IPCC, 2021) предопределяет растущий интерес к изучению реакции растительных сообществ, как в части изменения границ их распространения, так и в отношении изменения их продуктивности и роли в балансе глобального цикла углерода. Особый интерес, обусловленный климатическими изменениями, представляет древесная растительность лесотундрового экотона (ЛТЭ).

Флуктуация границы тундровой и древесной растительности имеет ряд содержательных признаков, к которым в несколько упрощенном варианте можно отнести:

- наступание древесной растительности за счет появления новых особей на прилегающей тундровой территории;

- отступание древесной растительности за счет прекращения возобновления, деградации и постепенного отмирания оставшихся особей.

Перечисленные оба фактора являются наиболее очевидными признаками изменения границы, но с учетом климатических особенностей региона они имеют как минимум вековые колебания и уловить их достаточно сложно, хотя такие попытки постоянно предпринимаются, особенно в условиях развития дистанционных методов зондирования Земли.

Однако наряду с очевидными, есть ряд косвенных признаков, свидетельствующих о процессах регрессии или наоборот наступления леса на тундру. Среди них можно выделить:

- изменение структуры древостоев и их продуктивности, особенностей их роста и развития;
- изменение интенсивности плодоношения и способности семян к прорастанию;
- изменения характера возобновительного процесса, выражающееся в увеличение или уменьшение количества вновь появляющихся экземпляров, изменении их прироста и состояния;
- изменение сомкнутости древостоев, обусловленной, с одной стороны, улучшением или ухудшением роста древесного яруса, а, с другой стороны, интенсивностью и скоростью поступления новых особей из подроста в основной полог древостой.

Приведенная классификация несколько упрощает сложные динамические процессы, имеющие место в природе, но, с другой стороны, позволяет структурировать тематику и направленность исследований для их выявления. Вдобавок, не все из них обусловлены лишь климатическими факторами, например, факторы внутри- и межвидовой конкуренции на определенном этапе могут играть более значимую роль, чем изменение климатических характеристик окружающей среды.

С учетом классификации признаков и факторов, определяющих динамику границы в ЛТЭ, для Таймырского государственного заповедника, на территории которого находятся два самых северных участка произрастания древесной растительности, представленной монодоминантными редколесьями и рединами из лиственницы Гмелина (*Larix gmelinii* (Ruppr.) Ruppr.), в северном полушарии (Толмачев, 1931; Крючков, 1972), была составлена программа мониторинга с акцентом на выявление территорий, где отмечается явный процесс наступления или утраты древесной растительностью своих позиций, а также на структурные изменения в строении и продуктивности древостоев, оценку характера и динамику возобновительного процесса.

Программа мониторинга разработана в контексте *Циркумполярной Программы Мониторинга Биоразнообразия (CBMP)*[2], основной целью которой являются усилия по сохранению биологического разнообразия Арктики, прекращение или существенное

[2] https://www.caff.is/monitoring

сокращение его потерь и обеспечение информацией об устойчивом использовании биологических ресурсах региона его коренных жителей, других резидентов и всех заинтересованных сторон. Структурно она входит в Раздел программы СВМР 3. «Мониторинг состояния популяций ключевых видов», подраздел 3.10. «Древесные породы».

Целью программы является изучение отклика древесной растительности на климатические изменения в Арктической зоне, а основной задачей - организация системы долговременного мониторинга реакции древесной растительности на климатические изменений в азиатской части Арктической зоны.

Разработанная программа включает четыре отдельных вида мониторинга:

3.10.1 Мониторинг площади древесных ассоциаций по категориям (сомкнутые древостои, редколесья, редины).

3.10.2 Мониторинг структуры и продуктивности древостоев.

3.10.3 Мониторинг лесообразовательного процесса.

3.10.4 Мониторинг плодоношения и качества семян.

Для каждого из видов мониторинга разработана система измеряемых параметров и рассчитанных на их основе индикаторов, отражающих динамические тренды.

Реализация программы предполагает несколько этапов. На первом этапе проводится инвентаризация потенциальных объектов для организации долговременного мониторинга. Основные требования к объектам:

- ✓ наличие географических координат или детальная привязка на местности, по описанию (схеме) которой объект может быть идентифицирован на местности;
- ✓ наличие зафиксированных на местности границ, центров или углов объекта, которые можно обнаружить при обследовании территории;
- ✓ наличие первичных данных измерений, проведенных как минимум один раз; (предпочтение отдается объектам, имеющим повторные измерения по сходной методике с максимальным лагом по времени).
- ✓ наличие подробного описания методики измерений и обработки данных в целях получения сопоставимых результатов при повторных измерениях.

На следующем этапе проводится поиск объектов в процессе натурного обследования территории, фиксация углов в случае пробных площадей, местоположения лесоводственно-типологических профилей и т.п., определение их географических координат, а также обозначение граничных линий (визиров) непосредственно на местности. В случае отсутствия ранее созданных объектов или недостаточного их количества производится создание новых или дополнительных объектов. При этом, по возможности, обеспечивается

репрезентативность объектов существующей породной, возрастной и типологической структуре лесного покрова.

Параллельно с выявлением существующих объектов мониторинга проводятся повторные измерения морфометрических параметров древостоев и возобновления с соблюдением методических подходов и особенностей, которые использовались при предыдущем производстве измерений.

После выявления объектов мониторинга и создания новых, производится доработка программы мониторинга как в методическом плане, так и в содержательной ее части путем включения описания выполненных работ, методических аспектов проведения измерений, составления или обновления паспортов объектов мониторинга и составления карты-схемы их расположения.

На заключительном этапе формируется база данных объектов мониторинга. Для разработки было выбрано приложение Excel пакета офисных программ Microsoft Office. Выбор был обусловлен возможностью добавления полей в зависимости от перечня описываемых или измеряемых характеристик, а также простотой использования при реализации стандартных возможностей обработки, предоставляемых приложением, а также расширением базы за счет добавления дополнительных блоков.

Архитектура базы реализована в блочной конфигурации, при этом отдельные разделы (соответствующие разделам в паспорте пробной площади) выполнены в виде отдельных листов электронной таблицы. В настоящее время база данных включает 4 тематических раздела (листа):

Лист 1 «Местоположение» содержит поля с наименование заповедника, лесничества, номеров кварталов и выделов, линейных и площадных характеристик, года создания и ФИО автора, а также координаты 4-х углов пробной площади с отдельным указанием долготы и широты. Зарезервированы два поля для возможности заполнения координат центра пробной площади, что актуально для пробных площадей небольшого размера и особенно круговых площадок. Поля имеют символьные и числовые значения. Координаты представлены в градусной мере.

Лист 2 «Общая характеристика» включает поля, описывающие местоположение пробной площади: положение и рельеф, а также особенности древостоя, почв, тип леса и характеристики растительных ярусов. Все поля имеют символьное значение и представлены в текстовом формате.

Лист 3 «Характеристика исследований» охватывает поля, характеризующие перечень выполненных работ и измерений на пробных площадях в разрезе отдельных периодов времени (год, месяц). Зарезервировано одно поле «дата».

Лист 4 «Характеристика древостоя» содержит измеренные и рассчитанные показатели, характеризующие древостой по периодам проведения исследований, что дает возможность отслеживать их динамику. Все характеристики приведены для пробной площади.

Все листы индексированы одним полем «№ пробной площади», что позволяет для пробных площадей формировать различные выборки и сводные таблицы из различных блоков.

В настоящее время система мониторинга древесной растительности на территории заповедника представлена тридцатью тремя постоянными объектами мониторинга площадью от 0.25 до 1 га с глубиной первичной информации от 30 до 50 лет и сетью из 10 пунктов фотомониторинга с фиксированными координатами их местоположения.

Исследование выполнено в рамках темы государственного задания «Биоразнообразие и экосистемные функции лесов» (номер регистрации – 124013000750).

Список литературы

Крючков В.В. Самые северные на земном шаре лесные массивы на р. Лукунской в бассейне р. Хатанги. // Ботанический журнал. – 1972. – т. 57.– №10. – С. 1213-1220.

Толмачев А.И. О распространении древесных пород по северной границе лесов в области между Енисеем и Хатангой // Тр. Полярной комиссии АН СССР. – 1931. – вып. 5. – С. 1-29.

IPCC, 2021. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (Eds.). – Cambridge University Press, 2021. – 1300 p.

АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ БИОСФЕРНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

CLIMATE CHANGE ADAPTATION IN THE TSENTRAL'NO-LESNOY BIOSPHERE RESERVE

Буйволов Ю.А.[1,2], Истомин А.В.[2,3], Иванов Д.Г.[4], Куричева О.А.[4], Моченов С.Ю.[4], Сандлерский Р.Б. [2,4,5], Суворов Г.Г.[4,6], Шуйская Е.А.[2]

Buyvolov Yu.A.[1,2], Istomin A.V.[2,3], Ivanov D.G.[4], Kuricheva O.A.[4], Mochenov S.Y.[4], Sandlersky R.B.[2,4,5], Suvorov G.G.[4,6], Shuyskaya E.A.[2]

[1] Институт глобального климата и экологии имени Ю.А. Израэля
Россия, 107258, г. Москва, Глебовская, 20Б; *ybuyvolov@xmail.ru*
[2] Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник
Россия, 172521, Тверская область, Нелидовский м.о., пос. Заповедный, 32
[3] Псковский государственный университет
Россия, 180000, г. Псков, пл. Ленина, д. 2
[4] Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН
Россия, 119071, г. Москва, Ленинский проспект, д. 33
[5] Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
Россия, 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11
[6]Центр сохранения и восстановления болотных экосистем Института лесоведения РАН
Россия, 121609, г. Москва, поселок Сосновка, д. 3, корп. 1

Аннотация. Меняющиеся условия существования природных комплексов вызывают необходимость принятия мер по упреждающей адаптации в управлении Центрально-Лесным биосферным резерватом программы ЮНЕСКО. В зоне ядра принимаемые меры включают усиление охраны от пожаров и противопожарную профилактику в связи с тенденциями усыхания еловых насаждений, а также мониторинг биоклиматических изменений, данные которого помогают определить первоочередные меры по адаптации. Для предотвращения проникновения в заповедное ядро инвазивных (чужеродных) видов растений, на основных путях проникновения в буферной зоне проводятся мероприятия по уничтожению растений. Проводится разъяснение лесопользователям необходимости изменения системы лесопользования и усиления противопожарных профилактических мероприятий, снижения нагрузки по рубке еловых насаждений в буферной и переходной зонах биосферного резервата и перехода к интенсивному ведению лесного хозяйства на ограниченных площадях в связи с климатическими изменениями.
Ключевые слова: упреждающая адаптация, биоклиматические изменения, биосферный резерват.

Abstract. The changing conditions of natural complexes necessitate proactive adaptation measures in the management of the UNESCO Central Forest Biosphere Reserve. Within the core zone, the measures being implemented include enhanced fire protection and prevention due to the trends of spruce forest dieback, as well as monitoring bioclimatic changes, the data from which helps to identify priority adaptation measures. To prevent the invasion of alien plant species into the reserve's core, eradication activities are being conducted along the main invasion routes in the buffer zone. It is essential to clarify to forest users the need to alter the forestry system and to strengthen fire prevention measures, reduce the logging pressure on spruce forests in the buffer and transition zones of the biosphere reserve, and to shift towards intensive forest management on limited areas in response to climate change.
Keywords: proactive adaptation, bioclimatic changes, Biosphere Reserve.

Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник (далее – заповедник) расположен на водоразделе р. Волга и р. Западная Двина, в юго-западной оконечности Валдайской возвышенности (Тверская область). Заповедное ядро одноименного биосферного резервата программы ЮНЕСКО «Человек и Биосфера», в которое входит большая часть заповедника, занимает типичный природный комплекс, включающий малонарушенные старовозрастные еловые леса неморального и бореального типов в

сочетании со сфагновыми верховыми болотами. Здесь произрастает более 100 регионально редких и исчезающих видов растений Тверской области (Красная…, 2024). Два вида, имеющие статус в Тверской области «исчезающие», надбородник безлистный (*Epipogium aphyllum*) и лобария лёгочная (*Lobaria pulmonaria*) включены в Красную книгу России, в категории 2. Редкие виды лишайников лобария лёгочная (*Lobaria pulmonaria*) и менегацция пробуравленная (*Menegazzia terebrata*) в лесах заповедника обычны, их распространение здесь подтверждает сохранность старовозрастных лесов и низкий уровень фонового загрязнения воздуха.

В заповедном ядре и в охранной зоне заповедника, входящей в буферную зону биосферного резервата, гнездятся редкие и находящиеся под угрозой глобального исчезновения виды птиц категории VU красного списка МСОП – красношейная поганка (*Podiceps auritus*), чибис (*Vanellus vanellus*), большой подорлик (*Aquila clanga*) и виды категории NT: дупель (*Gallinago media*), большой кроншнеп (*Numenius arquata*), большой веретенник (*Limosa limosa*). На верховых болотах гнездятся редкие и исчезающие подвиды птиц, включенные в Красную книгу России: белая среднерусская куропатка (*Lagopus lagopus rossicus*) и южная золотистая ржанка (*Pluvialis apricaria apricaria*).

В составе фауны мелких млекопитающих представлены редкие реликтовые виды восточной Палеарктики. В частности, именно здесь находится одна из самых южных точек ареала лесного лемминга (*Myopus schisticolor*) в Европейской части России.

За внешней границей буферной зоны расположена переходная зона (или зона сотрудничества) биосферного резервата, включающая большую часть Нелидовского муниципального округа. В буферной и переходной зонах до начала 1990-х гг. велось экстенсивное сельское и лесное хозяйство, было много жилых населенных пунктов. В последние десятилетия наблюдается упадок сельского хозяйства, зарастание полей, опустение населенных пунктов; лесные ресурсы подорваны экстенсивными рубками хвойных лесов в 1980-х гг. Численность постоянно проживающего населения в буферной зоне сократилась от нескольких тысяч в 1980-х гг. до менее 400 человек. На сохранившихся наиболее ценных для биоразнообразия участках были созданы заказники регионального значения.

Сегодня охрана, экологический туризм и научные исследования составляют основные сферы деятельности постоянно проживающего населения в буферной зоне, но также сохраняются остатки сельского и лесного хозяйства. Природное разнообразие и низкий уровень антропогенного воздействия создают условия для проведения долговременных экологических научных исследований. В заповедном ядре и в буферной зоне более 60 лет проводятся комплексные научные исследования динамики экосистем и экологический мониторинг по российским и международным программам, в том числе в рамках Конвенции

о трансграничном загрязнении воздуха на большие расстояния.

С 1990-х гг. здесь получили развитие исследования и мониторинг климатических изменений и их воздействия на природные экосистемы. Эколого-климатические станции (ЭКС), работающие с использованием метода турбулентных пульсаций, в ельниках и на болоте были одними из первых станций такого типа в России и начали работать в 1998–2000 гг. Данные с ЭКС доступны на сайте европейской базы данных о потоках (https://www.europe-fluxdata.eu/ (индексы станций RU-Fyo, RU-Fy2, RU-Fy3, RU-Fy4). С использованием ручных и автоматических камер ведется мониторинг потоков парниковых газов (CO_2 и CH_4) в лесных и болотных экосистемах. Также ежегодно ведутся наблюдения за водным режимом, динамикой растительности, трансформацией ландшафтов, составом флоры и фауны, численностью и распределением млекопитающих и птиц. Данные наблюдений размещаются в ежегодных отчетах по Летописи природы на сайте заповедника https://clgz.ru/, в Банке данных «Временные ряды фенологических данных» http://fenolog.igce.ru/, в Глобальной Информационной Сети о Биоразнообразии https://www.gbif.org.

В целом, благодаря сотрудничеству и обмену данными сложился неформальный межведомственный научный консорциум по проблеме изменения климата и адаптации, в котором участвуют научно-исследовательские институты Российской академии наук и Росгидромета, университеты из различных регионов Европейской части России. Получены научные выводы по изменению климата и его воздействию на экосистемы Центрально-Лесного биосферного резервата (Шуйская и др., 2020а).

Результаты метеонаблюдений за периоды 1961–1990 и 1991–2020 гг. (норма) позволяют с уверенностью говорить о климатических изменениях. Отмечается рост среднегодовой температуры на уровне 0.42 град/10 лет, который ниже, чем в среднем по Европейской части России (0.53 град/10 лет) (Доклад…, 2025). В последние десятилетия фиксируется рост продолжительности вегетационного периода, суммы активных температур и температур летнего и зимнего периодов. Рассмотрение помесячной динамики температур показало, что стабильно «теплеющими месяцами» являются декабрь и февраль, август и сентябрь. Отмечается незначительный положительный рост годовой суммы осадков. Возрастает вероятность опасных гидрометеорологических явлений, например смерчей, увеличилась повторяемость экстремальных гидрометеорологических показателей. Ряд важнейших для лесов и их обитателей характеристик климата становятся более изменчивыми, в их числе продолжительность безморозного периода, сроки установления и глубина снежного покрова, наступление первых и последних заморозков, распределение осадков и др. Экстремально тёплые вёсны в сочетании со снижением летних осадков в отдельные годы приводят к локальному усыханию елей, повышению пожароопасности лесов и увеличению

роли широколиственных видов деревьев.

Катастрофические явления и последовательное воздействие экстремальных погодных условий приводят к массовым ветровалам и ослаблению устойчивости зрелых еловых древостоев к болезням, развиваются процессы группового усыхания и вываливания. Последствием наблюдаемых климатических изменений стало увеличение в возобновлении на моренных грядах широколиственных видов деревьев: вяз шершавый (*Ulmus glabra*), клен остролистный (*Acer platanoides*) и липа сердцелистная (*Tilia cordata*), а также широкое распространение лещины (*Corylus avellana*).

Вслед за растительностью отмечены изменения в сообществах мелких млекопитающих и птиц. Суммарная численность видов в сообществах мелких млекопитающих увеличилась в 2 раза в сравнении с 1980-ми гг. На фоне циклических колебаний наблюдается четко выраженный тренд роста численности ценозообразующего вида рыжей полевки (*Myodes glareolus*) (Истомин, 2014 а, б). В гильдиях грызунов неморальных ельников отмечено десятикратное увеличение суммарного участия западнопалеарктических видов, находящихся здесь практически на краю ареала: малая лесная мышь (*Apodemus uralensis)*, желтогорлая мышь (*A. flavicollis)*, подземная полевка (*Microtus subterraneus)*. Значительные структурные перестройки гильдий грызунов и землероек произошли в бореальных ельниках. Это связано с усилением в них роли реликтовых восточнопалеарктических видов красной полевки (*Myodes rutilus*) и средней бурозубки (*Sorex caecutiens*). Отмеченные изменения привели к росту показателей разнообразия сообществ микромаммалия в еловых лесах и контрастности состава их группировок из ельников разного генезиса. Это важно для понимания динамики экосистем, поскольку специфика бореальных ельников связана с реликтовыми видами, которые на обширной территории центра водораздела крайне редки; а для неморальных ельников – с видами на краю ареала.

В населении птиц также наблюдается увеличение общей численности и биомассы на 20% за последние 40 лет (Буйволов, 2025). Рост произошел, преимущественно, за счет увеличения численности видов европейской фауны, прежде всего черного дрозда (*Turdus merula)*, славки-черноголовки и садовой славки (*Sylvia atricapilla*, S. *communis*), крапивника (*Troglodytes troglodytes*). С другой стороны, отмечено 2–5 кратное снижение численности гнездящихся на болоте куликов (большой кроншнеп, чибис, золотистая ржанка) и серых журавлей (*Grus grus*). Наиболее вероятной причиной многократного снижения численности куликов и серых журавлей явился коллапс сельского хозяйства и зарастание сельскохозяйственных угодий, где кормились гнездящиеся на болоте птицы.

Таким образом, растительные сообщества и население позвоночных животных в заповедном ядре изменяются, несмотря на природоохранный режим. Экосистемы

биосферного заповедника адаптируются к новым условиям меняющегося климата и сокращения сельскохозяйственной активности на прилегающих территориях. Проведенные исследования доказывают, что экосистемы заповедника с высокой вероятностью обречены на значительные направленные перестройки как состава, так и структуры насаждений в течение ближайших десятилетий. Отмечается тенденция постепенного замещения южнотаёжных лесов хвойно-широколиственными. Меняющиеся условия существования природных комплексов вызывают необходимость принятия мер по упреждающей адаптации при управлении заповедником и биосферным резерватом в целом. Все большую актуальность приобретает мониторинг биоклиматических изменений, данные которого позволяют определить первоочередные меры по адаптации.

В связи с тенденциями усыхания еловых насаждений, принимаются меры по усилению охраны лесов заповедного ядра от пожаров и проведению противопожарной профилактики. Ключевой вопрос упреждающей адаптации заключается в сохранении и частичном восстановлении еловых лесов в буферной и переходной зонах. Некогда типичные хвойные леса бореального типа в этом регионе могут стать природными реликтами или исчезнуть в ближайшие десятилетия. Одна из важнейших задач управления биосферным резерватом состоит в том, чтобы донести до лиц, принимающих решения на местном, районном и региональном уровне, проблематику климатических изменений. Здесь уже нельзя вести экстенсивное лесное хозяйство так, как оно проводились в конце XX века. Необходимо снижение нагрузки по рубке еловых насаждений, проведение мероприятий по восстановлению еловых лесов и переходу к интенсивному ведению лесного хозяйства на ограниченных площадях.

Для отдела экопросвещения и туризма это означает расширение целевых групп, тематики и контента просветительских программ. Необходима разъяснительная работа по информированию лесопользователей о необходимости изменений системы лесопользования и усиления противопожарных профилактических мероприятиям как мерам адаптации к изменению климата. Климатическая повестка может использоваться в экскурсионной и образовательной программах, поскольку изменения в природных комплексах доступны для наблюдений в ходе ознакомительных экскурсий.

Угроза распространения инвазивных чужеродных видов растений требует активизации мониторинга уже проникших в заповедное ядро видов, а также появившихся в буферной зоне, но еще не проникших в заповедное ядро, таких как борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi*) (Шуйская и др., 2020б). Для предотвращения его проникновения на основных путях распространения (дорогах, линиях электропередач, окраин деревень) применяются мероприятия по физическому уничтожению растений, их выкашиванию и

выкапыванию.

Потепление климата может улучшить условия ведения сельского хозяйства, особенно фермерского комплексного хозяйства и пчеловодства. Администрация заповедника может оказать информационное содействие развитию фермерства. При возрождении экологического растениеводства и выпасного животноводства возможно в перспективе восстановление численности редких и исчезающих птиц, гнездящихся на верховых болотах и ранее также кормившихся в сельхозугодьях.

Выявленные тенденции динамики природных комплексов под воздействием климатических изменений в пределах биома и опыт заповедника по адаптации к изменению климата могут быть применены на ООПТ во всем Смоленско-Приволжском биоме широколиственно-хвойных лесов.

Список литературы

Буйволов Ю.А. Изменение численности гнездящихся птиц в Центрально-Лесном биосферном заповеднике (Тверская область) за 40 лет. // Материалы XVI Международной орнитологической конференции Северной Евразии, Казань (21–24 апреля 2025 г.), 2025. – С. 34–35.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2024 год. М.: Росгидромет, 2025. – 104 с.

Истомин А.В. 2014а. Мелкие млекопитающие в биомониторинге лесных экосистем: комплексный подход // Вестник Тверского государственного университета. Серия «Биология и экология». – 2014, № 4. – С. 95–113.

Истомин А.В. 2014б. Сообщества мелких млекопитающих в биоиндикации экосистем Центрально-Лесного заповедника // Современные тенденции развития ООПТ. Материалы научно-практической конференции, посвященной 20-летию Государственного природного заповедника "Полистовский" (9-11 октября 2014 г., Псковская область, пос. Бежаницы). – Великие Луки: ООО "Великолукская городская типография", 2014. – С. 215–222.

Красная книга Тверской области / Отв. ред. А.В. Зиновьев, Г.Ю. Конечная, А.А. Рыбакова, Н.А. Соболев. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Стратегия ЭКО, 2024. – 600 с.

Шуйская Е.А., Зорина А.А., Степанов С.Н. 2020а. Характеристика климата и феноявлений в Центрально-Лесном заповеднике за период 1990–2019 гг. // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Вып. 7. М.: КМК, 2020. – С. 217–227.

Шуйская Е.А., Желтухин А.С., Конечная Г.Ю. 2020б. Инвазионные виды растений Центрально-Лесного заповедника // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Вып. 7. М.: КМК, 2020. – С. 211–216.

КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ И АДАПТАЦИЯ К НИМ НА ТЕРРИТОРИИ ТУНКИНСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

CLIMATE CHANGE AND ADAPTATION TO IT IN THE TERRITORY OF NATIONAL PARK «TUNKINSKY»

Воропай Н.Н.[1,2], Будунов А.А.[3], Василенко О.В.[2], Маноле А.А.[1]

Voropay N.N.,[1,2], Budunov A.A.[3], Vasilenko O.V.[2], Manole A.A.[1]

[1] Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, 634055
Россия, г. Томск, пр. Академический, 10/3
[2] Институт географии им.В.Б.Сочавы СО РАН, 664033
Россия, г.Иркутск, ул.Улан-Баторская, 1
[3]Национальный парк «Тункинский»
Россия, 671010, Респ. Бурятия, Тункинский район, с. Кырен, ул. Ленина, д. 130
voropay_nn@mail.ru, ntunkinskiy@mail.ru

Аннотация. На территории Национального парка «Тункинский» (юго-западное Прибайкалье) сотрудниками ИГ СО РАН и ИМКЭС СО РАН организован ландшафтно-климатический мониторинг. На основе 18-летних рядов наблюдения получены оценки микроклиматической изменчивости температуры в горно-котловинных ландшафтах. При использовании программного комплекса «Стохастическое моделирование» реконструированы температуры воздуха на модельных площадках за 1934-2008 гг. Рассчитанные тенденции согласуются с региональными многолетними трендами. Рассмотрены способы адаптации к изменениям климата в регионе.

Ключевые слова: микроклиматический мониторинг, тенденции изменения, горно-котловинные ландшафты.

Abstract. Landscape and climatic monitoring was organized by the staff of the IG SB RAS and IMCES SB RAS on the territory of the Tunkinsky National Park (southwestern Pribaikalye). Based on an 18-year observational data series, estimates of microclimatic temperature variability in mountain-depression landscapes were obtained. Using the "Stochastic Modeling" software package, air temperatures were reconstructed for the model sites for the period from 1934 to 2008. The calculated trends are consistent with long-term regional trends. Methods for adaptation to climate change in the region are considered.

Keywords: microclimatic monitoring, temperature trends, mountain-depression landscapes.

В период современного потепления необходима не только оценка глобальных тенденций, но и детальный анализ произошедших за последние десятилетия климатических изменений на региональном, а иногда и локальном уровне. При этом важным является комплексный природно-климатический подход, когда рассматриваются не только колебания метеорологических характеристик, но и изменения (иногда катастрофические) других компонентов ландшафта, являющиеся либо причиной, либо следствием климатической изменчивости.

Территория нашего исследования – юго-западное Прибайкалье. Здесь расположен Национальный парк «Тункинский» – единственный в Российской Федерации, чья территория является площадью муниципального образования «Тункинский район». Поэтому он не только занимается сохранением природы, но и заботится о повышении уровня жизни местного населения. Отсутствие крупных промышленных объектов, оптимальное экологическое равновесие и уклад жизни бурятского народа — основа рекреационного потенциала парка.

Тункинский район занимает Саяно-Прибайкальскую часть Республики Бурятия, с севера граница проходит по гольцам Восточного Саяна (Тункинским гольцам), с запада по массиву Мунку-Сардык, с юга по хребту Хамар-Дабан, с востока же ограничивается руслом реки Большая Быстрая. Ветвь котловин Юго-Западного Прибайкалья представлена шестью отдельными котловинами: Быстринской, Торской, Тункинской, Туранской, Хойтогольской и Мондинской. Благодаря местоположению, ограниченности пространства здесь сложились уникальные по своему разнообразию природно-климатические условия.

Метеорологические станции Росгидромета в пределах Тункинского национального парка расположены в долине р. Иркут. На сегодняшний день их осталось три – Тунка, Кырен и Монды. В конце прошлого века были закрыты станции Ильчир (высокогорная) и Аршан. Оценка происходящих климатических изменений в сложных орографических условиях, когда перепад высот между днищем котловины и гольцовой зоной превышает 2,5 тыс. м, невозможна по данным функционирующих станций. С целью корректного описания климатических характеристик (как в средних значениях, так т в тенденциях) в 2007 г. были организованы мониторинговые микроклиматические измерения. В течение более 15 лет сотрудники ИГ СО РАН и ИМКЭС СО РАН поддерживают работоспособность оборудования и ежегодно дополняют базу данных по температуре и влажности воздуха поверхности почвы и почвы на глубине 40 см на 58 площадках природно-климатического мониторинга (Василенко, Воропай, 2015; Василенко и др., 2017).

На начальном этапе обработки ряды метеорологических характеристик проверяются на наличие пропусков и ошибок. По апробированному алгоритму (Маноле, Воропай, 2025) заполняются пропуски в рядах и поводится реконструкция данных за период работы опорной метеостанции. В нашем случае это метеостанция Тунка, где однородные непрерывные ряды по температуре воздуха доступны с 1934 г. Для расчетов использован пакет программ «Стохастическое моделирование» (https://igsbras.ru/stochastic-modeling).

Результаты регрессионного анализа показали особенности распределения трендов температуры воздуха в горно-котловинных ландшафтах Тункинской котловины в XX-XXI вв. За период 1934-2022 гг. тенденция в среднем за год на всей территории положительная. Она указывает на рост температуры, равный 0.2°C/10 лет при общей тенденции роста средней годовой температуры по территории России 0.5°C/10 лет (Доклад об особенностях климата…, 2025). Величина линейного тренда за период 1976-2020 гг. для территории Прибайкалья и Забайкалья, где находится объект исследования, равна 0.42°C/10 лет, что существенно отличается от фактической величины, полученной на модельных площадках склонов и днища Тункинской котловины. Данное различие подчеркивает важность учета микроклиматических параметров на отдельных исследуемых участках. При этом, если разделить исследуемый

температурный ряд на 30-летние периоды, то наиболее интенсивный рост температуры воздуха на территории Тункинской котловины происходил в период 1991-2022 гг. и составил 0.16 С/10 лет. Данная тенденция интенсивного роста температуры в последние 30 лет прослеживается на всех модельных площадка, независимо от высоты и экспозиции склона. Наибольшие изменения характерны для площадок днища котловины, на метеостанции Тунка средняя годовая температура периода 1991-2022 гг. повысилась на 1,7°С относительно периода 1934-1960 гг.

На сегодняшний день во многих регионах разработаны (или разрабатываются) планы адаптации к климатическим изменениям. При этом, определяются климатообусловленные риски, возможность возникновения которых существует на рассматриваемой территории. Определяются объекты инфраструктуры, которые могут оказаться в зоне поражения. После чего оценивается возможность минимизировать отрицательные последствия климатически обусловленных природных изменений. В РФ в последние годы принят ряд документов, предназначенных для адаптации к изменениям климата.

Территория Тункинского Национального парка является селеопасным районам. А значит, одним из климатических факторов, который нужно учитывать при оценке климатообусловленных рисков являются атмосферные осадки. Отдельное внимание необходимо уделить изменению их интенсивности в последние годы. Еще одним объектом исследования на территории является многолетняя мерзлота, приуроченная к озерно-болотному комплексу в центральной части Тункинской котловины и к предгорьям Хамар-Дабана. При современном потеплении и дополнительном антропогенном влиянии (чаще всего при возникновении пожаров, происходящих по вине человека) наблюдается деградация многолетней мерзлоты и опускание ее верхней границы. Вследствие чего изменяется гидротермический ежим верхних слоев почвы, что может привести к различным изменениям в функционировании различных инфраструктурных единиц (в частности, дорог и линий электропередач).

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-27-00395, https://rscf.ru/project/25-27-00395/.

Список литературы

Василенко О.В., Воропай Н.Н. Особенности формирования климата котловин Юго-Западного Прибайкалья // Известия РАН. Серия географическая, 2015, № 2 – С. 98-104. https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-2-104-111

Василенко О.В., Истомина Е.А., Воропай Н.Н. Картографирование поля температуры воздуха Тункинской котловины на ландшафтной основе // География и природные ресурсы. – 2017. – №2. – С. 182-189 DOI: 10.21782/GiPR0206-1619-2017-2(182-189)

ЭКОСИСТЕМНЫЕ ОСОБЕННОСТИ И ПОСЛЕДСТВИЯ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА НА ОСОБО ОХРАНЯЕМЫЕ ТЕРРИТОРИИ САНКТ-ПЕТЕРБУРГА

ECOSYSTEM FEATURES AND CONSEQUENCES OF CLIMATE CHANGE IMPACT ON SPECIALLY PROTECTED AREAS OF ST. PETERSBURG

Дроздов В.В., Сидельникова Е.О.

Drozdov V.V., Sidelnikova E.O.

ФГБОУ ВО «Российский государственный гидрометеорологический университет»
Россия, 192007, Санкт-Петербург, Воронежская улица, дом 79; *vladidrozdov@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрена межгодовая динамика штормовых явлений в восточной части Финского залива в качестве одного из последствий изменений климата. Выполнены исследования по оценке воздействия сильных ветров и штормов в прибережной зоне на состояние деревьев в пределах особо-охраняемых территорий Санкт-Петербурга – государственном природном заказнике «Западный Котлин», памятнике природы регионального значения – «Комаровский берег» и пос. Репино, а также музее-заповеднике парк «Александрия» в г. Петергоф. Получены данные на основе проведённых исследований на 18 учетных площадках наблюдений за древостоем, по стандартной методике. Результаты позволили выявить и оценить различия в уязвимости побережий и растительности, произрастающей на них к неблагоприятным последствиям изменений климата. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается на большинстве прибрежных территориях заказника «Западный Котлин». Обоснованы рекомендации по проведению защитных адаптационных мероприятий.

Ключевые слова: изменения климата, штормы, состояние побережий и древесной растительности, особо-охраняемые природные территории.

Abstract. The interannual dynamics of storm phenomena in the eastern part of the Gulf of Finland is considered as one of the consequences of climate change. Studies have been carried out to assess the impact of strong winds and storms in the coastal zone on the condition of trees in specially protected areas of St. Petersburg - the state nature reserve - «Zapadny Kotlin», the natural monument of regional significance - «Komarovsky Bereg» and the village of Repino, as well as the museum-reserve park «Alexandria» in Peterhof. Data were obtained on the basis of studies conducted at 18 accounting sites for observing the tree stand, according to the standard methodology. The results made it possible to identify and assess the differences in the vulnerability of the coasts and vegetation growing on them to the adverse effects of climate change. The most unfavorable situation is in most coastal areas of the Zapadny Kotlin reserve. Recommendations for carrying out protective adaptation measures are substantiated.

Keywords: climate change, storms, the state of coasts and forest vegetation, specially protected natural areas.

Данные гидрометеорологических наблюдений, полученные для Европейской территории России, свидетельствуют, что, начиная с начала 1990-х гг. возникла общая тенденция к потеплению климата, со своими региональными особенностями. Увеличилось повторяемость опасных гидрометеорологических явлений, прежде всего, штормовых ветров (более 20 м/с), в том числе в регионе Балтийском моря. Участились также случаи выпадения экстремальных атмосферных осадков, наводнений на реках и в прибрежной морской зоне, приводящих к значительному экологическому и экономическому ущербам (Захарчук, 2021; Третий оценочный доклад, 2022; Дроздов, 2024). 11 марта 2023 г. Распоряжением Правительства Российской Федерации № 559-р утвержден Национальный план мероприятий второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 года. В конце 2023 г. губернатором Санкт-Петербурга утвержден региональный план адаптации Санкт-Петербурга к изменениям климата, в котором обосновывается ряд наиболее важных угроз, связанных с

изменениями климата для мегаполиса, и соответствующие мероприятия по снижению их неблагоприятных последствий. Данный план ежегодно актуализируется.

В Санкт-Петербурге в настоящее время имеется **17 особо охраняемых природных территорий (ООПТ).** Из них 10 объектов – заказники и 7 – памятники природы. Государственные природные заказники – «Западный Котлин», «Южное побережье Невской губы», «Северное побережье Невской губы», а также памятники природы регионального значения – «Комаровский берег», «Стрельнинский берег», музей-заповедник «Петергоф» включая парк «Александрия» располагаться на побережьях Невской губы и восточной части Финского залива. Штормовые нагоны вызывающие повышения уровня моря относятся к опасным гидрометеорологическим явлениям. Несмотря на ввод в эксплуатацию комплекса защитных сооружений (КЗС) от наводнений в Санкт-Петербурге в 2011 г., проблема опасных подъемов уровня остается насущной для некоторых районов Санкт-Петербурга, расположенных к западу от КЗС – это части Курортного и Кронштадтского районов.

На рисунке 98 приведены многолетние данные о ежегодных количествах штормов в восточной части Финского залива (в Выборге и Кронштадте) с 1972 по 2019 гг., когда были зарегистрированы скорости ветра более 20 м/с (Захарчук, 2021). Как видно из данного рисунка, с 1997–1998 гг. наблюдается в целом рост повторяемости штормов. При этом сильные ветра способны приводить к ветровалу в прибережной зоне (Gardiner, 2021) а волновое воздействие – к нагонным явлениям и временному поднятию уровня моря от 0,5 до 1,5 м и более, что способно вызвать абразию берегов, подтопление и затопление ряда территорий, что оказывает отрицательное воздействие на прибрежные экосистемы (Рябчук, 2016).

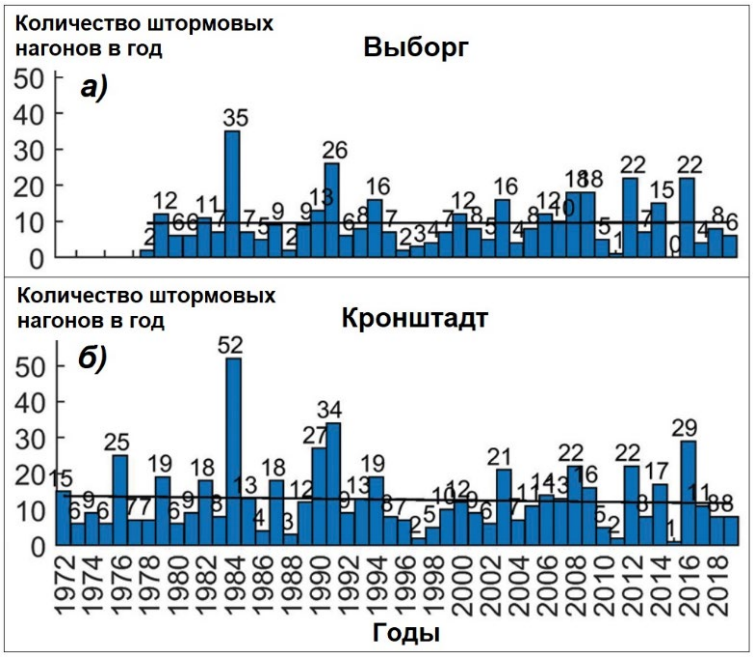


Рисунок 98. Межгодовые изменения количества случаев штормовых нагонов в восточной части Финского залива. Цифры над столбиками – количество штормовых нагонов. По данным (Захарчук, 2021)

Для исследования последствий штормов, в отношении влияния высоких скоростей ветра и подтоплений береговой зоны, используется методика оценки экологического состояния зеленых насаждений Санкт-Петербурга, утверждённая Комитетом по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности распоряжением от 3 февраля 2021 года N 17-р. В данной методике используются 5 категорий состояния (жизнеспособности) деревьев с указанием основных характерных признаков: без признаков ослабленные, ослабленные, сильно ослабленные, усыхающие, сухостой текущего года. Итоговая оценка достигается на основе учета соответствующих баллов, определяемых при исследовании для выявления признаков категории состояния, среди которых учитывается состояние листвы, форма и целостность ветвей и кроны деревьев, наличие мертвых и отмирающих ветвей, состояние прикорневой части ствола, наличие признаков заселения стволовыми вредителями или грибами и другие признаки.

Выполнены исследования на 18 учетных площадках наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности. Размер каждой площадки – 20 на 30 м, в пределах которой определялся видовой состав (Киселева, 2020) количество особей деревьев и признаки, позволяющие определить их категорию состояния. Расположение учетных площадок показано на рисунках 99–101. Исследования проводились в 2025 г.

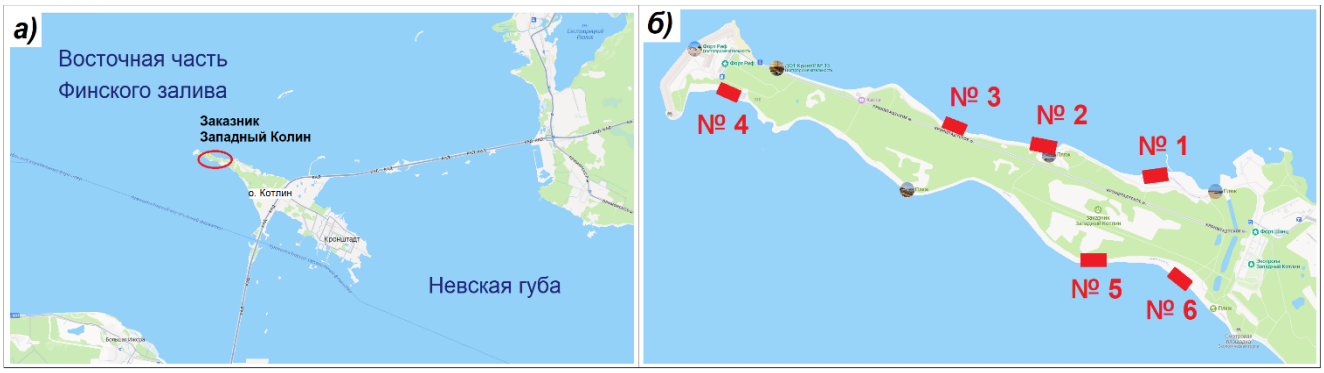


Рисунок 99. Схема расположения заказника «Западный Котлин» (*а*) и учетных площадок РГГМУ наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности (*б*)

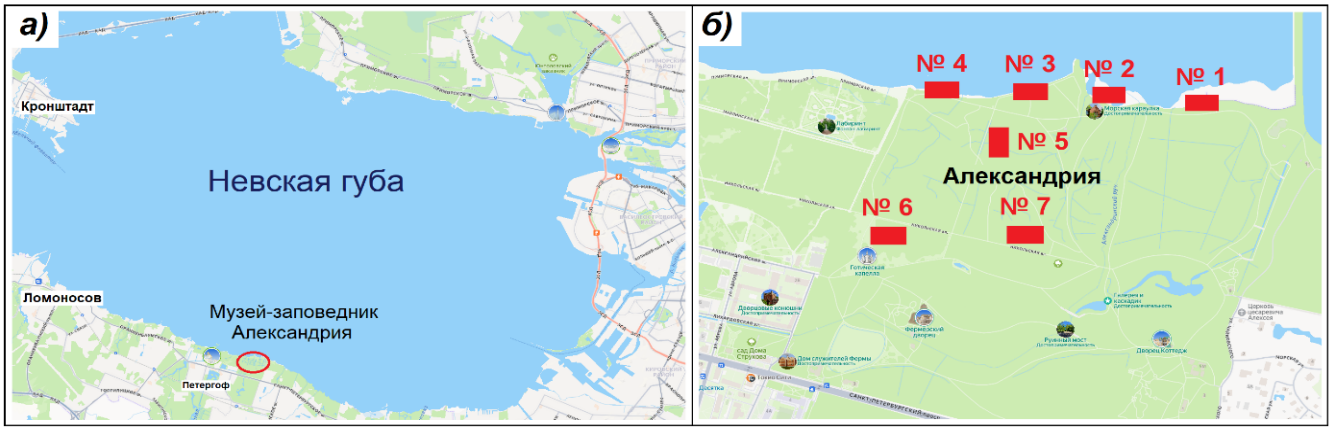


Рисунок 100. Схема расположения музея-заповедника «Александрия» в Петергофе (*а*) и учетных площадок РГГМУ наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности (*б*)

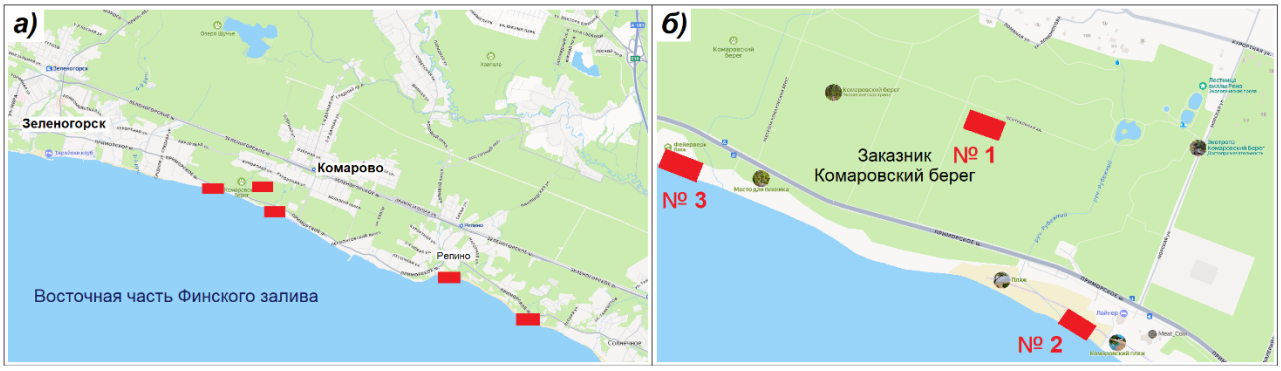


Рисунок 101. Схема расположения учетных площадок РГГМУ наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности в пос. Репино и Комарово (Курортный район Санкт-Петербурга) (*а*); станции наблюдений на территории памятника природы регионального значения «Комаровский берег» (*б*)

На рисунках 102–103 показаны иллюстрации обнаруженных нарушений береговой растительности и побережий на учтённых площадках в пределах заказник «Западный Котлин» и музея – заповедника «Александрия» (г. Петергоф). Результаты исследований показали, что древесная растительность в категории «без признаков ослабления» – соответствует учетным площадкам № 5–7 только в музее – заповеднике «Александрия». В категории «ослабленные» – на учетных площадках в заказнике «Западный Колин» № 1 и 6, на учетных площадках № 3 и № 4 в музее-заповеднике «Александрия»; на учетных площадках № 1,2,3 на территории памятника природы «Комаровский берег». В категории «сильно-ослабленные» на учетных площадках № 2–5 на территории заказника «Западный Котлин» (рис. 99*б*), а также на 2-х учетных площадках в районе пос. Репино (рис. 101*а*), где отмечается интенсивный подмыв берегов вместе с произрастающим на них древостоем.

В целом, обнаружены различия в уязвимости побережий и произрастающей на них растительных сообществ, прежде всего деревьев, к воздействию сильного ветра и штормов. Берега и прибрежные территории северной части Невской губы в пределах Курортного района Санкт-Петербурга, в частности в районе пос. Репино и памятника природы «Комаровский берег», а также заказника «Западный Колин», сложенные преимущественно песчаными грунтами и легкими супесчаными почвами более подвержены водной эрозии, а произрастающая на них древесная растительность, преимущественно сосны с поверхностной корневой системой – ветровалу, что особенно характерно для учетной площадки № 1 на территории памятника природы «Комаровский берег», причем данная учёная площадка расположена в 400 м от берега залива. В тоже время, многие территории южного побережья Невской губы имеют в своем составе более плотные достаточно плодородные **дерново-подзолистые или суглинистые** почвы, на которых произрастают деревья лиственных пород (дубы, клены, ясень, тополь, липа) с более развитой корневой системой. Данные сообщества в

гораздо меньшей степени подвержены ветровалу, случаев которого, например, на учетных площадках № 2–7 в музее-заповеднике «Александрия» обнаружено не было.

Рисунок 102. Размыв берега и деградация древесной растительности (*а*), берегозащитное сооружение (*б*) в пределах учетной площадки № 3 наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности на территории заказника «Западный Котлин». Фото В.В. Дроздова

Рисунок 103. Наблюдения за ветровыми нарушениями крон деревьев в береговой зоне (*а*) и периодическим подтоплениями древесных насаждений при штормовых нагонах (*б*) в пределах учетной площадки № 1 наблюдений за состоянием берегов и прибрежной растительности на территории музея – заповедника «Александрия» (г. Петергоф). Фото В.В. Дроздова

Выявленные особенности могут способствовать разработке соответствующих защитных адаптационных мероприятий к изменениям климата – проведению эффективных берегозащитных мероприятий, высадке пород деревьев и кустарников более устойчивых к сильным ветрам и штормовым воздействиям в береговой зоне.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-27-20034, https://rscf.ru/project/25-27-20034/ при поддержке Санкт-Петербургского научного фонда «Обоснование и разработка адаптационных мероприятий к изменениям климата и их последствиям для успешного развития агломерации Санкт-Петербурга и Ленинградской области с учетом экосистемных особенностей водно-зеленого каркаса, функционирования сельского хозяйства, транспортной и энергетической инфраструктуры и возникающих экологических рисков».

Список литературы

Дроздов В.В. Изменения климата и методология оценки климатических рисков в Санкт-Петербурге и Ленинградской области // Известия РАН. Серия Географическая. М.: 2024. – Т. 88. – № 3. – С. 365 – 379. DOI: 10.31857/S2587556624030084

Захарчук Е.А., Сухачев В.Н., Тихонова Н.А. Штормовые нагоны в Финском заливе Балтийского моря // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. 2021. – Т. 66. – № 4. – С. 781 – 805. https://doi.org/10.21638/spbu07.2021.408

Киселева К.В., Майоров С.Р., Новиков В.С. Определитель деревьев и кустарников средней полосы России. Издательство Фитон XXI. – 2020. – 228 с.

Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Ковалева О.А., Леонтьев И.О., Жамойда В.А., Колесов А.М. Проблемы абразии берегов восточной части Финского залива: состояние, прогноз, рекомендации по берегозащите // Ученые записки РГГМУ. СПб.: Изд. РГГМУ. – 2016. – № 44. – С. 187 – 203.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. – СПб.: Наукоемкие технологии, 2022. – 676 с.

Gardiner B. Wind damage to forests and trees: a review with an emphasis on planted and managed forests // Journal of Forest Research. 2021. – Vol. 26. – № 4. P. – 248–266. DOI:10.1080/13416979.2021.1940665

КОМПЛЕКСНЫЙ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ СТАЦИОНАР НА УГРЕ: ЦЕЛЬ, ЗАДАЧИ, РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

INTEGRATED PHYSICO-GEOGRAPHICAL HOSPITAL IN UGRA: PURPOSE, OBJECTIVES, AND RESEARCH RESULTS

Кочуров Б.И.[1], Чубченко Н.В.[2], Иванов А.И.[3], Баркалов А.О.[4]

Kochurov B.I.[1], Chubchenko N.V.[2], Ivanov A.I.[3], Barkalov A.O.[4]

[1]Институт географии Российской академии наук (ИГРАН)
Россия, 117312, г. Москва, ул. Вавилова, д. 37; *camertonmagazin@mail.ru*
[2]Ульяновский государственный университет
Россия, 432048, г. Ульяновск, ул. Льва Толстого, д. 42; *chubchenko.nadya@mail.ru*
[3]*Национальный парк «Угра»*
Россия, 248007, г. Калуга, ул. Пригородное лесничество, д. 3А; *ivanovndrei1967@yandex.ru*
[4]Физтех-лицей имени П.Л. Капицы
Россия, 141701, г. Долгопрудный, ул. Лётная, д.7; *7oup@mail.ru*

Аннотация. Стационарные режимные исследования лесных биогеоценозов разной стадии восстановления после антропогенного воздействия и пожаров проводятся непосредственно в Национальном парке «Угра» и прилегающих к нему территориях. Они позволяют более глубоко и всестороннее познать структуру и динамику лесных биогеоценозов и полученные результаты сравнивать с данными по антропогенному воздействию на природные комплексы в условиях города. Оценка нарушений и восстановления лесных биогеоценозов проводится по наиболее динамичным показателям, связанных с процессом фотосинтеза древесных растений – хлорофиллам и каротиноидам.

Ключевые слова: стационарные исследования, фотосинтетический аппарат, пигментный состав, динамика, хвойные древесные растения.

Abstract. Stationary regime studies of forest biogeocenoses at various stages of recovery after anthropogenic impact and fires are carried out directly in the Ugra National Park and adjacent territories. They allow for a deeper and more comprehensive understanding of the structure and dynamics of forest biogeocenoses and compare the results obtained with data on anthropogenic impact on natural complexes in urban conditions. The assessment of disturbances and restoration of forest biogeocenoses is carried out according to the most dynamic indicators related to the process of photosynthesis of woody plants – chlorophylls and carotenoids.

Keywords: stationary studies, photosynthetic apparatus, pigment composition, dynamics, coniferous woody plants.

Комплексный физико-географический стационар на Угре (Калужской области) является своеобразным эталоном с сохранившейся и восстанавливающийся природой, относящимся к переходной зоне контакта хвойных и широколиственных лесов.

Восстановление и состояние лесных биогеоценозов с точки зрения их динамических изменений (сукцессии) происходит в результате проявления внутренних факторов (процессы саморазвития) и внешних (антропогенные воздействия и климатические изменения).

Целью работы является изучение состояния и динамики растительного покрова на примере древесных пород и лесорастительных условий в обстановке антропогенного воздействия города и ООПТ на примере национального парка (НП) «Угра».

В городской среде у древесных растений наблюдается снижение ассимиляционной поверхности дерева. Это проявляется в том, что меняется структура листьев - теневые листья утолщаются и приобретают световую структуру. В результате снижается биопродуктивность, растения преждевременно стареют и погибают (Алиева и др., 2015).

Пигментный состав является параметром, по которому можно проводить мониторинг состояния ассимиляционного аппарата как наиболее чувствительного к антропогенным воздействиям и другим внешним и внутренним факторам для определения экологической обстановки территории. Изменение общего содержания и соотношения разных пигментов служит ответной реакции процесса фотосинтеза на воздействие внешних факторов и отражает адаптацию к изменениям среды (Кочуров и др., 2023).

В городской среде у растений наблюдается снижение общего содержания пигментов в течение вегетации (Дубровина и др., 2020; Старикова и др., 2020; Чубченко и др., 2024). Отсюда вытекает, что световая структура является адаптивной реакцией растений на увеличение количества света в городе, так как световые листья содержат меньше хлорофиллов по сравнению с теневыми листьями (Алиева и др., 2015).

Как известно (Дымова, 2019; Чубченко и др., 2024), пигменты располагаются в мембранах тиллакоидов хлоропластов, где образуют 4 типа пигмент-белковых комплексов, два из которых являются реакционными фотохимическими центрами фотосистемы I и II, в которых содержится только *хлорофилл а*. Другие два комплекса представляют собой светособирающие антенные комплексы, которые содержат немного *хлорофилла а*, а также весь *хлорофилл b* и *каротиноиды*.

Установлено (Чубченко и др., 2024; Яцко, 2010), что как в естественной, так и в городской среде у многих растений наблюдается увеличение основного пигмента фотосинтеза - хлорофилла *a* в весенне-летний период и его снижение в осенне-зимний период. Дополнительные пигменты фотосинтеза – хлорофилл *b* и каротиноиды**,** наоборот увеличиваются в осенне-зимний период, защищая фотосинтетический аппарат, и снижаются в весенне-летний период.

Однако, в городской среде содержание хлорофилла *b* и каротиноидов может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от вида и продолжительности антропогенного воздействия (Дубровина и др., 2020; Старикова и др., 2020).

Мы проводили исследование пигментного состава ели европейской – аборигенного вида и ели колючей – интродуцированного вида, в городской среде в осенне-зимний период в 2019–2020 году на территории института естествознания и спортивных технологий МГПУ. А также мы исследовали содержание пигментов ели европейской на фоновой территории – урочище Зарессский, которая располагается на прилегающей территории к НП «Угра» в Калужской области в весенне-летний период 2025 г.

Результаты исследований

По данным исследований, суммарное содержание хлорофиллов у ели имеет два максимума накопления – в июне-июле, а затем в августе-сентябре (Овсянников, 2015). Что

подтверждается в наших данных о накоплении максимального содержания хлорофиллов в сентябре у двух елей (рис. 104, рис. 105).

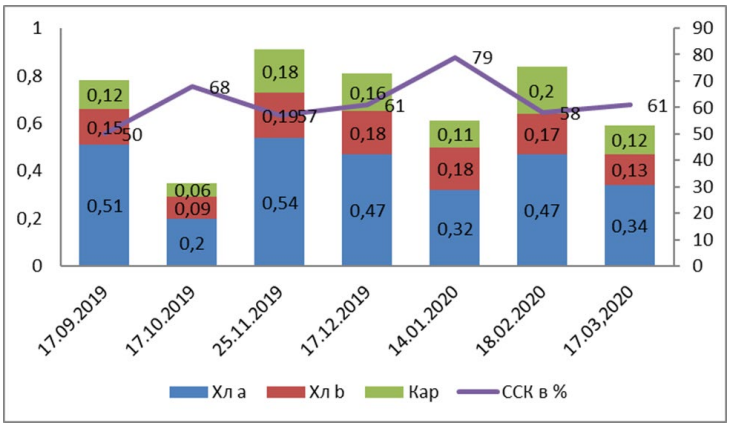


Рисунок 104. Содержание фотосинтетических пигментов и состояние ССК у ели европейской (*Picea abies K.*), мг/г сухого веса, 2019-2020 гг.

По нашим данным в городской среде содержание хлорофилла *a* уменьшается у двух елей. Однако, вместе с хлорофиллом *a* снижается и защитный пигмент – хлорофилл *b*. В тоже время изменения содержания хлорофилла *b* отражает работу светособирающего комплекса (ССК), который, с одной стороны, является переносчиком энергии в реакционный центр фотосинтеза, а с другой стороны, защищает ФА от избытка энергии – рассеивает излишнюю энергию в виде тепла (Дымова, 2019).

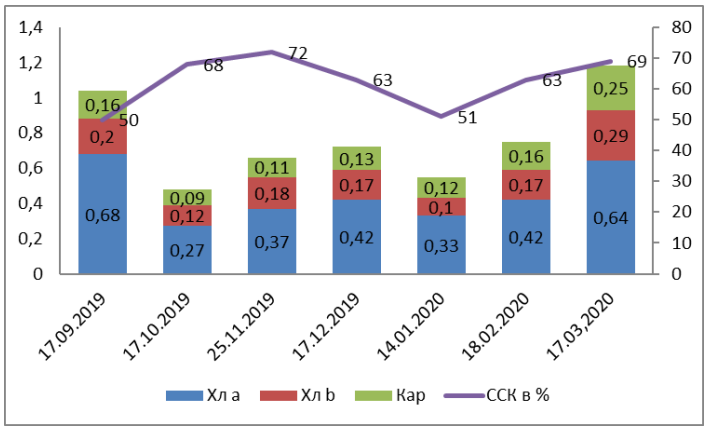


Рисунок 105. Содержание фотосинтетических пигментов и состояние ССК у ели колючей (*Picea pungens*), мг/г сухого веса, 2019-2020 гг.

С уходом в состояние покоя у елей наблюдается тенденция к увеличению ССК фотосинтеза (рис. 104 и 105). Это происходит при значительном уменьшении хлорофиллов у двух елей с сентября по октябрь. что отражает сезонную трансформацию фотосинтетического аппарата и процессов, направленных на рассеивание энергии, которая не может использоваться на фотосинтез.

При этом у ели колючей как у более адаптивного вида с ноября по декабрь происходит обратная реакция по уменьшению размера ССК при незначительном увеличении пигментов,

что может указывать на возобновление фотосинтетической активности при адаптации к низким положительным температурам зимы (рис. 105).

У ели европейской урочища Зареский НП Угра суммарное содержание всех пигментов значительно отличается от елей территории института естествознания и спортивных технологий МГПУ в условиях города (рис. 106).

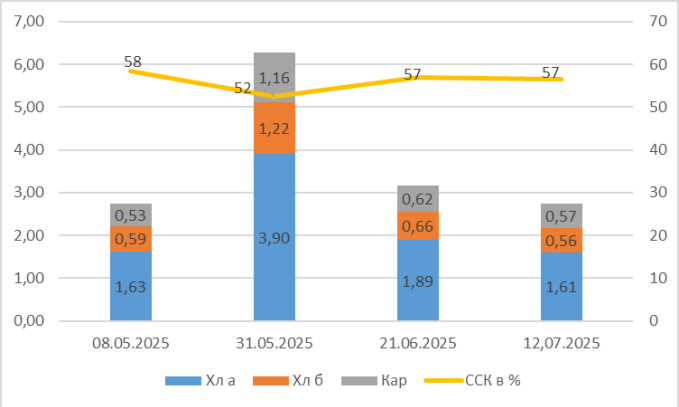


Рисунок 106. Содержание пигментов и состояние ССК у ели европейской (*Picea abies K.*), урочище Зареский, 2025 гг.

Однако наблюдается такая же тенденция, что и в осенне-зимний период при уменьшении содержания хлорофиллов происходит увеличение ССК.

Показатель отношения хл a / хл b отражает интенсивность фотосинтеза, а также положение вида в биогеоценозе, его жизненное состояние. В норме данное соотношение варьирует от 2,2 до 3,0 (Старикова и др., 2020). Уменьшение данного соотношения отражает ухудшение жизненного состояния ели в сообществе, обуславливаемое недостатком световой энергии (Зарубина, 2016).

По нашим результатам, данное соотношение в городской среде у ели колючей находится в пределах нормы (от 2,06 до 3,40), а у ели европейской соотношение относительно снижается (от 1,78 до 3,40) (рис. 107).

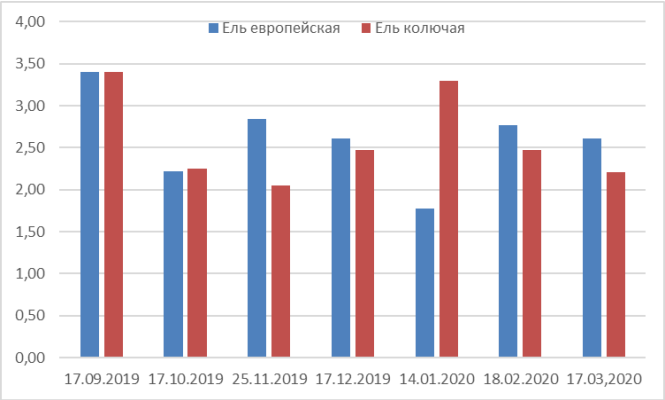


Рисунок 107. Соотношение хл a / хл b у ели европейской (*Picea abies K.*) и у ели колючей (*Picea pungens*), мг/г сухого веса, 2019-2020 гг.

У елей в городской среде по сравнению с елью фоновой территории национального парка «Угра» урочища Зарессский (от 2,78 до 3,20) (рис. 108) соотношения значительно отличаются. В естественной среде оно относительно стабильно по сравнению с городской средой.

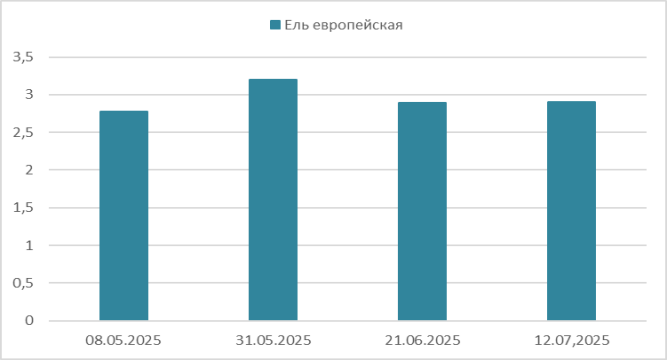


Рисунок 108. Соотношение хл a / хл b у ели европейской (*Picea abies K.*), урочище Зарессский, 2025 гг.

Таким образом, адаптация фотосинтетического аппарата ели к изменению внешних факторов среды происходит путем перераспределения хлорофиллов между реакционными центрами и светособирающими комплексами. Однако, вне зависимости от сезона года у растений наблюдается похожая адаптация к влиянию внешних факторов среды, при уменьшении содержания хлорофиллов происходит увеличение ССК. При этом на фоновой территории урочища Зарессский светособирающий комплекс ели увеличивается на 5%, а у елей в условиях города увеличение наблюдалось от 18% до 29%. Это отражает, что в условиях города растения подвержены не только природным факторам, но и значительным антропогенным нагрузкам, которые приводят к снижению их фотосинтетической активности.

Статья подготовлена по материалам исследований по теме Государственного задания ИГ РАН № FMWS-2024-0007 - Биотические географо-гидрологические и ландшафтные оценки окружающей среды для создания основ рационального природопользования.

Список литературы

Алиева М.Ю., Маммаев А.Т. и др. Фотосинтетические характеристики световых и теневых листьев древесных растений города Махачкала // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2015. –Т.17. –№5. – С. 67-71.

Дубровина О.А., Зубкова Т.В. Содержание пигментного фонда в однолетней хвое ели колючей (*Picea pungens*) и туи западной (*Thuja occidentalis*), произрастающих в разных функциональных зонах г. ельца // Агроэкоинфо. – 2020. – №3. – С. 1–11.

Дымова О.В. Пигментный комплекс растений в условиях таёжной зоны европейского Северо-Востока (организация и функционирование): автореферат дис. ... доктора

биологических наук: 03.01.05 / Дымова Ольга Васильевна; [Место защиты: ФГБОУ ВО Башкирский государственный университет]. – 450076 г. Уфа, 2019. – 46 с.

Зарубина Л.В. Динамика формирования пигментного фонда и рост ели в березняке черничном при онтогенезе древостоя // Молочнохозяйственный вестник. – 2016.–№2.– С. 26–33.

Кочуров Б.И., Чубченко Н.В. Пигментный состав как биоиндикатор урбоэкодиагностики городской среды // Экология урбанизированных территорий. – 2023. №4. – С.26–34.

Овсянников А.Ю. Сезонная структурно-функциональная трансформация фотосинтетического аппарата хвои (*Picea pungens* Engelm.) и (*Picea obovate* Lebel.) на территории ботанического сада УРО РАН: дис. … канд. биол. наук: 03.02.08 / Овсянников Алексей Юрьевич. – Екатеринбург, 2015. – 148 с.

Старикова Е.А., Воскресенская О.Л. Сезонная динамика содержания фотосинтетических пигментов у хвойных растений в условиях городской среды // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. – 2020. – №2. – С. 32–40.

Чубченко Н.В., Кочуров Б.И. Анализ состояния пигментного комплекса *Picea abies* и *Picea pungens* под влиянием природных факторов среды // Проблемы региональной экологии. 2024. №4. – С. 26–34.

Чубченко Н.В., Кочуров Б.И. Влияние природных факторов среды на состав и содержание фотосинтетических пигментов у хвойных древесных растений (на примере *Picea Pungens engelm*.) // Научные исследования и разработки молодых ученых: материалы Всерос. научно-практич. конф. аспирантов и молодых ученых, посвященной Дню аспиранта, января 2024 г. / под ред. В. Н. Голованов. Ульяновск: Издательство Ульяновского университета, 2024. – С. 296–301.

Яцко Я. Н. Пигментный аппарат вечнозелёных растений на Севере: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.01.05 / Яцко Яков Николаевич; [Место защиты: Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова РАН]. – Санкт-Петербург, 2010. – 20 с.

ПОЖАРНАЯ ОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ ПАРКОВ ЮЖНОГО УРАЛА В УСЛОВИЯХ МАССОВОГО УСЫХАНИЯ ПИХТОВЫХ ЛЕСОВ: ОЦЕНКА И ВЫРАБОТКА РЕШЕНИЙ

FIRE HAZARD IN NATIONAL PARKS OF THE SOUTHERN URALS IN CONDITIONS OF MASSIVE FIR FOREST DIEBACK: ASSESSMENT AND SOLUTION DEVELOPMENT

Крючковская Л.А.[1], Куксин Г.В.[1], Потапкин А.Б.[2], Кудрявцев П.П.[2]

Kryuchkovskaya L.A.[1], Kuksin G.V.[1], Potapkin A.B[2], Kudryavtsev P.P.[2]

[1] АНО «Центр профилактики ландшафтных пожаров»
Россия, 127591, Москва, Дубнинская, 26 кор. 4 кв. 127; *gkuksin@cplp.ru*
[2] ФГБУ Национальный парк «Таганай», научный отдел
Россия, 456209, Челябинская обл., г. Златоуст, ул. Шишкина, д. 3а; *kudryavcev@taganay.org*

Аннотация. На Южном Урале в меняющихся климатических условиях наблюдается массовое усыхание пихтовых лесов, размножение насекомых-вредителей и рост пожарной опасности. Для оценки масштабов усыхания пихты в национальных парках «Таганай» и «Зигальга» в Челябинской области применен анализ спутниковых снимков среднего и высокого пространственного разрешения, а также обследования с применением беспилотных воздушных судов. Проведены наземные маршрутные наблюдения для верификации данных ДЗЗ. Установлено, что готовые программные продукты для автоматической классификации снимков позволяют решать задачи по картированию усыхания пихты для условий Южного Урала. Описаны происходящие в пихтовых насаждениях изменения, ведущие к росту пожарной опасности и изменению сроков высыхания лесных горючих материалов. Подготовлены схемы-карточки для тушения пожаров, угрожающих как охраняемым экосистемам, так и объектам инфраструктуры и жизни и здоровью туристов. Проанализированы поведенческие модели туристов при обращении с огнем для дальнейшей разработки информационных материалов. Сочетание методов пространственного, пирологического и социологического анализа позволяет более эффективно принимать решения о необходимых мерах для снижения пожарной опасности и адаптации к новым климатическим условиям.

Ключевые слова: усыхание пихты, пожарная опасность лесов, лесные горючие материалы, спутниковый мониторинг, автоматическая классификация растительности по космическим снимкам, профилактика пожаров.

Abstract. Massive fir forest dieback, proliferation of insect pests and increase in fire hazard is happening in the Southern Urals under changing climate conditions. An analysis of satellite images of medium and high spatial resolution was used to assess the scale of fir tree dieback in Taganay and Zigalga national parks in Chelyabinsk region. Ground-based route observations were conducted to verify remote sensing data, as well as observations using unmanned aerial vehicles. It was determined that ready-made software products for automatic image classification can be applied to the fir tree dieback mapping in the conditions of the Southern Urals. The changes occurring in fir forests that lead to an increase in fire hazard and changes in the forest fuels drying period were described. Pre-Incident Fire Plans were prepared to protect both ecosystems and infrastructure facilities, as well as the tourists' lives and health. Tourist behavioral patterns regarding fire use were analyzed for the further development of fire prevention communication materials. The combination of spatial, pyrological, and sociological analysis methods facilitates more effective decision-making process regarding necessary measures to mitigate fire risk and adapt to new climate conditions.

Keywords: fir dieback, forest fire hazard, forest fuel, remote sensing, automatic vegetation classification based on satellite images, fire prevention.

Усыхания и гибель темнохвойных насаждений с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica*) и ели сибирской (*Picea obovata*), особенно на южной границе распространения таких лесов, наблюдаются в России в последние десятилетия и могут быть связаны с изменением климатических условий. При этом, вероятно, основным и первичным фактором, который приводит к ослаблению и гибели пихтовых лесов, является водный стресс и сильные

засухи, на фоне которых деревья поражаются насекомыми-вредителями и грибами (Kharuk et al., 2017).

Проблема изменения пожарной опасности в результате усыханий хвойных лесов под влиянием климатических изменений и связанных с ними вспышек размножения насекомых-вредителей изучается в разных странах. Обобщающие обзоры таких исследований показывают, что ситуация с пожарами после вспышки численности короедов и гибели темнохвойных насаждений может развиваться по-разному в зависимости от погодных условий и структуры и состава лесов, но большинство сценариев предполагают рост пожарной опасности территории в течение 5-10 лет после вспышки (Hicke et al., 2012).

Для принятия эффективных управленческих решений, направленных на снижение рисков катастрофических ландшафтных пожаров на территории посещаемых национальных парков Южного Урала – «Таганай» и «Зигальга», необходимо оперировать комплексным и полным набором данных о масштабах усыханий, динамике пожарной опасности и её влиянии на вероятные сроки и характер пожаров в изменившихся условиях, пожароопасных поведенческих моделях посетителей парков, соответствии реализуемых мер противопожарного обустройства и уровня подготовки ответственных сотрудников ООПТ актуальной ситуации с пожарной опасностью.

Большие масштабы усыханий в сочетании с труднодоступностью территорий определили методы: необходимо было использовать данные спутниковой съемки с верификацией по наземным данным и данным с беспилотных воздушных судов (БВС) (рис. 109).

Рисунок 109. Выборочное обследование участка НП «Зигальга» с усыхающей пихтой с применением БВС для верификации данных, полученных при анализе космических снимков

В итоговом анализе данных спутниковой съемки для национального парка «Таганай» независимо использованы 2 подхода к дешифрированию: автоматическая классификация с

обучением (алгоритм Random Forest с использованием инструмента NextGIS Toolbox «Классификация изображений») и визуальное дешифрирование и ручная отрисовка контуров территорий повышенной пожароопасности в связи с наличием усыхающей пихты. Дешифрирование проводилось по безоблачной мозаике летних снимков Sentinel-2a за 2023 год, использовались каналы: B12 (коротковолновый красный), B8 (ближний инфракрасный) и A3 (зеленый). Результаты автоматического и ручного дешифрирования также верифицировались по историческим снимкам высокого разрешения, доступным в программе Google Earth Pro.

Результаты анализа представлены на веб-карте «Усыхания пихты в национальном парке «Таганай» (рис. 110).

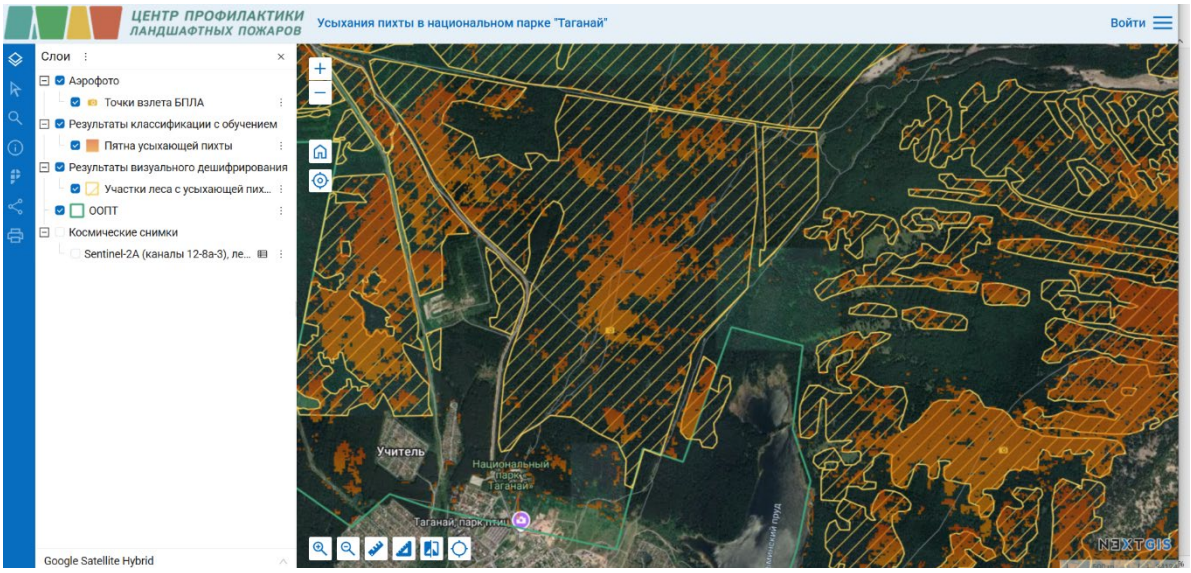


Рисунок 110. Картирование участков с усыханием пихты на территории национального парка «Таганай»

Пожарная опасность на участках с усыханием пихты определялась в ходе маршрутных обследований, в рамках которых оценивался запас различных видов лесных горючих материалов, его распределение по высоте и степень его пожарной зрелости. По итогам обследований сделан вывод о том, что сочетание быстрого накопления (без перегнивания) высохшей мертвой стволовой древесины в стоящих и зависших деревьях с накоплением больших запасов проводников горения (мертвая хвоя и увеличенный объем сухой травы как следствие резкого увеличения освещенности на пострадавших участках) значительно повышают риск возникновения сильных низовых и в отдельных случаях верховых пожаров, а также, помимо летних засух, обеспечивают дополнительные периоды вероятного возникновения пожаров весной и осенью.

Рост пожарной опасности на территории национальных парков несёт угрозу не только охраняемым экосистемам, но также здоровью и жизни посетителей парков и объектам

туристической инфраструктуры – приютам, стоянкам, кемпингам, экотропам, визит-центрам. Возникновение и развитие пожаров, несущих как экологический, так и материальный ущерб, может происходить по 2 сценариям в тех случаях, когда пожар не удалось обнаружить / потушить на ранней стадии: 1) пожар возникает как бытовой на территории туристических приютов и стоянок из-за нарушения правил пожарной безопасности и распространяется на окружающую природную территорию; 2) пожар возникает на природной территории (например, из-за нарушений правил разведения костров или курения) и подходит к туристическим объектам и местам скопления туристов. Это означает, что для защиты как природной территории, так и людей и объектов в национальных парках необходимо комплексно сочетать меры противопожарного обустройства лесов, меры повышенной готовности к бытовым пожарам, тренинги для ответственных сотрудников из службы охраны и службы приютов по реагированию на разные виды пожаров. В рамках работы проведено наземное обследование всех троп и приютов национального парка «Таганай», разработаны карточки тушения пожаров для объектов инфраструктуры и инструкции по работе с туристами в случае пожаров.

Национальные парки Южного Урала пользуются популярностью среди туристов и входят в число лидеров заповедной системы по посещаемости. Антропогенный фактор является ключевым для возникновения как бытовых, так и ландшафтных пожаров, поэтому профилактическая работа с посетителями играет важную роль в предотвращении опасного сценария развития пожарной проблемы. Для выработки коммуникационных решений были проанализированы поведенческие модели туристов при обращении с огнем на территории национальных парков «Таганай» и «Зигальга» с помощью социологических методов: наблюдение, глубинные интервью, фокус-группы. Акцент ставился на ситуациях разведения костров и курения. Также отдельно обследовались костровые места, особенно на несанкционированных стоянках. Такие обследования проводили как с визуальным осмотром и ручным разбором кострового места для обнаружения следов различного топлива и оценки подстилающего грунта, так и с применением ручных тепловизоров для обнаружения возможных горячих углей и золы в недавно оставленных кострах. Установлено, что ключевым фактором влияния на поведенческие модели туристов является низкий уровень информированности об алгоритме надежного способа тушения костров, причинах усыхания деревьев и влиянии усыхания на пожарную опасность. Данные выводы можно использовать при разработке содержания информационных материалов в СМИ и социальных сетях, аншлагов на территории парков, инструктажах в визит-центрах перед выходом на тропы и при размещении на стоянках и приютах.

Комплексное применение методов обработки пространственных данных, оценки изменения пожарной опасности и изучения поведенческих моделей и установок посетителей позволяет разработать стратегию адаптации национальных парков к новым условиям и митигации пожарных рисков.

Список литературы

Усыхания пихты в национальном парке «Таганай»: веб-карта // Центр профилактики ландшафтных пожаров. – URL: https://peatfires.nextgis.com/resource/1044/display

Hicke J.A., Johnson M.C., Hayes J.L., Preisler H.K. Effects of bark beetle-caused tree mortality on wildfire // Forest Ecology and Management. – 2012. – Vol. 271. – P. 81-90.

Kharuk V., Im S., Petrov I., Dvinskaya M., Fedotova E., Ranson K.J. Fir decline and mortality in the southern Siberian Mountains // Regional Environmental Change. – 2017. – Vol. 17(3). – P. 803-812.

ВЛИЯНИЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА БОРЕАЛЬНОГО БОЛОТА НА ВЫБРОСЫ CO_2 С ЕГО ПОВЕРХНОСТИ (РЕСПУБЛИКА КАРЕЛИЯ)

THE EFFECT OF THE HYDROLOGICAL REGIME OF THE BOREAL SWAMP ON CO_2 EMISSIONS FROM ITS SURFACE (REPUBLIC OF KARELIA)

Линкевич Е.В., Гуляева Е.Н., Родин А.Ю., Прокопюк В.М.

Linkevich E.V., Gulyaeva E.N., Rodin A.Yu., Prokopyuk V.M.

Отдел комплексных научных исследований ФГБУ ФИЦ "Карельский научный центр РАН"
Россия, 185910, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11; *maltseva2@gmail.com, linkevichel@yandex.ru*

Аннотация. На территории Государственного заповедника «Кивач» в республике Карелия (Кондопожский район) впервые ведется подготовка стационарной площадки мониторинга эмиссии парниковых газов CO_2 с применением современного оборудования. С 2023 по 2024 гг. с целью отработки методики проводились суточные измерения с мая по сентябрь. С 2024 года площадка была дооснащена датчиками измерения уровня болотных вод, температур почвы на разной глубине, микроклиматических параметров. С 2025 года установлено оборудование для измерения экосистемного обмена. В работе приведены первичные данные непрерывных суточных измерений эмиссии CO_2 за один вегетационный период в сочетании с некоторыми микроклиматическими параметрами. Понижение уровня болотных вод в засушливый сезон способствует интенсификации микробного и почвенного дыхания и угнетению дыхания сфагновых мхов.

Ключевые слова: олиготрофное болото, уровень, болотных вод, экосистемное дыхание.

Abstract. For the first time, a stationary monitoring site to control greenhouse gas emissions of CO_2 using modern equipment is being prepared on the territory of the State Nature Reserve «Kivach» in the Republic of Karelia (Kondopoga district). The continuous daily measurements from 2023 to 2024 were carried out from May to September in order to refine the methodology. Since 2024, the site has been retrofitted with sensors for measuring the level of swamp waters, deep temperatures, and microclimatic parameters. Since 2025, the equipment has been installed to measure ecosystem exchange. The paper presents the primary data of continuous daily measurements of CO_2 emissions for one growing season in combination with some microclimatic parameters. A decrease of the water table depth during the dry season contributes to the intensification of microbial and soil respiration and inhibition of the respiration of the Sphagnum mosses.

Keywords: oligotrophic bog, water table depth, ecosystem respiration.

Выбросы парниковых газов с поверхности болот являются результатом экосистемного дыхания (R_{eco}) и определяются набором эколого-физиологических переменных. Измерение R_{eco} имеет важное значение в оценке уязвимости природной экосистемы при смене погодных условий (Sottocornola et al., 2010). Отмечается высокая чувствительность динамики углерода на болотах, расположенных на северных территориях, к гидрологическим изменениям из-за экогидрологических обратных связей (He et al., 2021). Водный баланс на болотах характеризуется уровнем болотных вод (УБВ) и становится одним из ключевых факторов контроля изменения биологических, химических и физических процессов на болоте (Dimitrov et al., 2010, Mezbahuddin et al., 2016). Определение закономерностей изменчивости R_{eco} в зависимости от гидрологических и погодных условий является актуальной задачей в мониторинге последствий изменения климата.

На территории Государственного природного заповедника «Кивач» (62°26'83"N, 33°99'45"E) в республике Карелия была организована стационарная площадка измерения R_{eco} на олиготрофном болоте Близкое с применением темновых автоматических камер и

инфракрасного газоанализатора. Также установлена почвенная станция (исполнение Nero, Россия) для регистрации температуры на разных глубинах и логгеры контроля УБВ на пониженных и повышенных участках (Promodem, Россия). Метеорологические параметры регистрировались с помощью переносной метеостанции Сокол М1 (ООО «Ойл» Россия). Контроль изменений физико-химического состава воды в течение вегетационного периода с мая по сентябрь проводился методом капиллярного электрофореза (Капель-105М).

Первые работы по измерению R_{eco} проводились в 2023 году (Линкевич и др., 2023). В течение вегетационного периода были показаны особенности суточного хода R_{eco} с мая по сентябрь (рис. 111), где сумма осадков составила 291 мм, что ниже средней многолетней суммы осадков на 37 мм. Среднемесячная температура воздуха (14,6 ºС) за рассматриваемый период была выше на 1,6 ºС по сравнению со среднемесячными многолетними температурами с 1990 по 2020 гг. (13 ºС). Значительные колебания температуры и осадков зафиксированы в июле, где количество осадков выпало в 2,2 раза больше. В 2024 году микроклимат отличался снижением общего количества осадков с мая по сентябрь (152 мм) в два раза и ростом среднемесячной температуры на 3 ºС (16,0 ºС).

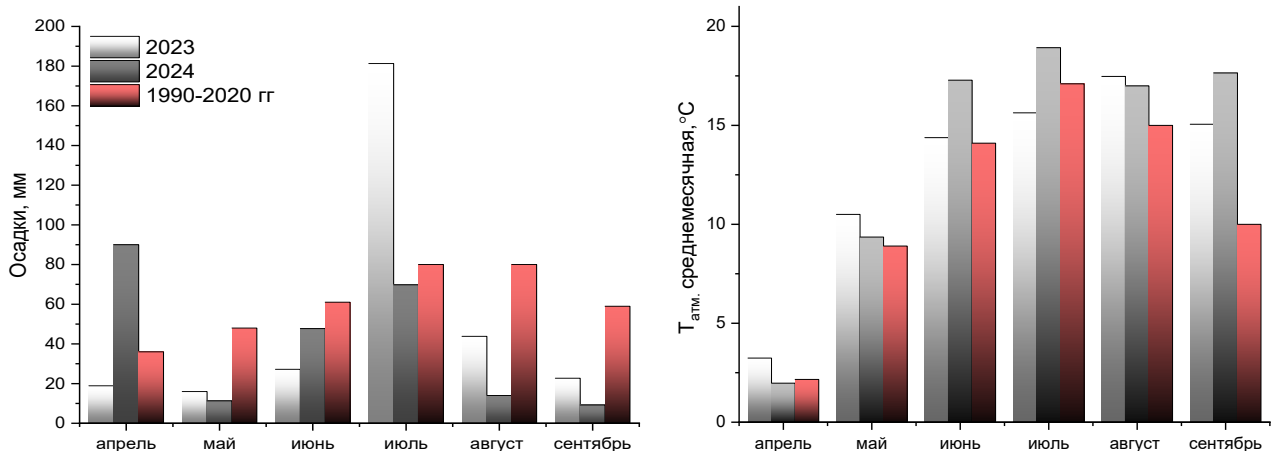


Рисунок 111. Изменение микроклиматических и средних многолетних параметров температуры воздуха и жидких осадков с апреля по сентябрь, респ. Карелия, Кондопожский район

Измерение УБВ на болоте проводили с 2024 года. Отсутствие стоячей воды и низкое количество осадков с мая до середины июля привели к недостаточному увлажнению поверхности болота, что стимулировало рост R_{eco} (рис. 112). Снижение УБВ является причиной ускорения процессов разложения растительных остатков посредством почвенных микроорганизмов, вносящих вклад в общее экосистемное дыхание. Также обнаружено, что увеличение УБВ в июле после активного разложения органического вещества приводит к вымыванию растворимого углерода на окраины болота, образуя сток с накапливающимся органическим углеродом.

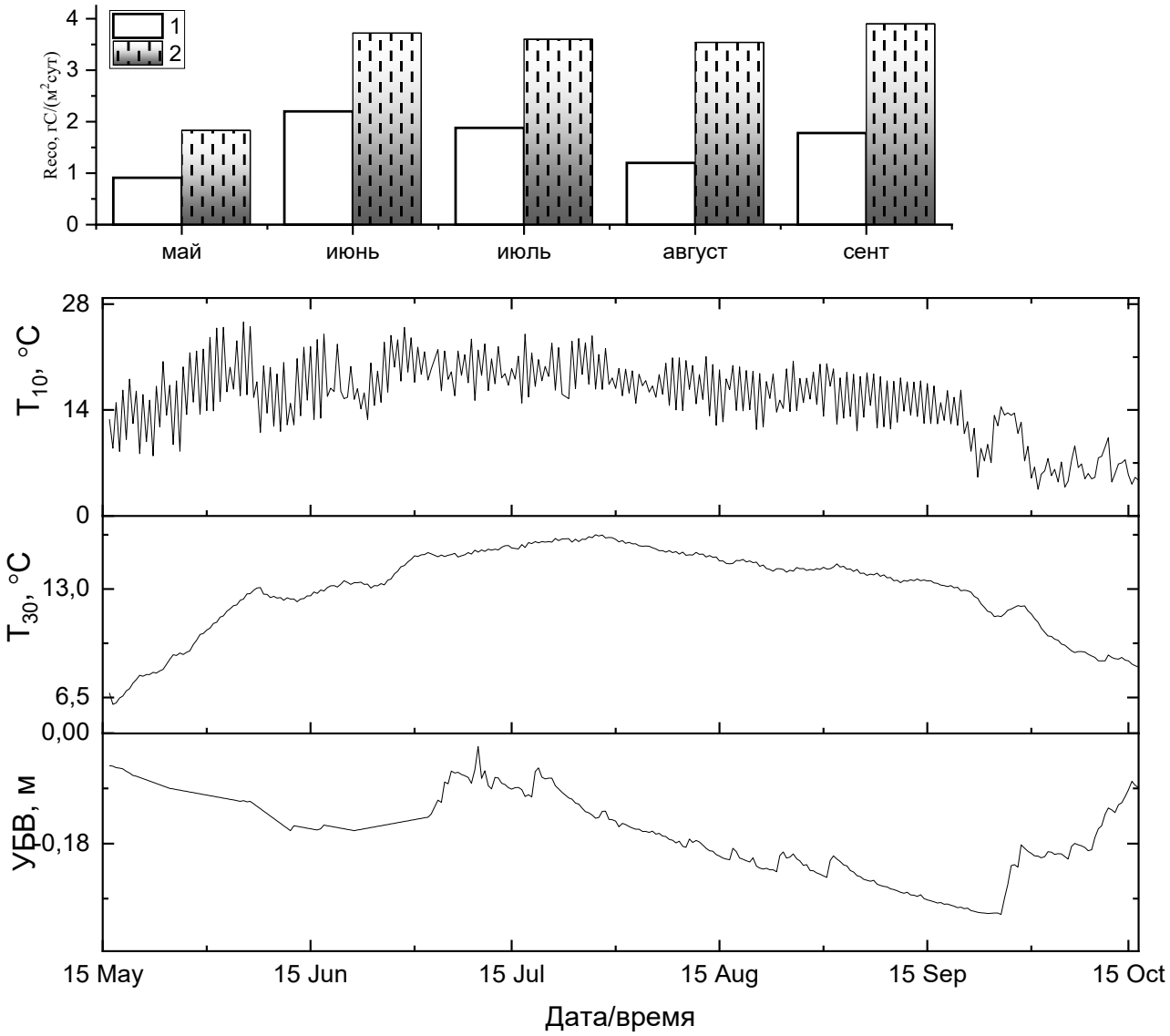


Рисунок 112. Динамика среднесуточного экосистемного дыхания (1 – *Sphagnum angustifolium*, 2 - *Eriophorum vaginatum),* почвенной температуры на глубине 10 и 30 см, уровень болотных вод за вегетационный период 2024 г.

Прогревание глубинных слоев торфяной залежи (10 и 30 см) зависит от динамики УБВ и количества осадков. Недостаток увлажнения торфяной почвы ускоряет прогревание и повышает температуру с 14 до 20 ºС на глубине 10 см и с 6,5 до 14 ºС на глубине 30 см, что может стимулировать глубинный метаболизм микроорганизмов (Song et al., 2023). Верхний слой торфа повторяет суточные амплитуды атмосферной температуры с задержкой в 3-4 часа, при этом максимальное количество CO2 коррелирует с суточной фотосинтетической активной радиацией (ФАР) в диапазоне 12:00 – 14:00. Ошибочным является поиск закономерного изменения Reco от Татм, поскольку теплоемкость почвы выше и стабильнее по сравнению с теплоемкостью воздуха. Однако неравномерное прогревание торфяных глубинных слоев

определяет запуск новой волны микробиологической активности, увеличивающей суммарное Reco на поверхности во второй половине вегетационного периода.

Контроль динамики глубинных температур дает широкую оценку выбросов CO2 с поверхности болота при смене УБВ. Например, в работе Riutta T. с соавторами (Riutta et al., 2007) показано неоднозначное влияние УБВ на дыхание растений разных видов на болоте: понижение УБВ снижает чистое поглощение CO2 в экосистеме и увеличивает торфяное дыхание, обусловленное увеличением скорости роста разложения органического вещества. При этом сфагновые мхи принимаются как наиболее чувствительные компоненты экосистемы, реагирующие на УБВ. В наших наблюдениях интенсивность дыхания сфагновых мхов снижалась с понижением УБВ и в целом варьировалась в пределах 30% от общего экосистемного дыхания в зависимости от сезона.

Проведенный мониторинг химического состава болотных вод в течение периода вегетации показал наибольшее накопление катионов и анионов в середине лета. В засушливые периоды содержание растворенного органического вещества возрастало на повышенных участках и отличалось высокой кислотностью по сравнению с пониженными участками болота.

Таким образом, полученные предварительные данные суточных измерений CO2 с поверхности олиготрофного болота позволяют охарактеризовать динамику выбросов в зависимости от основных микроклиматических условий, которые определяют направление тепловой энергии и стимулирование специфических реакций экосистемы в виде выбросов CO2. Измерение УБВ может стать экспресс-методом оценки активности микробного и растительного сообщества в различные периоды сезона, что позволит получить первичную оценку выбросов CO2.

Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы Карельского научного центра РАН №FMEN-2025-0002.

Список литературы

Линкевич Е.В., Гуляева Е.Н., Прокопюк В.М., Ефимова Л.А. Результаты суточных измерений потоков углекислого газа на олиготрофном болоте Южной Карелии // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2023. – № 8. – С. 13–19.

Dimitrov D.D., Grant R.F., Lafleur P.M., Humphreys E.R. Modeling the effects of hydrology on ecosystem respiration at Mer Bleue bog // Journal of Geophysical Research. – 2010. – Vol. 115. – G04043.

He H., Moore T., Humphreys E.R., Lafleur P.M., Roulet, N.T. Water level variation at a beaver pond significantly impacts net CO2 uptake of a continental bog // Hydrology and Earth System Sciences Discussions. – 2021. – P. 1–26.

Mezbahuddin M., Grant R.F., Flanagan L.B. Modeling hydrological controls on variations in peat water content, water table depth, and surface energy exchange of a boreal western Canadian fen peatland // Journal of Geophysical Research: Biogeosciences. – 2016. – Vol. 121, No. 8. – P. 2216–2242.

Riutta T., Laine J., Tuittila E.S. Sensitivity of CO2 exchange of fen ecosystem components to water level variation // Ecosystems. – 2007. –Vol. 10, No. 5. – P. 718–733.

Song Y., Sun L., Song C., Li M., Liu Z., Zhu M., Chen S., Yuan J., Gao J., Wang X., Wang W. Responses of soil microbes and enzymes to long-term warming incubation in different depths of permafrost peatland soil // Science of The Total Environment. – 2023. – Vol. 900. – P. 165733.

Sottocornola, M., Kiely, G. Hydro-meteorological controls on the CO2 exchange variation in an Irish blanket bog // Agricultural and Forest Meteorology – 2010. – V.150, No. 2. – P. 287–297.

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ НА РЕКРЕАЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «КУРШСКАЯ КОСА»

THE CLIMATE CHANGE IMPACT ON THE RECREATIONAL POTENTIAL OF THE NATIONAL PARK KURSHASKAYA KOSA

Майорова Ю.А., Рыльков О.В., Ефремова О.Н., Жуковская И.П.

ФГБУ «Национальный парк «Куршская коса»
Россия, 238535, Калининградская область, Зеленоградский р-н, пос. Рыбачий, ул. Лесная, 7;
otd.nauka@park-kosa.ru

Аннотация. Приведены сведения об основных последствиях климатических изменений и их влиянии на рекреационный потенциал национального парка «Куршская коса».
Ключевые слова: изменения климата, туризм, Куршская коса.

Abstract. Information is provided on the main consequences of climate change and their impact on the recreational potential of the Curonian Spit National Park.
Keywords: climate change, tourism, Curonian Spit.

Национальный парк «Куршская коса» является ключевым аттрактором (т.е. наиболее привлекательной точкой притяжения) Калининградской области, привлекающим основной поток туристов в регион круглый год (Федеральная туристическая межрегиональная схема территориально-пространственного планирования макротерритории «Русская Балтика»). Это второе по популярности направление после города Калининград, наиболее популярная в регионе природная территория и один из самых посещаемых национальных парков России.

Привлекательность национального парка обуславливается природной и историко-культурной ценностью приморской территории, характеризующейся мягким климатом, протяженными песчаными морским пляжами, живописными дюнными ландшафтами объекта всемирного наследия ЮНЕСКО и развитой туристской инфраструктурой.

Основные направления туризма на территории национального парка такие как познавательный туризм (посещение экологических троп и турмаршрутов) и пляжный отдых на морском побережье являются чувствительными к климатическим изменениям (Майорова и др., 2024).

В последние два десятилетия климат в Калининградской области, ранее характеризующийся как переходный от морского к континентальному, с интенсивной изменчивостью погод, мягкой зимой и умеренно теплым летом стал «более морским» (Стонт, Буканова, 2019), что оказывает как положительное, так и отрицательное воздействие на туристско-рекреационный потенциал территории.

Повышение средних температур способствует сглаживанию сезонности познавательного туризма, делая его практически всесезонным, а также увеличению продолжительности периода пляжного отдыха. Высокий туристический сезон совпадает с периодом пляжного отдыха на морском побережье, продолжительность которого в связи с

изменениями климата увеличилась с трех месяцев (с июня по август) до пяти месяцев (с мая по сентябрь). При этом, отчетливо выделяются пики посещаемости в августе, благодаря прогреву моря в прибрежной полосе на фоне устойчивых теплых погод (рис. 113, 114).

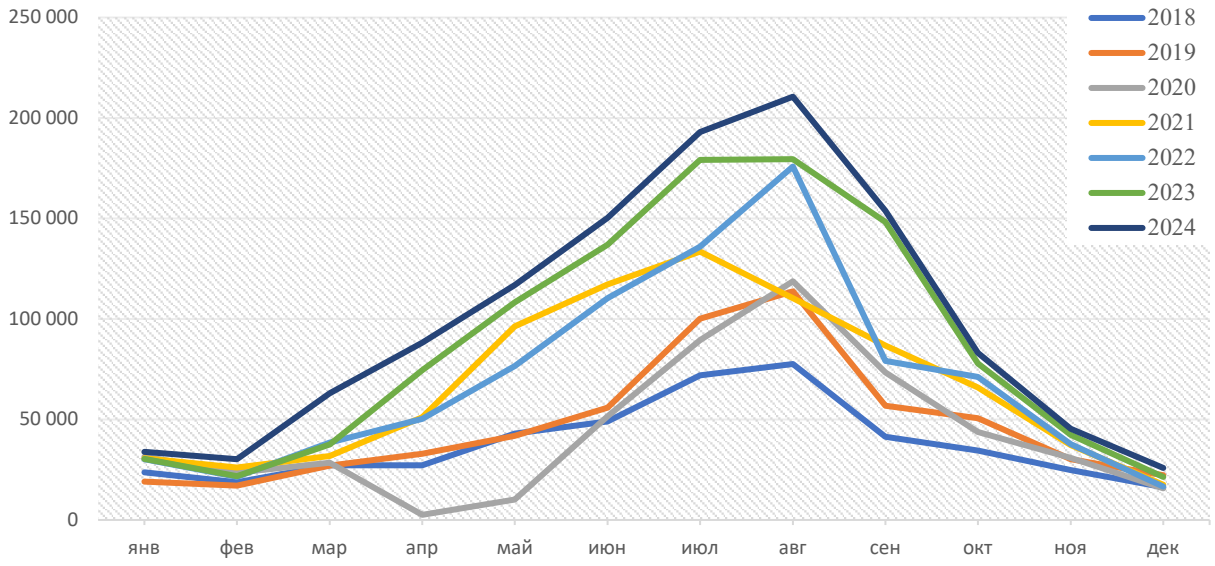


Рисунок 113. Ежегодная посещаемость национального парка «Куршская коса» в период с 2018 по 2024 гг. в чел, год (Майорова и др., 2023)

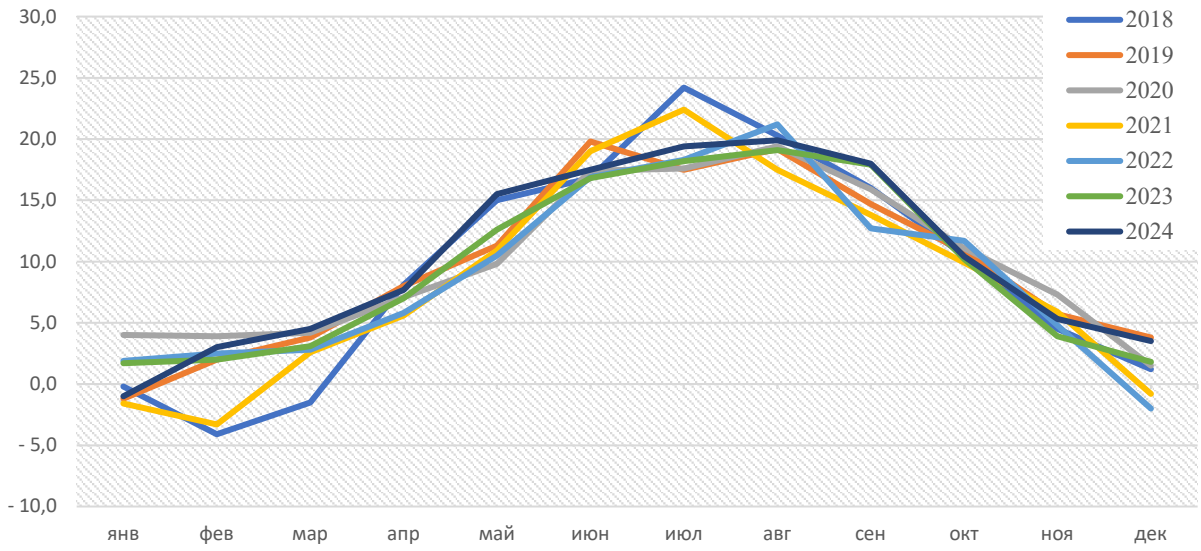


Рисунок 114. Значения среднемесячных температур воздуха в национальном парке «Куршская коса» по данным автоматической метеостанции DAVIS, VANTAGE PRO2 установленной на 15-м км Куршской косы (Административно-Музейный комплекс) в период с 2018 по 2024 гг.

Отрицательное воздействие климатических изменений заключается в ограничении посещаемости ввиду неблагоприятных погодных явлений таких как учащение штормовых погод и подъем уровня Балтийского моря, которые, в свою очередь, способствуют абразии

морского берега, подтоплению прибрежных участков, разрушению береговой туристической инфраструктуры.

Для сравнения 2018 в году было 26 дней с максимальной силой ветра более 16 м/с, в 2019 г. – 52 дня, в 2020 – 59 дней (Рыльков, Жуковская, 2020), 2022 – 72 дня, 2023 – 81 день, 2024 – 69 дней.

В качестве примера неблагоприятных опасных явлений, вызванных климатическими изменениями, можно привести серию штормов 2022 г. (табл. 26), которая привела к значительным разрушениям морского побережья, подтоплению территорий, разрушению инфраструктуры, включая променады, набережные, лестницы, ЛЭП и др. Берег за время штормов в среднем отступил на разных участках Куршской косы от 2,7 м до 7,2 м; морской водой была затоплена равнинная часть прикорневого участка, прилегающая к городу Зеленоградску. Помимо ущерба, нанесенного экосистемам, была затоплена единственная автомобильная дорога, соединяющая полуостров с материком. Общая площадь подтопления 30-31 января 2022 г. составила около 13,3 га. Был объявлен Режим чрезвычайной ситуации.

Таблица 26. Характеристика ветров силой в 7-10 баллов в январе 2022 г. по данным автоматической метеостанции DAVIS, VANTAGE PRO2 установленной на 15-м км Куршской косы (Административно-Музейный комплекс)

№ пп	Дата регистрации	Сила ветра в баллах (по шкале Бофорта)	Макс. измеренная скорость (м/с)
1	05.01.22	7	16,1
2	13.01.22	7	17,4
3	15.01.22	8	18,8
4	17.01.22	10	26,4
5	20.01.22	9	21,9
6	21.01.22	9	20,6
7	22.01.22	7	17,0
8	27.01.22	9	20,6
9	28.01.22	9	19,7
10	29.01.22	9	19,7
11	30.01.22	10	27,3
12	31.01.22	10	22,8

Климатические изменения оказывают как положительное, так и отрицательное влияние на рекреационный потенциал национального парка «Куршская коса». Наибольшее влияние

климатические изменения оказывают на сохранность морского побережья. Что подтверждается данными многолетних исследований. Прорабатывается вопрос реализации комплексной научно-обоснованной программы защиты морского побережья Калининградской области. Такая программа должна учитывать климатические изменения, природную и историко-культурную ценность, рекреационный потенциал и перспективы развития приморских территорий. Необходимо восстановление аварийных участков, включая строительство и реконструкцию берегового защитного вала (авандюны), а также проведение берегозащитных мероприятий, снижающих негативное волновое воздействие на берег и способствующие формированию широких пляжей, включая намыв пляжей и строительство пляжеудерживающих сооружений, вдольбереговых волноломов.

Адаптация к климатическим изменениям в управлении туризмом направлена на минимизацию негативного воздействия туристско-рекреационной деятельности, в программу комплексного рекреационного мониторинга национального парка включены соответствующие параметры, значения которых применяются в том числе при расчете предельно допустимой рекреационной емкости.

Список литературы

Майорова Ю.А., Ефремова О.Н., Жуковская И.П. Результаты учета рекреационной нагрузки в национальном парке «Куршская коса» в период с 2018 по 2023 год // «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сборник научных статей. Вып. 18. – К.: Полиграфический центр БФУ им. И. Канта, 2023. – С. 212-219.

Майорова Ю.А., Калина А.А., Ефремова О.Н. Результаты анализа динамики качественных параметров посетителей национального парка "Куршская коса" по данным опросов в 2010 и 2022-2024 гг. // «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сборник научных статей. Вып. 19. – К.: Полиграфический центр БФУ им. И. Канта, 2024. – С. 193-205.

Рыльков О.В., Жуковская И.П. Результаты измерения ширины морского пляжа на Куршской косе // «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: сборник статей вып.15. К., 2020. С. 161-168.

Рябкова О.И., Баринова Г.М., Краснов Е.В., Романчук А.Ю., Ушакова Л.О. Геоэкологический потенциал и риски туристско-рекреационного развития морского побережья Калининградской области // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка "Куршская коса": Сборник научных статей. –

Калининград: Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, 2019. – С. 154-172.

Стонт Ж.И., Буканова Т.В. Характеристики температуры воздуха над акваторией прибрежной части Куршской косы (2004-2018 гг.) «Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»: // Сб. выпуск №15 Калининград, 2019. С.172-183.

Федеральная туристическая межрегиональная схема территориально-пространственного планирования макротерритории «Русская Балтика» // Министерство по культуре и туризму Калининградской области. URL: https://culture-tourism.gov39.ru/upload/culture-tourism/2025/Русская_Балтика_публикация.pdf

АНТРОПОГННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ДИНАМИКУ УРОВНЯ ОЗЕРА УВИЛЬДЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

THE INFLUENCE OF HUMAN ACTIVITY ON THE DYNAMICS OF LAKE UVILDY'S LEVEL IN A CHANGING CLIMATE

Смагин А.И.[1], Тумелевич М.Л.[2]

Smagin A.I.1, Tumelevich M.L.[2]

[1] ГБУ «Особо охраняемые природные территории Челябинской области»
Россия, 454020, Челябинск, ул. Курчатова, 23Б; *smagin54@mail.ru*
[2] ФГБОУ ВО «Челябинский государственный университет»
Россия, 454001, Челябинск, ул. Братьев Кашириных, 129; *olsa-bel@yandex.ru*

Аннотация. Озеро Увильды является гидрологическим памятником природы и входит в систему особо охраняемые природные территории (ООПТ) Челябинской области. Геосистема озера расположена на восточном склоне Южного Урала и является крупнейшей на территории Челябинской области. Приводятся основные географические и гидрологические характеристики оз. Увильды.

Показано, что водный ресурс озера начал использоваться в XVIII веке во время промышленного освоения Урала, в 1975 г. вода озера перекачивалась в Аргазинское водохранилище на р. Миас для водоснабжения г. Челябинска. На восстановление уровня в озере потребовалось несколько десятилетий. По нашим наблюдениям, в последние десятилетия основные химические и биологические показатели качества водной среды в оз. Увильды остаются стабильными.

Ключевые слова: оз. Увильды, особо охраняемые природные территории, гидрологический режим, гидрохимические особенности.

Abstract. Lake Uvildy is a hydrological natural monument and is part of the system of specially protected natural areas (SPNA) in the Chelyabinsk region. The geosystem of the lake is located on the eastern slope of the Southern Urals and is the largest in the Chelyabinsk region. The main geographical and hydrological characteristics of Lake Uvildy are presented. It is shown that the water resource of the lake began to be utilized in the 18th century during the industrial development of the Urals; in 1975, water from the lake was pumped into the Argazinskoye Reservoir on the Miass River for the water supply of Chelyabinsk. It took several decades to restore the lake's water level. According to our observations, in recent decades, the main chemical and biological indicators of water quality in Lake Uvildy have remained stable.

Keywords: Lake Uvildy, specially protected natural areas, hydrological regime, hydrochemical features**.**

Впервые проблема изменения климата и колебаний уровня озер была исследована А.В. Воейковым, выдающимся метеорологом и климатологом XIX века (Воейков, 1901). Изменение климата влияет на количество запасов влаги в почве и создает условия для уменьшения объема стока с водосборного бассейна водоемов (Калишев, 2004). Длительное отсутствие осадков в жаркое время года сокращает урожай и влияет на стабильность устойчивого развития экономики территорий (Сумин, 2004). По свидетельству В.И. Данилова-Данильяна, дефицит пресной воды — явление, знакомое человечеству с древнейших времен, и не раз становился причиной кризисов и социальных катастроф (Данилов-Данильян, 2008).

Цель исследования – ретроспективный анализ воздействия использования водного ресурса оз. Увильды на экологическое состояние и динамику уровня в условиях изменения климата.

Оз. Увильды расположено на восточном склоне Южно-Уральского хребта. Котловина водоема приурочена к разломам в предгорной части Потаниных и Граниных гор на севере

Челябинской области. Озеро принадлежит к бассейну верхнего течения р. Теча, берущей начало из оз. Иртяш (Черняева, 1977; Смагин, 2013). По данным М.А. Андреевой оз. Увильды принадлежит к водоемам Восточно-предгорного типа. Площадь зеркала 68,1 км^2, площадь водосбора 128,9 км^2, максимальная глубина 38м, а средняя глубина 14,2 м. Объем воды в водоеме составляет 1014 млн. м^3 (Андреева, 1973) (рис. 115).

Рисунок 115. Гидрография Каслинско-Кыштымской озерной системы

В коллективной монографии Л.Е. Черняевой и др. приводятся следующие данные по морфометрическим характеристикам оз. Увильды – при абсолютной отметке уровня воды в водоеме 275,2 м, а площадь водосбора составляет 196 км^2. Некоторые расхождения в оценке площади водосбора, вероятно, связаны с различными методиками, применявшимися различными авторами в разное время (Черняева и др., 1977).

В XVIII веке после строительства канала из оз. Увильды до Кыштымских прудов озеро становится частью системы проточных Каслинско – Кыштымских озер. Максимальную

отметку уровня воды имеет оз. Увильды 272 м, а минимальную оз. Иртяш 227 м и еще ниже в оз. Кызыл-Таш 225 м.

Западная часть водосбора Каслинско-Кыштымской озерной системы, включая оз. Увильды, покрыта густой сетью небольших горных рек с системой притоков, несущих свою воду в озера. Горные реки и ручьи Восточного склона Уральских гор являются главным источником питания водоемов озерной системы (Смагин, 2013; Смагин, 2021а).

Постоянный поверхностный приток воды в оз. Увильды осуществляется по двум небольшим ручьям и небольшой р. Косой. Основной приток воды в озеро дают многочисленные подземные источники (Черняева и др., 1977).

В середине XVIII века во время промышленного основания Южного Урала вода использовалась в качестве основного источника энергии. Для бесперебойного водоснабжения заводов, построенных в городах Кыштым и Касли, сток из проточных озер Каслинско-Кыштымской системы был зарегулирован. Возведены десятки плотин, запирающих проточные озера, которые превратились в водохранилища с регулируемым стоком. Поскольку водным путем осуществляли перевозки руды, были углублены протоки, соединяющие озера, построены (вырыты вручную) канавы-копанки (каналы), по которым вода перебрасывалась из одного водоема в другой. В итоге весь Демидовский Кыштымский округ получил систему подачи воды из водохранилищ и прудов, уровень которых регулировался многочисленными плотинами (Смагин, 2021а). Построена плотина, запирающая оз. Иртяш, в результате уровень воды в водоеме поднялся на 3 метра. В этот же период был зарегулирован сток и из оз. Кызыл-Таш, замыкающего каскад Каслинско-Кыштымских проточных озер (Смагин, 2013). Водоемы Каслинско-Кыштымской системы использовали как источники водной энергии на заводах городов Кыштыма и Касли, корундовой фабрике в п. Старая Теча, расположенной за плотиной, замыкающей оз. Иртяш.

После 1757 г. для обеспечении бесперебойного водоснабжения Кыштымских заводов главным источником воды становится оз. Увильды, имеющее большой объём воды и максимальную отметку над уровнем моря < 272 м, что на 20 м выше отметки Верхне-Кыштымского пруда – 249 м. Перепад высот позволил направить воду из озера самотеком в Кыштымские пруды, для чего был проложен специальный канал «Кыштымская канава».

Через 30 лет после пуска заводов приказчик Блинов и «расходник» (главный смотритель водной системы) Аврамов доложили Демидову, что канаву, проложенную между Увильдами и Кыштымскими прудами, необходимо «для сильнейшего по ней прохода воды от самого озера удлинить на 125 сажен (266 метров) и углубить на 3 аршина (~2 м)» (Смагин, 2021а).

Проект был одобрен. Общая длина канала составила около 16 верст (17 км). Это позволяло увеличить поступление воды в заводские пуды г Кыштыма. Последующие 100 лет до начала XX века оз. Увильды эксплуатировалось в режиме водохранилища, главного резервуара – источника воды для Кыштымских заводов (Смагин, 2021 (а)).

В конце 40 гг. XX века началось интенсивное освоение береговой зоны озера. Начала возрастать рекреационная нагрузка, оказывающая негативное воздействие на геоэкологический комплекс оз. Увильды. В 50 гг. XX века началось интенсивное освоение береговой зоны озера (Радаева, 1995). В настоящее время на берегу оз. Увильды расположено несколько поселков, 70 рекреационных объектов отдыха, включая крупные санатории Российского значения, детские лагеря отдыха и многочисленные базы отдыха. В советское время была спроектирована и построена единая канализационная система.

Водный ресурс оз. Увильды был использован и в 1975 г. для снабжения водой г. Челябинска. В засушливый период 60-70-х гг. XX в. уровень водоемов в Челябинской области понизился. Летом 1975г. сток воды по р. Миасс в районе г. Челябинск практически прекратился. Запас воды в Аргазинском и Шершневском водохранилищах мог обеспечить потребности города только в течение одного месяца. В связи с катастрофической ситуацией с водоснабжением Челябинского мегаполиса было принято решение проложить канал из оз. Увильды в водохранилище Аргази. Канал был построен в рекордный срок, за несколько месяцев. По каналу вода из оз. Увильды была направлена в водохранилище Аргази (Смагин, 2021а; Давыденко, Серебрякова, 2021). За несколько лет уровень оз. Увильды был сработан на 4 метра (рис. 116).

На восстановление уровня в озере потребовалось несколько десятилетий многоводного периода увлажнения, последовавшего за маловодным. В начале XXI века уровень оз. Увильды восстановился (Давыденко, Серебрякова, 2021).

Под воздействием антропогенных факторов происходит изменение химического состава воды. К 2000 г. уровень минерализации увеличился на 50-60 мг/л по сравнению с 1960 г. и в настоящее время составляет 250-300 мг/л. Также наблюдается рост концентрации основных ионов (Андреева, 2006; Смагин, 2021б).

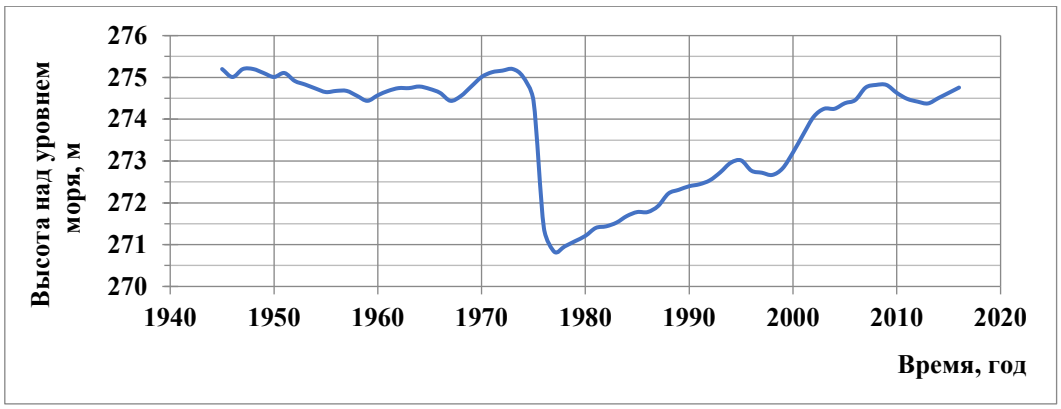


Рисунок 116. Динамика уровня оз. Увильды в XX-XXI веке (Давыденко, Серебрякова, 2021)

В конце XX века озеро было объявлено памятником природы. Рекреационная нагрузка на уникальный геоэкологический комплекс озера продолжает возрастать, оказывая негативное воздействие. По данным В.Ю. Радаевой прозрачность воды в озере составляла в 90 гг. XX века 8-12 м, но уже в последние десятилетия прозрачность воды в оз. Увильды не превышала в период биологического лета величины – 7 м (Радаева, 1995; Смагин, 2021б). По нашим наблюдениям в последние десятилетия основные химические и биологические показатели качества водной среды в оз. Увильды остаются стабильными (Методика …, 1975, Смагин, 2021б). За состоянием уникального природного объекта необходим постоянный контроль для разработки комплекса мероприятий по его сохранению.

Список литературы

Андреева М.А. Озера Среднего и Южного Урала. – Челябинск: Южно-Уральское кн. изд., 1973. – 272 с.

Андреева М.А. Увильды, озеро, гидрологич. памятник природы // Челябинская область: Энциклопедия. – Т.6 (Си – Ф) – Челябинск: Каменный пояс, 2006. – С. 660-661.

Воейков А. И. Колебания климата и уровня озер Туркестана и Западной Сибири // Метеорологический вестник. – 1901. – № 3. – С. 16-27.

Давыденко Е.В., Серебрякова Е.Д. Уровенный режим озер Чебаркуль и Увильды (Челябинская область) // География: развитие науки и образования. Сборник статей по материалам ежегодной международной научно-практической конференции LXXIV Герценовские чтения. – Т.1. – Санкт-Петербург: РГПУ, 2021. – С. 249-252.

Данилов-Данильян В.И. Глобальная проблема дефицита пресной воды // Век глобализации. – 2008. – №1. – С 45-56.

Калишев В.Б. Засуха. // Челябинская область: Энциклопедия. – Т.2 (Д – И) – Челябинск: Каменный пояс, 2004. – с. 386.

Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов: сб. методик / Отв. ред. Ф.Д. Мордухай-Болтовской. – Москва: Наука, 1975. – 240 с.

Радаева В.Ю. Эволюция и современное состояние экосистемы озера Увильды: Южный Урал: диссертация кандидата географических наук: 11.00.11. – Екатеринбург, 1995. – 128 с.

Смагин А.И. Географическая характеристика и гидрологические особенности памятника природы озера Увильды // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества. Материалы II Международной научно-практической конференции. – Челябинск: ООО "Край Ра", 2021а. – С. 206-210.

Смагин А.И. Динамика гидрохимического состава озера Увильды // Географическое пространство: сбалансированное развитие природы и общества. Материалы II Международной научно-практической конференции. – Челябинск: ООО "Край Ра", 2021б. – С. 120-12.

Смагин А.И. Экология водоемов в зоне техногенной радионуклидной геохимической аномалии на Южном Урале: Монография. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. – 205 с.

Сумин П. Засухам можно противостоять // Экономика сельского хозяйства России. – 2004. – № 9. – с.3-4.

Черняева Л.Е., Черняев А.М., Еремеева М.Н. Гидрохимия озер. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. – 236 с.

СЕКЦИЯ
«АДАПТАЦИЯ К ИЗМЕНЕНИЯМ КЛИМАТА НА КОРПОРАТИВНОМ УРОВНЕ»

ДОБРОВОЛЬНАЯ ЛЕСНАЯ СЕРТИФИКАЦИЯ КАК ИНСТРУМЕНТ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА И АДАПТАЦИИ К НЕМУ ЛЕСОВ

VOLUNTARY FOREST CERTIFICATION AS AN INSTRUMENT FOR MITIGATION AND FOREST ADAPATION TO CLIMATE CHANGE

Карпачевский М.Л., Яницкая Т.О., Шматков Н.М.

Karpachevskiy M.L., Yanitskaya T.O., Shmatkov N.M.

Добровольная система сертификации «Лесной эталон»
Россия, 125047, Москва, 2-я Брестская, 46 стр.1, офисе 6; *m.karpachevskiy@forest-etalon.ru*

Аннотация. Лесоклиматические проекты (ЛКП) и добровольная лесная сертификация используют сходные приемы, обеспечивающие значимое и измеримое сокращение выбросов парниковых газов или способствующие увеличению поглотительной способности лесов, а также адаптации лесов к изменению климата. Многие требования стандарта лесоуправления системы «Лесной эталон» полностью соответствуют приемам улучшенного управления лесами ЛКП. Это сохранение ценных лесов (особенно малонарушенных и старовозрастных), создание лесных культур хозяйственно ценных пород, сохранение ключевых биотопов (крупных деревьев, деревьев редких пород, крупных древесных остатков и т.д.) и сохранение мозаичности ландшафта при заготовке древесины и др., а также меры по минимизации воздействия на растительный покров, гидрологический режим территории и почвы.

Ключевые слова: адаптация к изменению климата, лесоклиматические проекты, добровольная лесная сертификация, улучшенное управление лесами.

Abstract. Forest climate projects (FCP) and voluntary forest certification use similar methods to enable significant and measurable reduction of greenhouse gases emission or additional carbon sequestration in forests as well as their adaptation to climate change. Many requirements of Forest Management Standard of the Forest Etalon Forest Certification System fully correspond to improved forest management under FCP, namely preservation of valuable (especially intact and old-growth) forests, establishment of economically valuable forest plantations, preservation of key habitats (large-trees, rare tree species, coarse woody debris etc.), providing a mosaic forest landscape after clearcutting and other measures as well as methods to minimize the impact on vegetation, hydrology and soils.

Keywords: forest climate projects, voluntary forest certification, adaptation to climate change, improved forest management.

Опыт последних десятилетий показал, что одними только административно-принудительными мерами (например, реализацией на национальном уровне положений Парижского соглашения) задачу увеличения поглощения парниковых газов экосистемами не решить. Крайне важно, чтобы также работали и рыночные механизмы. В последнее время наиболее предметно в качестве таковых рассматривают углеродные рынки и связанные с ними лесоклиматические проекты (ЛКП). Непосредственно в ЛКП в качестве экономически эффективных приемов используют приемы так называемого улучшенного управления лесами (УУЛ) (Kaarakka et al., 2021). Единого списка приемов УУЛ не существует, но наиболее широко используется определение Калифорнийского совета по воздушным ресурсам (CARB). Согласно нему УУЛ это деятельность по управлению лесами которая ведет к увеличению запасов углерода в лесных землях по сравнению с базовым уровнем его запасов. На нем, в частности, основан наиболее популярный на международной арене стандарт сертификации углеродных кредитов для компенсации выбросов парниковых газов Verified Carbon Standard, управляемый VERRA (Kaarakka et al., 2021).

На этом фоне незаслуженно мало внимания получают иные, давно работающие в России рыночные инструменты, которые помогают внедрению наилучших практик, связанных с грамотным управлением лесам, в том числе способствующих увеличению поглотительной способности лесов и их адаптации к изменению климата. В публикации описаны приемы, которые реализуются в рамках добровольной лесной сертификации (ДЛС), на примере сертификации лесоуправления системы «Лесной эталон». Требования стандарта лесоуправления (СТО-42952298-001-2022, 2022) были соотнесены с утвержденными российскими методологиями лесоклиматических проектов, которые размещены в Реестре углеродных единиц (https://carbonreg.ru/) с точки зрения из воздействия на предотвращение изменения климата и адаптации к нему лесов, а также методологии системы Verified carbon standard VM0045 (VCS Methodology, 2025), которая содержит более обширный перечень примеров УУЛ по сравнению с российскими методологиями. Стандарт не содержит специальных требований по предотвращению эмиссии парниковых газов, противодействию глобальному потеплению, снижению углеродного следа, но многие его требования в качестве одного из эффектов предполагают как раз положительное воздействие на климат.

Так, сохранение ценных участков лесов (Принцип 9, Приложение D) не только предотвращает эмиссию уже накопленного углерода, но и обеспечивает дальнейшее его накопление. В лесах, сертифицированных по системе «Лесной эталон», площадь защитных лесов (в том числе особо охраняемых природных территорий (ООПТ)) и особо защитных участков леса составляет 2,48 млн га, или 31% от общей площади (все расчеты здесь и ниже сделаны на апрель 2025 года) (рис. 117). Требования системы «Лесной эталон» дополнительно предусматривают сохранение участков лесов, которые проектируются в качестве ООПТ, даже если запрет на заготовку древесины для таких участков отсутствует (еще 0,13 тыс. га, или еще 2%). На сертифицированной территории также могут находиться участки, которые обладают высокими природоохранными ценностями (ВПЦ), но по закону не сохраняются. Держатели сертификатов системы «Лесной эталон» добровольно сохраняют таким образом еще 0,26 млн. га лесов (3% от сертифицированной площади) (рис. 118). В первую очередь компании должны обеспечить максимально возможное сохранение старовозрастных и малонарушенных лесов (включая малонарушенные лесные территории, и малонарушенные лесные массивы), в качестве лесов с ВПЦ. Участки таких лесов содержат больше всего углерода в связанном состоянии на единицу площади по сравнению с участками тех же типов, но меньшего возраста (Лукина и др., 2023). Недавний анализ (Besnard et al., 2025) большого объема данных о глобальной динамики участков лесов разного возраста за период с 2010 по 2020 годы и спутниковых данных о надземных запасах углерода и о чистом потоке CO_2 продемонстрировал, что с точки зрения стратегии лесоуправления, нацеленной на накопление

углерода и противодействие изменению климату, сохранение старовозрастных лесов для климата лучше, чем выращивание на их месте молодых. Также важно, что малонарушенные леса обладают высоким потенциалом адаптации к изменениям климата в силу того, что они способны к самоподдержанию, существуя уже в течение длительного времени.

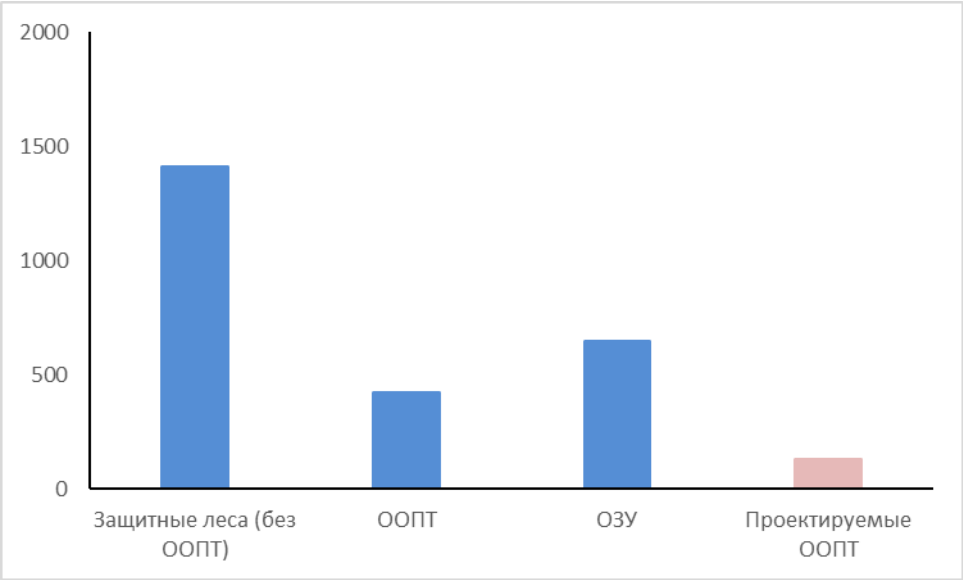


Рисунок 117. Ценные леса, сохраняемые держателями сертификатов системы «Лесной эталон» по законодательству (тыс. га)

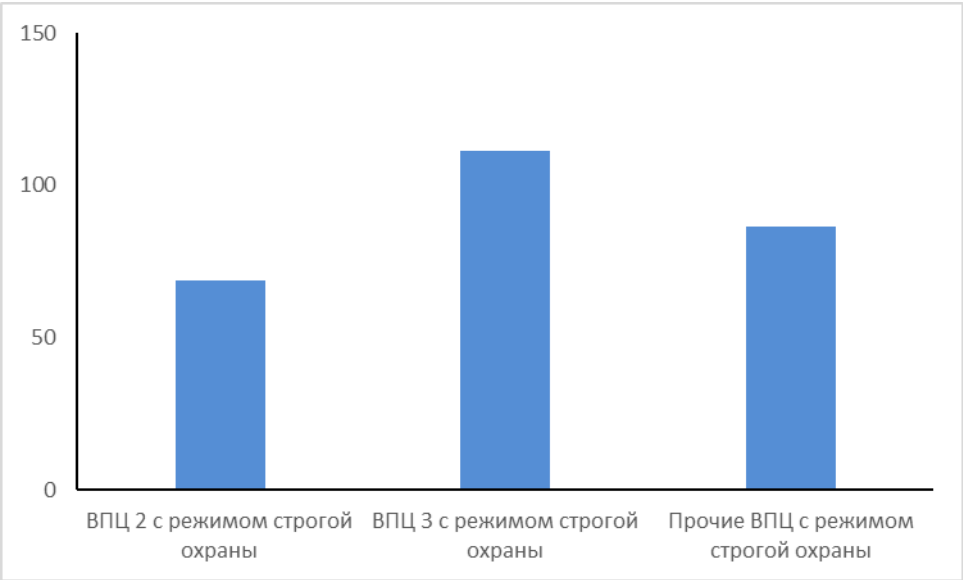


Рисунок 118. Ценные леса, добровольно сохраняемые держателями сертификатов системы «Лесной эталон» (тыс. га)

Вклад в связывание углерода, а также в повышение адаптационных возможностей лесов к изменению климата вносит и требование восстановления лесного покрова до его исходного или до более естественного состояния (Критерий 10.1). Согласно нему необходимо

не только обеспечить лесовосстановление хозяйственно ценными породами, но и сохранить и все породы деревьев, в естественном состоянии присутствующие в лесу (Критерий 10.2).

Качественный уход за лесными культурами (как это требуется согласно Критериям 10.1 и 10.5 стандарта и Руководству по лесовосстановлению ПРО-42952298-017-2024, 2022), нацеленный на создание хозяйственно ценных молодняков, также опосредованно положительно влияет на климат. Создание высокопродуктивных культур считается относится к методам УУЛ.

Стандарт содержит требования по сохранению так называемых ключевых биотопов (или ключевых местообитаний) на лесосеках (Критерии 6.1, 6.3, 6.4, 6.6, 6.8, 10.11, Приложение С). Это различные элементы исходной лесной среды, в которых с высокой вероятностью могут встречаться редкие виды животных и растений. Их перечень включает, в том числе, старые деревья, возраст которых заметно превосходит средний возраст господствующего полога, а также сухостой, валеж, небольшие водно-болотные угодья и др. Для лесосек площадью более 15 га на каждой такой лесосеке требуется сохранить мозаичный лесной ландшафт в виде ветроустойчивых полос и куртин леса, причем доля оставляемых полос и куртин должна составлять не менее 10% от площади лесосеки (Критерий 6.8). Данные меры соответствуют приемам УУЛ по снижению воздействия лесозаготовок, а также повышают адаптационные возможности лесов к изменению климата.

В стандарте есть требование по минимизации воздействия на почвы и экосистемы при заготовках (например, строительство временных переправ через малые реки и ручьи, включая их последующий разбор, исключение из заготовки переувлажненных местообитаний, учет сезонности при планировании и осуществлении лесозаготовок) (Критерий 10.10).

В качестве дополнительных (по сравнению с требованиями законодательства) мер от держателей сертификатов также требуется принимать меры по снижению рисков негативных последствий опасных природных явлений, включая пожары. В соответствии с ПРО-42952298-018-2024 начиная с 1 января 2026 г. вводится запрет на сжигание порубочных остатков на лесосеках. Сжигание порубочных остатков на лесосеках существенно повышает риски возникновения лесных пожаров и введение данного требования является одной из мер управления горючими материалами УУЛ.

Дополнительный эффект ДЛС с точки зрения смягчения последствий изменения климата можно оценить количественно, например через объем предотвращенной эмиссии парниковых газов в результате реализации мер строгой охраны лесов с ВПЦ, эффективной борьбы с пожарами и пр. Требования СТО-42952298-001-2022 в частим сохранения дополнительных ценных участков леса, особенно малонарушенных и старовозрастных; формирования многопородных и разновозрастных лесов, а также проведения рубки ухода,

направленных на повышение продуктивности насаждения; управления горючими материалами, принятия иных мер по снижению рисков природных пожаров; сохранения части деревьев при заготовке древесины в качестве элемента будущего леса и КДО, минимизации воздействия на почвы не только полностью соответствуют требованиям УУЛ в соответствии с со сложившимися представлениями (Kaarakka et al., 2021) и, в частности, методологии Verra, но и способствуют повышению адаптации лесов, сертифицированных по системе «Лесной эталон» к изменению климата.

Список литературы

Лукина Н.В., Барталев С.А., Гераськина А.П., Плотникова А.С., Горнов А.В., Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Кузнецова А.И., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Данилова М.А., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Ручинская Е.В. Роль старовозрастных лесов в аккумуляции и хранении углерода. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2023; 87(4):536–557.

ПРО-42952298-017-2024 «Руководство по выполнению требований индикатора 10.1.2 СТО-42952298-001-2022 «Сертификация лесоуправления» (версии 1.2 и позже), версия 1.2». URL: https://app.box.com/s/mzih7hyocf3fuo7s5egp89d3de2otsu3

ПРО-42952298-018-2024 Руководство по выполнению требований индикатора 10.9.3 СТО-42952298-001-2022 «Сертификация лесоуправления» (версии 1.2 и позже) держателями сертификатов лесоуправления и по проверке их выполнения органами по сертификации». URL: https://app.box.com/s/ft1vq1cttzb76g1uiwauh9zyn29djwe7

СТО-42952298-001-2022 «Сертификация лесоуправления». URL: https://app.box.com/s/qw8ivc0qld10wqy5pjoyrsb98pmo7x1z

Besnard, S., Heinrich, V.H.A., Carvalhais, N. et al. Global covariation of forest age transitions with the net carbon balance. Nat Ecol Evol (2025). URL: https://www.nature.com/articles/s41559-025-02821-5#citeas

Kaarakka L., Cornett M., Domke G., Ontl T., Dee L.E. Improved forest management as a natural climate solution: A review // Ecol Solut Evid. 2021; 2:e12090.

VCS Methodology. VM0045. Improved forest management using dynamic matched baselines from national forest inventories. Version 1.2 10 July 2025. URL: https://carbonplatform.ru/verra-vm0045

Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля (ФГБУ «ИГКЭ») является научно-исследовательский учреждением Росгидромета. Институт ведёт фундаментальные и прикладные научные исследования, выполняет работы и оказывает услуги в области гидрометеорологии и климатологии, а также смежных с ними, 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.

ISBN 978-5-6055264-0-7
9 785605 526407 >