

ISSN 2410-8758



# Фундаментальная и прикладная климатология

Fundamental and  
Applied Climatology

Том 10 № 3

2024

Фундаментальная и прикладная климатология том 10 № 3 / 2024 г.

Federal Service  
for Hydrometeorology  
and Environmental  
Monitoring (Roshydromet)

ISSN 2410-8758

FUNDAMENTAL AND APPLIED  
CLIMATOLOGY

Volume 10 № 3

Moscow 2024

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ  
КЛИМАТОЛОГИЯ**

Том 10 № 3 2024 год

Научный редактор: М.Ю. Бардин

Выпускающий редактор: В.А. Гинзбург

Технические редакторы:

Л.В. Кудрявцева, И.М. Брускина

Корректор: Л.В.Цибизова

Верстка: Л.А. Прохорова

Формат: 160 x 260

Печать цифровая

Бумага офсетная

Печатных листов:

Тираж 150 экз.

Заказ №

Свидетельство о регистрации СМИ:

ПИ № ФС77-74294 Подписано в печать

Отпечатано в типографии

Федеральная служба  
по гидрометеорологии и мониторингу  
окружающей среды  
(Росгидромет)

ISSN 2410-8758

**ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ  
КЛИМАТОЛОГИЯ**

Том 10 № 3

Москва 2024

---

## ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Научный журнал (4 выпуска в год), публикующий оригинальные и обзорные статьи о процессах и явлениях регионального и глобального масштабов по следующей тематике: формирование климата Земли, естественные и антропогенные факторы изменения климатической системы, выявление и атрибуция трендов ее состояния и соответствующих рисков для природных и социально-экономических систем, вопросы митигации и адаптации. Публикуются также статьи о результатах мониторинга климатической системы и о значительных событиях в научном мире. Издается по решению Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Статьи представляются и публикуются на русском или английском языках. Возможна также публикация переводов статей, опубликованных ранее или же в текущем номере.

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:** С.М. Семенов (главный редактор), М.Ю. Бардин (заместитель главного редактора), А.М. Стерин (заместитель главного редактора), К.Н. Анахаев, А.С. Астахов, Р.В. Бекряев, Е.М. Володин, В.А. Гинзбург, В.Б. Геннадинник, А.В. Елисеев, А.Н. Золотокрылин, А.Л. Иванов, А.В. Кислов, А.В. Клепиков, А.Г. Костяной, В.Н. Крупчатников, С.А. Лавров, Е.С. Нестеров, А.Б. Полонский, Л.А. Прохорова (ответственный секретарь), Э.Я. Ранькова, В.А. Семенов, Ю.Б. Скачков, Е.И. Хлебникова.

Адрес для первичного представления материалов для публикации: РФ, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, д. 20Б, ИГКЭ, Семенову С.М.; [semenov@igce.ru](mailto:semenov@igce.ru).

Международный стандартный номер сериального периодического издания ISSN 2410-8758.

Подписной индекс по каталогу Роспечати – 58364.

Свидетельство о регистрации журнала в форме печатного СМИ:

ПИ № ФС77-74294 от 9 ноября 2018 г.

веб-страница: <https://fa-climatology.ru>.

## FUNDAMENTAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

A quarterly scientific journal publishing original and review papers on events and processes of regional and global scales on the following topics: Earth's climate forming processes, natural and anthropogenic factors of changes in the climate system, detection and attribution of its trends and associated risks for natural and socio-economic systems, mitigation and adaptation issues. Articles presenting the results of climate system monitoring and significant events in the scientific world are also invited. The journal is published according to the decision of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring.

Articles are submitted and published in Russian or English. The publication of translations of articles published in the previous or current issues is also possible.

**EDITORIAL BOARD:** S.M. Semenov (Editor-in-Chief), M.Yu. Bardin (Deputy Editor-in-Chief), A.M. Sterin, (Deputy Editor-in-Chief), K.N. Anakhaev, A.S. Astakhov, R.V. Bekryaev, E.M. Volodin, V.A. Ginzburg, V.B. Gennadinnik, A.V. Eliseev, A.N. Zolotokrylin, A.L. Ivanov, A.V. Kislov, A.V. Klepikov, A.G. Kostianoy, V.N. Krupchatnikov, S.A. Lavrov, E.S. Nesterov, A.B. Polonsky, L.A. Prokhorova (Executive Secretary), E.Ya. Rankova, V.A. Semenov, Yu.B. Skachkov, E.I. Khlebnikova.

Primary submission of manuscripts: Semenov S.M., IGCE, Glebovskaya str, 20B, 107258, Moscow, Russian Federation; e-mail: [semenov@igce.ru](mailto:semenov@igce.ru).

International standard serial number of the periodical ISSN 2410-8758.

Subscription index in the Rospechat catalogue – 58364.

Certificate of registration of the journal in the form of printed media:

ПИ № ФС77-74294 of 09.11.2018.

web-page: <https://fa-climatology.ru>.

---

---

## СОДЕРЖАНИЕ

### ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБЗОРЫ

**Липка О.Н., Андреева А.П., Стишкина С.А.**

Подверженность природных систем суши опасным  
гидрометеорологическим явлениям и пороговые значения  
их воздействий.....329

**Минин А.А., Буйволов Ю.А., Самохина О.Ф., Бардин М.Ю.,  
Демидов В.Э., Лебедев П.А., Поликарпова Н.В.,  
Прокошева И.В., Рыжков О.В., Сапельникова И.И., Фомин  
Б.Н., Шуйская Е.А., Яковлева М.В., Янцер О.В.**

Фенологические тренды в природе России:  
насколько они следуют за изменениями климата?.....378

**Пестунов Д.А., Домышева В.М., Шамрин А.М.,  
Сакирко М.В., Панченко М.В.**

Потоки углерода в процессе газообмена  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$   
в системе «атмосфера-водная среда» прибрежной зоны Байкала.....399

**Семенов С.М., Малеев В.В., Ревич Б.А., Андреева А.П.,  
Богданович А.Ю., Добролюбов Н.Ю., Смирнов В.Д.**

Климатическая информация для адаптационных мер в России  
в секторе «Здоровье населения»: краткосрочная перспектива.....413

### ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Кислов А.В., Янина Т.А.**

Проявление самоподобия в колебаниях уровня Каспийского моря.....439

---

## CONTENTS

### STUDIES AND REVIEWS

**Lipka O.N., Andreeva A.P., Stishkina S.A.**

Exposure of natural terrestrial systems  
to hazardous climate events and thresholds of their impacts.....329

**Minin A.A., Buyvolov Yu.A., Samokhina O.F., Bardin M.Yu.,  
Demidov V.E., Lebedev P.A., Polikarpova N.V., Prokosheva I.V.,  
Ryzhkov O.V., Sapelnikova I.I., Fomin B.N., Shuiskaya E.A.,  
Yakovleva M.V., Yanzer O.V.**

Phenological trends in Russian nature: how much do they  
follow climate changes?.....378

**Pestunov D.A., Domysheva V.M., Shamrin A.M.,  
Sakirko M.V., Panchenko M.V.**

Carbon fluxes in the process of gas exchange of CO<sub>2</sub>  
and CH<sub>4</sub> in the "atmosphere-water" system  
of the coastal zone of lake Baikal.....399

**Semenov S.M., Maleev V.V., Revich B.A., Andreeva A.P.,  
Bogdanovich A.Yu., Dobrolyubov N.Yu., Smirnov V.D.**

Climatic information for adaptation measures in Russia  
in the "Public Health" sector: a short-term perspective.....413

### DISCUSSION PAPERS

**Kislov A.V., Yanina T.A.**

Self-similarity in fluctuations in the level of the Caspian Sea .....439

### **Подверженность природных систем суши опасным гидрометеорологическим явлениям и пороговые значения их воздействий**

*О.Н. Липка<sup>1,2)\*</sup>, А.П. Андреева<sup>1)</sup>, С.А. Стишкина<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,  
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

<sup>2)</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»,  
Россия, 109028, г. Москва, Покровский бульвар, д. 11

<sup>3)</sup> Московская школа практической психологии при Московском институте психоанализа,  
Россия, 115114, г. Москва, Дербеневская наб., д. 11Б, 503

\*Адрес для переписки: [olipka@mail.ru](mailto:olipka@mail.ru)

**Реферат.** Рассмотрены опасные гидрометеорологические явления на территории России, оказывающие существенное разрушительное воздействие на природные системы суши или их отдельные компоненты. Выделена 21 категория: очень сильный ветер, смерч, очень сильный дождь, очень сильный снег, крупный град, сильная метель, сильная пыльная (песчаная) буря, сильное гололедно-изморозевое отложение (включая образование ледяной корки), сильный мороз, аномально-холодная погода, сильная жара, аномально-жаркая погода, чрезвычайная пожарная опасность, суховей, засуха атмосферная, высокий снежный покров, наводнение (разного генезиса), сель, оползень, сход снежных лавин, абразия морских берегов. Для каждого опасного явления определено два уровня пороговых значений: начиная с которого оно становится опасным для природных систем (первый порог) и начиная с которого последствия приобретают катастрофический характер (второй порог). Приведено распределение явлений по биомам при наличии сведений о реализации хотя бы раз за историю наблюдений. Ни в одном из биомов все явления не достигали первого порогового значения. Их максимальное разнообразие (20) отмечено в горных биомех Дальнего Востока. Большее разнообразие опасных явлений первого порогового уровня характерно для южных равнинных биомов от широколиственно-лесных до степных и пустынных, а также для южных горных. Минимальное разнообразие опасных явлений (13) свойственно некоторым арктическим равнинным биомам, а также острову Врангеля. Наиболее подвержены опасным явлениям катастрофического уровня Алтае-Саянский, Прибайкальско-Момский и Южнобайкальский горные биомы. Результаты расчетов ранговой корреляции Спирмена показали отсутствие в большинстве случаев значимой на уровне 0.01 корреляции (зна-

---

чимось двухсторонняя) при сравнении распределения опасных явлений по биомам. При сопоставлении подверженности биомов опасным явлениям разной интенсивности прослеживаются закономерности природной зональности, а также сходство близкорасположенных территорий. Выделяются следующие группы со значимой, высокой и весьма высокой теснотой связи: арктических пустынь и горных тундр; тундровые и лесотундровые; лесотундровые и северотаежные; среднетаежные; южнотаежные, подтаежные и хвойно-широколиственные; широколиственнолесные и лесостепные; степные; пустынные. Теснота связи горных биомов по подверженности опасным явлениям первого и второго порогового уровня друг с другом выше, чем с равнинными биомом.

**Ключевые слова.** Опасные гидрометеорологические явления, природные системы суши, порог опасного явления, интенсивность опасного явления, подверженность опасным явлениям, биом, экосистема.

### **Exposure of natural terrestrial systems to hazardous climate events and thresholds of their impacts**

*O.N. Lipka<sup>1,2)\*</sup>, A.P. Andreeva<sup>1)</sup>, S.A. Stishkina<sup>3)</sup>*

<sup>1)</sup> Yu.A. Izrael Institute of global climate and ecology,  
20B, Glebovskaya st., 107258, Moscow, Russian Federation

<sup>2)</sup> National Research University Higher School of Economics,  
11, Pokrovsky Boulevard, 109028, Moscow, Russian Federation

<sup>3)</sup> Moscow School of Practical Psychology at the Moscow Institute of Psychoanalysis,  
503, 11B, Derbenevskaya embankment, 115114, Moscow, Russian Federation

\*Correspondence address: *olipka@mail.ru*

**Abstract.** Dangerous hydrometeorological phenomena on the territory of Russia that have a significant destructive impact on natural terrestrial systems or their components. 21 categories have been identified: strong wind, tornado, heavy rain, heavy snow, large hail, severe blizzard, severe dust (sand) storm, severe ice and frost deposits (including the formation of ice crust), extreme frost, abnormally cold weather, extreme heat, abnormally hot weather, extreme fire danger, snow avalanches, dry winds, atmospheric drought, high snow cover, floods (of various origins), mudflows, landslides, snow avalanches, abrasion of sea coasts. For each hazardous phenomenon, two levels of threshold values are defined: starting from which it becomes dangerous for natural systems (first threshold) and starting from which the consequences become catastrophic (second threshold). The distribution of phenomena in biomes is given if there is information about impacts at least once in the history of observations. In none of the biomes all events reached the first threshold. Their maximum diversity (20) was noted in the mountain biomes of the Far East. A greater variety of hazardous phenomena of the first threshold level is typical for the southern lowland biomes from broad-leaved forest to steppe and

desert, as well as for the southern mountains. Minimal diversity of hazards (13) is observed in some Arctic lowland biomes, as well as Wrangel Island. Altai-Sayan, Baikal-Momsky and South Transbaikalian mountain biomes are most susceptible to hazardous phenomena of a catastrophic level. The results of Spearman's rank correlation comparing the distribution of hazardous phenomena across biomes showed the absence in most cases of a significant correlation at the 0.01 level (two-sided significance). Comparing the exposure of biomes to hazardous phenomena of varying intensity, patterns of natural zoning, as well as the similarity of nearby territories, can be traced. The following groups with significant, high and very high connections are distinguished: arctic deserts and mountain tundra; tundra and forest-tundra; forest-tundra and northern taiga; middle taiga; southern taiga, subtaiga and coniferous-deciduous forests; broad-leaved forest and forest-steppe; steppe; deserts. The close connection of mountain biomes with each other in terms of exposure to hazardous phenomena of the first and second threshold levels is higher than with plain biomes.

**Keywords.** Hazardous hydrometeorological phenomena, terrestrial natural systems, threshold of a hazardous phenomenon, intensity of a hazardous phenomenon, exposure to hazards, biome, ecosystem.

## Введение

Природные системы (экосистемы, виды, популяции) подвержены опасным и неблагоприятным гидрометеорологическим явлениям в соответствии с географическим положением. При этом чувствительность по отношению к опасному явлению определенной интенсивности у различных компонентов одной природной системы может различаться от отсутствия влияния до уничтожения. Оценить степень угрозы для природных систем можно с помощью выделения пороговых значений, при превышении которых наносится существенный ущерб хотя бы одному из компонентов природной системы в виде масштабных деструктивных нарушений, необратимых изменений или гибели значительной доли популяции живых организмов.

Для антропогенных систем в руководящих документах Росгидромета (РД 52.27.724-2019 (2019); РД 52.88.699-2008 (2008) и др.) представлены типовые перечни метеорологических, агрометеорологических, гидрологических и морских гидрометеорологических опасных явлений и закреплены их критерии. В ряде случаев указанные пороговые значения могут соответствовать уровню, с которого наносится существенный ущерб природным системам. Например, здоровые деревья начинают ломаться при скорости ветра 25 м/с; сильные ливни (30 мм и более за 1 час и менее) и дожди (50 мм и более за 12 ч и менее) приводят к смыву верхнего слоя почвы и растительности, усилению эрозии, в качестве последствий возможны оползни, сели и наводнения; аномально жаркая погода может приводить к угнетению и гибели растительности, возможно ослабление и гибель животных и т.д. Другие опасные явления, важные для антропогенных систем, могут не оказывать существенного влияния на природные, например сильный туман в течение 12 часов и более.

Как правило, оценка воздействия опасных гидрометеорологических явлений на природные системы включает сравнительно небольшой их перечень. Например, для севера Европейской территории России к наносящим наибольший ущерб природным системам были отнесены волны холода и жары, периоды с высокой пожароопасностью, сильные ветры, экстремальные ливни, снегопады, гололедно-изморозевые отложения, град (Васильев, 2022) с пороговыми значениями для антропогенных систем в соответствии с РД 52.04.563-2002 (2002).

Целью данной статьи является определение пороговых значений опасных гидрометеорологических явлений, при которых они наносят существенный ущерб природным системам (или их отдельным компонентам), а также подверженность биомов на территории России выделенным опасным явлениям.

Задачи:

- составление перечня опасных явлений, наносящих существенный ущерб природным системам;
- установление пороговых значений интенсивности для каждого опасного явления на основе воздействия на природные системы;
- выявление пространственного распределения опасных явлений, достигающих пороговых значений, по биомам на территории России.

### **Материалы и методика**

Для природных систем (живые организмы и экосистемы/ландшафты) существенный ущерб рассматривается в виде массовой гибели (повреждений, угнетения) организмов или деградации/необратимой трансформации экосистем. Живые организмы приспосабливаются к абиотическим условиям мест обитания, в том числе к климатическим условиям. Вырабатываются физиологические и поведенческие адаптации, позволяющие выживать в неблагоприятных условиях, включая сезонный период покоя. Репродуктивная стратегия некоторых видов рассчитана на ежегодную климатообусловленную гибель большей части популяции (например, насекомые – вредители лесного хозяйства). В данной работе рассматриваются экстремальные погодно-климатические условия, находящиеся за пределами приспособительной (в некоторых случаях и восстановительной) способности природных систем.

Явления одной природы, оказывающие сходный эффект, были объединены или выбрано наиболее характерное из них. Предпочтение отдавалось явлениям, информация о которых доступна, по данным регулярных наблюдений, для обеспечения сопоставимости. Из морских опасных явлений выбирались оказывающие значительное воздействие на береговую зону и прилегающую часть суши.

Для выделения пороговых значений проводился поиск подтверждения нанесения существенного ущерба природным системам или хотя бы одному из их компонентов. Для природных систем можно выделить два уровня пороговых значений: первый – собственно возможность нанесения существенного ущерба; второй – последствия приобретают катастрофический характер.

---

Соответственно, в зависимости от порогового значения изменяется потенциальная возможность восстановления природных систем, сроки, увеличивается доля необратимых последствий.

Для оценки географического распределения данных об интенсивности опасных явлений использовалась концепция биомов и их границы в соответствии с (Биомы России, 2018; Биоразнообразие биомов России, 2020).

Данные о зафиксированных опасных метеорологических явлениях в границах биома получены на основании обработки статистики 223 станций и справочной информации (Справочник по опасным..., 1997; Разуваев и др., 2020; Булыгина и др., 2023) за максимальный доступный период наблюдений. Данные по опасным гидрометеорологическим явлениям собраны на основе литературных и справочных данных, а также картографических материалов (Справочник по опасным..., 1997; Национальный атлас России, 2007; Атлас природных и техногенных..., 2010; Шамин и др., 2022). Данные о воздействии опасных явлений на природные системы обобщены на основе обзора литературных данных.

В программе QGIS 3.16 проводилось сопоставление границ биомов с информацией об интенсивности опасных явлений, а также построение карт.

Статистическая обработка данных выполнялась в программе IBM SPSS Statistics 22.

## **Результаты и обсуждение**

### ***Опасные явления и их пороговые значения***

Все биомы России подвержены климатическому риску вследствие тех или иных опасных гидрометеорологических явлений (Атлас природных и техногенных..., 2010; Липка, 2022; Третий оценочный доклад..., 2022). При этом тип, число и выраженность опасных явлений варьируют в связи со значительной протяженностью и разнообразием природных условий на территории страны. Возможность проявления более широкого спектра опасных явлений в некоторых биомах (например, чередование засух и наводнений) вынуждает природные системы затрачивать больше ресурсов на восстановление (если оно возможно).

На основе обзора литературных данных и справочной информации для природных систем нами было выделено 21 опасное явление: очень сильный ветер, смерч, очень сильный дождь, очень сильный снег, крупный град, сильная метель, сильная пыльная (песчаная) буря, сильное гололедно-изморозевое отложение (включая образование ледяной корки), сильный мороз, аномально-холодная погода, сильная жара, аномально-жаркая погода, чрезвычайная пожарная опасность, суховеи, засуха атмосферная, высокий снежный покров, наводнение (разного генезиса), селя, оползень, сход снежных лавин, абразия морских берегов (Липка, 2023).

Ниже изложено обоснование определения пороговых значений для каждого из рассмотренных явлений. Описание воздействия на природные системы приводится в следующей последовательности (при наличии дан-

ных): структура ландшафта, растительность, животные (от млекопитающих к беспозвоночным).

**Очень сильный ветер.** Ветровая эрозия является одним из экзогенных факторов трансформации ландшафтов. Перемещение частичек почв легкого гранулометрического состава отмечается при скорости ветра 3-4 м/с, тяжело-суглинистых почв – начиная с 6 м/с. Ветер со скоростью 12 м/с и более приводит к значительной эрозии на участках с обнаженной почвой (Ергина, Жук, 2017).

Ветровал и бурелом может начаться при скорости ветра 10-15 м/с, особенно при поражении древесных пород заболеваниями (Ткаченко, 1952; Сурина, Сеньков, 2015). Ветровалам наиболее подвержена ель, из лиственных пород – береза. От бурелома страдают пораженные болезнями осины и пихты, а сосна подвержена и в здоровом состоянии (Ткаченко, 1952). При скорости ветра более 20 м/с может происходить выпадение массивов леса протяженностью в десятки и сотни километров (Скворцова и др., 1983). В соответствии со шкалой Бофорта, при достижении скорости ветра (в том числе в порывах) 24.5 м/с происходит вырывание деревьев с корнем. При скорости ветра более 25 м/с ветровал и бурелом происходит на всей площади средневозрастных и старых древостоев, особенно опасный на ветроударных (подветренных) склонах и для поверхностно-укоренившихся насаждений на горно-скелетных и заболоченных почвах (Погребняк, 1968; Скворцова и др., 1983; Коробов и др., 2014). При достижении ураганной скорости ветра (33 м/с и более) последствия для экосистем сопоставимы с лесными пожарами (Гледко, Сенькив, 2018) и относятся к катастрофическим (Замолотчиков, Шматков, 2011; Карпачевский и др., 2014; Володькина, Куликов, 2015). Иногда называют «истинно буревальными» ситуации, при которых вывалу подвергаются здоровые деревья, и образуются сплошные площади ветровала при скорости ветра 35-40 м/с (Скворцова и др., 1983). Места механических повреждений деревьев затем поражаются грибами (Нестеров, 1949).

Доля ветровалов в общей площади потери лесного покрова в 2001-2020 гг. в среднем по ЕТР оценивается в 2.6%, в Западной и Центральной Сибири составляет менее 1%, но в отдельных регионах (Ярославская, Костромская, Вологодская, Новгородская, Ленинградская области и юг Карелии) может превышать 10% (Шихов и др., 2023).

Среди климатических факторов, влияющих на успешность размножения птиц, ураганные ветры могут вызвать гибель кладок и птенцов (Маловичко и др., 2016), в том числе гнезда могут быть сброшены ветром с деревьев (Пономарева, 2023). Для млекопитающих в публикациях отмечается не только гибель особей, но и уничтожение местообитаний и кормовой базы, что приводит к вынужденной миграции (Wunderle, Wiley, 1996; Ameca et al., 2019).

В качестве порогового значения опасного явления была выбрана средняя скорость ветра 20 м/с (в порывах – 25 м/с). В качестве критического порогового значения выбрана скорость ветра в порывах не менее 33 м/с, что соответствует параметрам ветров ураганной силы и может вызвать уничтожение

растительности на значительной территории и массовую гибель животных в зоне поражения.

**Смерч.** Смерчи на суше несут огромные разрушения в зоне поражения, приводят к уничтожению растительного покрова, живых организмов. Если на большей части территории РФ скорость ветра при ураганах достигает 30-50 м/с, на Дальнем Востоке 60-90 м/с и более, то в смерче воздух вращается с большей скоростью, поднимаясь по спирали и затягивая пыль, воду, различные предметы (Михайлов, Соломин, 2008; Кобышева и др., 2015). Параметры смерчей и, соответственно, их разрушительное воздействие, могут различаться на порядки: диаметр у земли от 1-10 м до 1.5-2 км; длина пути от 10-100 м до 500 км; вес поднятых предметов может достигать 300 тонн (Акимов и др., 2009).

Помимо ветровой нагрузки, поднятая смерчем масса воды вызывает активные эрозионные и склоновые процессы, аналогичные катастрофическим ливням (в том числе сели и оползни), на побережье – смыв объектов в море (Воробьев и др., 2003; Михайлов, Соломин, 2008; Дорошкова, Тесленко, 2013).

В случае смерча выделять два уровня опасности не представляется целесообразным, т.к. уже само наличие опасного явления приводит к катастрофическим (в том числе необратимым или требующим длительного времени для восстановления) последствиям для природных систем.

**Очень сильный дождь.** Воздействие явления объединено с сильными ливнями и продолжительными сильными дождями, т.к. последствия для природных систем во многих случаях аналогичны. При этом информация об очень сильном дожде наиболее доступна, по результатам наблюдений на метеорологических станциях, в соответствующих биомеханизмах. Очень сильный дождь может являться причиной паводков, схода селей и оползней, которые выделены нами как отдельные опасные явления. В данном случае рассматривается прямой эффект выпадения жидких осадков высокой интенсивности.

Сильные осадки приводят к эрозии, особенно на участках с рыхлыми почвами, слабо задернованными растительностью, или на крутых склонах. Для проявления экстремальных форм плоскостного смыва уклоны земной поверхности должны превышать 3-5°. В результате концентрации стока водных потоков на склонах формируются формы линейной эрозии, в том числе их экстремальные проявления (овраги и балки) (Матвеев и др., 2018), которые могут углубляться на несколько метров в ходе одного ливня (Крыленко и др., 2012). В результате сильных дождей и ливней возможен размыв эрозионно-опасных участков, уменьшается мощность гумусовых горизонтов, ухудшается структура плодородного слоя почв, происходит снижение способности почв к восстановлению, вплоть до утраты почвы на отдельных участках (Коробов и др., 2014; Сангаджиев и др., 2021), водная эрозия в аридных условиях способствует опустыниванию (Зональные типы биомов..., 2003).

Интенсивные дожди могут приводить к масштабным нарушениям лесных экосистем, когда происходит либо смыл отдельных участков леса, либо усыхание деревьев в результате длительного затопления (Замолодчиков,

Шматков, 2011). Ливни могут вызвать гибель кладок и птенцов у разных видов птиц (Маловичко и др., 2016), привести к затоплению нор мелких млекопитающих (Бабич, 2018).

Активные эрозионные и склоновые процессы развиваются при выпадении от 50 мм в сутки для равнинных биомов и 30 мм – для горных. Критическим можно считать двукратное превышение данного порога, т.е. 100 и 60 мм соответственно, при которых возможен смыв растительности.

**Очень сильный снег.** Сильный снегопад приводит к повреждению и даже гибели деревьев в результате снеголома. Эффект относится к основным негативным воздействиям на лесные экосистемы, хотя и уступает по ущербам сильным ветрам и лесным пожарам (Погребняк, 1968; Замолотчиков, Шматков, 2011; Володькина, Куликов, 2015; Сурина, Сеньков, 2015). Например, в странах Евросоюза повреждение снегом ежегодно затрагивает приблизительно 4 млн м<sup>3</sup> древесины, приводя к потерям до нескольких сотен миллионов евро в год (Николаев, Глазунов, 2010).

К снеголому приводит накопление большого количества снега на кронах деревьев (Сурина, Сеньков, 2015): приблизительно 50 кг/м<sup>2</sup> для хвойных пород (сосна) и 25 кг/м<sup>2</sup> – для лиственных (дуб, тополь). Критические значения снегонакопления могут существенно варьировать в зависимости от породы, возраста, размеров дерева и пропорций ствола, а также сопутствующих погодных факторов, например, ветра, особенностей ведения лесного хозяйства (Магазова, Меркер, 2005; Николаев, Глазунов, 2010). Снеговалы затем нередко превращаются в центры распространения частичных и сплошных ветровалов (Скворцова и др., 1983). Повреждение ветвей при сильных снегопадах может быть более массовым, чем повреждения стволов и вывалы деревьев (Николаев, Глазунов, 2010). Участки после снеголома зачастую становятся очагами распространения корневой гнили (Погребняк, 1968). Чаще всего от навала снега страдают перегруженные леса с тонкими и сильно вытянутыми стволами у деревьев. Ущерб от навала снега усиливается тем, что поникающее от перегрузки дерево опирается на кроны соседних, пока еще устойчивых, но находящихся близко к состоянию перегрузки (Погребняк, 1968).

Весенние обильные снегопады могут вызвать гибель кладок и птенцов у разных видов птиц (Маловичко и др., 2016). Млекопитающих сильный снегопад вынуждает остановить поиск пищи, что приводит к голоданию и истощению (Формозов 1990, 2010б).

В качестве опасного явления, приводящего к массовым снеголомам, рассматривается выпадение 20 и более мм/сут., в качестве критического – его двукратное превышение (40 мм/сут.).

**Крупный град.** Град становится причиной серьезных ущербов при достижении диаметра 20 мм. Известны случаи, когда вес градин достигал 2.2 кг (Евсеева, 2017). Чрезвычайные ситуации создаются выпадающим градом диаметром 20 мм и более, площадь поражения при этом может составлять более 1000 га, «градовые дорожки» – достигать в длину 50-60 км, в ширину – 10 км, толщина слоя льда может достигать 10-30 см (Атлас природных и техногенных..., 2010).

Град относится к погодным аномалиям, приводящим к гибели лесных насаждений (Володькина, Куликов, 2015), особенно молодых ветвей и подроста (Ткаченко, 1952). При сильном граде происходит повреждение коры ветвей, срезание концевых побегов и тонких ветвей, что может вызвать заметное ослабление древостоев и их частичное усыхание (Замолотчиков, Шматов, 2011; Рунова, Ткач, 2014). Град диаметром 7 мм и более в период цветения и созревания плодов растений уже опасен, т.к. поврежденные им органы не могут быть восстановлены (Левицкая, 2015), что приводит к бескормице животных. Град может привести к массовой гибели кладок и птенцов у разных видов птиц (Маловичко и др., 2016), иногда – взрослых особей мелких воробьиных, реже – водоплавающих птиц (Березовиков, 2004).

Для природных систем в качестве первого порога опасного явления принят диаметр градин 20 мм, для катастрофического, вызывающего массовые повреждения растительности и гибель животных – 40 мм.

**Сильная метель.** Сильные метели приводят к массовому повреждению деревьев (Казакова, Лобкина, 2017). В периоды с сильными снегопадами и ветрами птицы могут до 3-4 дней не получать никакой пищи. В городских условиях в зимы с длительными метелями гибель голубей составляет до 46% (Скрыпникова, 2008). Млекопитающих сильная метель вынуждает остановить поиск пищи, что приводит к голоданию и истощению, которое происходит особенно быстро под воздействием низких температур и ветра (Формозов 1990, 2010б).

В руководящих документах Росгидромета «сильная метель» определяется как «средняя скорость ветра не менее 15 (в отдельных регионах 20 и более) м/с при МДВ не более 500 м продолжительностью не менее 12 ч» (РД 52.88.699-2008, 2008). В некоторых регионах, например, на Сахалине, сильные метели характеризуются высокой продолжительностью – более 600 ч за зиму (Казакова, Лобкина, 2017). Если говорить о ветровом воздействии на природные системы, то для метелей пороговые значения должны быть снижены по сравнению с сильным ветром, т.к. к негативному ветровому воздействию добавляется снегоперенос и низкие температуры. В качестве порога опасного явления может быть принят максимальный объем снегопереноса раз в 20 лет: более 400 м<sup>3</sup> на один погонный метр, в качестве второго порога – 1000 м<sup>3</sup> (Национальный атлас России, 2007).

**Сильная пыльная (песчаная) буря.** Ветер служит главным агентом формирования процессов дефляции (Матвеев и др., 2018). При скорости ветра более 20 м/с пыльные бури могут возникать на участках с несомкнутой растительностью. При этом почва может выдуваться на глубину от 3 до 10 см (Ергина, Жук, 2017). Зимой, при небольшой высоте снежного покрова, отмечаются снежно-пылевые бури (Кузьмин, 2019). При скорости ветра 40 м/с и более в 1969 г. пыль поднималась до высоты 1200 м, с отдельных участков был унесен слой почвы толщиной более 10 см, в местах отложения образовались покровы мелкозема до 15 см толщиной (Михайлов, Соломин, 2008; Кузьмин, 2019). В результате пыльных бурь возможно формирование барханов до 4 м высотой (Евсеева, 2017).

Ветры со скоростью более 10 м/с уносят частицы верхнего слоя почвы, оголяя корневую систему. При скорости ветра 15-25 м/с переносимые частицы почвы наносят растениям механические повреждения: разрывают листья, ломают побеги, растения выдуваются из почвы и быстро погибают (Лосев, Журина, 2001). Угрозу для птичьих гнёзд представляют пыльные бури со скоростью ветра до 20-30 м/с (Пономарева, 2023). Пыльные бури приводят к резкому сокращению численности животных, в том числе из-за уничтожения кормовой базы (Волох и др., 1988).

В качестве пороговых значений по скорости ветра приняты следующие: 15 м/с (повреждаются растения) и 25 м/с (значительное выдувание почвы, в том числе вместе с травянистыми растениями, угроза для жизни животных).

**Сильные морозы** создают угрозу вымерзания деревьев (Гледко, Сенькив, 2018). Особенно опасно повреждение низкими температурами корневой системы в начале зимы, до формирования устойчивого снежного покрова (прежде всего в лесостепной и степной зонах), а также после оттепелей, т.к. морозоустойчивость корней деревьев гораздо ниже, чем кроны (до -8...-15°C) (Лосев, Журина, 2001).

Гибель деревьев под влиянием низких температур наблюдается достаточно редко, но может охватывать большие территории. Зима 1939-1940 гг. нанесла ущерб лесам на территории от Беларуси до Урала. Особенно пострадали молодые деревья (до 20-30 лет), наиболее высокие, а также опушечные. Ели, потерявшие до 60% хвои, гибли в течение одного-двух лет (Ткаченко, 1952). В лесостепной зоне массовое вымерзание старых древостоев дуба на больших площадях отмечается 1-2 раза в 100 лет, когда температура опускается до -40-42°C (аналогично – осень). Для бука критическими являются температуры вымерзания -35-40°C, для клена явора и граба – -38°C, для тропических жестколистных вечнозеленых растений – -20-22°C (Погребняк, 1968). Сильные морозы (ниже -50°C) являются критическими факторами холодового стресса таежных древесных растений (Сурина, Сеньков, 2015). В тундре и лесотундре при сильных морозах повреждаются и отмирают части растений, находящиеся выше снежного покрова (Соловьев и др., 2015).

При сильных морозах увеличивается глубина промерзания почвы, что приводит к массовой гибели беспозвоночных (Соловьев и др., 2015). Насекомые вырабатывают специальные приспособления для снижения точки переохлаждения, ниже которой возможно замерзание до -30°C, а для насекомых арктической зоны – ниже -60°C (Чернышев, 1996).

Небольшие реки и водоемы промерзают до дна, что сопровождается гибелью рыб (Соловьев и др., 2015).

Птицы в сильные морозы быстро истощаются, теряя до 50% веса, слабеют, а нередко и гибнут от голода, переохлаждения и хищников. Особенно сильно страдают фазаны, кеклики, серые и бородатые куропатки, дрофы, тростниковые овсянки северных подвигов и многие другие (Слудский, 2020). В зимний период из-за бескормицы гибнет до 80-90% зимующих и оседлых птиц, по другим сведениям – до 60%. Наблюдалась массовая гибель воробьев в зимние морозы при отсутствии корма. Численность зимующих в лесах птиц

---

колеблется по годам в десять и более раз в зависимости от погоды и урожая плодов деревьев и кустарников (Димитриев, Шилов, 2017). Для тетеревиных птиц известны случаи гибели при сильных морозах и недостаточной высоте снежного покрова или при очень большой его плотности, лишаящей птиц возможности закопаться и укрыться (Формозов, 2010а). В сильные морозы также отмечалась гибель птиц, зимующих вблизи водоемов с открытой водой. При температуре ниже  $-40^{\circ}\text{C}$  среди уток отмечались случаи гибели не только от истощения, но и в результате обмерзания оперения, особенно маховых перьев. Часть птиц вмерзала в лёд, другие замерзали, выбравшись на берег (Березовиков, 2014).

Сильные морозы являются одной из причин гибели зимой копытных, особенно косули. Низкие зимние температуры особенно опасны для молодых животных. Основными причинами смертности считаются истощение, воспаление желудочно-кишечного тракта, легких, уязвимость ослабевших зверей к нападению хищников. Для кабана подземные корма и свободная вода становятся труднодоступными (Иванюков, Рыльков, 2015). Сильные морозы, особенно в сочетании с ветрами (более 15 м/с), приводят к истощению и массовой гибели северных оленей (Колесников и др., 2018).

В качестве первого порога принято минимальное значение температуры воздуха  $-35^{\circ}\text{C}$ . При данной температуре холодовой стресс оказывает значительное воздействие на живые организмы, в том числе приводя к их гибели (особенно в случае продолжительных холодов или в сочетании с ветреной погодой). В качестве второго порога выбран показатель  $-50^{\circ}\text{C}$ , близкий к пределу физиологической возможности выживания незащищенных животных и растений.

**Аномально холодная погода.** Показатель более точно, чем сильный мороз, может отражать воздействие на природные системы, т.к. температурный порог будет существенно различаться в зависимости от биома. Например, среднесуточная температура ниже  $-30^{\circ}\text{C}$  будет критичной для Московской области и нормальной для территории Якутии. В то же время на Черноморском побережье Кавказа похолодание до  $-15^{\circ}\text{C}$  может привести к вымерзанию субтропических широколиственных лесов (Ткаченко, 1952).

Влияние низких температур на жизнедеятельность древесных пород в значительной степени определяется характером изменения температуры воздуха до и после минимального значения, чувствительностью отдельных пород к низким температурам, фазой развития растения. Поздние или ранние заморозки, резкое сильное похолодание после оттепели зимой могут оказать более негативный эффект, чем морозная погода. Наиболее чувствительны к заморозкам древесные породы в начале и в конце вегетационного периода, особенно в первые годы жизни (Ткаченко, 1952).

По степени чувствительности к заморозкам древесные породы подразделяются на три группы: очень чувствительные (ясень, пихта, бук, ель, пихта кавказская, каштан съедобный, акация белая, орех грецкий); менее чувствительные (клен, лиственница, сосна); устойчивые (ольха, береза, осина, рябина, каштан конский) (Нестеров, 1949; Ткаченко, 1952). Также негативное

воздействие аномальных холодов на деревья в лесу проявляется в выжимании растений из почвы, побивании побегов растений, отмирании кроны и гибели взрослых деревьев при исключительно низких температурах (Ткаченко, 1952).

Морозобойные трещины могут возникать при заморозках или продолжительных периодах сильных холодов. Наиболее подвержены: дуб, берест, ильм, вяз, ясень, клен остролистный (Погребняк, 1968).

Для животных эффект аномально холодной погоды может совпадать с последствиями сильного мороза, в том числе при более высоких температурах в связи с длительностью воздействия. Даже при близких к 0°C положительных температурах возможна гибель потомства у млекопитающих. Задержка начала вегетации или раннее ее окончание также ведут к ослаблению и гибели животных от бескормицы (Ткаченко, 1952). Среди климатических факторов, влияющих на успешность размножения птиц, катастрофическими являются, в том числе, весенние и летние заморозки, которые могут вызвать гибель кладок и птенцов у самых разных птиц. В Центральном Предкавказье возврат холодов и связанная с ним гибель птиц – довольно частое явление (Маловичко и др., 2016). В Коми в 1930 г. сильные заморозки начались в период, когда тетеревиные птицы уже сидели на гнездах, выпал снег. Яйца погибли, численность популяции резко снизилась (Ткаченко, 1952).

Первый пороговый уровень – в холодный период года (включая переходные периоды) в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха ниже климатической нормы на 7°C и более – может наблюдаться в каждом из биомов достаточно регулярно. В качестве второго критического порога можно принять понижение на 15°C и более, которое отмечается значительно реже, но приводит к вымерзанию лесов или массовой гибели животных.

**Сильная жара.** Тепловой перегрев воздуха вызывает иссушение почв, гибель растений и тепловые удары животных (Атлас природных и техногенных..., 2010).

При температуре выше 30°C скорость развития и прироста растений быстро замедляется, а затем наступает их угнетение и возможна гибель (Левицкая, 2015). При температурах +50-54°C у растений свертываются коллоиды плазмы, и клетка погибает. Зачастую воздействию экстремально высоких температур подвергаются слабо одревесневшие всходы древесных пород и однолетние сеянцы (особенно у хвойных). Возникает так называемый «ожог корневой шейки» – части растения, которая соприкасается непосредственно с почвой, при разогреве почвы до +55-60°C. Аналогичные ожоги возможны на освещенных с южной стороны стволах деревьев (как правило, до этого находившихся в тени) с темной и тонкой корой: пихта, ель, бук, граб, ясень и др. В результате ожога камбия кора отмирает, шелушится, обнажая незащищенную древесину (Нестеров, 1949; Погребняк, 1968). В жаркие летние дни в средних и южных широтах получают ожоги листья кленов, конского и благородного каштанов, хвоя ели, пихты и др. (Погребняк, 1968).

Для птиц неблагоприятны периоды сильной жары. При температурах +32-35°C потребление корма домашними птицами существенно снижается, возникает опасность теплового стресса, при +35-38°C тепловой стресс неминуем, существенно падает потребление корма в сочетании с резким повышением потребления воды, при температуре +38°C и более жизнь птицы оказывается под угрозой (Фисинин, Кавтарашвили, 2015). Зафиксирован случай массовой гибели птенцов при температуре +35 ...+38°C, когда гнезда были расположены на открытой каменистой поверхности острова (Березовиков, 2008). При температурах +45-50°C возможна гибель птиц от недостатка доступных насекомых (Маловичко, 1999). В конце июня 2010 г., когда в течение нескольких дней как в Забайкалье, так и на территории Монголии температура воздуха поднималась до +45-50°C, погибло от 20% до 70% детенышей в разных группировках дзерена (Кирилюк, Лущекина, 2017).

Активная жизнедеятельность наземных моллюсков возможна лишь в узком температурном диапазоне: слизни и улитки погибают или впадают в состояние диапаузы при температуре выше +30°C. Аналогично гибнут кладки беспозвоночных. Гусеницы некоторых видов не могут развиваться при температуре выше +25°C (Соловьев и др., 2015). Черные тараканы во влажном воздухе быстро погибают при +38°C, а в сухом, обеспечивающем испарение, выживают некоторое время при +48°C (Чернышев, 1996).

В качестве пороговых значений приняты: максимальная суточная температура воздуха +35°C (разогрев поверхностей деревьев и почвы превышает +55-60°C) и +45°C (тепловой перегрев и гибель животных, усыхание растений).

**Аномально жаркая погода.** Эффект продолжительных аномально высоких температур близок к сильной жаре, но возможен и при более низких температурах теплого периода вследствие продолжительности воздействия.

Длительные периоды экстремально высоких температур способствуют активной деградации многолетнемерзлых пород (Третий оценочный доклад..., 2022). Происходит снижение содержания кислорода и усиление биогенного загрязнения водоемов за счет массового размножения водорослей с последующим «цветением» воды, нередко сопровождающееся массовым замором рыб (Коробов и др., 2014). Случаи аномально жаркой погоды приводят к угнетению растений, а также угнетению адаптационного механизма терморегуляции организма любого теплокровного животного (Печенкина, 2017). Аномально жаркая погода летом в южных регионах приводит к формированию устойчивых очагов саранчи и появлению ее наиболее опасных форм (Коробов и др., 2014). В жаркую и сухую погоду саранчовые развиваются быстрее и менее подвержены различным заболеваниям. В результате повышается выживаемость и плодовитость саранчовых, что приводит к увеличению численности популяций (ФАО, 2020).

Тенденция сокращения численности и видового разнообразия ключевых опылителей связывается с повышением максимальной температуры воздуха и волнами тепла. Она несет угрозу для энтомофильных (липа, яблоня, груша, кизил и т.д.) лесных деревьев и кустарников, для огромного числа видов тра-

вянистых растений и, возможно, для деревьев со смешанным опылением (дуб). В свою очередь, сокращение плодоношения в природных и субприродных местообитаниях означает снижение трофических ресурсов для многих беспозвоночных и позвоночных животных (Коробов и др., 2014).

Пороговые уровни по значениям симметричны аномально холодным периодам. Первый – в теплый период года в течение 5 дней и более значение среднесуточной температуры воздуха выше климатической нормы на 7°C и более – может наблюдаться в каждом из биомов. В северных регионах для некоторых видов погода будет даже благоприятной, но приведет к необратимой деградации ландшафтов на многолетнемерзлых породах. Второй порог – выше на 15°C и более не менее 5 дней, отмечается не на всей территории страны и значительно реже, но приводит к катастрофическим последствиям для живых организмов.

**Чрезвычайная пожарная опасность.** В данной работе мы рассматриваем пожароопасность как создание условий для развития природных пожаров. Возгорание и нанесенный природным системам ущерб будет зависеть во многом от антропогенных факторов: причина возгорания, быстрота обнаружения, реализация профилактических противопожарных мероприятий, эффективность тушения и т.д.

Огонь в той или иной степени воздействует на растительность всех природных зон, особенно значительно в зоне хвойных лесов и в областях со средиземноморским климатом. Катастрофический пожар может полностью уничтожить лесную растительность на определенном участке, когда почва выгорает до минерального субстрата (Карпачевский и др., 2014). Болота относятся к изначально переувлажненным местообитаниям, но при экстремальных засухах огонь может их повреждать, а мелкозалежные болота могут высыхать и выгорать практически полностью (Второй оценочный доклад..., 2014). В последние десятилетия частота повторения пожаров превышает время, необходимое для восстановления растительных сообществ, близких к коренным. Например, вершины приладожских селыг подвергаются верховым пожарам не менее 1 раза за 50 лет. Леса наиболее сухих местообитаний северо-запада ЕТР горят приблизительно каждые 20 лет (Зональные типы биомов..., 2003). В то же время длительность сукцессии восстановления елового леса в южной тайге А.А. Тишков (1979) оценивает в 120-150 лет, причем период одинаков при восстановлении леса как после рубки, так и после пожара (Зональные типы биомов..., 2003).

Природные пожары приводят к гибели животных, нарушению их местообитаний и кормовой базы, созданию преград на путях их миграций (Нестеров, 1949; Кузьмин, 2019). В глобальном масштабе в 1979-2013 гг. средняя продолжительность пожароопасного сезона возросла на 19% (Jolly et al., 2015; Киселев, Кароль, 2017).

На гибель животных влияют, в том числе, поведенческие особенности. Например, в отличие от белок, зайцев, медведей, лосей, изюбрей, косуль и т.д., соболи не стараются уйти от надвигающегося пожара, а прячутся в норах, дуплах, россыпях или укрываются в пустотах среди корней и крон

деревьев. В результате в зоне пожара погибает от 80 до 98% популяции (Наумов, 2014).

На территории России уровень пожарной опасности рассчитывается по индексу Нестерова (Росгидромет, 2012). Значение  $10\,000\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{сут.}$  считается критическим для лесных территорий и соответствует наивысшему V классу пожарной опасности. В степных и тундровых биомах критический уровень значения понижается региональными УГМС до  $3000\text{--}6000\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{сут.}$ . Однако уже при достижении значения индекса Нестерова выше  $1000\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{сут.}$  (средний класс пожарной опасности по ГОСТ Р 22.1.09-99, 2000) большинство источников огня приводит к возникновению лесных пожаров (Энциклопедия лесного хозяйства, 2006).

Для природных систем в качестве первого порогового значения нами было принято  $1001\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{сут.}$  по шкале Нестерова, а значение для критического может различаться по регионам в соответствии с принятыми УГМС значениями от 3000 до  $10\,000\text{ }(^{\circ}\text{C})^2\cdot\text{сут.}$  (Липка, 2023).

**Засуха атмосферная.** Определение атмосферной засухи используется в соответствии с РД 52.04.563-2002 (2002). Повторяемость засух на территории России закономерно увеличивается с севера на юг и достигает максимума в степных и пустынных биомах (Росгидромет, 2012).

Даже на севере России (в Архангельской области) повреждение летней засухой относится к одной из основных причин лесных нарушений (Сурина, Сеньков, 2015). Примеры гибели лесов в результате засух многочисленны (Погребняк, 1968; Энциклопедия лесного хозяйства, 2006; Второй оценочный доклад..., 2014; Володькина, Куликов, 2015). Также отмечалось ускорение смертности деревьев из-за роста частоты засух во многих регионах (Второй оценочный доклад..., 2014).

Засухи приводят к снижению продуктивности растительности, что, в свою очередь, приводит к недостатку кормов для животных. Бескормица может проявиться не только в засушливый сезон, но и в последующий осенне-зимний период, что может привести, в том числе, к снижению численности птиц (Коробов и др., 2014). В разгар засухи в июле 2010 г. отмечалась гибель кротов. Пересыхание водоемов привело к массовой гибели рыбы, крупных двустворчатых моллюсков, также известны случаи гибели полуводных млекопитающих – выдры, ондатры, бобра (Соловьев и др., 2015). Засухи являются одной из причин массовой гибели копытных, в том числе – сайгаков (Каримова и др., 2021).

В масштабе страны наиболее удобным индексом для оценки воздействия засух на природные системы является индекс Д.А. Педея –  $S_i$  (Черенкова, 2015), т.к. он пригоден для любой природной зоны России и для любого промежутка времени (декада, месяц, сезон) (Разуваев и др., 2020).

В качестве первого порога нами выбрано значение сильной засухи – 3.0. По месячным данным Научно-прикладного справочника «Климат России» (Разуваев и др., 2020), в каждом биомах хотя бы раз за историю наблюдений уровень достигался. В качестве второго (катастрофического) порога было выбрано значение – 4.0, соответствующее экстремальной засухе. Оно фикси-

ровалось в ряде регионов, например, в условиях экстремальных засух 1972, 1999 (Кононова, 2017) и 2010 (Галимова и др., 2019) гг., когда экстремальной засухой было охвачено 37% ЕТР (Золотокрылин, Черенкова, 2012).

**Суховей.** Для антропогенных систем суховей определяется как «ветер скоростью 8 м/с и более при температуре выше 25°C и относительной влажности не более 30%, наблюдающиеся хотя бы в один из сроков наблюдений в течение трех дней подряд и более в период цветения, налива, созревания зерновых культур» (РД 52.04.563-2002, 2002). Воздействие на природные системы аналогично засухам, но негативные последствия наступают раньше.

В ветреную погоду наблюдается усиление испарения и транспирации, быстро снижается влажность почвы, а также уровень воды в водоемах (Коробов и др., 2014). Многодневные суховеи бывают особенно губительны для растительности, тем более если они не прекращаются ночью (Слиже, Семенова, 2017). Повышая транспирацию деревьев при недостатке воды в почве, суховеи могут вызвать суховершинность, а иногда и привести к гибели деревьев (Ткаченко, 1952; Энциклопедия лесного хозяйства, 2006). Угнетение и гибель растительности, вызванные суховеем, в дальнейшем приводят к бескормице и гибели животных.

Шкала воздействия на сельскохозяйственные растения была предложена Е.А. Цубербиллер (Цубербиллер, 1966; Журина, 2023). В зависимости от дефицита насыщения в 15 часов, согласно Е.А. Цубербиллер, различают следующие типы суховеев: 15-19 гПа – слабый; 20-29 гПа – средний; 30-39 гПа – интенсивный; более 40 гПа – очень интенсивный (Разуваев и др., 2020). Для природных систем, как более устойчивых по сравнению с сельскохозяйственными, интенсивные суховеи (сильное увядание и усыхание вегетационной массы) могут быть приняты в качестве первого порога опасного явления, очень интенсивные (быстрое и сильное повреждение вегетационной массы) – в качестве критического.

**Гололедно-изморозевые отложения / ледяная корка.** Считается, что по максимальному весу оледенения гололедно-изморозевые явления наиболее опасны на территории Северного Кавказа и Калмыкии (до 1060 г/м), Сахалина (до 1600 г/м), Алтая (до 1640 г/м) (Кузьмин, 2019). Если на большей части территории страны случаи гололеда отмечаются зимой (после оттепелей) или в переходные сезоны, то в Арктике они возможны в период календарного лета. Например, на о. Вайгач максимальное число дней с гололедом наблюдается в июне (Вайгач. Остров..., 2011).

Из числа сильных гололедно-изморозевых отложений для природных систем наибольшую опасность представляют ледяная корка, а также последствия «ледяных дождей». Ледяная корка считается опасным агрометеорологическим явлением, если при толщине 5 мм она удерживалась более 10 дней (Третий оценочный доклад..., 2022; РД 52.88.699 – 2008, 2008). Наиболее опасна для травянистых растений притертая корка, смыкающаяся с поверхностью грунта. Степень повреждения зависит от ее толщины, составляющей в среднем 20 мм (может достигать 100 и более) и продолжительности залегания. Травы гибнут под притертой к почве коркой вследствие нарушения газо-

обмена (недостатка кислорода и избытка углекислого газа). Кроме того, происходят механические повреждения: разрыв корешков, вмёрзших в лёд (Лосев, Журина, 2001).

Выпадение жидких осадков в зимние месяцы при последующих обильных снежных осадках, чередование теплых и экстремально холодных дней могут способствовать образованию ожеледи и ледолома (Энциклопедия лесного хозяйства, 2006; Замолодчиков, Шматков, 2011; Голубев и др., 2013; Сурина, Сеньков, 2015). На ветвях деревьев могут скапливаться значительные массы льда, происходит обламывание хрупких ветвей и вершин (Ткаченко, 1952; Погребняк, 1968).

Ледяную корку как причину массовой гибели мелких грызунов (мыши, полевки, лемминги) неоднократно отмечали в разных природных зонах России. Возможны каскадные эффекты, когда песцы остаются без корма и зимой среди них вспыхивают эпизоотии, вызывая массовую гибель (Формозов, 2010б). Падеж северных оленей из-за формирования ледяной корки отмечался на о. Колгуев в 2013 г., Ямале в 2014 г. (Колесников и др., 2018). На о. Врангеля гололед в сочетании с высоким снежным покровом привел к сокращению популяции северного оленя с 8-10 тыс. до 450-500 голов за период с 2004 по 2007 гг. (Казьмин, Абатуров, 2009). В России и Казахстане ледяная корка является одной из причин массовой гибели сайгаков (Каримова и др., 2021), в Монголии и Забайкалье – дзеренов (Кирилюк, Лушекина, 2017). Описаны случаи гибели тетеревиных птиц, ночующих, зарывшись в снег, после того как ночью прошел «ледяной дождь» и сформировался наст до 10 см толщиной (Формозов, 2010а; Слудский, 2020).

В качестве первого порогового значения нами выбрано формирование гололеда, толщиной в 10 мм, в качестве второго порога – 20 мм.

**Высокий снежный покров** не рассматривается как опасное явление для антропогенных систем, но может стать причиной массовой гибели животных. Высота снежного покрова оказывает влияние на одну из важнейших популяционно-динамических характеристик – выживаемость. В период многоснежья животные гибнут от хищников, нехватки пищи, внутривидовой конкуренции (Ревуцкая, 2009).

Для копытных видов существует так называемая «критическая глубина» снега. Она достигает следующих значений для разных видов: дзерен – 20 см (Кирилюк, Лушекина, 2017), кабан – 30-40 см, косуля – 40-60 см (европейская – 30-40 см (Иванюков, Рыльков, 2015)), благородный олень (изюбрь) – 50-60 см (алтайский марал – 70 см), лось – 90-100 см. При более глубоком снеге передвижение и добыча пищи становятся крайне трудными (Насимович, 1955; Формозов, 1990). В многоснежные зимы в стадах лосей отмечали гибель значительной части слабых особей, снижение плодовитости (Формозов, 2010б). Из птиц в многоснежные зимы гибнут от бескормицы: темнобрюхий улар, серая куропатка, белая куропатка (Слудский, 2020).

В качестве первого порога нами было принято значение максимальной за зиму высоты снежного покрова 40 см (критично для европейской и кавказской косули, кабана и северного оленя). В качестве второго порога – 60 см

(критично для сибирской косули и большинства подвидов благородного оленя).

**Наводнения.** Затоплению подвержено более 400 тыс. км<sup>2</sup> территории страны. По генезису наводнения могут произойти в результате половодий, дождевых паводков, заторов, зажоров, прорыва ледниковых озер и др. (Национальный атлас России, 2007; Кузьмин, 2019). К регулярным паводкам и половодьям природные системы приспособлены достаточно хорошо (временное затопление поймы). В качестве опасных явлений рассматриваются ситуации, когда уровень воды значительно превышает средние значения. Продолжительность стояния воды также имеет значение. При длительных периодах заливания в почвах с грубым гумусом образуются ядовитые для деревьев и кустарников закисные соединения железа (Ткаченко, 1952).

Ситуация усугубляется, если наводнение сопровождается прорывом защитной дамбы, что приводит к резкому дополнительному подъему уровня воды и расширению зоны затопления. Известны катастрофические последствия в апреле 2024 г. в Оренбурге и Орске (Уварчев, 2024) и 2019 г. в Иркутской области – Тулунское наводнение (Орлов, Чернов, 2019).

Во время паводков и половодий происходит русловая деформация, которая может быть как горизонтальной, изменяющей положение русла реки на пойме, так и вертикальной при изменении отметки уровня его дна. Повышается вероятность схода обвалов и оползней. Аккумуляция речных наносов приводит к уменьшению пропускной способности русла и поймы реки. Во время заторных наводнений интенсивная деформация русла и поймы происходит не только под влиянием высоких скоростей водного потока, но и под механическим воздействием льда, который срезает острова и береговые выступы в русле реки, очищает его от наносов, разрушает берега и выпахивает пойму. Во время катастрофических наводнений особенно сильно изменяется химический состав природных вод, ухудшаются их качественные показатели (Истомина и др., 2005).

К наиболее типичным последствиям наводнений для живых организмов относятся: изменение численного и видового разнообразия биоценозов, массовая гибель животных (особенно при быстром затоплении речной поймы, нанося значительный ущерб популяциям амфибий, рептилий, птиц и млекопитающих, приводя к общей дестабилизации зоокомплексов), угнетение и частичная гибель растительности (Истомина и др., 2005; Евсеева, 2017). Наводнения относят к катастрофическим природным явлениям, способным привести к макронарушениям лесных экосистем (Лосев, Журина, 2001; Карпачевский и др., 2014). Разрушительная сила зависит не только от площади и продолжительности затопления, высоты подъема воды, но и от ее скорости. Так, при высоте в 1 м и скорости 1 м/с большинство животных не может спастись, при скорости 3 м/с наводнение приводит к разрушению домов и подмывает деревья, при скорости 5 м/с по дну потока катятся валуны 10-50 см в диаметре (Евсеева, 2017).

Наступление воды заставляет животных спасаться бегством на более высокие места. Однако скорость передвижения и силы многих видов животных

(черепахи, некоторые змеи и ящерицы, ежи, кроты, землеройки, мышевидные грызуны) недостаточны, чтобы спастись от быстро распространяющейся воды. Во время наводнения гибнут и многие крупные млекопитающие, так как большие расстояния до берега иногда оказываются непосильными даже для хорошо плавающих животных. В некоторых случаях животные теряют способность ориентироваться в пространстве, что также приводит к их гибели. Значительно сокращается численность птиц, гнездящихся в зарослях камышей и тростников, на ветлах и других древесно-кустарниковых видах, произрастающих в поймах и на прирусловых валах. Весенне-летние наводнения приводят к гибели отложенных яиц и молодняка птиц. Непосредственное влияние наводнений также выражается в барьерной роли образовавшихся зон затопления, что вызывает нарушение массовых сезонных миграций животных. Хотя дикие копытные хорошо плавают, затопленные территории нередко становятся непреодолимым препятствием на путях их миграций (Истомина и др., 2005).

Например, половодья регулярно приводят к гибели зайцев как за счет недостаточной площади и количества убежищ, так и за счет повышения уязвимости по отношению к хищникам в этот период (Зыкова, 1967). Особенно высокие половодья и зимние паводки приводят к гибели бобров (Завьялов и др., 2015). Весенний паводок в 1993 г. на Тоболе послужил причиной гибели 86% птичьих кладок. Повышенная толерантность к воздействиям паводков отмечена у чирка-свистунка (42%), лисухи (45%), серой утки (53%), гнездовые станции которых были меньше подвержены затоплению. Наоборот, у серой цапли, большой выпи, пеганки, свиязи, шилохвостки, широконоски, чирка-трескунка и красноголового нырка все гнёзда оказались под водой (Калинин, 2015).

Районирование территории по максимальному превышению уровня начала затопления (Национальный атлас России, 2007) выделяет 0.8-1.5 м для антропогенных систем как умеренно опасный, но для животных он будет являться чрезвычайно опасным (второй порог), а уровень 0.3-0.8 – опасным (первый порог).

**Сели.** В широком понимании в России селеопасными считаются (по разным оценкам) от 8 до 20% территории (Атлас природных и техногенных..., 2010; Кузьмин, 2019). Однако при более детальной дифференцированно-ранжированной оценке селеопасности бассейнов водотоков основная площадь селевых водосборов (более 80-90%) оказывается безопасной в отношении селей, а уровень селеопасности в оставшейся их части имеет меньшие значения, чем кадастровые, рассчитанные по максимуму для всего бассейна (Анахаев, 2018; Анахаев и др., 2023).

Согласно данным МЧС (Атлас природных и техногенных..., 2010), на территории России достаточно много недоизученных труднодоступных регионов, в которых потенциально также могут развиваться сели. Опубликованные кадастры селевых бассейнов для хорошо изученных регионов могут быть неполными или включать ошибочные данные (Анахаев, 2019).

Длина русел селей может составлять от нескольких десятков метров до нескольких десятков километров, ширина – от 3 до 100 м (в зоне аккумуляции

– до 300 м и более). Глубина селевого потока достигает 1.5-15 м, высота селевых валов достигает 3-4 м и более, диаметр влекомых валунов – 2-3 м и более. Скорость движения селей в среднем колеблется в пределах от 2 до 10 м/с и более (Михайлов, Соломин, 2008; Макаров и др., 2014). По объему селевые потоки варьируются в очень широких пределах: от очень мелких – микроселей (объем выноса менее 1 тыс. м<sup>3</sup>) до гигантских (объемом более 1000 тыс. м<sup>3</sup>). Для среднегорий максимальное значение объема выноса составляет порядка 500 тыс. м<sup>3</sup>, а в высокогорьях может достигать 5-10 млн м<sup>3</sup> (Атлас природных и техногенных..., 2010; Перов, 2012). Селевые потоки дождевого генезиса составляют более 90% от всех типов селей (Анахаев и др., 2023).

При прохождении селей полностью разрушается экосистема и уничтожается ихтиофауна в селевом русле реки (ручья). Сели приводят к углублению эрозионных лотков, а также «заплыванию» грунтом растительности в зоне аккумуляции. Формируются ложбинные крупноглыбовые комплексы, возможна перестройка речной сети в результате закупорки русел грязекаменными отложениями (Макаров и др., 2014). Данные о гибели животных в литературных источниках не приводятся. Возможно нарушение путей миграции селевыми потоками. Восстановление растительного покрова после прохождения селей происходит медленно. Например, в долине р. Баксан (Северный Кавказ) для формирования пионерных группировок растительности на конусе выноса потребовалось 8-20 лет, для сложных группировок с древесным подростом – 50-60 лет, для формирования лесного фитоценоза, близкого по флористическому составу к ненарушенному сообществу уходит 100 и более лет (Перов, 2012).

В качестве первого показателя нами было выбрано подтвержденное наличие явления в пределах биома. В качестве второго показателя выбран достаточно высокий порог – 50-500 тыс. м<sup>3</sup> (Атлас природных и техногенных..., 2010; Перов, 2012). Сель такого объема относится к крупным, приводит к существенной переработке горной долины и необратимым изменениям в рельефе.

**Оползни.** В отличие от селей, оползни носят площадной характер. Даже небольшие по объему приводят к необратимым изменениям в ландшафтах. К поражающим факторам относятся: удары движущихся масс горных пород, заливание и заваливание этими массами ранее свободных пространств (захоронение экосистем под толщами), перекрытие русел рек, гибель животных и трансформация ландшафта. Среди несейсмических причин образования оползней выделяют интенсивные осадки и таяние снега (Николкина и др., 2013). В России по условиям рельефа и геологическим особенностям значительные территории относятся к оползнеопасным районам различной степени активности (ФГБУ «Гидроспецгеология», 2022; СП 115.13330.2016, 2018; Атлас природных и техногенных..., 2010). Процессу подвержены не только горные биомы, но и равнинные. Например, в Белгородской области оползнями поражены не только склоны долин рек, но в еще большей степени – овражно-балочные системы (Петина и др., 2009).

Крупные оползни вызываются, как правило, естественными причинами и образуются вдоль склонов на сотни метров, их толщина составляет 10-20 м

и более. Масштаб оползней характеризуется площадью: грандиозные – 400 га и более, очень крупные 200-400 га, крупные – 100-200 га, средние – 50-100 га, мелкие – 5-50 га и очень мелкие – до 5 га (Михайлов, Соломин, 2008). Объем катастрофического оползня в долине р. Гейзерная на Камчатке в 2007 г. достиг 21 млн. м<sup>3</sup> (Двигало, Мелекесцев, 2009). Завальные плотины, образующиеся при обвалах и оползнях береговых склонов, перекрывают створы ущелий с аккумуляции с верховой стороны водных масс, прорывы которых сопровождаются селевыми потоками (Анахаев и др., 2023).

Сход оползней возможен не только в теплое время года. В декабре 2018 г. оползень сошел в заполненное водохранилищем русло р. Буря, минимальные температуры воздуха накануне события составляли -36.2 и -31.3°C, среднесуточные -32.4 и -27.3°C соответственно. Объем оползневого тела оценивается в 24.5 млн м<sup>3</sup>, или более 55 млн т. Смещение значительного объема масс в достаточно глубокий водоем вызвало волну, по механизму образования напоминающую цунами. Общая площадь, на которой был полностью уничтожен лес, составила около 3.0 км<sup>2</sup>. Прямой гидродинамический удар привел к разрушению почвенного слоя на значительной площади (Махинов и др., 2019).

В качестве первого порогового уровня выбрано подтвержденное наличие явления в пределах биома с повторяемостью 5-20 раз в 100 лет, максимальным объемом оползня до 0.1 тыс. м<sup>3</sup>, максимальной глубине захвата пород оползнем – 5-7 м (Атлас природных и техногенных..., 2010). В таком случае к оползнеопасным могут быть отнесены и некоторые равнинные биомы, в которых процесс будет связан с мощной береговой эрозией. В качестве второго порогового значения выбран опасный уровень, который соответствует повторяемости активизации процесса 5-10 раз в 100 лет, максимальному объему до 10 тыс. м<sup>3</sup>, максимальной глубине захвата пород оползнем – 15 м (Атлас природных и техногенных..., 2010).

**Сход снежных лавин.** Лавиноопасность характерна для большинства горных районов России (Кузьмин, 2019). Считается, что в горах континентальных областей лавину может спровоцировать выпадение 5 мм, а в остальных горных районах – 10 мм снега за 24 ч (Гаврилова, 2013). Для о. Сахалин лавиноопасными являются не только горы, но и уступы морских и речных террас высотой более 10 м (Казакова, Лобкина, 2017).

Данное явление обладает огромной разрушительной силой. Живые объекты уничтожаются, возможны локальные преобразования рельефа под воздействием ударной силы. Степень воздействия лавинной деятельности на природные и антропогенные системы в самом общем виде зависит от потенциальной энергии лавины, являющейся функцией высоты падения и массы. Величина снежной массы, в свою очередь, определяется площадью лавиносбора и высотой снежного покрова в его пределах. То есть лавинный процесс является результатом сочетания в пространстве и во времени двух основных факторов: рельефа и климата (Атлас природных и техногенных..., 2010).

Известна слабая устойчивость пихты, а также сосны, ели, осины, которая объясняется горизонтальным расположением корневой системы и слабой

гибкостью ствола дерева. Наиболее лавиноустойчивыми породами являются берёза, бук, клен – они относительно стойки к изломам и образуют криволеся. Экосистемы, особенно лесная растительность, не успевают восстановиться, если лавины достаточно большого объема сходят регулярно. Исчезают растения с длительным периодом вегетации, появляются виды, свойственные более высоким ландшафтными поясам. Лавинные снежники на дне долин вызывают запаздывание фенофаз растений в силу концентрации огромной массы снега (Канонникова, 2012).

Снежные лавины представляют угрозу для млекопитающих, зимующих в высокогорье. На участках, где заснеженные склоны чередуются с малоснежными, животные во время миграций могут оказаться погребенными под снежными массами (Канонникова, 2012). Наиболее часто гибнут копытные: олени, кавказские туры, сибирский горный козел – козерог и др. (Наниев, 1962; Калинин, 2012). Случайной жертвой лавин могут стать животные и в нижних частях лесной зоны, куда обрушиваются лавины в особо снежные годы (Канонникова, 2012).

МЧС ранжирует лавины по двум параметрам: повторяемости в 10 лет и уровню опасности, который включает объем лавин в тыс. км<sup>3</sup> и число лавинных очагов на 1 пог. км долины (Атлас природных и техногенных..., 2010). В качестве первого порогового значения выбрана принципиальная возможность схода лавин на территории биома, подтвержденная результатами исследований. В некоторых случаях лавины могут формироваться в границах примыкающего горного биома, а воздействие распространится и на территорию равнинного. Ситуация характерна, например, для Высокоарктического островного биома полярных пустынь. В качестве второго порогового значения особой экстремальности выбрано следующее сочетание: сход не менее 1-10 лавин в год и/или объем менее 100 тыс. км<sup>3</sup> при наличии 1-5 лавинных очагов на 1 пог. км долины (Атлас природных и техногенных..., 2010).

**Абразия морских берегов** относится к необратимым процессам изменения ландшафтов. Протяженность абразионных берегов России составляет более 25 000 км. Под влиянием штормов происходит их постоянное отступление с потерей значительных площадей прибрежных территорий (Лукьянова, Соловьева, 2009).

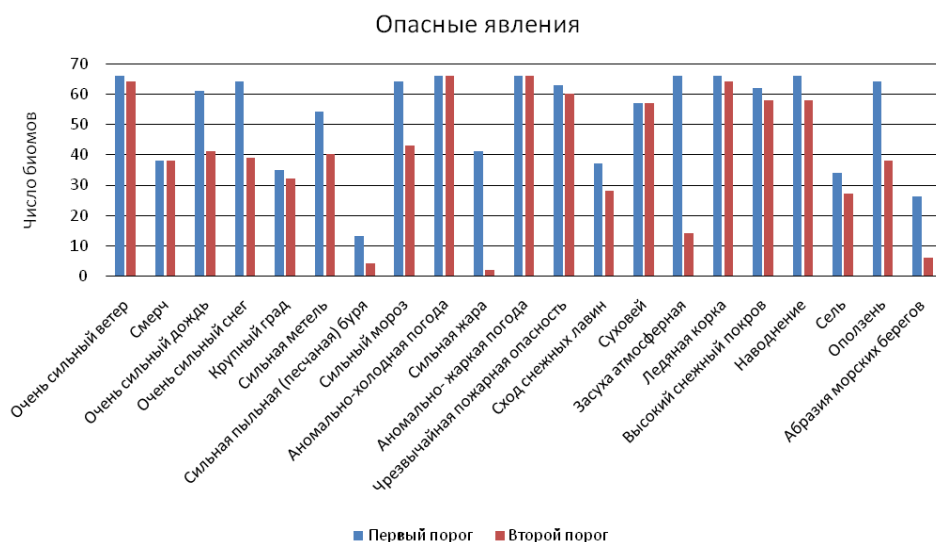
Для морских побережий России средняя скорость отступления берегов оценивается в 1.2 м в год. Наиболее высокие категории опасности, как правило, соответствуют процессам разрушения берегов в результате совместного воздействия волновой абразии и оползневой деятельности. Опасная категория переработки берегов отличается значительной скоростью разрушения (5-10 м/год), что нередко усугубляется развитием склоновых процессов и отрицательным антропогенным воздействием. Наиболее уязвимы берега, сложенные рыхлыми и слабосвязанными отложениями: песчано-галечными, супесчано-суглинистыми, со значительной долей льдистой фракции (Атлас природных и техногенных..., 2010). Отступление берега о. Ушакова, представляющего собой ледниковый купол в Северном Ледовитом океане, достигает на отдельных участках 100 м в год и более (Алейников, Липка, 2018).

В качестве пороговых значений были приняты наиболее высокие категории абразии морских берегов (Лукьянова, Соловьева, 2009): первый порог – четвертая категория переработки берегов – опасная – отличается значительной скоростью разрушения берега (5-10 м/год); второй порог – пятая категория абразионной опасности (наивысшая) – весьма опасная – подразумевает катастрофическое волновое разрушение берегов со скоростью отступления более 10 м/год (Лукьянова, Соловьева, 2009).

### **Количественный и пространственный анализ**

Использованные источники информации о реализации опасных явлений на территории биомов в некоторых случаях могут представлять не полную картину распределения. В первую очередь это касается труднодоступных и горных районов с высокой мозаичностью природных условий и недостаточным количеством пунктов наблюдений. МЧС фиксирует опасные явления не по всей территории страны, а в местах объявления чрезвычайных ситуаций. К вероятно недооцененным опасным явлениям в границах биомов относятся связанные с ветром, осадками и их последствиями, а также низкими температурами.

Из рассмотренных опасных явлений интенсивность шести достигала по данным наблюдений первого порогового значения во всех биомов на территории России: очень сильный ветер, аномально холодная и аномально жаркая погода, засуха атмосферная, сильные гололёдно-изморозевые отложения/ледяная корка и наводнения. Из них только аномально жаркая и аномально холодная погода достигают второго порогового значения во всех биомов. Наименьшее число биомов (13) охватывают сильные песчаные бури (рис. 1).



**Рисунок 1.** Количественное распределение опасных явлений первого и второго порогового уровня по биомов России

**Figure 1.** Quantitative distribution of hazardous phenomena of the first and second threshold levels across biomes in Russia

Для 9 опасных явлений второй порог достигается в более, чем 90% биомов, на которых был зафиксирован первый порог данного явления: очень сильный ветер, смерч, крупный град, аномально холодная и аномально жаркая погода, чрезвычайная пожарная опасность, суховей, ледяная корка, высокий снежный покров. У трех явлений второй порог реализовывался менее, чем в 30% биомов, в которых фиксировался первый: сильная жара, засуха атмосферная, абразия морских берегов (рис. 1).

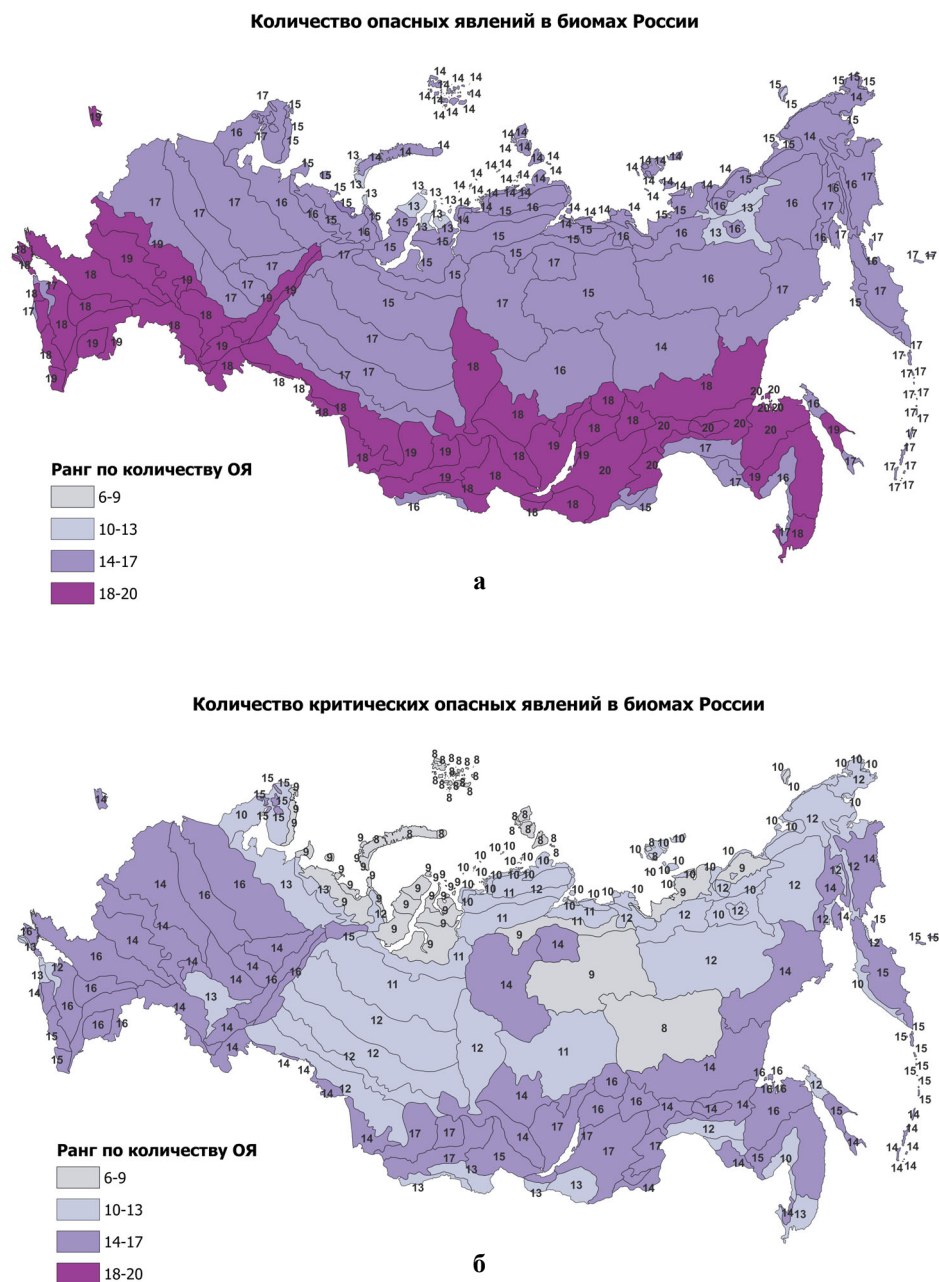
На картах (рис. 2) представлены результаты ранжирования биомов по подверженности разному количеству опасных явлений при достижении первого и второго порогового значений. Ни один из биомов не оказался подвержен всем рассматриваемым опасным явлениям. Максимальное их число (20) проявляется в горных биомах Дальнего Востока, на территории Южнобайкальского, Янкан-Джагдинского и Южноохотского биомов (рис. 2а). Больше разнообразие опасных явлений первого порогового уровня характерно для южных равнинных биомов от широколиственно-лесных до степных и пустынных, а также для южных горных. Минимальное разнообразие опасных явлений (13) свойственно некоторым арктическим равнинным биомам (Новоземельско-Ямало-Гыданскому арктическо-тундровому и Нижнеколымскому лесотундрово-северотаетжному), а также острова Врангеля (рис. 2а).

Максимальное число опасных явлений, достигающих второго (критического) порогового значения в пределах одного биома, ниже, чем для первого уровня – 17. Оно соответствует горным биомам: Алтае-Саянскому, Прибайкальско-Момскому и Южнобайкальскому (рис. 2б). Больше разнообразие катастрофических опасных явлений характерно для Европейской территории России, гор южной Сибири и Дальнего Востока, а также Путорано-Анабарского биома. Значительные территории Арктики и равнинных континентальных областей Восточной Сибири подвержены минимальному количеству (6-9) опасных явлений второго порогового уровня, что связано с отсутствием теплового стресса, а также экзогенных процессов в горах (рис. 2б). При этом по интенсивности холодового стресса и ветровой нагрузки природные условия данных биомов являются чрезвычайно суровыми.

### ***Корреляционный анализ***

Полученные данные о подверженности биомов опасным явлениям первого и второго уровня интенсивности были объединены в таблицу с присвоением следующих значений для проведения корреляционного анализа: 1 – интенсивность явления не достигает в пределах биома опасного значения; 2 – хотя бы один раз за историю наблюдений хотя бы на одной из станций была зафиксирована интенсивность опасного явления первого уровня и выше; 3 – было зафиксировано достижение не только первого, но и второго порогового уровня (табл. 1).

---



**Рисунок 2.** Подверженность биомех России опасным явлениям первого (а) и второго (критического – б) порогового уровня. Цифрами обозначено число видов опасных явлений в границах биомех

**Figure 2.** Exposure of Russian biomes to hazardous phenomena of the first (a) and second (critical – b) threshold level. The numbers indicate quantity of types of hazardous phenomena within the boundaries of the biome

**Таблица 1.** Фрагмент таблицы с исходными данными для проведения корреляционного анализа. Номера биомов соответствуют карте «Биомы России» (2018)

**Table 1.** A table fragment with primary data for correlation analysis. Biome numbers correspond to the “Biomes of Russia” (2018)

| № биома | Название биома                                             | Очень сильный ветер | Смерч | Очень сильный дождь | Очень сильный снег | Крупный град | Сильная метель |
|---------|------------------------------------------------------------|---------------------|-------|---------------------|--------------------|--------------|----------------|
| 1       | Высокоарктический островной (арктических пустынь)          | 3                   | 1     | 1                   | 2                  | 1            | 3              |
| 2       | Новоземельско-Ямало-Гыданский арктическо-тундровый         | 3                   | 1     | 1                   | 3                  | 1            | 3              |
| 3       | Таймыро-Востоносибирский арктическо-тундровый              | 3                   | 1     | 2                   | 3                  | 1            | 3              |
| 4       | Чукотский арктическо-тундровый                             | 3                   | 1     | 1                   | 3                  | 1            | 3              |
| 5       | Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-тундровый | 3                   | 1     | 2                   | 2                  | 1            | 3              |
| 6       | Таймыро-Среднесибирский гипоарктическо-тундровый           | 3                   | 1     | 2                   | 2                  | 1            | 3              |
| 7       | Лено-Колымский гипоарктическо-тундровый                    | 2                   | 1     | 2                   | 2                  | 1            | 2              |
| 8       | Анадыро-Пенжинский гипоарктическо-тундровый                | 3                   | 1     | 2                   | 3                  | 1            | 3              |
| 9       | Кольско-Карельский гипоарктическо-таежный                  | 3                   | 3     | 2                   | 3                  | 1            | 2              |
| 10      | Мезено-Печорский лесотундрово-северотаежный                | 3                   | 3     | 2                   | 3                  | 1            | 3              |

Для статистического изучения связи между подверженностью биомов опасным явлениям разного уровня интенсивности был применен коэффициент ранговой корреляции Спирмена (Spearman, 1904).

Результаты расчетов в программе IBM SPSS Statistics показали отсутствие в большинстве случаев значимой на уровне 0.01 корреляции (значимость двухсторонняя) при сравнении распределения 21-го опасного явления по 66 биомам (табл. 2, выделены цветом). Весьма высокая (1, красный) сила связи была выявлена для аномально жаркой и аномально холодной погоды. Действительно, оба явления достигают как первого, так и второго порогового уровня во всех биомов. Высокая сила связи отмечена между крупным градом и сильной жарой (0.818 – южные биомы), а также сходом снежных лавин и селями (0.867 – горные биомы с сильными осадками). Заметная сила связи в распределении опасных явлений по биомам выявлена еще в 14 случаях: очень сильный ветер и аномально холодная погода (0.586), аномально жаркая

погода (0.586), ледяная корка; смерч и крупный град (0.602), сильная жара (0.675); очень сильный дождь и сель (0.502); крупный град и засуха атмосферная (0.555), оползень (0.574); сильная метель и сход снежных лавин (0.590); сильная пыльная буря и атмосферная засуха (0.636); аномально холодная погода и ледяная корка (0.586); сильная жара и оползень (0.521); аномально жаркая погода и ледяная корка (0.586); чрезвычайная пожарная опасность и суховей (0.695). Для следующих явлений хотя бы заметной достоверной связи в распределении по биомам с другими опасными явлениями не выявлено: очень сильный снег, сильный мороз, высокий снежный покров, наводнение, абразия морских берегов.

**Таблица 2.** Фрагмент таблицы «Коэффициенты корреляции распределения опасных явлений по биомам» (\* – корреляция значима на уровне 0.05 (двухсторонняя); \*\* – корреляция значима на уровне 0.01 (двухсторонняя))

**Table 2.** Atable fragment “Correlation coefficients for the distribution of hazardous events in biomes” (\* – correlation is significant at 0.05 level (two-sided); \*\* – correlation is significant at 0.01 level (two-sided))

|                                 | Очень сильный ветер | Смерч  | Очень сильный дождь | Очень сильный снег | Крупный град | Сильная метель | Сильная пыльная (песчаная) буря | Сильный мороз | Аномально-холодная погода | Сильная жара | Аномально-жаркая погода |
|---------------------------------|---------------------|--------|---------------------|--------------------|--------------|----------------|---------------------------------|---------------|---------------------------|--------------|-------------------------|
| Очень сильный ветер             | 1.000               | .164   | .296*               | .299*              | .283*        | .312*          | .241*                           | .046          | .586**                    | .180         | .586**                  |
| Смерч                           | .164                | 1.000  | .360**              | -.019              | .602**       | -.270*         | .464**                          | -.059         | .243*                     | .675**       | .243*                   |
| Очень сильный дождь             | .296*               | .360** | 1.000               | .132               | .425**       | -.010          | .286*                           | -.095         | .244*                     | .493**       | .244*                   |
| Очень сильный снег              | .299*               | -.019  | .132                | 1.000              | -.097        | .177           | .001                            | -.052         | .242*                     | -.050        | .242*                   |
| Крупный град                    | .283*               | .602** | .425**              | -.097              | 1.000        | -.226          | .429**                          | -.099         | .236                      | .818**       | .236                    |
| Сильная метель                  | .312*               | -.270* | -.010               | .177               | -.226        | 1.000          | -.392**                         | .156          | .239                      | -.297*       | .239                    |
| Сильная пыльная (песчаная) буря | .241*               | .464** | .286*               | .001               | .429**       | -.392**        | 1.000                           | -.193         | .296*                     | .492**       | .296*                   |
| Сильный мороз                   | .046                | -.059  | -.095               | -.052              | -.099        | .156           | -.193                           | 1.000         | .250*                     | -.153        | .250*                   |
| Аномально-холодная погода       | .586**              | .243*  | .244*               | .242*              | .236         | .239           | .296*                           | .250*         | 1.000                     | .242*        | 1.000**                 |
| Сильная жара                    | .180                | .675** | .493**              | -.050              | .818**       | -.297*         | .492**                          | -.153         | .242*                     | 1.000        | .242*                   |
| Аномально-жаркая погода         | .586**              | .243*  | .244*               | .242*              | .236         | .239           | .296*                           | .250*         | 1.000**                   | .242*        | 1.000                   |

При сопоставлении подверженности 66 биомов опасным явлениям разной интенсивности прослеживаются закономерности природной зональности, а также сходство близкорасположенных территорий (табл. 3).

**Таблица 3.** Фрагмент таблицы «Коэффициенты корреляции подверженности биомов опасным явлениям, достигающим интенсивности первого и второго уровня» (\* – корреляция значима на уровне 0.05 (двухсторонняя); \*\* – корреляция значима на уровне 0.01 (двухсторонняя))

**Table 3.** A table fragment “Correlation coefficients of biomes exposure to hazardous events reaching the first and second levels of intensity” (\* – correlation is significant at 0.05 level (two-sided); \*\* – correlation is significant at 0.01 level (two-sided))

|                                                            | Высокоарктический островной (арктических пустынь) | Новоземельско-Ямало-Гыданский арктическо-тундровый | Таймыро-Восточносибирский арктическо-тундровый | Чукотский арктическо-тундровый | Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-тундровый | Таймыро-Среднесибирский гипоарктическо-тундровый | Лено-Колымский гипоарктическо-тундровый | Анадыро-Пенжинский гипоарктическо-тундровый | Кольско-Карельский гипоарктическо-таежный |
|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Высокоарктический островной (арктических пустынь)          | 1.000                                             | .683**                                             | .631**                                         | .502*                          | .465*                                                      | .514*                                            | .388                                    | .483*                                       | .248                                      |
| Новоземельско-Ямало-Гыданский арктическо-тундровый         | .683**                                            | 1.000                                              | .879**                                         | .739**                         | .742**                                                     | .767**                                           | .669**                                  | .814**                                      | .615**                                    |
| Таймыро-Восточносибирский арктическо-тундровый             | .631**                                            | .879**                                             | 1.000                                          | .606**                         | .718**                                                     | .801**                                           | .718**                                  | .748**                                      | .573**                                    |
| Чукотский арктическо-тундровый                             | .502*                                             | .739**                                             | .606**                                         | 1.000                          | .862**                                                     | .725**                                           | .632**                                  | .869**                                      | .730**                                    |
| Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-тундровый | .465*                                             | .742**                                             | .718**                                         | .862**                         | 1.000                                                      | .926**                                           | .833**                                  | .879**                                      | .776**                                    |
| Таймыро-Среднесибирский гипоарктическо-тундровый           | .514*                                             | .767**                                             | .801**                                         | .725**                         | .926**                                                     | 1.000                                            | .926**                                  | .847**                                      | .688**                                    |
| Лено-Колымский гипоарктическо-тундровый                    | .388                                              | .669**                                             | .718**                                         | .632**                         | .833**                                                     | .926**                                           | 1.000                                   | .785**                                      | .687**                                    |
| Анадыро-Пенжинский гипоарктическо-тундровый                | .483*                                             | .814**                                             | .748**                                         | .869**                         | .879**                                                     | .847**                                           | .785**                                  | 1.000                                       | .716**                                    |
| Кольско-Карельский гипоарктическо-таежный                  | .248                                              | .615**                                             | .573**                                         | .730**                         | .776**                                                     | .688**                                           | .687**                                  | .716**                                      | 1.000                                     |

Теснота связи Высокоарктического островного биома (арктических пустынь) с биомами Горных тундр высокоарктических островов и о. Врангеля достигает 0.8-0.838, с другими арктическими тундровыми – заметна (0.631-0.696). Высокая и заметная сила связи характерна для равнинных и горных тундровых биомов, лесотундровых и северотаежных. Весьма высокая связь в данной группе отмечена у примыкающих Кольско-Большеземельско-Тазовского гипоарктическо-тундрового и Таймыро-Среднесибирского гипоарктическо-тундрового биомов (0.926), у последнего с Лено-Колымским гипоарктическо-тундровым биомом (0.926) и у Анадыро-Пенжинского гипоарктическо-тундрового с Западносибирским северным лесотундрово-северотаежным (0.907). К данной группе примыкает Северосахалинский среднетаежный биом с теснотой корреляции до 0.738.

Следующую группу с заметной, высокой и очень высокой силой связи в распределении опасных явлений образуют северные лесные биомы от Кольско-Карельского гипоарктического таежного до Западнокамчатского субокеанического северотаежного. Максимальная сила связи отмечена для Западносибирского северного лесотундрово-северотаежного и Нижнеколымского лесотундрово-северотаежного биомов (0.937).

Среднетаежные биомы формируют единую группу, за исключением Северосахалинского среднетаежного. Максимальная теснота связи друг с другом отмечена для биомов Западной Сибири: Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный и Верхневилуйский среднетаежный (0.936), Верхневилуйский среднетаежный и Западносибирский мелколиственнолесной (0.936).

Южнотаежные, подтаежные, хвойно-широколиственные и мелколиственные биомы формируют следующую группу. Теснота корреляции достигает 1.0 у Смоленско-Приволжского и Вятко-Камского широколиственно-хвойнолесных биомов.

Широколиственные и лесостепные биомы образуют группу с заметной и высокой силой связи (до весьма высокой (0.936) у Заволжского широколиственных лесов и лесостепи и Тоболо-Приобского лесостепного). В группе степных биомов теснота связей заметно ниже. Прикаспийский пустынно-степной биом выделяется из общей картины равнинных биомов. Заметная сила связи прослеживается только с Крымско-Кавказским лесостепным биомом (0.683), достоверных отрицательных связей также не выявлено.

У горных биомов прослеживаются связи друг с другом даже в большей степени, чем с равнинными биомами. Высотная поясность и расчлененный рельеф создают предпосылки для большего разнообразия опасных явлений. Так, теснота связи Корякского тундрового биома достигает 1.0 с Североохотским гипоарктическо-таежным, 0.99 – с Алдано-Майским таежным и 0.935 с Камчатско-Курильским таежным биомами. Выделяется низкогорный Крымско-Новороссийский биом с лесами средиземноморского типа в нижнем поясе и степями в верхнем, у которого достоверная теснота связи прослеживается в большей степени с равнинными биомами от южнотаежных до степных (максимально с Заволжским широколиственных лесов и лесостепи (0.741), Крымско-Кавказским лесостепным (0.702) и Зее-Буреинским лесо-

степным (0.701). Сочинский субтропический биом по подверженности опасным явлениям близок к наиболее южным горным биомам от Северо-Западнокавказского (0.844) до Южноохотского (0.715). Для двух горных биомов достоверных связей с равнинными не выявлено: Сочинский субтропический и Юго-Восточноалтайско-Тувинский.

### **Заключение**

Выделенный спектр опасных явлений и их пороговых значений позволяет оценить подверженность им природных систем в границах каждого из биомов. Возможна недооценка интенсивности некоторых явлений для территорий, находящихся вдали от пунктов стационарных наблюдений в малозаселенных регионах.

Разнообразие спектра опасных явлений указывает на диапазон, к которому природные системы вынуждены адаптироваться, в том числе периодически восстанавливаясь. К большей амплитуде значений явлений одной природы (экстремально высокие и низкие температуры, засухи и наводнения) живым организмам адаптироваться труднее, т.к. необходимы ресурсы для выживания за обоими пределами оптимальной экологической зоны.

В то же время разнообразие опасных явлений в пределах биомов еще не указывает на суровость климата и его экстремальность. В аридных и арктических пустынях набор опасных явлений ниже, чем в других биомах, но их интенсивность делает территорию непригодной для существования многих видов.

Для более точной оценки пригодности территории для существования видов, а также восстановительного потенциала природных систем, необходима оценка вероятности реализации опасных явлений в границах каждого биома.

### **Благодарности**

*Работа выполнена в рамках темы госзадания № АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ «ИГКЭ».*

### **Список литературы**

Акимов, В.А., Дурнев, Р.А., Соколов, Ю.И. (2009) *Опасные гидрометеорологические явления на территории России*, М., ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 316 с.

Алейников, А.А., Липка, О.Н. (2018) Деграция покровного оледенения острова Ушакова по материалам космических съемок, *Земля из космоса*, № 9 (25), с. 32-39.

Анахаев, К.Н. (2018) О кадастрах селевых бассейнов, *Грозненский естественнонаучный бюллетень*, т.3, № 4, с. 11-19.

---

Анахаев, К.Н. (2019) О достоверности геофизических параметров в селевом кадастре юга России, *Вестник МГСУ*, т.14, вып. 5, с. 610-620.

Анахаев, К.К., Беликов, В.В., Анахаев, К.Н., Анаев, М.Т., Борисова Н.М. (2023) О селеопасности территорий селевых бассейнов, *Процессы в геосредах*, № 2(36), с. 2071-2081.

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

Бабич, Н.В. (2018) Распространение и контроль численности мышевидных грызунов, *Защита и карантин растений*, № 7, с. 35-37.

Березовиков, Н.Н. (2014) Гибель больших крохалей *Mergus merganser* и гоголей *Vicserphala clangula* от обмерзания оперения в сильные морозы на Иртыше в Усть-Каменогорске зимой 2009/10 года, *Русский орнитологический журнал*, т. 23., № 966, с. 387-391.

Березовиков, Н.Н. (2004) Град – катастрофическое явление в жизни птиц, *Русский орнитологический журнал*, т. 13, № 275, с. 971-973.

Березовиков, Н.Н. (2008) О причинах массовой гибели птенцов речной крачки *Sterna hirundo* на островах озера Алаколь, *Русский орнитологический журнал*, т. 17, № 420, с. 811-813.

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

*Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы* (2020) Под ред. Г.Н. Огуреевой, М., ИГКЭ, 623 с.

Булыгина, О.Н., Веселов, В.М., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. (2023) Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России, Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2014620549.

*Вайгач. Остров арктических богов* (2011) Под общ. ред. П.В. Боярского, М., Paulsen, 576 с.

Васильев, М.П. (2022) *Методы и результаты районирования территории северо-западного региона России по величине комплексного показателя погодно-климатических и экологических рисков для экосистем*, дис. ... канд. геогр. наук, СПб, 126 с.

Володькина, Г.Н., Куликов, А.Г. (2015) Влияние неблагоприятных погодных условий и почвенно-климатических факторов на санитарное состояние лесов Пензенской области, *Проблемы и мониторинг природных экосистем*, с. 43-48.

Волох, А.М., Архипчук, В.А., Гулай, В.И., Евтушевский, Н.Н., Шевченко, Л.С. (1988) Особенности динамики численности зайца-русака на территории УССР, *Изученность териофауны Украины, ее рациональное использование и охрана*, сборник научных трудов, Киев, Наукова думка, с. 19-34.

Воробьев, Ю.Л., Акимов, В.А., Соколов, Ю.И. (2003) *Катастрофические наводнения начала XXI века: уроки и выводы*, М., ООО «ДЭКС-ПРЕСС», 352 с.

*Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* (2014) Под ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова, М., Росгидромет, 1009 с.

Гаврилова, С.А. (2013) Когда снегопад становится опасным, *Природа*, № 8, с. 20-27.

Галимова, Р.Г., Переведенцев, Ю.П., Яманаев, Г.А. (2019) Агроклиматические ресурсы Республики Башкортостан, *Вестник ВГУ. Серия География. Геоэкология*, № 3, с. 29-39.

Гледко, Ю.А., Сенькив, К.А. (2018) Влияние опасных гидрометеорологических явлений на лесные ресурсы Минской области, *Женщины-ученые Беларуси и Казахстана*, Сборник материалов Международной научно-практической конференции, Минск, РИВШ, с. 394-397.

Голубев, А.Д., Кабак, А.М., Никольская, Н.А., Бутова, Г.И., Хабарова, Г.В. (2013) Ледяной дождь в Москве, Московской области и прилегающих областях центра Европейской территории России 25-26 декабря 2010 года, *Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации*, № 349, с. 214-230.

ГОСТ Р22.1.09-99. Группа Т58. (2000) *Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования*, 11 с.

Двигало, В.Н., Мелекесцев, И.В. (2009) Геолого-геоморфологические последствия катастрофических обвальных и обвально-оползневых процессов в Камчатской Долине Гейзеров (по данным аэрофотограмметрии), *Вулканология и сейсмология*, № 5, с. 24-37.

Димитриев, А.В., Шилов, М.П. (2017) Создание полукультур – экологичный способ повышения кормности местообитаний зимующих и кочующих птиц, *Эволюционные и экологические аспекты изучения живой материи*, с. 95-105.

Дорошкова, А.А., Тесленко, И.И. (2013) Генезис возникновения чрезвычайной ситуации природного происхождения, *Чрезвычайные ситуации: промышленная и экологическая безопасность*, № 1-2, с. 117-130.

Евсеева, Н.С. (2017) *Экологическая геоморфология. Опасные природные процессы*, Томск, Издательский Дом ТГУ, 278 с.

Ергина, Е.И., Жук, В.О. (2017) Влияние современных тенденций климата на состояние эрозионно опасных агроландшафтов и оценка почвообразующего потенциала природных факторов Крыма, *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*, № 3 (65), с. 175-178.

Журина, Л.Л. (2023) *Агрометеорология*, М., ИНФРА-М, 350 с.

---

Завьялов, Н.А., Артаев, О.Н., Потапов, С.К., Петросян, В.Г. (2015) Бобры (*Castor fiber*) Мордовского заповедника: история развития популяции, современное состояние и её дальнейшие перспективы, *Российский журнал биологических инвазий*, № 8(2), с. 20-45.

Замолодчиков, Д.Г., Шматков, Н.М. (2011) Леса России и изменение климата: сможем ли мы сохранить наши леса перед новой угрозой, *Устойчивое лесопользование*, № 4 (29), с. 12-14.

Золотокрылин, А.Н., Черенкова, Е.А. (2012) Экстремальные засухи на Европейской территории России в период 1936-2010 гг., *Проблемы региональной экологии*, № 5, с. 41-46.

*Зональные типы биомов России: Антропогенные нарушения и естественные процессы восстановления экологического потенциала ландшафтов* (2003) Под ред. К.М. Петрова, СПб., СПбГУ, 246 с.

Зыкова, Л.Ю. (1967) Материалы по экологии, динамике численности и взаимоотношениям зайца-беляка, лисицы и рыси в Окском заповеднике, *Труды Окского государственного заповедника*, с. 32-54.

Иванюков, К.А., Рыльков, О.В. (2015) Влияние абиотических факторов на численность копытных животных НП «Куршская коса», *Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия национального парка «Куршская коса»*, с. 51-60.

Истомина, М.Н., Кочарян, А.Г., Лебедева, И.П. (2005) Наводнения: генезис, социально-экономические и экологические последствия, *Водные ресурсы*, т. 32, № 4, с. 389-398.

Казакова, Е.Н., Лобкина, В.А. (2017) Оценка снегоопасности территории острова Сахалин, *Криосфера Земли*, т. 21, № 6, с. 109-117.

Казьмин, В.Д., Абатуров, Б.Д. (2009) Механические свойства снежного покрова и доступность подснежных кормов для северного оленя (*Rangifer tarandus*) и овцебыка (*Ovibos moschatus*) на пастбищах острова Врангеля, *Зоологический журнал*, т. 88, № 8, с. 990-1000.

Калинин, С.С. (2015) Влияние экстремальных климатических факторов и весенних наводнений на размножение гидрофильных птиц в Курганской области, *XIII Зыряновские чтения*, материалы Всероссийской научно-практической конференции, Курган, КГУ, с. 264-266.

Калинкин, Ю.Н. (2012). Факторы, лимитирующие численность копытных республики Алтай, *Современные проблемы природопользования, охотоведения и звероводства*, № 1, с. 101-102.

Канонникова, Е.О. (2012) Экологические последствия лавинной деятельности для природных комплексов (на примере Северо-Западного Кавказа), *Современные проблемы науки и образования*, № 4, с. 324-324.

Каримова, Т.Ю., Луцкекина, А.А., Неронов, В.М. (2021) Современное состояние и ретроспективный анализ популяций сайгака России и Казахстана, *Аридные экосистемы*, т. 27, № 2 (87), с. 57-67.

Карпачевский, М.Л., Тепляков, В.К., Яницкая, Т.О., Ярошенко, А.Ю., Белякова, А.В., Брюханов, А.В., Букварева, Е.Н., Конюшатов, О.А., Корчагов, С.А., Кулясова, А.А., Петров, А.П., Рай, Е.А., Шматков, Н.М. (2014) *Основы устойчивого лесопользования*, М., 266 с.

Кирилюк, В.Е., Луцкекина, А.А. (2017) Современное состояние дзерена (*Procapra gutturosa: Bovidae*) в России, *Nature Conservation Research. Заповедная наука*, т. 2, Приложение 1, с. 81-99.

Киселев, А.А., Кароль, И.Л. (2017) Череда погодных аномалий – случайность или закономерность, *Природа*, № 7, с. 9-16.

Кобышева, Н.В., Акентьева, Е.М., Галюк, Л.П. (2015) *Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере*, СПб., Кириллица, 214 с.

Колесников, Р.А., Локтев, Р.И., Синицкий, А.И., Камнев, Я.К., Куликова, О.Я. (2018) Действие экологических факторов, как причина зимнего и ранневесеннего падежа оленей в сеяхинской тундре полуострова Ямал, *Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа*, № 3, с. 38-45.

Кононова, Н.К. (2017) Характеристика экстремальных засух конца XX века, *Геополитика и экогеодинамика регионов*, т. 3, № 1, с. 35-65.

Коробов, Р., Тромбицкий, И., Сыродоев, Г., Андреев, А. (2014) *Уязвимость к изменению климата. Молдавская часть бассейна Днестра*, Кишинев, 336 с.

Крыленко, В.В., Липка, О.Н., Алейникова, А.М. (2012) Анализ устойчивости естественных и техногенных ландшафтов Черноморского побережья России к воздействию ливней экстремальной интенсивности (на примере ливня 6-7 июля 2012 г.), *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия. Экология и безопасность жизнедеятельности*, № 4, с. 82-92.

Кузьмин, С.Б. (2019) Опасные природные процессы в Российской Федерации, *Проблемы анализа риска*, т. 16, № 2, с. 10-35.

Левицкая, Н.Г. (2015) *Краткий курс лекций по дисциплине «Агрометеорология» для студентов 2 курса направления подготовки 20.03.02 Природообустройство и водопользование*, Саратов, Саратовский ГАУ, 49 с.

Липка, О.Н. (2023) *Распределение опасных гидрометеорологических явлений и их последствий по биомам в России, их параметры*, Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2023621809.

Липка, О.Н. (2022) Оценка риска для природных систем России, связанного с опасными метеорологическими явлениями, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 3, с. 52-73.

---

- 
- Лосев, А.П., Журина, Л.Л. (2001) *Агрометеорология*, М., Колос, 301 с.
- Лукьянова, С.А., Соловьева, Г.Д. (2009) Абразия морских берегов России, *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, № 4, с. 40-44.
- Магазова, Л.Н., Меркер, В.В. (2005) Влияние экстремальных климатических условий на состояние древесных насаждений г. Челябинска, *Вестник Челябинского государственного университета*, т. 12, № 1, с. 126-131.
- Макаров, С.А., Черкашина, А.А., Атутова, Ж.В., Бардаш, А.В., Воропай, Н.Н., Кичигина, Н.В., Мутин, Б.Ф., Осипова, О.П., Ухова, Н.Н. (2014) *Катастрофические селевые потоки, произошедшие в поселке Аршан Тункинского района Республики Бурятия 28 июня 2014 г.*, Иркутск, Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 111 с.
- Маловичко, Л.В. (1999) Современное состояние и причины сокращения численности сизоворонки (*Coracias garrulus*), *Русский орнитологический журнал*, № 68, с. 17-23.
- Маловичко, Л.В., Константинов, В.М., Микляева, М.А. (2016) Влияние весеннего похолодания на поведение птиц, *Русский орнитологический журнал*, т. 25, № 1382, с. 4991-4994.
- Матвеев, А.В., Зерницкая, В.П., Нечипоренко, Л.А. (2018) Основные факторы проявления опасных природных и природно-антропогенных процессов литосферного класса на территории Беларуси, *Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі*, № 1, с. 78-87.
- Махинов, А.Н., Ким, В., Остроухов, А.В., Матвеев, Д.В. (2019) Крупный оползень в долине реки Бурей и цунами в водохранилище Бурейской ГЭС, *Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук*, № 2 (204), с. 35-44.
- Михайлов, Л.А., Соломин, В.П. (2008) *Чрезвычайные ситуации природного, техногенного и социального характера и защита от них*, СПб., Питер, 235 с.
- Наниев, В.И. (1962) О гибели восточнокавказских туров от снежных обвалов во время миграций, *Миграции животных*, вып. 3, с. 37-39.
- Насимович, А.А. (1955) *Роль режима снежного покрова в жизни копытных животных на территории СССР*, М., Изд-во Акад. наук СССР, 404 с.
- Наумов, П.П. (2014) Причины исторического динамизма ареала и численности соболя в России, *Гуманитарные аспекты охоты и охотничьего хозяйства*, материалы I Международной научно-практической конференции, Иркутск, ИрГСХА им. А.А. Ежевского, с. 14-24.
- Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология* (2007) М., Роскартография, 496 с.
- Нестеров, В.Г. (1949) *Общее лесоводство*, М.-Л., Гослесбумиздат, 664 с.
-

Николаев, Д.К., Глазунов, Ю.Б. (2010) Особенности повреждения снеголомом древостоев сосны и ели, *Лесной вестник. Forestry bulletin*, № 3, с. 157-164.

Николкина, И.Ф., Диденкулова, И.И., Пелиновский, Е.Н., Шургалина, Е.Г., Наумов, А.А., Панкратов, А.С., Рувинская, Е.А. (2013) Потенциально опасные оползневые зоны на берегах водоемов Нижегородской области, *Труды НГТУ им. Р. Е Алексеева*, № 4 (101), с. 157-166.

Орлов Е.А., Чернов К.А. (2019) Результаты выполнения аварийно-восстановительных работ и анализ медицинского обеспечения в ходе ликвидации наводнения на территории Иркутской области аэромобильной группой Тульского спасательного центра МЧС России (с 6 июля по 15 августа 2019 г.) *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*, №. 3, с. 52-58.

Перов, В.Ф. (2012) *Селеведение*, М., Географический факультет МГУ, 272 с.

Петина, В.И., Гайворонская, Н.И., Белоусова, Л.И. (2009) Формирование и развитие оползневых процессов на территории Белгородской области, *Региональные геосистемы*, т. 9, № 11 (66), с. 126-132.

Печенкина, Е.И. (2017) Распространение продолжительной аномально жаркой погоды на территории Западной Сибири в теплый период, *Современные проблемы географии и геологии: к 100-летию открытия естественного отделения в Томском государственном университете*, материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Томск, ТГУ, с. 88-91.

Погребняк, П.С. (1968) *Общее лесоводство*, М., Колос, 440 с.

Пономарева, Т.С. (2023) Воздействие различных факторов на успешность гнездования буланого вьюрка *Rhodospiza obsoleta* в пустыне, *Русский орнитологический журнал*, т. 32, № 2298, с. 1789-1793.

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. (2020) *Научно-прикладной справочник «Климат России»*, Свидетельство о государственной регистрации № 2020621470.

РД 52.04.563-2002 (2002) *Руководящий документ. Инструкция Критерии опасных гидрометеорологических явлений и порядок подачи штормового сообщения*, СПб., Гидрометиздат, 33 с.

РД 52.27.724-2019 (2019) *Руководящий документ. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения*, М., Гидрометцентр России, 72 с.

РД 52.88.699-2008 (2008) *Руководящий документ. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновения опасных природных явлений*, М., Росгидромет, 33 с.

---

Ревуцкая, О.Л. (2009) А Уварчев Л. (2024) Уровень Урала в Оренбурге на 130 см превысил критический, в Орске вода отступает, *Коммерсантъ*, Электронный ресурс, URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6636328> (дата обращения 30 апреля 2024).

ФАО (2020) *Руководство по трем видам стадных саранчовых на Кавказе и в Центральной Азии. Биология, экология и поведение*, Рим, ФАО, 59 с.

ФГБУ «Гидроспецгеология» (2022) *Карта активности оползневой процесса на территории Российской Федерации по состоянию на 01.11.2022 г.* Масштаб 1:25 000 000. Москва, Гидроспецгеология.

Фисинин, В.И., Кавтарашвили, А.Ш. (2015) Тепловой стресс у птицы. Сообщение I. Опасность, физиологические изменения в организме, признаки и проявления, *Сельскохозяйственная биология*, № 2, с. 162-171.

Формозов, А.Н. (2010а) О зимнем образе жизни тетеревиных птиц, *Русский орнитологический журнал*, т. 19, № 609, с. 1981-1991.

Формозов, А.Н. (2010б) *Снежный покров в жизни млекопитающих и птиц*, М., URSS, 288 с.

Формозов, А.Н. (1990) *Снежный покров как фактор среды, его значение в жизни млекопитающих и птиц СССР*, М., МГУ, 287 с.

Шамин, С.И., Бухонова, Л.К., Санина, А.Т. (2022) *Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России*. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2019621326.

Шихов А.Н., Чернокульский А.В., Калинин Н.А., Пьянков С.В. (2023) *Ветровалы в лесной зоне России и условия их возникновения*, Пермь, Пермский государственный национальный исследовательский университет, 284 с.

Цубербиллер, Е.А. (1966) *Суховеи, их агрометеорологическая сущность и пути борьбы с ними*, автореф. дис. ... д-ра геогр. наук, М., Гидрометцентр СССР, 114 с.

Черенкова, Е.А. (2015) Количественные оценки атмосферных засух в федеральных округах Европейской территории России, *Известия РАН. Серия географическая*, № 6, с. 76-85.

Чернышев, В.Б. (1996) *Экология насекомых*, М., Изд-во МГУ, 304 с.

*Энциклопедия лесного хозяйства* (2006) М., ВНИИЛМ, т. 1, 424 с.

Ameca, E.I., Mace, G.M., Cowlshaw, G., Pettorelli, N. (2019) Relative vulnerability to hurricane disturbance for endangered mammals in Mexico: a call for adaptation strategies under uncertainty, *Animal Conservation*, vol. 22, no. 3, pp. 262-273.

Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., Bowman, D.M. (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013, *Nature Communications*, vol. 6, p. 7537.

Spearman, C. (1904) The Proof and Measurement of Association between Two Things, *The American Journal of Psychology*, vol. 15, no. 1, pp. 72-101.

Wunderle, Jr.J.M., Wiley, J.W. (1996) Effects of hurricanes on wildlife: implications and strategies for management, *Conservation of faunal diversity in forested landscapes*, vol. 6, pp. 253-264.

## References

Akimov, V.A., Durnev, R.A., Sokolov, Yu.I. (2009) *Opasnye gidrometeorologicheskie yavleniya na territorii Rossii* [Dangerous hydrometeorological phenomena on the territory of Russia], Institute for Civil Defence and Emergencies, Moscow, Russia, 316 p.

Aleinikov, A.A., Lipka, O.N. (2018) Degradaciya pokrovnogo oledeneniya ostrova Ushakova po materialam kosmicheskikh s"emok [Degradation of glaciation on Ushakov Island based on satellite imagery], *Zemlya iz kosmosa*, no. 9 (25), pp. 32-39.

Anakhayev, K.N. (2018) O kadastrakh selevykh basseynov [On inventories of mudflow basins], *Groznenskiy yestestvennonauchnyy byulleten*, vol. 3, no. 4, pp. 11-19.

Anakhayev, K.N. (2019) O dostovernosti geofizicheskikh parametrov v selevom kadastre yuga Rossii [On the reliability of geophysical parameters in the mudflow cadastre of the South of Russia], *Vestnik MGSU*, vol. 14, no. 5, pp. 610-620.

Anakhayev, K.K., Belikov, V.V., Anakhayev, K.N., Anayev, M.T., Borisova N.M. (2023) O seleopasnosti territoriy selevykh basseynov [On the seleperience of the territories of mudflows], *Protsessy v geosredakh*, no. 2(36), pp. 2071-2081.

*Atlas prirodnih i tekhnogennykh opasnostej i riskov chrezvychajnyh situacij. Rossijskaya Federaciya* [Atlas of natural and man-made hazards and risks of emergency situations. Russian Federation] (2010) In S.K. Shoigu (ed.), Design. Information. Cartography, Moscow, Russia, 696 p.

Babich, N.V. (2018) Rasprostranenie i kontrol' chislennosti myshevidnyh gryzunov [Distribution and population control of mouse-like rodents], *Zashchita i karantin rastenij*, no. 7, pp. 35-37.

Berezovikov, N.N. (2014) Gibel' bol'shih krohalej *Mergus merganser* i gogolej *Bucephala clangula* ot obmerzaniya opereniya v sil'nye morozy na Irtyshe v Ust'-Kamenogorske zimoj 2009/10 goda, [Death of mergansers *Mergus merganser* and goldeneye *Bucephala clangula* from freezing of plumage in severe frosts on the Irtysh in Ust-Kamenogorsk in the winter of 2009/10], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 23., no. 966, pp. 387-391.

Berezovikov, N.N. (2004) Grad – katastroficheskoe yavlenie v zhizni ptic [Hail is a catastrophic phenomenon in the life of birds], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 13, no. 275, pp. 971-973.

---

Berezovikov, N.N. (2008) O prichinah massovoj gibeli ptencov rechnoj krachki *Sterna hirundo* na ostrovah ozera Alakol' [On the causes of the mass death of chicks of the common tern *Sterna hirundo* on the islands of Lake Alakol'], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 17, no. 420, pp. 811-813.

*Biomy Rossii* [Biomes of Russia] (2018) Map. Scale 1:7 500 000. In G.N. Ogureeva (ed.), Lomonosov Moscow State University, Russian Geographical Society, Moscow, Russia.

*Bioraznoolobrazie biomov Rossii. Ravninnye biomy* [Biodiversity of Russian biomes. Lowland Biomes] (2020) In G.N. Ogureeva (ed.), IGCE, Moscow, Russia, 623 p.

Bulygina, O.N., Veselov, V.M., Razuvaev, V.N., Alexandrova, T.M. (2023) *Opisanie massiva srochnyh dannyh ob osnovnyh meteorologicheskikh parametroh na stanciyah Rossii* [Description of an urgent data array on the main meteorological parameters at Russian stations], Certificate of state registration of the database no. 2014620549.

*Vajgach. Ostrov arkticheskikh bogov* [Vaygach. Island of the Arctic Gods] (2011) In P.V. Boyarsky (ed.), Paulsen, Moscow, Russia, 576 p.

Vasiliev, M.P. (2022) *Metody i rezul'taty rajonirovaniya territorii severo-zapadnogo regiona Rossii po velichine kompleksnogo pokazatelya pogodno-klimaticheskikh i ekologicheskikh riskov dlya ekosistem* [Methods and results of zoning the territory of the northwestern region of Russia according to the value of a complex indicator of weather, climate and environmental risks for ecosystems], Candidate's thesis, St. Petersburg, Russia, 126 p.

Volodkina, G.N., Kulikov, A.G. (2015) Vliyanie neblagopriyatnyh pogodnyh uslovij i pochvenno-klimaticheskikh faktorov na sanitarnoe sostoyanie lesov Penzenskoj oblasti [The influence of unfavorable weather conditions and soil-climatic factors on the sanitary condition of forests in the Penza region], *Problemy i monitoring prirodnyh ekosistem*, pp. 43-48.

Volokh, A.M., Arkhipchuk, V.A., Gulai, V.I., Evtushevsky, N.N., Shevchenko, L.S. (1988) Osobennosti dinamiki chislennosti zajca-rusaka na territorii USSR [Features of the population dynamics of the brown hare on the territory of the Ukrainian SSR], *Izuchennost' teriofauny Ukrainy, ee racional'noe ispol'zovanie i ohrana*, Naukova Dumka, Kyiv, Ukraine, pp. 19-34.

Vorobyov, Yu.L., Akimov, V.A., Sokolov, Yu.I. (2003) *Katastroficheskie navodneniya nachala XXI veka: uroki i vyvody* [Catastrophic floods of the early 21st century: lessons and conclusions], DEKS-PRESS, Moscow, Russia, 352 p.

*Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ihposledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii* [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2014) In V.M. Kattsov, S.M. Semenov (eds.), Roshydromet, Moscow, Russia, 1009 p.

Gavrilova, S.A. (2013) *Kogda snegopad stanovitsya opasnym* [When snowfall becomes dangerous], *Priroda*, no. 8, pp. 20-27.

Galimova, R.G., Perevedentsev, Yu.P., Yamanaev, G.A. (2019) *Agroklimaticheskie resursy Respubliki Bashkortostan* [Agroclimatic resources of the Republic of Bashkortostan], *Vestnik VGU. Seriya Geografiya. Geoekologiya*, no. 3, pp. 29-39.

Gledko, Yu.A., Senkiv, K.A. (2018) *Vliyanie opasnyh gidrometeorologicheskikh yavlenij na lesnye resursy Minskoj oblasti* [The influence of hazardous hydrometeorological phenomena on the forest resources of the Minsk region], *Zhenshchiny-uchenye Belarusi i Kazahstana*, RIVSH, Minsk, Belarus, pp. 394-397.

Golubev, A.D., Kabak, A.M., Nikolskaya, N.A., Butova, G.I., Khabarova, G.V. (2013) *Ledyanoy dozhd' v Moskve, Moskovskoj oblasti i prilgayushchih oblastyah centra Evropejskoj territorii Rossii 25-26 dekabrya 2010 goda* [Ice rain in Moscow, the Moscow region and adjacent areas of the center of the European territory of Russia on December 25-26, 2010], *Trudy Gidrometeorologicheskogo nauchno-issledovatel'skogo centra Rossijskoj Federacii*, no. 349, pp. 214-230.

GOST R 22.1.09-99. Group T58. (2000) *Gosudarstvennyj standart Rossijskoj Federacii. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Monitoring i prognozirovaniye lesnyh pozharov. Obshchie trebovaniya* [State standard of the Russian Federation. Safety in emergency situations. Monitoring and forecasting of forest fires. General requirements], 11 p.

Dvigalo, V.N., Melekestsev, I.V. (2009) *Geologo-geomorfologicheskie posledstviya katastroficheskikh obval'nyh i obval'no-opolznevnyh processov v Kamchatskoj Doline Gejzerov (po dannym aerofotogrammetrii)* [Geological and geomorphological consequences of catastrophic rockfall and landslide processes in the Kamchatka Valley of Geysers (according to aerial photogrammetry data)], *Vulkanologiya i seismologiya*, no. 5, pp. 24-37.

Dimitriev, A.V., Shilov, M.P. (2017) *Sozdanie polukul'tur – ekologichnyj sposob povysheniya kormnosti mestoobitanij zimuyushchih i kochuyushchih ptic* [The creation of semi-cultures is an environmentally friendly way to increase the food supply of the habitats of wintering and migratory birds], *Evolucionnye i ekologicheskie aspekty izucheniya zhivoj materii*, pp. 95-105.

Doroshkova, A.A., Teslenko, I.I. (2013) *Genezis vozniknoveniya chrezvychajnoj situacii prirodnogo proiskhozhdeniya* [The genesis of an emergency situation of natural origin], *Chrezvychajnye situacii, promyshlennaya i ekologicheskaya bezopasnost'*, no. 1-2, pp. 117-130.

Evseeva, N.S. (2017) *Ekologicheskaya geomorfologiya. Opasnye prirodnye processy* [Environmental geomorphology. Hazardous natural processes], TSU Publishing House, Tomsk, Russia, 278 p.

---

Ergina, E.I., Zhuk, V.O. (2017) Vliyanie sovremennykh tendentsiy klimata na sostoyanie erozionno opasnykh agrolandshtov i ocenka pochvoobrazuyushchego potentsiala prirodnykh faktorov Kryma [The influence of modern climate trends on the state of erosion-hazardous agricultural landscapes and assessment of the soil-forming potential of natural factors in Crimea], *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, no. 3 (65), pp. 175-178.

Zhurina, L.L. (2023) *Agrometeorologiya* [Agrometeorology], INFRA-M, Moscow, Russia, 350 p.

Zavyalov, N.A., Artaev, O.N., Potapov, S.K., Petrosyan, V.G. (2015) Bobry (Castor fiber) Mordovskogo zapovednika: istoriya razvitiya populyatsii, sovremennoe sostoyanie i eyo dal'nejshie perspektivy [Beavers (Castor fiber) of the Mordovian Nature Reserve: history of population development, current state and its future prospects], *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invazij*, no. 8 (2), pp. 20-45.

Zamolodchikov, D.G., Shmatkov, N.M. (2011) Lesa Rossii i izmenenie klimata: smozhem li my sohranit' nashi lesa pered novoy ugrozoy? [Russian forests and climate change: can we preserve our forests against a new threat?], *Ustojchivoe lesopol'zovanie*, no. 4 (29), pp. 12-14.

Zolotokrylin, A.N., Cherenkova, E.A. (2012) Ekstremal'nye zasuhi na Evropejskoj territorii Rossii v period 1936-2010 gg. [Extreme droughts in the European territory of Russia in the period 1936-2010], *Problemy regional'noj ekologii*, no. 5, pp. 41-46.

*Zonal'nye tipy biomov Rossii: Antropogennye narusheniya i estestvennye processy vosstanovleniya ekologicheskogo potentsiala landshtov* [Zonal types of biomes in Russia: Anthropogenic disturbances and natural processes of restoration of the ecological potential of landscapes] (2003) In K.M. Petrov (ed.), St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia, 246 p.

Zykova, L.Yu. (1967) Materialy po ekologii, dinamike chislennosti i vzaimootnosheniyam zajca-belyaka, lisicy i rysy v Okskom zapovednike [Materials on the ecology, population dynamics and relationships of the mountain hare, fox and lynx in the Oksky Reserve], *Trudy Okskogo gosudarstvennogo zapovednika*, pp. 32-54.

Ivanyukov, K.A., Rylkov, O.V. (2015) Vliyanie abioticheskikh faktorov na chislennost' kopytnykh zhivotnykh NP «Kurshskaya kosa» [The influence of abiotic factors on the number of ungulates in the Curonian Spit National Park], *Problemy izucheniya i ohrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya nacional'nogo parka «Kurshskaya kosa»*, pp. 51-60.

Istomina, M.N., Kocharyan, A.G., Lebedeva, I.P. (2005) Navodneniya: genezis, social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie posledstviya [Floods: genesis, socio-economic and environmental consequences], *Vodnye resursy*, vol. 32, no. 4, pp. 389-398.

Kazakova, E.N., Lobkina, V.A. (2017) Ocenka snegoopasnosti territorii ostrova Sahalin [Assessment of snow danger on the territory of Sakhalin Island], *Kriosfera Zemli*, vol. 21, no. 6, pp. 109-117.

Kazmin, V.D., Abaturov, B.D. (2009) Mekhanicheskie svoystva snezhnogo pokrova i dostupnost' podsnezhnykh kormov dlya severnogo olenya (*Rangifer tarandus*) i ovcebyka (*Ovibos moschatus*) na pastbishchah ostrova Vrangelya [Mechanical properties of snow cover and the availability of snow-covered food for reindeer (*Rangifer tarandus*) and musk ox (*Ovibos moschatus*) on pastures on Wrangel Island], *Zoologicheskij zhurnal*, vol. 88, no. 8, pp. 990-1000.

Kalinin, S.S. (2015) Vliyanie ekstremal'nykh klimaticheskikh faktorov i vesennih navodnenij na razmnozhenie gidrofil'nykh ptic v Kurganskoj oblasti [The influence of extreme climatic factors and spring floods on the reproduction of hydrophilic birds in the Kurgan region], *XIII Zyryanovskie chteniya*, KSU, Kurgan, Russia, pp. 264-266.

Kalinkin Yu.N. (2012) Faktory, ogranichivayushchiye kolichestvo kopytnykh respubliki Altay [Factors limiting the number of ungulates in the Altai Republic], *Sovremennyye problemy prirodnopol'zovaniya, okhotovedeniya i zverovodstva*, no. 1, pp. 101-102.

Kannonnikova, Ye.O. (2012) Ekologicheskiye posledstviya lavinnoy deyatel'nosti dlya prirodnnykh kompleksov (na primere Severo-Zapadnogo Kavkaza) [Ecological consequences of avalanche activity for natural complexes (on the example of the Northern-Western Caucasus)], *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*, no. 4, pp. 324-324.

Karimova, T.Yu., Lushchekina, A.A., Neronov, V.M. (2021) Sovremennoe sostoyanie i retrospektivnyj analiz populyacij sajgaka Rossii i Kazakhstana [Current state and retrospective analysis of saiga populations in Russia and Kazakhstan], *Aridnye ekosistemy*, vol. 27, no. 2 (87), pp. 57-67.

Karpachevsky, M.L., Teplyakov, V.K., Yanitskaya, T.O., Yaroshenko, A.Yu., Belyakova, A.V., Bryukhanov, A.V., Bukvareva, E.N., Konyushatov, O.A., Korchagov, S.A., Kulyasova, A.A., Petrov, A.P., Rai, E.A., Shmatkov, N.M. (2014) *Osnovy ustojchivogo lesoupravleniya* [Fundamentals of sustainable forest management], Moscow, Russia, 266 p.

Kirilyuk, V.E., Lushchekina, A.A. (2017) Sovremennoe sostoyanie dzerena (*Procapra gutturosa*: *Bovidae*) v Rossii [Current status of gazelle (*Procapra gutturosa*: *Bovidae*) in Russia], *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, vol. 2, Appendix 1, pp. 81-99.

Kiselev, A.A., Karol, I.L. (2017) Chereda pogodnykh anomalij – sluchajnost' ili zakonomernost'? [A series of weather anomalies – an accident or a pattern?], *Priroda*, no. 7, pp. 9-16.

Kobysheva, N.V., Akentyeva, E.M., Galyuk, L.P. (2015) *Klimaticheskie riski i adaptaciya k izmeneniyam i izmenchivosti klimata v tekhnicheskoy sfere* [Climate

---

risks and adaptation to climate change and variability in the technical field], Kirillica, St. Petersburg, Russia, 214 p.

Kolesnikov, R.A., Loktev, R.I., Sinitsky, A.I., Kamnev, Y.K., Kulikova, O.Ya. (2018) *Dejstvie ekologicheskikh faktorov, kak prichina zimnego i rannevesennego padezha oleney v seyakhinskoj tundre poluostrova Yamal* [The action of environmental factors as the cause of winter and early spring mortality of deer in the Seyakha tundra of the Yamal Peninsula], *Nauchnyj vestnik Yamalo-Nenetskogo avtonomnogo okruga*, no. 3, pp. 38-45.

Kononova, N.K. (2017) *Harakteristika ekstremal'nyh zasuh konca XX veka* [Characteristics of extreme droughts at the end of the twentieth century], *Geopolitika i ekogeodinamika regionov*, vol. 3, no. 1, pp. 35-65.

Korobov, R., Trombitsky, I., Syrodov, G., Andreev, A. (2014) *Uyazvimost' k izmeneniyu klimata: Moldavskaya chast' bassejna Dnestra* [Vulnerability to climate change: Moldavian part of the Dniester basin], Kishinev, Moldova, 336 p.

Krylenko, V.V., Lipka, O.N., Aleynikova, A.M. (2012) *Analiz ustojchivosti estestvennyh i tekhnogennyh landshaftov Chernomorskogo poberezh'ya Rossii k vozdeystviyu livnej ekstremal'noj intensivnosti (na primere livnya 6-7 iyulya 2012 g.)* [Analysis of the resistance of natural and man-made landscapes of the Black Sea coast of Russia to the effects of extreme rainstorms (using the example of the rainstorm on July 6-7, 2012)], *Vestnik Rossijskogo universiteta družby narodov. Seriya Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, no. 4, pp. 82-92.

Kuzmin, S.B. (2019) *Opasnye prirodnye processy v Rossijskoj Federacii* [Hazardous natural processes in the Russian Federation], *Problemy analiza riska*, vol. 16, no. 2, pp. 10-35.

Levitskaya, N.G. (2015) *Kratkij kurs lekcij po discipline «Agrometeorologiya» dlya studentov 2 kursa napravleniya podgotovki 20.03.02 Prirodoobustrojstvo i vodopol'zovanie* [A short course of lectures on the discipline «Agrometeorology» for 2nd year students in the direction of preparation 03/20/02 Environmental management and water use], Saratov State Agrarian University, Saratov, Russia, 49 p.

Lipka, O.N. (2023) *Raspredelenie opasnyh gidrometeorologicheskikh yavlenij i ih posledstvij po biomam v Rossii, ih parametry* [Distribution of hazardous hydrometeorological phenomena and their consequences across biomes in Russia, their parameters], Certificate of state database registration no. 2023621809.

Lipka, O.N. (2022) *Ocenka riska dlya prirodnyh sistem Rossii, svyazannogo s opasnymi meteorologicheskimi yavleniyami* [Risk assessment for natural systems of Russia associated with hazardous meteorological phenomena], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 8, no. 3, pp. 52-73.

Losev, A.P., Zhurina, L.L. (2001) *Agrometeorologiya* [Agrometeorology], Kolos, Moscow, Russia, 301 p.

Lukyanova, S.A., Solovyova, G.D. (2009) Abraziya morskikh beregov Rossii [Abrasion of the sea coasts of Russia], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, no. 4, pp. 40-44.

Magazova, L.N., Merker, V.V. (2005) Vliyanie ekstremal'nykh klimaticheskikh uslovij na sostoyanie drevesnykh nasazhdenij g. Chelyabinska [The influence of extreme climatic conditions on the state of tree plantations in Chelyabinsk], *Vestnik Chelyabinskogo gosudarstvennogo universiteta*, vol. 12, no. 1, pp. 126-131.

Makarov, S.A., Cherkashina, A.A., Atutova, Zh.V., Bardash, A.V., Voropai, N.N., Kichigina, N.V., Mutin, B.F., Osipova, O.P., Ukhova, N.N. (2014) *Katastroficheskie selevyie potoki, proizoshedshie v poselke Arshan Tunkinskogo rajona Respubliki Buryatiya 28 iyunya 2014 g.* [Catastrophic mudflows that occurred in the village of Arshan, Tunkinsky district of the Republic of Buryatia on June 28, 2014], Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia, 111 p.

Malovichko, L.V. (1999) Sovremennoe sostoyanie i prichiny sokrashcheniya chislennosti sizovoronki (*Coracias garrulus*) [Current status and reasons for the decline in the roller population (*Coracias garrulus*)], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, no. 68, pp. 17-23.

Malovichko, L.V., Konstantinov, V.M., Miklyaeva, M.A. (2016) Vliyanie vesennego pohlodaniya na povedenie ptic [The influence of spring cooling on the behavior of birds], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 25, no. 1382, pp. 4991-4994.

Matveev, A.V., Zernitskaya, V.P., Nechiporenko, L.A. (2018) Osnovnye faktory proyavleniya opasnykh prirodnykh i prirodno-antropogennykh processov litosfernogo klassa na territorii Belarusi [The main factors in the manifestation of dangerous natural and natural-anthropogenic processes of the lithospheric class on the territory of Belarus], *Vestnik Brestskogo yunivertsiteta. Seriya 5. Himiya. Biyologiya. Navuki ab zyamli*, no. 1, pp. 78-87.

Makhinov, A.N., Kim, V., Ostroukhov, A.V., Matveenko, D.V. (2019) Krupnyj opolzen' v doline reki Bureya i cunami v vodohranilishche Burejskoj GES [Large landslide in the Bureya River valley and tsunami in the reservoir of the Bureya Hydroelectric Power Station], *Vestnik Dal'nevostochnogo otdeleniya Rossijskoj akademii nauk*, no. 2 (204), pp. 35-44.

Mikhailov, L.A., Solomin, V.P. (2008) *Chrezvychajnye situacii prirodnogo, tekhnogenogo i social'nogo haraktera i zashchita ot nih* [Emergencies of a natural, man-made and social nature and protection from them], Peter, St. Petersburg, Russia, 235 p.

Naniyev, V.I. (1962) O gibeli vostochnokavkazskikh turov ot snezhnykh obvalov vo vremya migratsiy [On the death of East Caucasian turs from snow avalanches during migrations], *Migratsii zhivotnykh*, no. 3, pp. 37-39.

Nasimovich, A.A. (1955) *Rol' rezhima snezhnogo pokrova v zhizni kopytnykh zhivotnykh na territorii SSSR* [The role of snow cover in the life of ungulates on the

territory of the USSR], Publishing House Acad. Sciences of the USSR, Moscow, USSR, 404 p.

Naumov, P.P. (2014) *Prichiny istoricheskogo dinamizma areala i chislennosti sobolya v Rossii, Gumanitarnye aspekty ohoty i ohotnich'ego hozyajstva* [Reasons for the historical dynamism of the range and number of Siberian sable in Russia], Gumanitarnye aspekty ohoty i ohotnich'ego hozyajstva, Irkutsk State Agricultural Academy, Irkutsk, Russia, pp. 14-24.

*Nacional'nyj atlas Rossii. T. 2. Priroda. Ekologiya* [National Atlas of Russia. t. 2. Nature. Ecology] (2007) Roskartografiya, Moscow, Russia, 496 p.

Nesterov, V.G. (1949) *Obshchee lesovodstvo* [General forestry], Goslesbumizdat, Moscow-Leningrad, Russia, 664 p.

Nikolaev, D.K., Glazunov, Yu.B. (2010) Osobennosti povrezhdeniya snegolomom drevostoev sosny i eli [Features of snowbreak damage to pine and spruce stands], *Lesnoj vestnik. Forestry bulletin*, no. 3, pp. 157-164.

Nikolchina, I.F., Didenkulova, I.I., Pelinovsky, E.N., Shurgalina, E.G., Naumov, A.A., Pankratov, A.S., Ruvinskaya, E.A. (2013) Potencial'no opasnye opolznevye zony na beregah vodoemov Nizhegorodskoj oblasti [Potentially dangerous landslide zones on the banks of reservoirs in the Nizhny Novgorod region], *Trudy NGTU im. R. E Alekseeva*, no. 4 (101), pp. 157-166.

Orlov, E.A., Chernov, K.A. (2019) Rezul'taty vypolneniya avariynovosstanovitel'nyh rabot I analiz medicinskogo obespecheniya v hode likvidacii navodneniya na territorii Irkutskoj oblasti aeromobil'noj gruppoj Tul'skogo spasatel'nogo centra MCHS Rossii (s 6 iyulya po 15 avgusta 2019 g.) [Results of emergency recovery work and analysis of medical support during flood liquidation in the Irkutsk region by the airmobile group of the Tula Rescue Center of the Ministry of Emergency Situations of Russia (from July 6 to August 15, 2019)], *Mediko-biologicheskie i social'no-psihologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychajnyh situacijah*, no. 3, pp. 52-58.

Perov, V.F. (2012) *Selevedenie* [Mudflow studies], Geographical Faculty of Moscow State University, Moscow, Russia, 272 p.

Petina, V.I., Gaivoronskaya, N.I., Belousova, L.I. (2009) Formirovanie i razvitie opolznevyyh processov na territorii Belgorodskoj oblasti [Formation and development of landslide processes on the territory of the Belgorod region], *Regional'nye geosistemy*, vol. 9, no. 11 (66), pp. 126-132.

Pechenkina, E.I. (2017) Rasprostranenie prodolzhitel'noj anomal'no zharkoj pogody na territorii Zapadnoj Sibiri v teplyj period [Distribution of prolonged abnormally hot weather in Western Siberia during the warm period], *Sovremennye problemy geografii i geologii, k 100-letiyu otkrytiya estestvennogo otdeleniya v Tomskom gosudarstvennom universitete*, TSU, Tomsk, Russia, pp. 88-91.

Pogrebnyak, P.S. (1968) *Obshchee lesovodstvo* [General forestry], Kolos, Moscow, USSR, 440 p.

Ponomareva, T.S. (2023) *Vozdejstvie razlichnyh faktorov na uspešnost' gnezdovaniya bulanogo v'yurka Rhodospiza obsoleta v pustyne* [The impact of various factors on the nesting success of the dun finch *Rhodospiza obsoleta* in the desert], *Russkij ornitologičeskij zhurnal*, vol. 32, no. 2298, pp. 1789-1793.

Razuvaev, V.N., Bulygina, O.N., Korshunova, N.N., Kleshchenko, L.K., Kuznetsova, V.N., Trofimenko, L.T., Sherstyukov, A.B., Shvets, N.V., Davletshin, S.G., Zvereva, G.N. (2020) *Nauchno-prikladnoj spravocnik «Klimat Rossii»* [Scientific and applied reference book «Climate of Russia»], Certificate of state registration no. 2020621470.

RD 52.04.563-2002 (2002) *Rukovodyashchij dokument. Instrukciya Kriterii opasnyh gidrometeorologičeskijh yavlenij i poryadok podachi shtormovogo soobshcheniya* [Guiding document. Instructions: Criteria for dangerous hydrometeorological phenomena and the procedure for submitting storm messages], Gidrometizdat, St. Petersburg, Russia, 33 p.

RD 52.27.724-2019 (2019) *Rukovodyashchij dokument. Nastavlenie po kratkosrochnym prognozam pogody obshchego naznacheniya* [Guiding document. Manual on short-term weather forecasts for general purposes], Hydrometeorological Center of Russia, Moscow, Russia, 72 p.

RD 52.88.699-2008 (2008) *Rukovodyashchij dokument. Polozhenie o poryadke dejstvij uchrezhdenij i organizacij pri ugroze vozniknoveniya i vozniknovenii opasnyh prirodnyh yavlenij* [Guiding document. Regulations on the procedure for actions of institutions and organizations in the event of the threat and occurrence of hazardous natural phenomena], Roshydromet, Moscow, Russia, 33 p.

Revutskaya, O.L. (2009) *Analiz vliyaniya vysoty snezhnogo pokrova na dinamiku čislennosti dikih kopytnykh (na primere Evrejskoj avtonomnoj oblasti)* [Analysis of the influence of snow depth on the dynamics of the number of wild ungulates (using the example of the Jewish Autonomous Region)], *Regional'nye problemy*, no. 12, pp. 8-15.

Roshydromet (2012) *Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizičeskijh i biologičeskijh sistem* [Methods for assessing the consequences of climate change for physical and biological systems], in S.M. Semenov (ed.), Roshydromet, Moscow, Russia, 512 p.

Runova, E.M., Tkach, P.V. (2014) *Vliyanie pogodnyh uslovij i sibirskogo shelkopryada na sanitarnoe sostoyanie lesov Irkutskoj oblasti* [The influence of weather conditions and the Siberian silkworm on the sanitary condition of forests in the Irkutsk region], *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, no. 38, pp. 123-125.

Sangadzhiev, M.M., Sangadzhieva, R.S., Sangadzhieva, A.S., Sangadzhieva, E.S., Lidzhieva, B.A. (2021) *Opasnye prirodnye yavleniya: vliyanie dinamiki gidrosfery na klimat stepnyh i pustynnyh zon Kalmykii* [Hazardous natural phenomena: the influence of hydrosphere dynamics on the climate of steppe and desert zones of Kalmykia], *Moskovskij ekonomičeskij zhurnal*, no. 6, pp. 248-255.

Skvortsova, E.B., Ulanova, N.G., Basevich, V.F. (1983) *Ekologicheskaya rol' vetrovalov* [The ecological role of windblows], Lesnaya promyshlennost', Moscow, Russia, 192 p.

Skrypnikova, E.B. (2008) Osobennosti gorodskih i sel'skih populyacij sizyh golubej [Features of urban and rural populations of rock pigeons], *Lesnoj vestnik. Forestry bulletin*, no. 2, pp. 56-56.

Slizhe, M.O., Semenova, I.G. (2017) Suhovejnye periody razlichnoj prodolzhitel'nosti v Ukraine v nachale XXI veka [Dry periods of various durations in Ukraine at the beginning of the 21st century], *Saharovskie chteniya 2017 goda, ekologicheskie problemy XXI veka*, Information Computing Center of the Ministry of Finance, Minsk, Belarus, pp. 179-180.

Sludsky, A.A. (2020) Rol' stihijnyh bedstvij v dinamike chislennosti ptic v Kazahstane [The role of natural disasters in the dynamics of bird numbers in Kazakhstan], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 29, no. 1901, pp. 1287-1290.

Solovyov, A.N., Shikhova, T.G., Busygin, E.I. (2015) Zhiznedeystvuyatel'nost' zhivotnykh srednih shirot vostoka Russkoj ravniny v usloviyah pogodno-klimaticheskikh anomalij [Life activity of animals in the middle latitudes of the eastern Russian Plain under conditions of weather and climate anomalies], *Sel'skohozyajstvennaya biologiya*, no. 2, pp. 137-151.

SP 115.13330.2016. *Geofizika opasnykh prirodnykh vozdeystvii. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIp 22-01-95. Izdaniye ofitsial'noye* [SP 115.13330.2016. Geophysics of hazardous natural impacts. Updated edition of SNIp 22-01-95. Official edition] (2018) Moscow, Minstroy Rossii, Standartinform, 36 p.

*Spravochnik po opasnym prirodnym yavleniyam v respublikah, krayah i oblastyakh Rossijskoj Federacii* [Handbook of natural hazards in the republics, territories and regions of the Russian Federation] (1997) Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia, 588 p.

Surina, E.A., Senkov, A.O. (2015) Sostoyanie el'nikov Arhangel'skoj oblasti v usloviyah menyayushchegosya klimata [The state of spruce forests in the Arkhangelsk region in a changing climate], *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, no. 43, pp. 45-48.

Tishkov, A.A. (1979) Estestvennaya i antropogennaya dinamika elovykh lesov Valdaya [Natural and anthropogenic dynamics of spruce forests of Valdai], *Organizatsiya ekosistem el'nikov yuzhnoj tajgi*, pp. 30-69.

Tkachenko, M.E. (1952) *Obshchee lesovodstvo* [General forestry], Goslesbumizdat, Moscow-Leningrad, USSR, 600 p.

*Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyakh klimata i ih posledstviyakh na territorii Rossijskoj Federacii* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2022) In V.M. Kattsov (ed.), Naukoemkie tekhnologii, St. Petersburg, Russia, 676 p.

Uvarchev L. (2024) Uroven' Urala v Orenburge na 130 sm prevysil kriticheskiy, v Orske voda otstupayet [The level of Ural River in Orenburg exceeded the critical level by 130 cm, the water level in Orsk is going down], *Kommersant*, Electronic resource, URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6636328> (accessed April 30, 2024).

FAO (2020) *Rukovodstvo po trem vidam stadnyh saranchovyh na Kavkaze i v Central'noj Azii. Biologiya, ekologiya i povedenie* [Guide to three gregarious locust species in the Caucasus and Central Asia. Biology, ecology and behavior], FAO, Rome, Italy, 59 p.

FGBU «Gidrospeetsgeologiya» (2022) *Karta aktivnosti opolznevoy protsessy na territorii Rossiyskoy Federatsii po sostoyaniyu na 01.11.2022 g.* [Map of landslide process activity on the territory of the Russian Federation as of November 1, 2022], M. 1: 25 000 000 Gidrospeetsgeologiya, Moscow, Russia.

Fisinin, V.I., Kavtarashvili, A.Sh. (2015) Teplovoj stress u pticy. Soobshchenie I. Opasnost', fiziologicheskie izmeneniya v organizme, priznaki i proyavleniya [Heat stress in poultry. Message I. Danger, physiological changes in the body, signs and manifestations], *Sel'skokozyajstvennaya biologiya*, no. 2, pp. 162-171.

Formozov, A.N. (2010a) O zimnem obraze zhizni teterevinyh ptic [On the winter lifestyle of grouse birds], *Russkij ornitologicheskij zhurnal*, vol. 19, no. 609, pp. 1981-1991.

Formozov, A.N. (2010b) *Snezhnyy pokrov v zhizni mlekopitayushchih i ptic* [Snow cover in the life of mammals and birds], URSS, Moscow, Russia, 288 p.

Formozov, A.N. (1990) *Snezhnyy pokrov kak faktor sredy, ego znachenie v zhizni mlekopitayushchih i ptic SSSR* [Snow cover as an environmental factor, its significance in the life of mammals and birds of the USSR], MSU, Moscow, Russia, 287 p.

Shamin, S.I., Bukhonova, L.K., Sanina, A.T. (2022) *Svedeniya ob opasnyh i neblagopriyatnyh gidrometeorologicheskikh yavleniyah, kotorye nanesli material'nyy i social'nyy ushcherb na territorii Rossii* [Information about dangerous and unfavorable hydrometeorological phenomena that caused material and social damage on the territory of Russia], Certificate of state registration of the database no. 2019621326.

Shikhov A.N., Chernokul'skiy A.V., Kalinin N.A., P'yankov S.V. (2023) *Vetrovaly v lesnoy zone Rossii i usloviya ikh vozniknoveniya* [Windfalls in the forest zone of Russia and the conditions for their occurrence], Perm' State National Research University, Perm', Russia, 284 p.

Tsuberbiller, E.A. (1966) *Suhovei, ih agrometeorologicheskaya sushchnost' i puti bor'by s nimi* [Dry winds, their agrometeorological essence and ways to combat them], extended abstract of Doctor's thesis, Hydrometeorological Center of the USSR, Moscow, USSR, 114 p.

Cherenkova, E.A. (2015) Kolichestvennye ocenki atmosferynyh zasuh v federal'nyh okrugah Evropejskoj territorii Rossii [Quantitative assessments of atmospheric droughts in the federal districts of the European territory of Russia], *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 6, pp. 76-85.

Chernyshev, V.B. (1996) *Ekologiya nasekomyh* [Ecology of insects], MSU, Moscow, Russia, 304 p.

*Enciklopediya lesnogo hozyajstva* [Encyclopedia of Forestry] (2006) VNIILM, Moscow, Russia, vol. 1, 424 p.

Ameca, E.I., Mace, G.M., Cowlshaw, G., Pettorelli, N. (2019) Relative vulnerability to hurricane disturbance for endangered mammals in Mexico: a call for adaptation strategies under uncertainty, *Animal Conservation*, vol. 22, no. 3, pp. 262-273.

Jolly, W.M., Cochrane, M.A., Freeborn, P.H., Holden, Z.A., Brown, T.J., Williamson, G.J., Bowman, D.M. (2015) Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013, *Nature Communications*, vol. 6, p. 7537.

Spearman, C. (1904) The Proof and Measurement of Association between Two Things, *The American Journal of Psychology*, vol. 15, no. 1, pp. 72-101.

Wunderle, Jr.J.M., Wiley, J.W. (1996) Effects of hurricanes on wildlife: implications and strategies for management, *Conservation of faunal diversity in forested landscapes*, vol. 6, pp. 253-264.

Статья поступила в редакцию (Received): 11.02.2024;

Статья доработана после рецензирования (Revised): 25.03.2024;

Принята к публикации (Accepted): 08.08.2024.

### Для цитирования / For citation

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.

Lipka, O.N., Andreeva, A.P., Stishkina, S.A. (2024) Exposure of natural terrestrial systems to hazardous climate events and thresholds of their impacts, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 3, pp. 329-377, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-329-377.

**Фенологические тренды в природе России:  
насколько они следуют за изменениями климата?**

*А.А. Минин<sup>1,12)\*</sup>, Ю.А. Буйволов<sup>1,8)</sup>, О.Ф. Самохина<sup>1)</sup>, М.Ю. Бардин<sup>1)</sup>,  
В.Э. Демидов<sup>2)</sup>, П.А. Лебедев<sup>3,11)</sup>, Н.В. Поликарпова<sup>4)</sup>, И.В. Прокошева,  
О.В. Рыжков<sup>5)</sup>, И.И. Сапельникова<sup>6)</sup>, Б.Н. Фомин<sup>7)</sup>, Е.А. Шуйская<sup>8)</sup>,  
М.В. Яковлева<sup>9)</sup>, О.В. Янцер<sup>10)</sup>*

<sup>1)</sup>Институт глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля,  
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б

<sup>2)</sup>Приокско-Террасный государственный природный биосферный заповедник  
им. М.А. Заблочного,  
Россия, 142200, Московская область, г.о. Серпухов, м. Данки

<sup>3)</sup>Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН,  
Россия, 197022, г. Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, д. 2, литера В

<sup>4)</sup>Государственный природный заповедник «Пасвик»,  
Россия, 184404, Мурманская обл., Печенгский р-н, п. Раякоски

<sup>5)</sup>Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник  
им. профессора В.В. Алехина,  
Россия, 305528, Курская область, Курский район, п/о Заповедное

<sup>6)</sup>Воронежский государственный природный биосферный заповедник им. В.М. Пескова,  
Россия, 394080, г. Воронеж, Госзаповедник, Центральная усадьба

<sup>7)</sup>Институт географии Российской академии наук,  
Россия, 109017, Москва, Старомонетный пер., 29

<sup>8)</sup>Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник,  
Россия, 172521, Тверская обл, Нелидовский г.о., пос. Заповедный

<sup>9)</sup>Государственный природный заповедник «Кивач»  
Россия, 186220, Республика Карелия, Кондопожский район, пос. Кивач, ул. Заповедная, 14

<sup>10)</sup>Уральский государственный педагогический университет,  
Россия, 620091, Екатеринбург, пр. Космонавтов, 26

<sup>11)</sup>Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,  
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., 5

<sup>12)</sup>Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН,  
Россия, 119334, Москва, ул. Вавилова, д. 26

\*Адрес для переписки: *\*aminin1959@mail.ru*

**Реферат.** В статье обосновывается необходимость включения фенологического раздела в ежегодный доклад Росгидромета об особенностях климата Российской Федерации и показан вариант его наполнения. Используются данные от 214 до 301 пунктов по европейской территории России, включая Уральский регион, по явлениям: начало разворачивания и полное изменение окраски листьев у березы; начало цветения черемухи обыкновенной и липы

сердцелистной; первое кукование кукушки; весенний прилет деревенской ласточки. Рассчитывались и строились картограммы средних многолетних значений за период 1971-2020 гг., коэффициентов линейных трендов за 1991-2022 гг., отклонений от средних многолетних значений за 2022 г. По некоторым пунктам и явлениям приводятся графики рядов с продолжительными наблюдениями. Для березы рассчитывалась продолжительность вегетационного периода как разность дат полного изменения окраски листьев и дат начала их появления. Смещение сроков появления листьев у березы в сторону весны активно проявляется в Ленинградской, Псковской, Курской областях (коэффициент тренда до -2.0...-2.5 дней/10 лет). На остальной территории  $\pm 0.5$  дней/10 лет. Полное пожелтение практически везде, кроме Московского региона и Урала, смещается на более поздние сроки. Продолжительность вегетационного периода у березы на всей территории увеличивается с темпом до 3-4 дней/10 лет. Начало цветения черемухи и липы также преимущественно смещается на более ранние сроки. Первое кукование и прилет ласточек происходят в более поздние сроки (до 1.5-2.0 дней/10 лет) в зоне от Московского региона до Воронежа, в Свердловской и Челябинской областях, на других территориях – на более ранние. Таким образом, в целом биота реагирует соответственно на потепление климата. Однако на фенологическую динамику влияют особенности местности (геоморфологические, почвенные, гидрологические и др. факторы), а также эволюционно обусловленная популяционная структура на территориях с разной историей развития. Отклонения в 2022 г. в целом свидетельствуют о соответствующих реакциях растений и птиц на холодную весну 2022 г.

**Ключевые слова.** Фенологические явления, гомеостаз, фенологическая пластичность, локальные адаптации.

### **Phenological trends in Russian nature: how much do they follow climate changes?**

*A.A. Minin<sup>1,12)\*</sup>, Yu.A. Buyvolov<sup>1),8)</sup>, O.F. Samokhina<sup>1)</sup>, M.Yu. Bardin<sup>1)</sup>,  
V.E. Demidov<sup>2)</sup>, P.A. Lebedev<sup>3),11)</sup>, N.V. Polikarpova<sup>4)</sup>, I.V. Prokosheva,  
O.V. Ryzhkov<sup>5)</sup>, I.I. Sapelnikova<sup>6)</sup>, B.N. Fomin<sup>7)</sup>, E.A. Shuiskaya<sup>8)</sup>,  
M.V. Yakovleva<sup>9)</sup>, O.V. Yanzer<sup>10)</sup>*

<sup>1)</sup>Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology,  
20B Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation

<sup>2)</sup>Prioksko-Terresnyi Biosphere Reserve,  
Danky, g.o. Serpuhov, 142200, Moscow region, Russian Federation

<sup>3)</sup>V.L. Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences,  
litera V, 2 Professora Popova str., 197022, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>4)</sup>Pasvik State Nature Reserve,  
Rayakoski village, Pechengsky district, 184404, Murmansk region, Russian Federation

---

<sup>5)</sup>Central Chernozem State Natural Biosphere Reserve named after professor V.V. Alyokhin,  
Zapovednoye settlement, Kursky district, 305528, Kursk region, Russian Federation

<sup>6)</sup>Voronezh State Natural Biosphere Reserve named after V.M. Peskov,  
Central estate, Goszapovednik, 394080, Voronezh, Russian Federation

<sup>7)</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,  
29 Staromonetnyy line, 109017, Moscow, Russian Federation

<sup>8)</sup>Central Forest State Natural Biosphere Reserve,  
Village Reserved, Nelidovsky G.O., 172521, Tver region, Russian Federation

<sup>9)</sup>Kivach State Nature Reserve,  
14 Zapovednaya str., village Kivach, Kondopozhsky district, 186220, Republic of Karelia,  
Russian Federation

<sup>10)</sup>Ural State Pedagogical University,  
26 Kosmonavtov Ave., 620091, Yekaterinburg, Russian Federation

<sup>11)</sup>S.M. Kirov St. Petersburg State Forestry Engineering University,  
5 Institutsky lane, 194021, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>12)</sup>Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences,  
26 Vavilov Street, 119334, Moscow, Russian Federation

\*Correspondence address: [aminin1959@mail.ru](mailto:aminin1959@mail.ru)

**Abstract.** The article substantiates the need to include a phenological section in the annual report of Roshydromet on the peculiarities of the climate of the Russian Federation and shows a variant of its filling. Data from 214 to 301 points on the European territory of Russia, including the Ural region, were used for the following phenomena: the beginning of deployment and complete yellowing of the leaves of *Betula pendula* and *B. pubescens*; the beginning of flowering of *Prunus padus* and *Tilia cordata*; the first cuckooing of *Cuculus canorus*; the spring arrival of *Hirundo rustica*. Cartograms of long-term average values for the period 1971-2020, linear trend coefficients for 1991-2022, deviations from long-term average values for 2022 were calculated and constructed. Graphs of series with long-term observations are given for some points and phenomena. For *Betula*, the duration of the growing season was calculated as the difference between the dates of complete yellowing of the leaves and the dates of the beginning of their appearance. The shift in the timing of the appearance of birch leaves towards spring is actively manifested in the Leningrad, Pskov, Kursk regions (trend coefficient up to -2.0...-2.5 days/10 years). In the rest of the territory  $\pm 0.5$  days/10 years. The complete yellowing of *Betula* leaves almost everywhere, except in the Moscow region and the Urals, is shifted to a later date. The duration of the growing season for birch trees throughout the territory increases at a rate of up to 3-4 days/10 years. The first cuckooing and arrival of *Hirundo rustica* are shifted to a later date (up to 1.5-2.0 days/10 years) in the zone from the Moscow region to Voronezh and in the Sverdlovsk and Chelyabinsk regions, in other territories – to earlier ones. Thus, in general, biota reacts accordingly to climate warming. However, the phenological dynamics is influenced by the features of the terrain (geomorphological, soil, hydrological, etc. factors), as well as the evolutionarily determined population structure in territories with different development histories. Deviations in 2022 generally indicate the corresponding reactions of plants and birds to the cold spring of 2022.

---

**Keywords.** Phenological phenomena, homeostasis, phenological plasticity, local adaptations.

## Введение

Проблема современных изменений климата достаточно давно и широко обсуждается в научных кругах. В последние годы большое внимание уделяется изучению фенологических изменений в природе, как вероятным индикаторам реакций биоты на динамику климата. В Оценочных докладах об изменении климата и их последствиях на территории Российской Федерации (например, Оценочный..., 2008) достаточно полно представлен фенологический раздел, приводятся картосхемы трендов дат начала некоторых явлений за последние десятилетия. Однако в ежегодных докладах Росгидромета об особенностях климата на территории Российской Федерации фенологический раздел отсутствует (Доклад..., 2023). Представляется целесообразным заполнить этот пробел в целях более глубокого понимания происходящих в природе России комплексных изменений, оценки реакции как естественной биоты, так и сообществ, созданных человеком или находящихся под его влиянием, на изменения климата. Цель данной статьи – обосновать важность мониторинга фенологических трендов биоты в условиях изменений климата и разработать согласованный с методологией подготовки ежегодных докладов об особенностях климата вариант фенологического раздела доклада. В задачи входит обоснование и отбор фенологических явлений, статистический анализ данных, построение картограмм и обсуждение результатов.

## Материал и методы

Систематические фенологические наблюдения в России ведутся более 150 лет под эгидой Русского географического общества (РГО) на сети добровольных наблюдателей, на особо охраняемых природных территориях в рамках программы Летописи природы, в ботанических садах, на агро- и метеостанциях, в лесничествах и т.д. Накоплен значительный объем информации, которая частично оцифрована и представлена в базе данных «Временные ряды фенологических данных Северной Евразии» <http://fenolog.igce.ru/> (Минин и др., 2023). Всего в базе собраны данные наблюдений в 579 географических пунктах в границах бывшего СССР. Её поддержка осуществляется Институтом глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля.

Методика ведения фенологических наблюдений постоянно совершенствовалась, но всегда была направлена на унификацию явлений и признаков их определения, сохранение преемственности методических подходов и обеспечение тем самым сопоставимости и достоверности первичных данных (Минин и др., 2020; Владимиров и др., 2023).

В статье рассматривается европейская часть территории России (ЕЧР), включая Уральский регион, где находится достаточно много пунктов наблюдений. За Уралом наблюдательная сеть значительно реже, поэтому строить картограммы на эти территории пока представляется нецелесообразным.

В настоящей работе представлены данные по следующим фенологическим событиям (названия приведены по: Минин и др., 2020): начало разворачивания листьев (первые листья) и полное изменение окраски листьев (полное пожелтение) у березы повислой (*Betula pendula* Roth), также использованы данные по берёзе пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.); начало цветения черемухи обыкновенной (*Prunus padus* L.) и липы сердцелистной (*Tilia cordata* Mill.); весенний прилет, первая песня (кукование) кукушки (*Cuculus canorus* L.); весенний прилет, первая встреча деревенской ласточки (*Hirundo rustica* L.). Выбор этих явлений обусловлен следующими обстоятельствами. Представленные виды имеют сравнительно широкие ареалы и поэтому явления охватывают максимально большие территории. Два вида березы не все наблюдатели уверенно различают, поэтому использовано для объекта общее родовое название, объединяющее оба широко распространенных вида – береза. Кроме того, исследования показали, что у разных видов березы фенофазы начинаются при одинаковых экологических условиях, которые, таким образом, являются общими для рода *Betula* (Елагин, 1976). Указанные явления хорошо проявляются в природе, поэтому фиксируются максимально надежно даже не специалистами. По этим явлениям накоплен большой массив данных за длительный период (по некоторым пунктам более 100 лет). Таким образом, представлены данные по наступлению событий у растений и животных, что позволяет рассматривать реакции видов из разных таксонов на изменения климата; явления представляют разные сезоны года (весна, лето, осень). По березе представлены два события, что позволяет анализировать пространственно-временные изменения ее вегетационного периода. Также использовались данные по температуре воздуха за весну, лето, осень, зиму, год.

Рассчитывались и строились картограммы коэффициентов линейных трендов за период 1991-2022 гг., (1991 – начальный год базового климатического 30-летнего периода), где также отмечались отклонения от средних многолетних значений за 2022 г. В связи с недостатком фенологических данных за последние 30 лет, мы расширили период вычисления средних многолетних значений до 1971-2020 гг. Рисунки построены с помощью программы Golden\_SURFER (13.0.383), куда встроен алгоритм кригинговой интерполяции. По некоторым пунктам и явлениям (черемуха и кукушка) с продолжительными наблюдениями приводятся графики рядов за весь период наблюдений с расчетом линейного тренда за этот период и последние годы. Для березы рассчитывалась продолжительность вегетационного периода как разность дат полного пожелтения и дат начала разворачивания листьев.

Продолжительность наблюдений в пунктах разная, так как объединены данные разных сетей и наблюдателей. Средние за 50 лет считались, если в этот период было не менее 5 лет наблюдений. Период расчета трендов не менее 27 лет (допускалось не более 5 пропусков наблюдений, из них не более трех пропусков в начале и в конце периода оценки тренда). Для расчета средних многолетних из общей базы в выборке использованы данные: первые листья у березы – 267 пунктов, полное пожелтение березы – 271, продолжительность вегетационного периода березы – 214, начало цветения черемухи – 301, липы – 231, пер-

вое кукование кукушки – 301, прилет деревенской ласточки – 275. При расчете трендов использовались данные меньшего количества пунктов.

Область изолиний средних многолетних значений фенологических явлений ограничена ареалами видов и доступными данными. Заливка трендов ограничивается распределением пунктов, по которым проводились расчеты.

## Результаты

Рассматриваемые явления происходят в разные фенологические (естественные) сезоны и подсезоны, которые не всегда совпадают с климатическими сезонами (часто фенологические рубежи отстают от климатических). Индикатором наступления подсезона разгар весны (зеленая весна) в средней полосе является начало разворачивания листьев у березы, которое происходит при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха через 8°C (Минин, 1995; Минин и др., 2016). Характерными признаками этого периода также выступают цветение черемухи, кукование кукушки и прилет деревенской ласточки. Начало цветения липы сердцелистной является индикатором наступления подсезона полное лето (краснолетье) (Минин и др., 2018). Характерным признаком наступления подсезона золотая осень выступает полное пожелтение листьев у березы.

### *Температура атмосферного воздуха (рис. 1)*

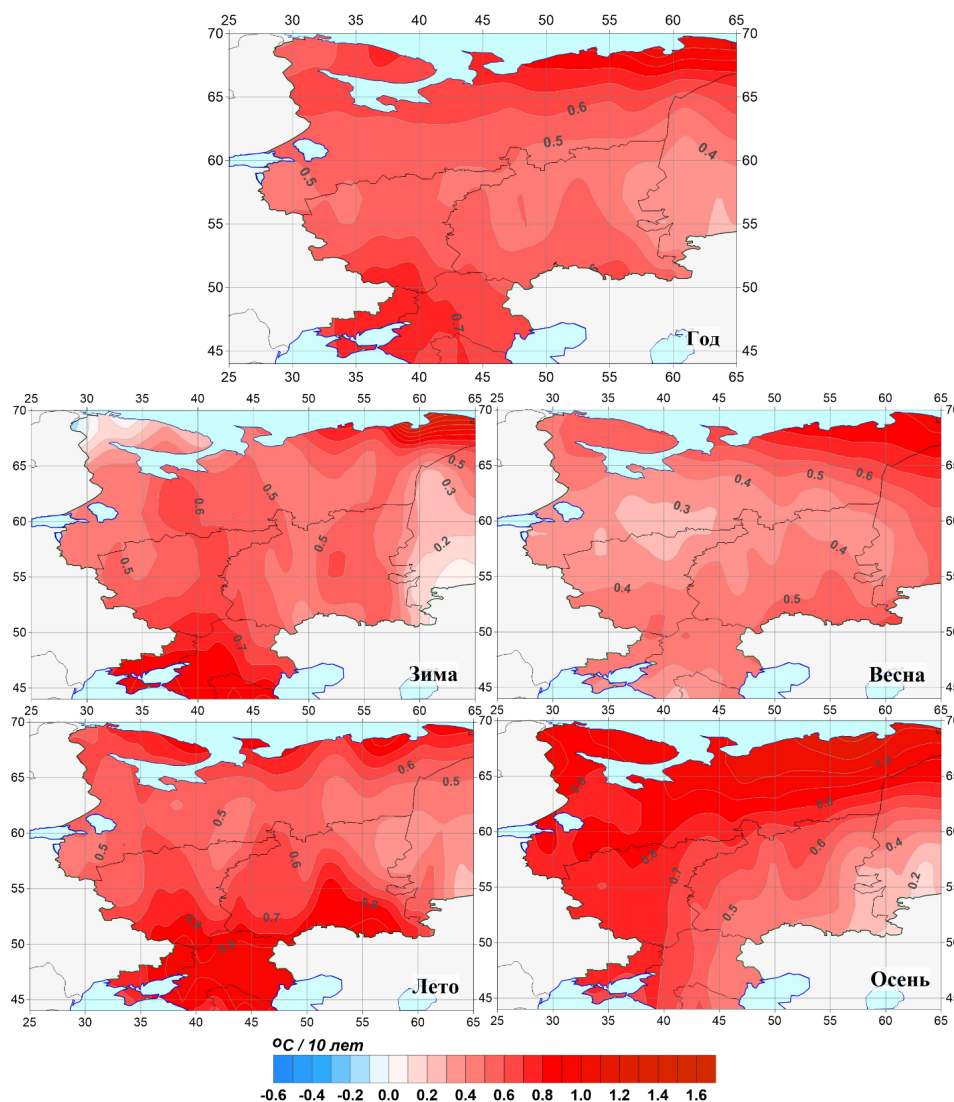
Тренд на потепление отмечается во все сезоны и на всей территории (рис. 1) (Доклад..., 2023). Наиболее активно годовая температура повышается на севере и юге территории; зимняя – на крайнем северо-востоке и юге (на юго-востоке темпы минимальные); весенняя – на северо-востоке (в центральных районах в 2 и более раз медленнее); летняя, как и зимняя, – на севере и юге; осенняя – на большей части территории за исключением юго-востока.

### *Береза (рис. 2 а,б,в; 3 а,б,в)*

Изофены средних многолетних значений дат начала разворачивания листьев имеют широтное расположение, только в южной полосе изолинии идут с северо-запада на юго-восток.

Скорость продвижения «зеленой волны» снижается от 1 дня и менее на 1 градус широты на юге до 2-3 дней на 1 градус в северо-восточных районах ЕЧР. Области разных значений сменяются с запада на восток: в западном секторе преобладают смещения на более ранние сроки (до -2.0...-2.5 дней/10 лет), в центральном и восточном секторах незначительные смещения на более поздние. Но фактически тренды слабые. Также следует учитывать, что пунктов наблюдений в восточном секторе сравнительно немного. Полная осенняя окраска листьев березы практически везде стала наступать позже. Поле изолиний средних многолетних значений отличается от картины с первыми листьями: в целом также прослеживается направление север – юг, но изолинии носят более ломаный характер. Вегетационный период имеет тенденцию к удлинению практически на всей территории ЕЧР со скоростью до 3-4 дней/10 лет.

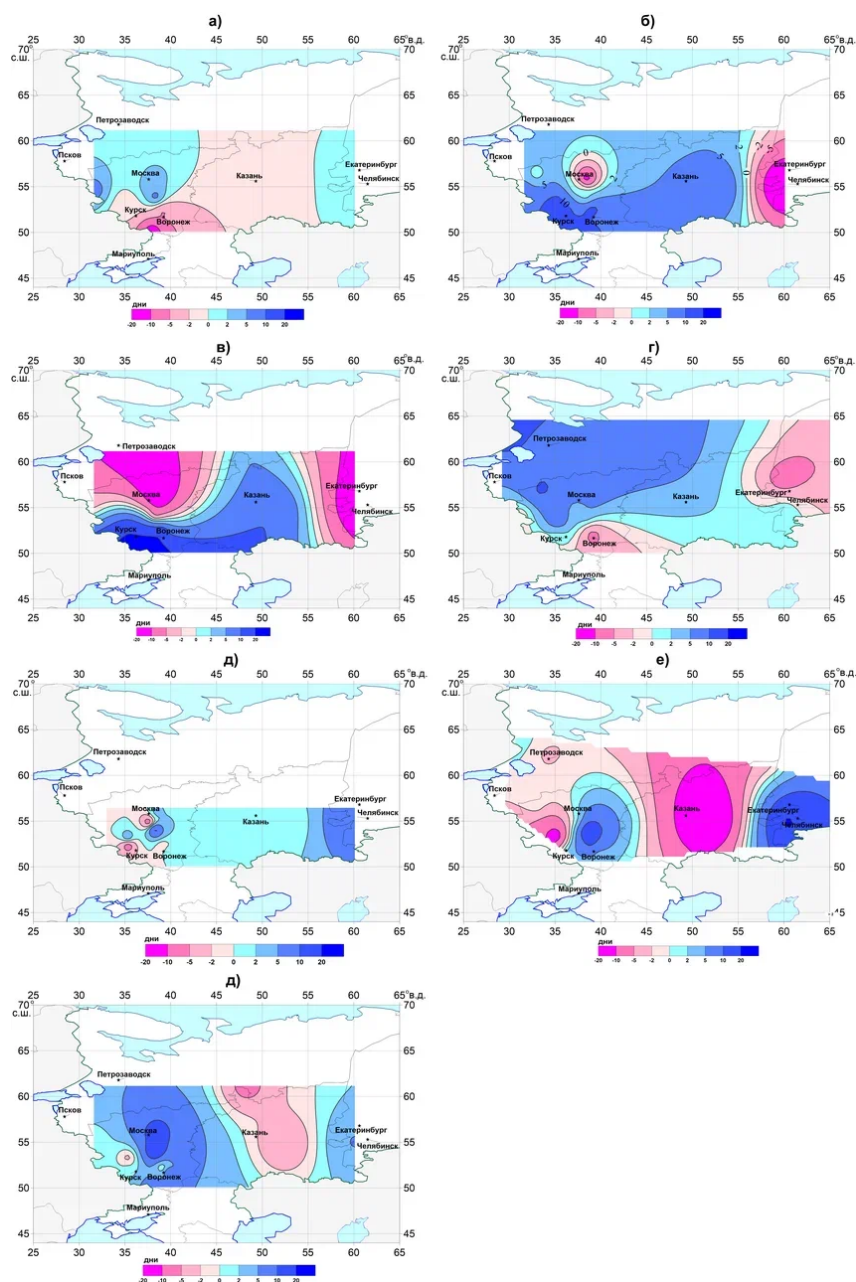
Отклонения дат начала появления листьев в 2022 г. на значительной части территории составляют до  $\pm 2$  дня, на западе региона и на Урале – в сторону осени, лишь в Воронежской области в сторону весны (до -5 дней). Отклонения дат полного пожелтения в основном в сторону осени, на более ранние сроки в Московском регионе и на востоке территории (Урал). Отклонения значений продолжительности периода вегетации у березы в 2022 г. практически дублируют картину с трендами: на Урале, в Московском регионе и на северо-западе отклонения в сторону сокращения, на юге и в центральной части территории – в сторону увеличения.



**Рисунок 1.** Коэффициент линейного тренда среднегодовой и средних сезонных значений температуры приземного воздуха на европейской территории России за период 1991-2022 гг. ( $^{\circ}\text{C}/10$  лет)

**Figure 1.** Coefficient of linear trend of average annual and average seasonal values of surface air temperature in the European territory of Russia for the period 1991-2022 ( $^{\circ}\text{C}/10$  years)





**Рисунок 3.** Отклонения (дни) сроков наступления событий в 2022 г. от средних многолетних значений (1971-2020 гг.)

**Береза:** а) начало разворачивания листьев; б) полное пожелтение листьев; в) продолжительность вегетационного периода; г) начало цветения *черемухи обыкновенной*; д) начало цветения *липы сердцелистной*; е) первое кукование кукушки; ж) весенний прилет *деревенской ласточки*

**Figure 3.** Deviations (days) of the timing of events in 2022 from long-term averages (1971-2020)  
**Betula:** а) the beginning of the unfolding of the leaves; б) a complete yellowing of the leaves; в) the duration of the growing season; г) the beginning of flowering of *Prunus padus* L.; д) the beginning of flowering of *Tilia cordata* Mill.; е) the first cuckooing of *Cuculus canorus* L.; ж) the spring arrival of *Hirundo rustica* L.

### ***Черемуха обыкновенная (рис. 2г, 3г, 4)***

Черемуха начинает цвести через 10-12 дней после разворачивания первых листьев у березы. Поля изолиний средних многолетних значений имеют сходную с березой конфигурацию и скорости продвижения. Но поля коэффициентов трендов различаются. У черемухи преобладают смещения на более ранние сроки на большей территории, причем скорость возрастает в северном направлении. Выделяются области с положительными тенденциями на западе и юго-востоке региона. На графиках многолетней динамики (рис. 4) по всем пунктам смещения на более ранние сроки. Отклонения в 2022 г. локально на юге и востоке отрицательные, на остальной территории – положительные.

### ***Липа сердцелистная (рис. 2д, 3д)***

Изолинии средних значений дат начала цветения имеют преимущественно широтное расположение, волна цветения идет с юга. Скорость продвижения в западной и центральной части составляет около 3 дней на градус, на востоке, в Предуралье – менее 1 дня. Смещение сроков в сторону весны усиливается от восточной области к северу и к западу, где коэффициент достигает -4...-5 дней/10 лет. Отклонения в 2022 г. на подавляющей площади территории в сторону осени, лишь на крайнем западе есть территории с отрицательными отклонениями.

### ***Кукушка (рис. 2е, 3е, 5)***

Изолинии дат первого кукования отражают общий характер продвижения кукушки с юго-запада на северо-восток и север со скоростью от 1 и менее дней на градус широты на юге до 3 и более дней на градус на северо-востоке, как у березы и черемухи. Как в случае с черемухой, коэффициенты трендов на более раннее кукование повышаются с юга на северо-восток и северо-запад (до -2.0...-2.5 дней/10 лет). А в центре и на юго-востоке сформировались области с противоположными знаками. На графиках рис. 5 фиксируется разнонаправленные слабовыраженные смещения первой песни кукушки, пространственно соответствующие рис. 2е.

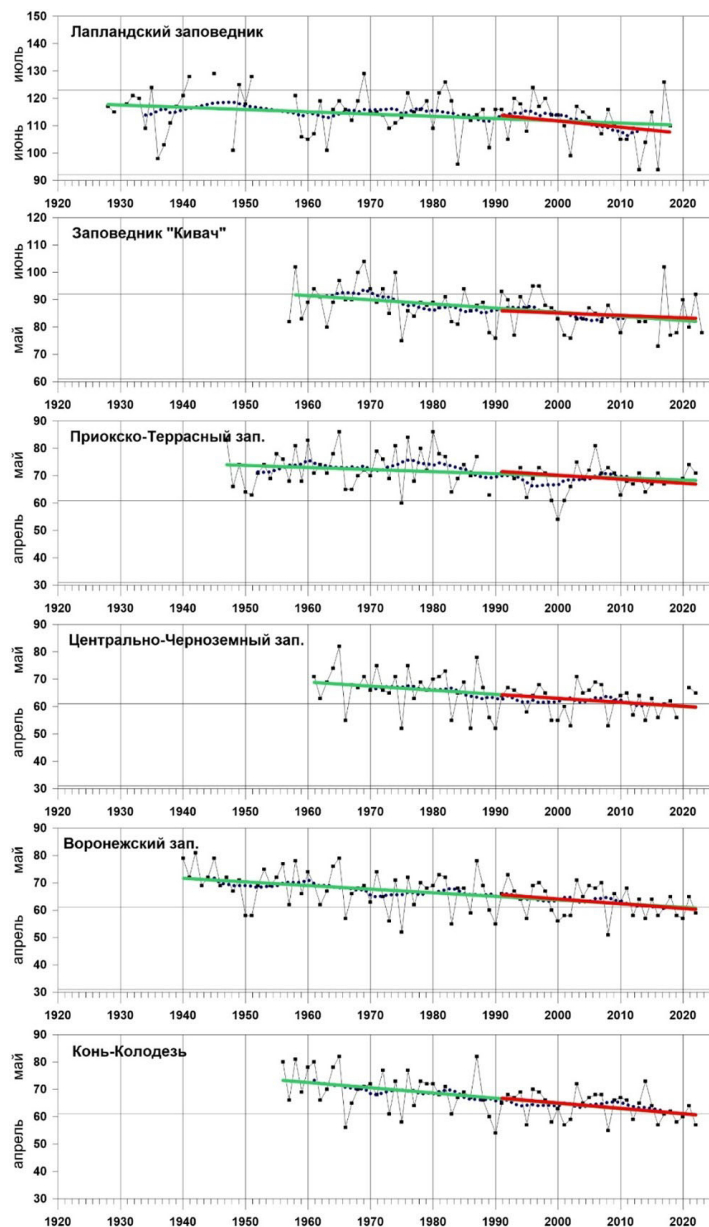
Картина отклонений в 2022 г. подобна ситуации с трендами: в обширной области от Воронежа на север и на Урале отклонения на более поздние сроки (до 10 дней), между этими зонами области с отрицательными отклонениями. Хорошо проявляется долина Волги с отклонениями на ранние сроки до -10 дней.

### ***Деревенская ласточка (рис. 2ж, 3ж)***

Скорость продвижения ласточки замедляется от одного дня на юге до 3-5 дней на градус широты на северо-востоке. Хорошо проявляются бассейн Волги, по которому ласточки, очевидно, продвигаются раньше, чем на прилегающих территориях, и Урал, где, напротив, они появляются с опозданием. С запада на восток чередуются области с отрицательными и положительными небольшими по абсолютной величине значениями коэффициентов трендов

---

( $\pm 1.5$  дней/10 лет). Отклонения в 2022 г., как и в случае с кукушкой, повторяют в целом картину трендов, но преобладают синие цвета, что свидетельствует о более позднем появлении ласточек в этом году. Лишь в бассейне Волги отмечается зона с красным цветом.



**Рисунок 4.** Динамика дат начала цветения *черемухи* с линиями трендов за весь период наблюдений (зеленая линия) и за 1991-2022 гг. (красная линия). Пунктирной линией показано 11-летнее скользящее среднее. Заповедники: Лапландский, Кивач, Приокско-Террасный, Центрально-Черноземный, Воронежский; пос. Конь-Колодезь (Липецкая обл.)

**Figure 4.** Dynamics of the dates of the beginning of *Prunus padus L.* with trend lines for the entire observation period (green line) and for 1991-2022 (red line). The dotted line shows the 11-year moving average. Nature Reserves: Lapland, Kivach, Prioksko-Terrasnyi, Central Chernozem, Voronezh; village Kon'-Kolodez' (Lipetsk region)

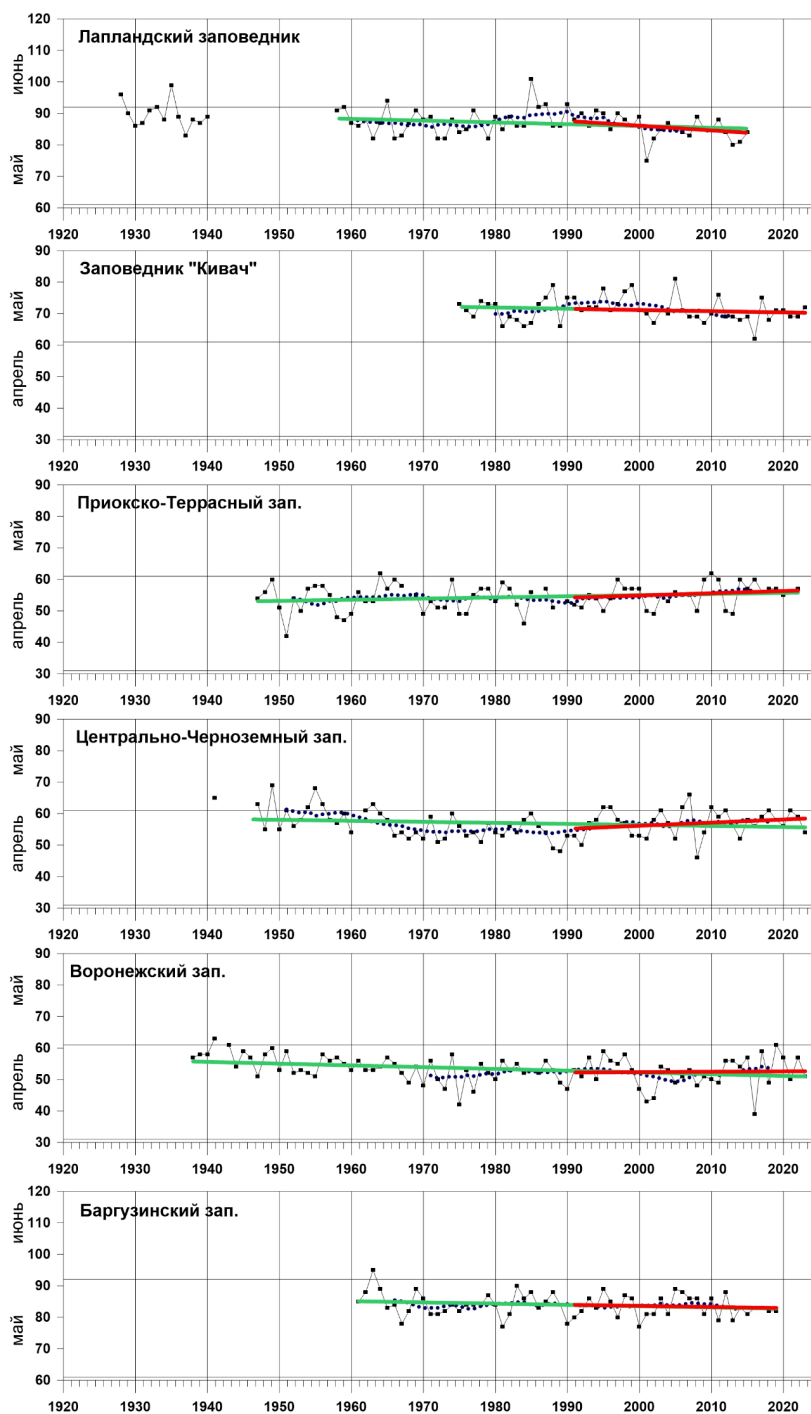
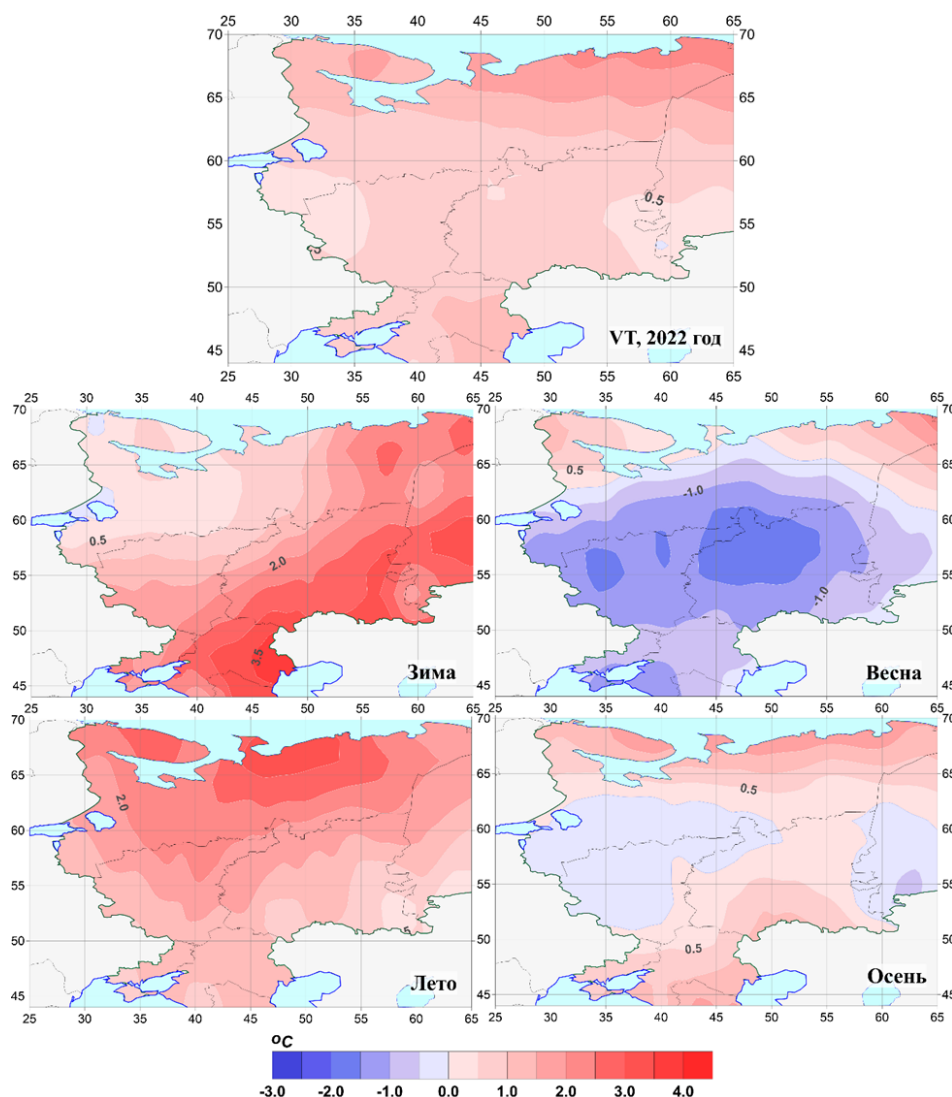


Рисунок 5. Первое кукование кукушки. Заповедники: Лапландский, Кивач, Приокско-Тerrasный, Центрально-Черноземный, Воронежский, Баргузинский  
Условные обозначения см. на рис. 4

Figure 5. The first cuckooing of the *Cuculus canorus* L. Nature Reserves (up-to-down): Lapland, Kivach, Prioksko-Terrasnyi, Central Chernozem, Voronezh, Barguzinsk  
See the legend in Fig. 4



**Рисунок 6.** Аномалии средней годовой и средних сезонных значений температур приземного воздуха на европейской территории России в 2022 г. (отклонения от средних за 1991-2020 гг.) (Доклад..., 2023)

**Figure 6.** Anomalies of the average annual and average seasonal surface air temperatures in the European territory of Russia in 2022 (deviations from the average for 1991-2020) (Report..., 2023)

## Обсуждение

Общая закономерность для всех рассматриваемых явлений – смещение средних многолетних значений дат наступления весенних и летних явлений с юга на север на более поздние сроки, аналогично сокращение продолжительности вегетационного периода, и обратное направление для осенних явлений, что свидетельствует о едином климатическом факторе, обуславливающим

данную закономерность. Это, в первую очередь, характер распределения поступающей от Солнца энергии по широтам и по времени года, который определяет и сходный режим функционирования живой природы.

Выявленная общая тенденция активного потепления всех сезонов и года в целом (до  $0.8-1.0^{\circ}\text{C}/10$  лет) предопределяет, казалось бы, соответствующие изменения в динамике живой природы. Однако полного соответствия нет (рис. 1, 2). Начало разворачивания листьев у березы за период 1971-2020 гг. стало наступать на 5-10 дней раньше, чем за период 1962-1966 гг. (Сезонная жизнь..., 1970). Более того, тренд на более ранние сроки, например, в парке Лесотехнической академии Санкт-Петербурга прослеживается с середины 1860-х годов до 1970 г. (Сезонная жизнь..., 1979). Хотя, возможно, это обусловлено влиянием развивающегося «острова тепла» над крупным городом. Смена областей разных трендов с запада на восток за период 1991-2022 гг. видимо, в большей степени обусловлена внутривнутрипопуляционными процессами, чем климатом. Ранее были описаны особенности гомеостатических механизмов противостояния биоты направленным внешним воздействиям (Минин и др., 2018). Этими же механизмами, очевидно, обусловлены и относительно небольшие по абсолютным значениям коэффициенты линейных трендов (рис. 2а). Полное пожелтение листьев практически повсеместно стало наступать позже, причем абсолютные значения коэффициентов существенно выше, чем у весеннего явления – до 4-5 дней/10 лет (рис. 2б).

Вариабельность средних значений может быть обусловлена большим участием в осенних фенособытиях геоморфологических, гидрологических, погодных факторов, чем это происходит весной, когда преобладает влияние термического фактора.

Соответственно, продолжительность вегетационного периода практически повсеместно увеличилась, в основном за счет осеннего явления (рис. 2в). Аналогичная тенденция отмечена на территории Китая (Ge et al., 2014). Учеными США было показано, что у лиственных пород бореальной зоны современное потепление несколько замедляет старение листьев и удлиняет вегетационный период, в том числе у родственной нашим березам *Betula papyrifera* Marshall до 14 дней (Montgomery et al., 2020). Аналогичные результаты получены в работе (Воскова и др., 2007), где увеличение продолжительности вегетационного периода у березы в северных районах ЕЧР за 1970-2000 гг. тоже достигало двух недель. Можно предположить, что и в нашем случае это стало как проявлением пластичной реакции вида на улучшение условий вегетации (потепление, увеличение количества осадков), так и эволюционно сформированной адаптацией видов к условиям смены периодов оледенения и межледниковья. Климатические изменения плейстоцена в умеренных широтах допускали изменение (в ту или другую сторону) продолжительности вегетационного периода при сохранении минимально необходимой длительности периода полного покоя. Его продолжительность составляет в умеренных широтах 2-3 месяца; с середины зимы, когда обычны низкие температуры, наступает период вынужденного покоя (Горышина, 1979). Однако также очевидно, что есть пределы увеличения продолжительности жизнедеятельности

листьев и, следовательно, вегетационного периода. При активном потеплении метаболизм листьев неизбежно ускоряется и их жизненные ресурсы расходуются быстрее. Потепление может в какой-то степени сглаживать фактор продолжительности светового дня, который посылает сигналы к осенним изменениям в состоянии листвы листопадных деревьев. Но, очевидно, не следует ожидать бесконечного возрастания продолжительности вегетации в результате потепления. Поэтому важно наблюдать за сезонными изменениями у берез, чтобы отследить момент торможения роста продолжительности вегетационного периода.

Интересно, что поля трендов дат начала цветения черемухи и первых листьев у березы различаются, хотя они происходят в одном подсезоне. Скорость смещения дат начала цветения черемухи возрастает в направлении северо-востока, что соответствует пространственным особенностям потепления весны (рис. 1, 2г). Однако сформировались две области противоположных тенденций: от Москвы до Санкт-Петербурга и в Челябинской области, которые в целом соответствуют областям пониженных скоростей изменений весенней температуры (рис. 1). Можно предположить, что одна (или несколько) популяций демонстрируют большую пластичность по отношению к климатическим изменениям, а другие локально адаптированные популяции черемухи (в Московском регионе, Челябинской области) демонстрируют устойчивость по отношению к температурным трендам. Если представить биологические виды как совокупность локально адаптированных популяций, то климатические изменения запускают процесс микроэволюции или приводят к исчезновению отдельных адаптаций (Phillimore et al., 2010; Tansey, 2017; Delgado et al., 2020). Таким образом, возможно, на примере черемухи мы сталкиваемся с разными популяционными стратегиями одного вида в разных регионах. С другой стороны, возможен вариант влияния пространственной неравномерности климатических изменений.

Графики многолетней динамики дат начала цветения черемухи (рис. 4) показывают преобладающую тенденцию на их смещение в сторону весны. Причем проявляется она заметно с середины 1970-х годов, которые приняты и за начало современного потепления в России. Однако по Санкт-Петербургу, как и в случае с березой, тенденция на установление более ранних сроков зацветания черемухи прослеживается с середины 1860-х годов (Сезонная жизнь..., 1979). Характер изменений коэффициентов трендов дат начала цветения липы в целом соответствует картине изменений летней температуры (рис. 1) и полям значений коэффициентов у березы (начало разворачивания листьев) и черемухи (начало цветения) в полосе 50-56° с.ш.

Таким образом, можно полагать, тенденции изменений сроков наступления сезонных явлений у рассмотренных видов деревьев отражают общую реакцию на потепление. Пространственная неоднородность фенологических реакций на изменения климата может объясняться наличием локальных адаптаций в популяционной структуре видов, а также физико-географическими особенностями территорий.

Следует отметить практическое совпадение полей коэффициентов трендов для первого кукования кукушки и прилета деревенской ласточки (рис. 2). Характерны области отрицательных значений на юго-западе и юго-востоке территории. Важно учитывать: оба вида насекомоядных появляются в местах гнездования, когда там сформировались условия, благоприятные для обитания и размножения. Задержка прилетов у обоих видов свидетельствует о том, что на зимовках, при перелетах возникают определенные обстоятельства (погодные, кормовые), которые пока трудно объяснить. Но более ранние прилеты определяются готовностью кормовой базы экосистем к приёму мигрантов. В северных широтах благоприятные условия для них стали наступать раньше, что и определило сдвиг дат прилета, особенно у кукушки, на -2.5 дня/10 лет. Здесь очевидное следование климатическим изменениям.

Анализ отклонений дат начала явлений в 2022 г. от средних многолетних показывает, что этот год не был сильно аномальным. Однако впервые за несколько лет на большей части ЕЧР весной были зафиксированы отклонения температуры воздуха до  $-0.84^{\circ}\text{C}$  (рис. 6), что отразилось на фенологии как растений, так и птиц. У деревьев преобладают по площади положительные значения в пределах 10 дней. То есть явления наступали с некоторым запозданием относительно многолетних средних. Отклонения у птиц, особенно у деревенской ласточки, также были в основном в сторону более поздних сроков. Характерно, что региональные особенности трендов у птиц практически дублируются на схемах отклонений в 2022 г. Очевидно, что многолетние закономерности прилетов птиц проявились и в 2022 г.

### **Заключение**

Анализ многолетних рядов фенологических данных показал, что в целом живая природа реагирует на современное потепление. Наступают раньше весенние события, осенние – позже, на значительной площади возрастает продолжительность вегетационного периода. Однако однозначного следования фенологических показателей за климатическими везде и всегда не выявлено. Очевидно, есть территориальные особенности проявления реакций, обусловленные как спецификой ландшафтов (предгорья, горы, склоны разной экспозиции, речные долины, характер почвогрунтов, гидрологический режим), так и эволюционно сформированной популяционной структурой видов в тех или иных ландшафтах с разной историей развития. Отклонения сроков наступления явлений в 2022 г. на более поздние сроки стали реакцией на холодную весну. Таким образом, фенологические материалы дополняют климатические данные, позволяют оценивать реакцию биоты как на долговременные изменения климата, так и на его проявления в конкретном году. Можно сделать вывод, что фенологический раздел в ежегодный доклад Росгидромета об особенностях проявления климата на территории Российской Федерации может играть важную роль в более глубоком и комплексном понимании происходящих в природе изменений.

## Благодарности

Авторы выражают признательность всем многочисленным наблюдателям за сезонными изменениями в природе на сети РГО и заповедников, много лет собирающих и предоставляющих в общероссийскую базу данные, благодаря которым формируется народная Летопись природы России.

## Список литературы

Владимиров, Д.Р., Гладилин, А.А., Гнеденко, А.Е., Глухов, А.И., Грудинская, В.А., Здравчев, Н.С., Лебедев, П.А., Минин, А.А., Мироненко, И.В., Сенатор, С.А., Симакова, К.А., Тихомирова, А.В., Шайкина, М.Н., Шипилина, Л.Ю., Ширяев, А.Г., Юрманов, А.А., Янцер, О.В. (2023) *Методика ведения фенологических наблюдений. Памяти основоположника русской фенологии Дмитрия Никифоровича Кайгородова (1846-1924)*, СПб., Русское географическое общество, 208 с.

Воскова, А.В., Гордеева, З.И., Минин, А.А. (2007) Изменение продолжительности вегетации у березы бородавчатой на Восточно-Европейской равнине за последние десятилетия, *Известия РАН, сер. Географическая*, № 3, с. 59-61.

Горышина, Т.К. (1979) *Экология растений*. Учеб. Пособие, М., Высшая школа, 368 с.

*Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год* (2023) М., Росгидромет, 104 с.

Елагин, И.Н. (1976) *Сезонное развитие сосновых лесов*, Новосибирск, Наука, 230 с

Минин, А.А. (1995) Опыт относительного составления календаря природы Русской равнины, *Лесоведение*, № 1, с. 92-94.

Минин, А.А., Ананин, А.А., Буйолов, Ю.А., Ларин, Е.Г., Лебедев, П.А., Поликарпова, Н.В., Прокошева, И.В., Руденко, М.И., Сапельникова, И.И., Федотова, В.Г., Шуйская, Е.А., Яковлева, М.В., Янцер, О.В. (2020) Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России. *Nature Conservation Research, Заповедная наука*, т. 5(4), с. 89-110, doi: 10.24189/ncr.2020.060.

Минин, А.А., Буйолов, Ю.А., Фомин, Б.Н., Лебедев, П.А. (2023) Временные ряды фенологических данных северной Евразии. *Свидетельство о регистрации базы данных* 2023620776, 03.03.2023, Заявка № 2023620358 от 14.02.2023.

Минин, А.А., Ранькова, Э.Я., Рыбина, Е.Г., Буйолов, Ю.А., Сапельникова, И.И., Филатова, Т.Д. (2016) Феноиндикация изменений климата за период 1976-2015 гг. в центральной части европейской территории России: береза бородавчатая (повислая) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)),

---

*Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXVII, № 2, с. 17-28.

Минин, А.А., Ранькова, Ф.Я., Буйволов, Ю.А., Сапельникова, И.И., Филатов, Т.Д. (2018) Фенологические тренды в природе центральной части Русской равнины в условиях современного потепления, *Жизнь Земли*, т. 40, № 2, с. 162-174.

*Сезонная жизнь природы Русской равнины. Дневники природы за 1962-1966 гг.* (1970) Л., Наука, 316 с.

*Сезонная жизнь природы Русской равнины. Календари природы Нечерноземной зоны России за 1960-1972 гг.* (1979) Л., Наука, 163 с.

*Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* (2008) М., Росгидромет, 291 с.

Delgado, M., Roslin, T., Tikhonov, G. et al. (2020) Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 49, pp. 31249-31258, doi: 10.1073/PNAS.2002713117.

Ge, Q., Wang, H., Rutishauser, T., Dai, J. (2014) Phenological response to climate change in China: A meta-analysis, *Global Change Biology*, no. 21, pp. 265-274, doi: 10.1111/gcb.12648.

Montgomery, R.A., Rice, K.E., Stefanski, A., Rich, R.L., Reich, P.B. (2020) Phenological responses of temperate and boreal trees to warming depend on ambient spring temperatures, leaf habit, and geographic range, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 19, pp. 10397-10405, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1917508117>.

Phillimore, A.B., Hadfield, J.D. Jones, O.R., Smithers, R.J. (2010) Differences in spawning date between populations of common frog reveal local adaptation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 18, pp. 8292-8297, doi: 10.1073/pnas.0913792107.

Tansey, C.J., Hadfield, J.D., Phillimore, A.B. (2017) Estimating the ability of plants to plastically track temperature-mediated shifts in the spring phenological optimum, *Glob Chang Biol*, vol. 23, no. 8, pp. 3321-3334, doi: 10.1111/gcb.13624.

## References

Vladimirov, D.R., Gladilin, A.A., Gnedenko, A.E., Gluhov, A.I., Grudinskaya, V.A., Zdravchev, N.S., Lebedev, P.A., Minin, A.A., Mironenko, I.V., Senator, S.A., Simakova, K.A., Tihomirova, A.V., Shajkina, M.N., Shipilina, L.Yu., Shiryaev, A.G., Yurmanov, A.A., Yancer O.V. (2023) *Metodika vedeniya fenologicheskikh nablyudenij* [Methodology for conducting phenological observations]. *Pamyati osnovopolozhnika russkoj fenologii Dmitriya Nikiforovicha Kajgorodova (1846-1924)*, St. Petersburg, Russia, 208 p.

Voskova, A.V., Gordeeva, Z.I., Minin, A.A. (2007) *Izmenenie prodolzhitel'nosti vegetatsii u berezy borodavchatoy na Vostochno-Evropejskoj ravnine za poslednie desyatiletija* [Changes in the growing season of the warty birch in the Eastern European plain over the past decades], *Izvestia of the Russian Academy of Sciences, Geographical series*, no. 3, pp. 59-61.

Goryshina, T.K. (1979) *Ekologiya rastenij* [Plant ecology], Moscow, Russia, 368 p.

*Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossijskoj Federacii za 2022 god* [Report on climate features in the Russian Federation for 2022] (2023) Moscow, Russia, 104 p.

Elagin, I.N. (1976) *Sezonnoe razvitie sosnovykh lesov* [Seasonal development of pine forests], Novosibirsk, Russia, 230 p.

Minin, A.A. (1995) Opyt otnositel'nogo sostavleniya kalendarya prirody Russkoj ravniny [The experience of relative compilation of the calendar of the nature of the Russian plain], *Lesovedenie*, no. 1, pp. 92-94.

Minin, A.A., Ananin, A.A., Bujvolov, Yu.A., Larin, E.G., Lebedev, P.A., Polikarpova, N.V., Prokosheva, I.V., Rudenko, M.I., Sapel'nikova, I.I., Fedotova, V.G., Shujskaya, E.A., Yakovleva, M.V., Yancer, O.V. (2020) Rekomendacii po unifikacii fenologicheskikh nablyudenij v Rossii [Recommendations for the unification of phenological observations in Russia], *Nature Conservation Research. Zapovednaya nauka*, vol. 5(4), pp. 89-110, doi: 10.24189/ncr.2020.060.

Minin, A.A., Bujvolov, Yu.A., Fomin, B.N., Lebedev, P.A. (2023) *Vremennye ryady fenologicheskikh dannykh severnoj Evrazii* [Time series of phenological data from northern Eurasia], Svidetel'stvo o registracii bazy dannykh 2023620776, 03.03.2023, Zayavka № 2023620358 ot 14.02.2023.

Minin, A.A., Ran'kova, E.Ya., Rybina, E.G., Bujvolov, Yu. A., Sapel'nikova, I. I., Filatova, T.D. (2016) Fenoindikaciya izmenenij klimata za period 1976-2015 gg. v central'noj chasti evropejskoj territorii Rossii: bereza borodavchataya (povislaya) (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.)) [Phenoindication of climate change for the period 1976-2015. in the central part of European Russia: silver birch (*Betula verrucosa* Ehrh. (*B. pendula* Roth.))], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, vol. XXVII, no. 2, pp. 17-28.

Minin, A.A., Ran'kova, F.Ya., Bujvolov, Yu.A., Sapel'nikova, I.I., Filatova, T.D. (2018) Fenologicheskie trendy v prirode central'noj chasti Russkoj ravniny v usloviyakh sovremennogo potepleniya [Phenological trends in the nature of the central part of the Russian Plain under conditions of modern warming], *Life of the Earth*, vol. 40, no. 2, pp. 162-174.

*Sezonnaya zhizn' prirody Russkoj ravniny. Dnevniki prirody za 1962-1966 gg* [Seasonal life of nature on the Russian Plain. Nature Diaries for 1962-1966] (1970) Leningrad, Russia, 316 p.

---

*Sezonnaya zhizn' prirody Russkoj ravniny. Kalendari prirody Nechernozemnoj zony Rossii za 1960-1972 gg* [Seasonal life of nature on the Russian Plain. Nature calendars of the Non-Black Earth zone of Russia for 1960-1972] (1979) Leningrad, Russia, 163 p.

*Ocenochnyj доклад ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii* [Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2008) Moscow, Russia, 291 p.

Delgado, M., Roslin, T., Tikhonov, G. et al. (2020) Differences in spatial versus temporal reaction norms for spring and autumn phenological events, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 49, pp. 31249-31258, doi: 10.1073/PNAS.2002713117.

Ge, Q., Wang, H., Rutishauser, T., Dai, J. (2014) Phenological response to climate change in China: A meta-analysis, *Global Change Biology*, no. 21, pp. 265-274, doi: 10.1111/gcb.12648.

Montgomery, R.A., Rice, K.E., Stefanski, A., Rich, R.L., Reich, P.B. (2020) Phenological responses of temperate and boreal trees to warming depend on ambient spring temperatures, leaf habit, and geographic range, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 117, no. 19, pp. 10397-10405, URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.1917508117>.

Phillimore, A.B., Hadfield, J.D., Jones, O.R., Smithers, R.J. (2010) Differences in spawning date between populations of common frog reveal local adaptation, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 107, no. 18, pp. 8292-8297, doi: 10.1073/pnas.0913792107.

Tansey, C.J., Hadfield, J.D., Phillimore, A.B. (2017) Estimating the ability of plants to plastically track temperature-mediated shifts in the spring phenological optimum, *Glob Chang Biol.*, vol. 23, no. 8, pp. 3321-3334, doi: 10.1111/gcb.13624.

*Статья поступила в редакцию (Received): 28.03.2024;*

*Статья доработана после рецензирования (Revised): 17.06.2024;*

*Принята к публикации (Accepted): 08.08.2024.*

### Для цитирования / For citation:

Минин, А.А., Буйволов, Ю.А., Самохина, О.Ф., Бардин, М.Ю., Демидов, В.Э., Лебедев, П.А., Поликарпова, Н.В., Прокошева, И.В., Рыжков, О.В., Сапельникова, И.И., Фомин, Б.Н., Шуйская, Е.А., Яковлева, М.В., Янцер, О.В. (2024) Фенологические тренды в природе России: насколько они следуют за изменениями климата? *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 3, с. 378-398, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-378-398.

Minin, A.A., Buyvolov, Yu.A., Samokhina, O.F., Bardin, M.Yu., Demidov, V.E., Lebedev, P.A., Polikarpova, N.V., Prokosheva, I.V., Ryzhkov, O.V.,

Sapelnikova, I.I. , Fomin, B.N., Shuiskaya, E.A., Yakovleva, M.V., Yanzer, O.V.  
(2024) Phenological trends in Russian nature: how much do they follow climate  
changes? *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 3, pp. 378-398,  
doi:10.21513/2410-8758-2024-3-378-398.

## Потоки углерода в процессе газообмена CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в системе «атмосфера – водная среда» прибрежной зоны Байкала

*Д.А. Пестунов<sup>1)</sup>, В.М. Домышева<sup>2)</sup>, А.М. Шамрин<sup>1)</sup>, М.В. Сакирко<sup>2)</sup>,  
М.В. Панченко<sup>1)</sup>\**

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

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

\* Адрес для переписки: *pmv@iao.ru*

**Реферат.** В статье рассматриваются результаты измерений концентраций углекислого газа и метана в приземной атмосфере и их потоков в системе «атмосфера – водная среда» на акватории, примыкающей к западному побережью Южного Байкала (координаты 51°54'N, 105°05'E). Измерения проводились с 2012 г. по 2023 г. Показано, что в пункте наблюдений сток из атмосферы массы углекислого газа в озеро в расчете на один квадратный метр водной поверхности за весь период открытой воды приблизительно в 100 раз превышает выход метана из водной среды в атмосферу. С учетом соотношения этих потоков и потенциалов глобального потепления (ПГП) CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> сделано заключение о том, что на исследуемой акватории в период открытой воды сток углекислого газа, как минимум, компенсирует радиационное воздействие, обусловленное эмиссией метана.

**Ключевые слова.** Байкал, газоанализатор, концентрация, потоки углекислого газа, потоки метана, суточный ход, углеродный цикл, радиационный эффект, потенциал глобального потепления.

## Carbon fluxes in the process of gas exchange of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the “atmosphere – water” system of the coastal zone of lake Baikal

*D.A. Pestunov<sup>1)</sup>, V.M. Domysheva<sup>2)</sup>, A.M. Shamrin<sup>1)</sup>, M.V. Sakirko<sup>2)</sup>,  
M.V. Panchenko<sup>1)</sup>\**

<sup>1)</sup>V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
1, Square Academician Zueva, 634021, Tomsk, Russian Federation

<sup>2)</sup>Limnological Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences,  
3, Ulan-Batorskaya, Irkutsk, 664033, P.O. Box 278, Russian Federation

\*Correspondence address: *pmv@iao.ru*

**Abstract.** The article discusses the results of measurements of the concentrations of carbon dioxide and methane in the surface atmosphere and their fluxes in the “atmosphere-water” system in the aquatic area adjacent to the western coast of Southern Baikal (coordinates 51°54'N, 105°05'E). The measurements were carried out in 2012-2023. It was shown that at the observation point, the flux of carbon dioxide from the atmosphere into the lake per square meter of water surface over the entire period of open water is approximately 100 times higher than the release of methane from the lake into the atmosphere. Taking into account the relationship between these fluxes and global warming potentials (GWP) of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub>, it was concluded that in the aquatic area, during the period of open water, the carbon dioxide absorption at least compensates radiative effect of methane emission.

**Keywords.** Baikal, gas analyzer, concentration, carbon dioxide fluxes, methane flux, diurnal course, carbon cycle, radiative effect, global warming potential.

## Введение

В настоящее время одним из наиболее сложных вопросов, обсуждаемых на уровне правительств государств и международного научного сообщества, является проблема определения вклада антропогенных и природных источников в формирование уровней содержания парниковых газов в атмосфере планеты. По мнению многих исследователей, именно рост антропогенных эмиссий является ключевым фактором современного увеличения их концентрации в атмосфере и изменения климата (Семенов, 2004).

Обширная территория и разнообразие природных комплексов Сибири, которые во всех сценариях рассматриваются как один из важнейших регуляторов углеродного цикла в Северном полушарии, требуют особо тщательного изучения (Атлас. Байкальский регион: общество и природа, 2021; Оценка потоков парниковых газов..., 2023; Quegan et al., 2011; Tranvik et al., 2009).

Экосистема озера Байкал, являясь уникальным природным объектом мирового значения, несомненно, представляет особый интерес также и в этом отношении. В современный период, благодаря уникальной трофической цепи озера (по крайней мере, ежегодного ее обновления в фотической зоне), Байкал всегда «молодой». Действительно, многолетние исследования химического состава воды показали, что колебания концентраций основных катионов и анионов не выходят за пределы  $\pm 1\%$  от среднего и, следовательно, вода Байкала может рассматриваться как естественный эталон чистой воды (Грachev и др., 2004).

Основная цель проводимых нами многолетних исследований – изучение межгодовой, сезонной и суточной изменчивости концентраций и потоков углеродосодержащих газов в системе «атмосфера – водная среда» и их связи с биологическими и гидрологическими процессами в воде оз. Байкал. Эта задача – многофакторная и для ее выполнения необходимо привлечение большого объема знаний практически обо всех процессах, определяющих функционирование экосистемы озера и экосистем окружающих его территорий. До начала наших работ измерения концентраций углекислого газа и метана в

атмосфере Байкала и их потоков в системе «атмосфера – водная среда» не проводились. Определение содержания  $\text{CO}_2$  (Мизандронцев и др., 1998) и  $\text{CH}_4$  (например, Karitanov et al., 2007) в воде осуществлялось только по результатам анализа проб, отобранных при стоянке исследовательских судов на станциях в периоды проведения экспедиций. Соответственно, только отдельные короткие серии наблюдений и отсутствие прямых измерений потоков обуславливали большую неопределенность результатов оценки газообмена в системе «атмосфера – водная среда».

Учитывая актуальность проблемы, по предложению академика М.А. Грачева в 2001 г. был сформирован мультидисциплинарный коллектив специалистов. Для проведения регулярных, многолетних комплексных наблюдений в 2006 г. была организована Байкальская атмосферно-лимнологическая обсерватория (ЛИН СО РАН и ИОА СО РАН, 2020). С 2003 года в прибрежной зоне были начаты исследования углекислого газа в системе «атмосфера – водная среда», а с 2012 – одновременные измерения содержания углекислого газа и метана в придонном слое атмосферы, их концентраций в поверхностной и придонной воде, а также их потоков.

В настоящей работе обсуждаются результаты оценки соотношения потоков углекислого газа и метана в углеродном цикле в системе «атмосфера – водная среда», основанные на серии наблюдений в период открытой воды с 2012-2023 гг. в прибрежном районе на западном побережье Южного Байкала. Цель данной публикации – оценить интенсивность газообмена  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  между атмосферой и водной средой в этом районе. Это необходимо как для верификации математических климатических моделей, так и для объективной оценки вклада изучаемой части оз. Байкал в формирование радиационного баланса климатической системы Земли.

## **Методы и материалы**

Представленные в данной работе результаты получены на исследовательском стационаре Лимнологического института СО РАН, который находится на западном побережье Южного Байкала (координаты  $51^\circ 54' \text{N}$ ,  $105^\circ 05' \text{E}$ ). Измерения проводились на примыкающей к стационару акватории в прибрежной части озера. Это открытый залив с каменистым песчаным дном. Здесь от береговой линии на протяжении примерно 100-120 метров происходит постепенное увеличение глубины (до 5-5.5 метров), а затем в районе свала происходит резкое увеличение глубины до более, чем 1 000 м.

Принципиальным аспектом при изучении углеродосодержащих газов, кислорода и биогенных элементов, содержание которых в воде тесно связано с жизнедеятельностью водной биоты, является необходимость проведения наблюдений с хорошим временным разрешением для количественного описания суточного хода измеряемых характеристик. В дальнейшем в цикле наших работ было показано, что такой подход, основанный на анализе суточного хода в длинной серии измерений, дает возможность понять основные ритмы межгодовой и сезонной изменчивости и выявить воздействие конкрет-

ных факторов (Pestunov et al., 2017, Panchenko et al., 2020). Учитывая ранее опубликованные работы авторов, ниже мы ограничимся лишь кратким описанием приборного комплекса и методологии оценки потоков.

Приборный комплекс размещен на оконечности пирса на расстоянии 40 метров от берега. Глубина озера в месте отбора воды вследствие межгодовой и сезонной изменчивости уровня Байкала варьировала в диапазоне от 2 до 3 м. Здесь расположена мачта для измерения метеорологических характеристик, магистрали подачи воды и помещение для газоаналитического комплекса. Вблизи пирса в сторону открытой литорали определена зона отбора проб, где на поверхности воды размещается полупогружная камера для измерения потоков газов.

Исходя из поставленной задачи комплексного измерения физических, химических и биологических составляющих в ходе процесса газообмена в системе «атмосфера – водная среда» в литорали озера, из различных методов определения потоков газа был выбран, на наш взгляд, единственно приемлемый метод «плавающих камер». Этот выбор был продиктован спецификой проведения исследований в прибрежной зоне, т.е. на границе раздела существенно различающихся по рельефу и температурному режиму сред. Иные методы, применяемые в практике подобных измерений в морских, болотных и степных локациях (Goulden et al., 1996), требуют высокоточного определения средних концентраций исследуемого газа и метеорологических величин и их высших статистических моментов (Монин, Обухов, 1954). Более того, в рамках нашей задачи применение камеры имеет еще и то преимущество, что позволяет осуществить забор проб воды для анализа газового, химического и биологического состава непосредственно в месте определения потоков газов.

Суть метода можно кратко описать следующим образом. На поверхность воды каждый час опускается камера, в которой концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  соответствуют атмосферным значениям. Проветривание осуществляется естественным путем, пока камера в течение 40 минут находится в подвешенном над водой положении. После спуска камеры на воду в ней происходит газообмен: при выходе газа из воды его парциальное давление в камере увеличивается, а при стоке наоборот. При этом концентрации  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в воздухе камеры непрерывно регистрируются в течение 15-20 мин. Зная исходную атмосферную концентрацию газов, объем камеры, площадь накрываемой поверхности и скорость увеличения или снижения концентрации каждого из газов в воздухе камеры, вычисляются значения потоков.

Измерения фактических значений концентраций углекислого газа и метана в поверхностной и придонной воде осуществляются с применением эквипракторов. Эквипрактор – это прибор, в который непрерывно подается исследуемая вода и затем осуществляется ее распыление в герметичной камере. Здесь через определенное время устанавливается равновесное парциальное давление изучаемого газа между водой и воздухом, т.е.  $p\text{CO}_2$  и  $p\text{CH}_4$  в воздухе становится равным таковому в воде. Далее этот воздух поступает в газоанализатор, и концентрация газа в воде рассчитывается по измеренному равновесному парциальному давлению с учетом растворимости газа в воде и скорости ее подачи в

эквивалиратор. Для непрерывной подачи воды в эквивалираторы в зоне отбора проб установлены два насоса («поверхность» – расположен на глубине 25-50 см и «дно» – на высоте 10 см от дна). По этим магистралям также производится отбор проб воды для лабораторного анализа содержания кислорода, биогенных элементов, хлорофилла и измерения флуоресцентных характеристик.

Регистрация парциального давления газов осуществляется газоанализатором Picarro G2301-f, обеспечивающим одновременное измерение парциального давления  $\text{CO}_2$  (точность регистрации – 0.3 ppm) и  $\text{CH}_4$  (точность регистрации – 3 ppb). В газоанализатор по заданной программе через систему автоматических клапанов поочередно поступает воздух из атмосферы, двух эквивалираторов и плавающей камеры. По программе измерений осуществляется регулярное проветривание камеры, путем отрыва ее с водной поверхности.

Для отработки методики организации регулярных наблюдений в разные сезоны года было проведено несколько циклов измерений продолжительностью около 30 дней. Далее, основываясь на анализе полученных результатов, для изучения межгодовой и сезонной изменчивости суточного хода исследуемых характеристик было принято решение проводить регулярные серии измерений продолжительностью 10-15 суток. Как показал опыт, в такой отрезок времени обычно укладываются несколько синоптических процессов, а температурный режим воды и состояние биоты, как правило, не претерпевают кардинальных изменений. Это позволяет обеспечить получение вполне репрезентативных данных и оптимизировать материальные и трудовые затраты.

## Результаты и обсуждение

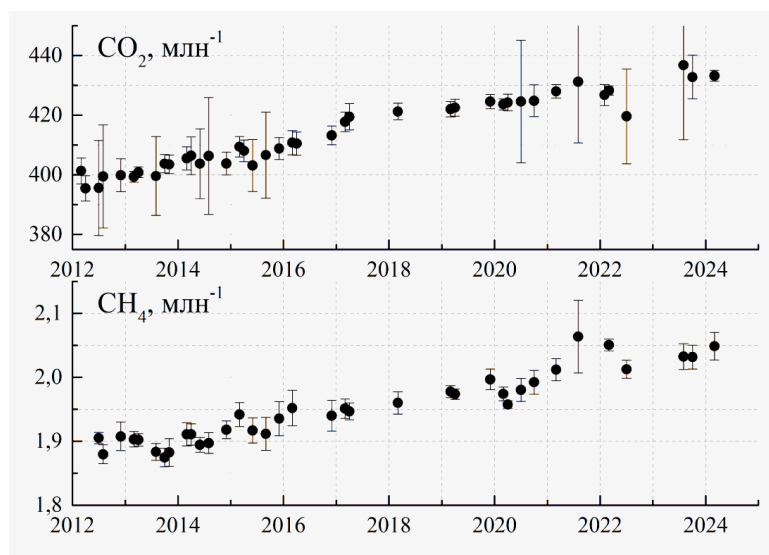
Регулярные исследования концентраций углекислого газа в приводной атмосфере в воде и потоков на Байкале были нами начаты с 2003 г. Но только появление в 2012 г. высокоточного газоанализатора Picarro-G2301-f позволило начать одновременные измерения углекислого газа и метана. За период с марта 2012 г. по март 2024 г. во все сезоны было проведено 36 продолжительных серий комплексных наблюдений в прибрежной зоне Байкала.

Приступая к анализу обсуждаемых серий измерений, необходимо было оценить, насколько данные, полученные в одном наблюдательном пункте, отражают процессы, происходящие в прибрежной зоне озера в целом. Для решения этой задачи нами в летние периоды 2014 г. (Южный Байкал), 2016 г. (Северный Байкал) и 2017 г. (Средний Байкал) были проведены судовые измерения пространственного распределения содержания  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в атмосфере, поверхностной воде и определения преимущественного направления потоков. Регистрация парциального давления углекислого газа и метана в приводном слое атмосферы и поверхностном слое воды проводилась непрерывно по всей трассе, а измерение потоков осуществлялось при продолжительной стоянке судна вблизи берега. Результаты измерений выявили, что в летний период практически по всему периметру прибрежной зоны озера концентрации газов в приводной атмосфере варьировали незначительно, по трассе прохода судна в основном наблюдались только отрицательные значения разности парциаль-

ных давлений  $\text{CO}_2$  между водой и атмосферой (т.е. поглощение водной средой), а давление метана в воде всегда превышало атмосферное (эмиссия). Только в закрытых заливах, испытывающих очевидное антропогенное воздействие, наблюдались потоки углекислого газа в атмосферу и аномально высокие концентрации метана (Panchenko et al., 2018). Результаты этого ограниченного цикла измерений по порядку величины соотношения потоков вполне соответствовали обсуждаемым в работе данным, полученным в летний период (средний суточный сток  $\text{CO}_2$   $\text{мг м}^{-2} \text{ час}^{-1}$  и выход  $\text{CH}_4$   $\text{мкг м}^{-2} \text{ час}^{-1}$  с водной поверхности в атмосферу).

### ***$\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$ в приводном слое атмосферы***

На рис. 1 для каждого цикла в период с 2012 по 2024 гг. представлены статистические характеристики парциальных давлений  $\text{CO}_2$  (а) и  $\text{CH}_4$  (б) в приводном слое атмосферы на исследуемой акватории. Как видим из данных на рис. 1, несмотря на значительные вариации концентраций углекислого газа и метана в приводном слое атмосферы, обусловленных спецификой ветрового режима, за этот период отчетливо проявляется увеличение их среднего содержания. Очевидно, что детальный расчет наблюдающихся трендов в нашем массиве данных нецелесообразен (статистически ряды не однородны). В то же время сопоставление этого ряда с результатами мониторинговых измерений (Антонович и др., 2022; Тимохина и др., 2015; Belikov et al., 2019) показало, что по средним значениям концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  и по динамике их роста год от года представленные на рис. 1 данные вполне укладываются в диапазон изменчивости этих характеристик, наблюдаемых в разных экосистемах Сибири.



**Рисунок 1.** Концентрация  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  в приводном слое атмосферы в измерительных циклах март 2012 г. – март 2024 г.

*Вертикальными отрезками указаны стандартные отклонения*

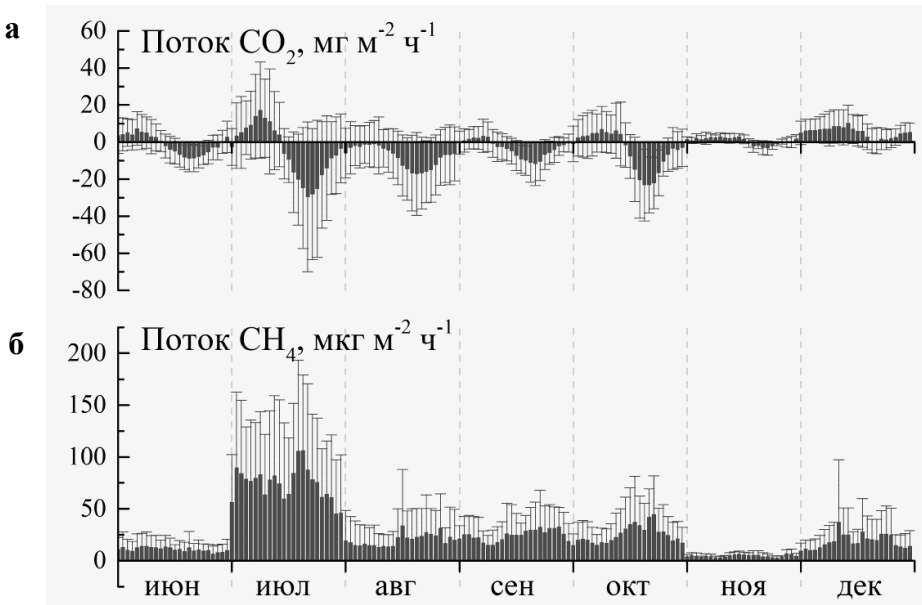
**Figure 1.**  $\text{CO}_2$  and  $\text{CH}_4$  concentrations in the atmospheric layer above water in measurement cycles March 2012 – March 2024

*The vertical bars indicate standard deviations*

## Потоки $\text{CO}_2$ и $\text{CH}_4$ в системе «атмосфера – водная среда»

Переходя к анализу потоков, в первую очередь, необходимо обратить внимание, что анализируемая серия наших наблюдений была проведена, когда на Байкале происходили значительные изменения уровня воды. В 2013 г. завершился относительно стабильный период, затем, с наступлением маловодных лет, в весенне-летний сезоны 2016-2017 гг. уровень достиг минимальной отметки, а с 2018 г. начался его рост и в весенние периоды 2021-2022 гг. наблюдались значения, близкие к критически максимальным (<https://allrivers.info/gauge/baykal>, Гармаев и др., 2019). Но, как отмечено в наших работах, анализ содержания растворенных газов и биогенных элементов в поверхностной воде Байкала показывает, что на фоне значительных сезонных и межгодовых вариаций их концентраций, обусловленных сильной изменчивостью региональных погодных факторов, однонаправленные тренды не проявляются (см. например, Panchenko et al., 2020).

Анализ потоков углекислого газа и метана в период открытой воды в прибрежной зоне Байкала в 2012-2023 гг. был проведен на основе данных 16 стандартных серий измерений. На рис. 2а,б для полного массива имеющихся данных в разные месяцы в период открытой воды представлены среднечасовые значения в суточном ходе потоков. Вертикальными тонкими линиями указаны диапазоны «среднемноголетнее значение  $\pm$  среднеквадратическое отклонение».



**Рисунок 2.** Среднечасовые значения потоков в их суточном ходе в разные месяцы периода открытой воды для углекислого газа (а) и метана (б)

Отрицательные значения соответствуют стоку в водную среду. Вертикальными тонкими линиями указаны диапазоны «среднемноголетнее значение  $\pm$  среднеквадратическое отклонение»

**Figure 2.** Mean hourly  $\text{CO}_2$ (a) and  $\text{CH}_4$ (b) fluxes in their daily patterns in different months for the open water period

Negative values correspond to sink into the aquatic environment. The vertical thin lines indicate the ranges of "mean annual value  $\pm$  standard deviation"

Как показали наши многолетние исследования, в течение всего года концентрация углекислого газа в воде (и потоков в теплый период) имеет хорошо выраженный суточный ход, характеристики которого регулируются интенсивностью и суточным ритмом фотосинтеза водной биоты (см., например, Pestunov et al., 2017). Отметим, что представленные на рис. 2а данные по потокам углекислого газа за период с 2012 по 2023 гг. хорошо согласуются с результатами измерений в течение предыдущего периода с 2003 г. Из рис. 2а видим, что наибольшее различие потоков  $\text{CO}_2$  – ночного выхода и дневного стока – регистрируется в июле. В августе и сентябре в суточном ходе заметно превалирует дневной поток углекислого газа из атмосферы. Далее, к ноябрю амплитуда суточного хода снижается почти до нуля, а в декабре при постоянном выходе  $\text{CO}_2$  в атмосферу в послеполуденное время наблюдается небольшое снижение потока.

Концентрация метана в воде определяется процессами иного пространственно-временного масштаба (см., например, Karitanov et al., 2007). Поток метана с поверхности озера всегда направлен в атмосферу, а сезонный и суточный ход практически не выражены (рис. 2б).

***К совместной оценке потоков углекислого газа  
и метана в период открытой воды***

Для того чтобы ориентировочно оценить баланс потоков  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$  на основе их средних суточных значений (рис. 2а и 2б), был проведен расчет суммарных потоков за каждый месяц периода открытой воды, когда и происходит газообмен между водной поверхностью Байкала и атмосферой. В табл. 1 приведены оценки среднемесячных потоков  $F_{\text{CO}_2}$  и  $F_{\text{CH}_4}$ , их отношения  $F_{\text{CO}_2}/F_{\text{CH}_4}$  и суммарные значения за весь период открытой воды, а в табл. 2 результаты их пересчета на чистый углерод С.

**Таблица 1.** Потоки углекислого газа и метана в период открытой воды

**Table 1.** Carbon dioxide and methane fluxes during the open water period

| Обозначение,<br>размерность                                  | Средние потоки газов и их отношение |      |        |          |         |        |         |                         |
|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------|--------|----------|---------|--------|---------|-------------------------|
|                                                              | июнь                                | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь | Весь<br>период          |
| $F_{\text{CO}_2}$ ,<br>г м <sup>-2</sup> мес. <sup>-1</sup>  | -1.7                                | -5.4 | -9.    | -1.6     | -2.2    | +0.3   | +6.4    | -13.1 г м <sup>-2</sup> |
| $F_{\text{CH}_4}$ ,<br>мг м <sup>-2</sup> мес. <sup>-1</sup> | 9.1                                 | 41.8 | 14.3   | 17.7     | 15.4    | 3.3    | 18.2    | +0.12 г м <sup>-2</sup> |
| $F_{\text{CO}_2}/F_{\text{CH}_4}$                            | -187                                | -129 | -629   | -90      | -143    | +90    | +351    | -109                    |

Итак, по нашим данным, поглощение из атмосферы углекислого газа в расчете на один квадратный метр поверхности воды в каждый месяц с июня по ноябрь по массе более чем в 90 раз (в августе – более чем в 600) превышает эмиссию метана. В ноябре и декабре, когда идет поступление этих газов в атмосферу, также поток углекислого газа намного превосходит поток метана.

Из табл. 2 следует, что в расчете на углерод его поглощение водной средой с потоками углекислого газа за период открытой воды суммарно в 40 раз превосходит эмиссию углерода с потоками метана.

**Таблица 2.** Потоки углерода в период открытой воды (пересчет данных табл. 1)

**Table 2.** Carbon fluxes during the open water period (recalculated data from Table 1)

| Обозначение,<br>размерность                           | Средние потоки углерода и их отношение |      |        |          |         |        |         | Весь<br>период          |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------|------|--------|----------|---------|--------|---------|-------------------------|
|                                                       | июнь                                   | июль | август | сентябрь | октябрь | ноябрь | декабрь |                         |
| $C_{CO_2}$ ,<br>г м <sup>-2</sup> мес. <sup>-1</sup>  | -0.5                                   | -1.5 | -2.5   | -0.4     | -0.6    | +0.1   | +1.8    | -3.6 г м <sup>-2</sup>  |
| $C_{CH_4}$ ,<br>мг м <sup>-2</sup> мес. <sup>-1</sup> | 6.8                                    | 30.7 | 10.7   | 13.3     | 11.6    | 2.5    | 13.7    | +0.09 г м <sup>-2</sup> |
| $C_{CO_2}/C_{CH_4}$                                   | -74                                    | -49  | -234   | -30      | -5      | +40    | +131    | -40                     |

К сожалению, и до настоящего времени подобные измерения потоков парниковых газов в системе «атмосфера – водная среда» на Байкале проводятся только коллективом авторов этой работы, что не позволяет провести сравнения полученных данных.

Одним из важных результатов проведенного исследования является возможность на основе соотношения масс  $CO_2$  и  $CH_4$  провести оценку возможного радиационного эффекта, обусловленного их потоками. Для количественного определения способности вещества производить радиационное воздействие на систему «атмосфера – земная поверхность» во многих публикациях и документах зачастую используется понятие потенциала глобального потепления – ПГП или GWP – global warming potential (Семенов и др., 2018). При оценках радиационного эффекта от эмиссии конкретного газа ПГП рассматривается в  $CO_2$ -эквиваленте. Соответствующие весовые коэффициенты зависят от времени прошедшего с момента поступления газа в атмосферу. По мере совершенствования радиационных моделей и различных сценариев климатических изменений оценка ПГП уточняется. К настоящему времени документы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) рекомендуют в случае оценки последствий выброса метана на период 20 лет использовать  $ПГП_{20} = 81.2$ , а в вековом масштабе времени –  $ПГП_{100} = 28$  (IPCC, 2022).

Очевидно, что полученная нами оценка отношения  $F_{CO_2}/F_{CH_4}=109$  на основе ограниченного набора эмпирических данных может рассматриваться лишь как приблизительная. Но, ориентируясь на это значение ПГП и то обстоятельство, что, одновременно с выходом метана из атмосферы уходит углекислый газ, можно сделать следующий вывод: в период открытой воды на изучаемой нами акватории поглощение углекислого газа, как минимум, компенсирует радиационный эффект, обусловленный эмиссией метана.

## Заключение

На основе наблюдений, проведенных с 2012 по 2023 гг. отдельными сериями в периоды открытой воды (июнь-декабрь) в прибрежной зоне на западном побережье Южного Байкала, сделан анализ данных измерений концентраций углекислого газа и метана в приводном слое атмосферы и их потоков в системе «атмосфера – водная среда». Выявлено, что за этот период в атмосфере наблюдается увеличение концентраций  $\text{CO}_2$  и  $\text{CH}_4$ , которое вполне согласуется с процессами, происходящими в атмосфере разных экосистем Сибири. Определено, что на исследуемой акватории в периоды открытой воды (июнь-декабрь) поглощение углерода водной средой с потоками  $\text{CO}_2$ , в 40 раз превосходит его эмиссию, обусловленную потоками метана.

Показано, что за период июнь-декабрь суммарный поток углекислого газа из атмосферы в водную среду примерно на два порядка величины превышает эмиссию метана. На этой основе сделан вывод о том, что в период открытой воды на исследуемой акватории в прибрежной зоне на западе Южного Байкала сток углекислого газа, как минимум, компенсирует радиационный эффект, обусловленный эмиссией метана.

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

## Список литературы

Антонович, В.В., Антохина, О.Ю., Антохин, П.Н., Аршинова, В.Г., Аршинов, М.Ю., Белан, Б.Д., Белан, С.Б., Давыдов, Д.К., Ивлев, Г.А., Козлов, А.В., Максютов, Ш.Ш., Мачида, Т., Пестунов, Д.А., Пташник, И.В., Рассказчикова, Т.М., Савкин, Д.Е., Сасакава, Симоненков, Д.В., Складнева, Т.К., Толмачев, Г.Н., Фофонов, А.В. (2022) Карбоновые полигоны ИОА СО РАН для исследования динамики парниковых газов в атмосфере, *Системы контроля окружающей среды*, вып. 4 (50), с. 46-60, doi: 10.33075/2220-5861-2022-4-46-60.

*Атлас. Байкальский регион: общество и природа* (2021) М., Паулсен, 320 с.

Гармаев, Е.Ж., Цыдыпов, Б.З. (2019) Уровенный режим оз. Байкал: состояние и перспективы в новых условиях регламентации, *Вестник Бурятского государственного университета. Биология, география*, № 1, с. 37-44.

Грачев, М.А., Домышева, В.М., Ходжер, Т.В., Коровякова, Н.В., Голобокова, Л.П., Погодаева, Т.В., Верещагин, А.Л., Гранин, Н.Г., Гнатовский, Р.Ю., Косторнова, Т.Я. (2004) Глубинная вода озера Байкал – природный стандарт пресной воды, *Химия в интересах устойчивого развития*, № 12, с. 417-429.

Мизандронцев, И.Б., Горбунова, Л.А., Домышева, В.М., Мизандронцева, К.Н., Томберг, И.В., Шимараев, М.Н. (1998) Газообмен Байкала с атмосферой в осенний период, *География и природные ресурсы*, № 1, с. 61-70.

---

Монин, А.С., Обухов, А.М. (1954) Основные закономерности турбулентного перемешивания в приземном слое атмосферы, *Труды Геофизического института АН СССР*, № 24 (151), с. 163-187.

*Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации* (2023) Под ред. А.А. Романовской, М., ИГКЭ, ООО «Принт», 343 с.

Семенов, С.М. (2004) *Парниковые газы и современный климат Земли*, М., Метеорология и гидрология, 175 с.

Семенов, С.М., Говор, И.Л., Уварова, Н.Е. (2018) *Роль метана в современном изменении климата*, Москва, 105 с.

Тимохина, А.В., Панов, А.В., Прокушкин, А.С., Онучин, А.А., Хайманн, М. (2015) Временная изменчивость концентрации CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в атмосфере среднетаежных экосистем Сибири, *Известия РАН. Серия Географическая*, № 2, с. 112-121.

Belikov, D., Arshinov, M., Belan, B., Davydov, D., Fofonov, A., Machida Toshinobu, Sasakawa Motoki (2019) Analysis of the diurnal, weekly, and seasonal cycles and annual trends in atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> at tower network in Siberia during 2005-2016, *Atmosphere*, vol. 10, no. 11, p. 689, available at: <https://doi.org/10.3390/atmos10110689>.

Goulden, M.L., Munger, J.W., Fan, S.M., Daube, B.C., Wofsy, S.C. (1996) Measurements of carbon storage by long-term eddy correlation: Methods and a critical evaluation of accuracy, *Glob. Change Biol.*, vol. 2, no. 3, pp. 169-182.

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*, Cambridge, New York, Cambridge University Press, 3056 p., doi:10.1017/9781009325844.

Kapitanov, V.A., Tyryshkin, I.S., Krivolutskii, N.P., Ponomarev, Yu.N., De Batist, M., Gnatovsky, R.Yu. (2007) Spatial distribution of methane over Lake Baikal surface, *Spectrochimica Acta Part A.*, no. 66, pp. 788-795.

Panchenko, M.V., Domysheva, V.M., Pestunov, D.A., Sakirko, M.V., Shamrin, A.M., Shmargunov, V.P. (2020) Carbon dioxide in the atmosphere-water system and biogenic elements in the littoral zone of Lake Baikal during period 2004-2018, *J. Great Lakes Res.*, no. 46, pp. 85-94, doi.org/10.1016/j.jglr.2019.10.016.

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

Pestunov, D.A., Shamrin, A.M., Domysheva, V.M., Sakirko, M.V., Panchenko M.V. (2017) Diurnal behavior of the flux and partial pressure of carbon dioxide in the surface water in solar time coordinates (the period of open water in

the south Baikal littoral in 2004-2015), *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 30, no. 4, pp. 372-381.

Quegan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I.C., Peylin, P., Rödenbeck, C., Lucht, W., Nilsson, S., Schmullius, C. (2011) Estimating the carbon balance of central Siberia using landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and dynamic global vegetation models, *Glob. Change Biol.*, vol. 17, pp. 351-365, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x.

Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, P., Finlay, K. et al. (2009) Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate, *Limnol. Oceanogr.*, vol. 54, no. 6, part 2, pp. 2298-2314.

## References

Antonovich, V.V., Antokhina, O.Yu., Antokhin, P.N., Arshinova, V.G., Arshinov, M.Yu., Belan, B.D., Belan, S.B., Davydov, D.K., Ivlev, G.A., Kozlov, A.V., Maksyutov, Sh.Sh., Machida, T., Pestunov, D.A., Ptashnik, I.V., Rasskazchikova, T.M., Savkin, D.E., Sasakawa, Simonenkov, D.V., Sklyadneva, T.K., Tolmachev, G.N., Fofonov, A.V. (2022) Carbonovie poligoni IOA SO RAN dly issledovanie dinamici parnicovih gazov v atmosfere [Carbon testing sites of the IOA SB RAS for studying the dynamics of greenhouse gases in the atmosphere], *Sistemy kontroly okruzhayushchei sredy*, vol. 4 (50), pp. 46-60, doi: 10.33075/2220-5861-2022-4-46-60.

*Atlas. Baicalskii region: obshestvo i priroda* [Atlas. Baikal region: society and nature] (2021) Paulsen, Moscow, Russia, 320 p.

Garmaev, E.Zh., Tsydypov, B.Z. (2019) Urovnevii regim oz. Baical: sostoynie i perspektivy v novih usloviyakh reglamentatsii [Lake Baikal water level regime: status and prospects under new regulatory conditions], *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Biology, geography*, no. 1, pp. 37-44.

Grachev, M.A., Domysheva, V.M., Khodzher, T.V., Korovyakova, N.V., Golobokova, L.P., Pogodaeva, T.V., Vereshchagin, A.L., Granin, N.G., Gnatovsky, R.Yu., Kostornova, T.Ya. (2004) Glubinay voda ozera Baikal – prirodnyy standart presnoy vody [Deep water of Lake Baikal – a natural standard of fresh water], *Chimiy v interesakh ustoychivogo razvitiya*, no. 12, pp. 417-429.

Mizandrontsev, I.B., Gorbunova, L.A., Domysheva, V.M., Mizandrontseva, K.N., Tomberg, I.V., Shimaraev, M.N. (1998) Gazoobmen Baikala s atmosferoi v osennii period [Gas exchange of Lake Baikal with the atmosphere in autumn], *Geografiya i prirodnye resursy*, no. 1, pp. 61-70.

Monin, A.S., Obukhov, A.M. (1954) Osnovnye zakonomernosti turbulentnogo peremeshivaniya v prizemnom sloye atmosfery [Basic patterns of turbulent mixing in the surface layer of the atmosphere], *Trudy Geofizicheskogo instituta AN SSSR*, no. 24 (151), pp. 163-187.

*Ocenka potokov parnikovih gazov v ekosistemah regionov Rossijskoi Federacii* [Assessment of greenhouse gas fluxes in ecosystems of the regions of the Russian Federation] (2023) In A.A. Romanovskaya (ed.), OOO Print, Moscow, Russia, 343 p.

Semenov, S.M. (2004) *Parnicovie gazi I sovremennii klimat Zemli* [Greenhouse gases and the modern climate of the Earth], Meteorology and hydrology, Moscow, Russia, 175 p.

Semenov, S.M., Govor, I.L., Uvarova, N.E. (2018) *Rol' metana v sovremennom izmenenii klimata* [The role of methane in modern climate change], Moscow, Russia, 105 p.

Timokhina, A.V., Panov, A.V., Prokushkin, A.S., Onuchin, A.A., Heimann, M. (2015) Vremennay izmenchivost koncentracii CO<sub>2</sub> i CH<sub>4</sub> v atmosfere srednetaegnih ecosystem Sibiri [Temporal variability of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> concentrations in the atmosphere of middle taiga ecosystems of Siberia], *Izvestiya RAN Seriy Geograficheskay*, no. 2, pp. 112-121.

Belikov, D., Arshinov, M., Belan, B., Davydov, D., Fofonov, A., Machida Toshinobu, Sasakawa Motoki (2019) Analysis of the diurnal, weekly, and seasonal cycles and annual trends in atmospheric CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> at tower network in Siberia during 2005-2016, *Atmosphere*, vol. 10, no. 11, p. 689, available at: <https://doi.org/10.3390/atmos10110689>.

Goulden, M.L., Munger, J.W., Fan, S.M., Daube, B.C., Wofsy, S.C. (1996) Measurements of carbon storage by long-term eddy correlation: Methods and a critical evaluation of accuracy, *Glob. Change Biol.*, vol. 2, no. 3, pp. 169-182.

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*, Cambridge, New York, Cambridge University Press, 3056 p., doi:10.1017/9781009325844.

Kapitanov, V.A., Tyryshkin, I.S., Krivolutskii, N.P., Ponomarev, Yu.N., De Batist, M., Gnatovsky, R.Yu. (2007) Spatial distribution of methane over Lake Baikal surface, *Spectrochimica Acta Part A*, no. 66, pp. 788-795.

Panchenko, M.V., Domysheva, V.M., Pestunov, D.A., Sakirko, M.V., Shamrin, A.M., Shmargunov, V.P. (2020) Carbon dioxide in the atmosphere-water system and biogenic elements in the littoral zone of Lake Baikal during period 2004-2018, *J. Great Lakes Res.*, no. 46, pp. 85-94, doi.org/10.1016/j.jglr.2019.10.016.

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

Pestunov, D.A., Shamrin, A.M., Domysheva, V.M., Sakirko, M.V., Panchenko M.V. (2017) Diurnal behavior of the flux and partial pressure of carbon

dioxide in the surface water in solar time coordinates (the period of open water in the south Baikal littoral in 2004-2015), *Atmospheric and Oceanic Optics*, vol. 30, no. 4, pp. 372-381.

Quegan, S., Beer, C., Shvidenko, A., McCallum, I., Handoh, I.C., Peylin, P., Rödenbeck, C., C., Lucht, W., Nilsson, S., Schmullius, C. (2011) Estimating the carbon balance of central Siberia using landscape-ecosystem approach, atmospheric inversion and dynamic global vegetation models, *Glob. Change Biol.*, vol. 17, pp. 351-365, doi: 10.1111/j.1365-2486.2010.02275.x.

Tranvik, L.J., Downing, J.A., Cotner, J.B., Loiselle, S.A., Striegl, R.G., Ballatore, T.J., Dillon, P., Finlay, K. et al. (2009) Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate, *Limnol. Oceanogr.*, vol. 54, no. 6, part 2, pp. 2298-2314.

Статья поступила в редакцию (Received): 07.05.2024;

Статья доработана после рецензирования (Revised): 01.07.2024;

Принята к публикации (Accepted): 08.08.2024.

### Для цитирования / For citation:

Пестунов, Д.А., Домышева, В.М., Шамрин, А.М., Сакирко, М.В., Панченко, М.В. (2024) Потоки углерода в процессе газообмена CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> в системе «атмосфера – водная среда» прибрежной зоны Байкала, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 3, с. 399-412, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-399-412.

Pestunov, D.A., Domyshcheva, V.M., Shamrin, A.M., Sakirko, M.V., Panchenko, M.V. (2024) Carbon fluxes in the process of gas exchange of CO<sub>2</sub> and CH<sub>4</sub> in the “atmosphere-water” system of the coastal zone of lake Baikal, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 3, pp. 399-412, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-399-412.

**Климатическая информация для адаптационных мер  
в России в секторе «Здоровье населения»:  
краткосрочная перспектива**

*С.М. Семенов<sup>1,2)\*</sup>, В.В. Малеев<sup>3)</sup>, Б.А. Ревич<sup>4)</sup>, А.П. Андреева<sup>1)</sup>,  
А.Ю. Богданович<sup>1)</sup>, Н.Ю. Добролюбов<sup>1)</sup>, В.Д. Смирнов<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,  
107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20Б

<sup>2)</sup>Институт географии РАН,  
119017, Москва, Старомонетный пер., 29

<sup>3)</sup>Центральный научно-исследовательский институт эпидемиологии,  
111123, г. Москва, ул. Новогиреевская, д. 3А

<sup>4)</sup>Институт народнохозяйственного прогнозирования Российской академии наук,  
117418, Москва, Нахимовский проспект, д. 47

\*Адрес для переписки: *SergeySemenov1@yandex.ru*

**Реферат.** Многие неинфекционные и инфекционные болезни человека являются климатозависимыми, т.е. их проявление и распространение в различной степени определяется климатическими факторами. Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) в своем Шестом оценочном докладе охарактеризовала те заболевания, для которых наличие таких факторов установлено достаточно надежно. Российские исследования показывают, что в условиях нашей страны не все из этих заболеваний являются актуальными, а из актуальных не все в достаточной мере исследованы, в том числе в отношении количественных зависимостей от факторов климата. Анализ показал, что для России в краткосрочной перспективе приоритетный перечень климатозависимых заболеваний может быть следующим:

- сердечно-сосудистые заболевания (ишемическая болезнь сердца, болезни системы кровообращения);
- аллергическая бронхиальная астма;
- природно-очаговые, зоонозные и зооантропонозные инфекции (клещевые боррелиозы, геморрагическая лихорадка с почечным синдромом, клещевой вирусный энцефалит, малярия, лихорадка Западного Нила); актуальны также бешенство, лептоспироз, лейшманиоз, сибирская язва, дирофиляриоз, однако количественных данных об их климатозависимости пока недостаточно для оценок пространственного распределения рисков в масштабе страны.

Этот перечень актуален лишь в краткосрочной перспективе, поскольку современные интенсивные климатические и медико-биологические исследования могут предоставить новые научные данные, которые внесут коррективы в этот перечень. Следует учесть, что зависимость рисков распространения инфекционных болезней человека от климатических факторов может

определяться как непосредственным влиянием на человека, так и на возбудителей заболевания и чаще – на переносчиков и резервуар инфекции.

Климатическое обслуживание в направлении адаптации сектора «здоровье населения» в сфере ответственности Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) предлагается осуществлять в следующей форме. Периодически (раз в 5 лет) предоставляются/публикуются карты-схемы с указанием областей географического пространства, где есть климатические предпосылки проявления перечисленных выше заболеваний, а также изменения их границ. Далее эту информацию профильные организации (Минздрав, Роспотребнадзор) могут использовать при разработке, оптимизации и внедрении адаптационных мер, направленных на снижение рисков заболеваний.

**Ключевые слова.** Климатические факторы, болезни человека, Россия, приоритетный перечень, краткосрочная перспектива, климатическое обслуживание, адаптация.

### **Climatic information for adaptation measures in Russia in the "Public Health" sector: a short-term perspective**

*S.M. Semenov<sup>1,2)\*</sup>, V.V. Maleev<sup>3)</sup>, B.A. Revich<sup>4)</sup>, A.P. Andreeva<sup>1)</sup>,  
A.Yu. Bogdanovich<sup>1)</sup>, N.Yu. Dobrolyubov<sup>1)</sup>, V.D. Smirnov<sup>1)</sup>*

<sup>1)</sup>Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,  
20B, Glebovskaya st., 107258, Moscow, Russian Federation

<sup>2)</sup>Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,  
29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russian Federation

<sup>3)</sup>Central Research Institute of Epidemiology,  
3A, st. Novogireevskaya, 111123, Moscow, Russian Federation

<sup>4)</sup>Institute of Economic Forecasting of the Russian Academy of Sciences,  
Building 47, Nakhimovsky prospect, 117418, Moscow, Russian Federation

\*Correspondence address: *SergeySemenov1@yandex.ru*

**Abstract.** Many non-infectious and infectious human diseases are climate-dependent, i.e. their manifestation and spread are determined by climatic factors to various degree. The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) in its Sixth Assessment Report characterized those diseases for which the presence of such factors has been established with sufficient reliability. Russian studies show that not all of these diseases are relevant to our country, and not all of the relevant ones have been sufficiently studied, including with respect to quantitative relationships to climatic factors. The analysis showed that for Russia in the short term the priority list of climate-dependent diseases may be as follows:

- cardiovascular diseases (coronary heart disease, diseases of the circulatory system);
- allergic bronchial asthma;
- natural focal, zoonotic and zoonanthroponotic infections (tick-borne borrelioses, hemorrhagic fever with renal syndrome, tick-borne viral encephalitis, malaria, West Nile fever); rabies, leptospirosis, leishmaniasis, anthrax, dirofilariasis are also relevant, but quantitative data on their climate dependence are not yet sufficient to assess the spatial distribution of risks on a country scale.

This list is relevant only in the short term, since modern intensive climatic and medical-biological research can provide new scientific data that will make adjustments to this list. It should be taken into account that the dependence of the risks of the spread of human infectious diseases on climatic factors can be determined both by the direct impact on humans and on pathogens and – more often – on carriers and reservoirs of infection.

It is proposed that within the area of responsibility of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet) the implementation of climate services in the sphere of adaptation of the "public health" sector could be designed as follows. Periodically (once every 5 years), maps-schemes are provided/published indicating parts of geographic space where there are climatic conditions for the manifestation of the diseases listed above, as well as changes in their boundaries. Further, this information can be used by specialized organizations (Ministry of Health of the Russian Federation, Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare) in the development, optimization and implementation of adaptation measures aimed at reducing the risks of diseases.

**Keywords.** Climate factors, human diseases, Russia, priority list, short-term perspective, climate services, adaptation.

## Введение

Наблюдаемые и ожидаемые в нашем веке изменения климата приводят к многообразным последствиям для природных и социально-экономических систем. Воздействуют они и на состояние здоровья населения. Это влияние скажется по-разному в различных странах и регионах. Причина этого – различия в их климате, темпе его изменения и чувствительности к ним различных объектов, а также различия в уровне экономического развития, который определяет адаптационный потенциал стран и регионов. Именно от последнего зависит возможность уменьшать негативные последствия изменения климата.

В самой общей форме возникновение риска или изменение существующего уровня риска в заданной точке географического пространства (локации) для какой-либо категории объектов, в том числе для здоровья людей, определяются:

- возникновением воздействия климата или изменением существующего его уровня; при этом воздействие характеризуется интенсивностью проявления и вероятностью для каждого уровня интенсивности;

- подверженностью этой категории объектов воздействию (возможно, специфичной для каждого уровня интенсивности);
- уязвимостью этой категории объектов к воздействию (возможно, специфичной для каждого уровня интенсивности).

Любая климатическая политика (программа действий) направлена на снижение существующего уровня риска для различных объектов путем:

- снижения интенсивности и/или вероятности воздействия;
- уменьшения подверженности и/или уязвимости объектов в отношении рассматриваемого воздействия.

Первая задача – смягчение изменения климата (*англ.* mitigation of climate change) – может решаться только мировым сообществом в целом, поскольку требует ограничения суммарной антропогенной эмиссии парниковых газов в атмосферу. Усилиями одной страны по ограничению антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу с ее территории нельзя существенно повлиять на климат даже этой страны. Основные парниковые газы – диоксид углерода, метан, закись азота – перемешиваются в атмосфере существенно быстрее, чем из нее выводятся.

Вторая задача – адаптация (*англ.* adaptation) – может решаться и «на местах». Успех ее решения в большой мере зависит от наличия технологических и финансовых возможностей в странах; адаптация – дело стран, их регионов и секторов экономики. Степень кооперации в этом вопросе с другими странами должна определяться целесообразностью.

Все, сказанное выше, в полной мере относится к такому «сектору», объекту воздействия изменений климата, как «здоровье населения». Разработка и реализация климатической политики (программы действий) в части его адаптации требует прежде всего систематической оценки существующих климатообусловленных рисков и их изменения (возрастания или же убывания) в различных частях географического пространства в ответ на заданные изменения климата и ответные меры адаптации. Решение этой задачи требует совместных усилий климатологов и специалистов в сфере здравоохранения, в том числе в экологической эпидемиологии.

Анализ информации, имеющейся в научных публикациях, позволит наметить в данной работе климатозависимые заболевания человека, для которых целесообразно в приоритетном порядке вырабатывать меры адаптации к изменению климата. При этом приоритетность будет определяться в краткосрочной перспективе, поскольку одним из критериев будет служить наличие необходимой научной информации «изменение климата – следствие». Оно может меняться довольно быстро, поскольку научные исследования этого направления развиваются сейчас весьма интенсивно.

Цель данной работы – выявить климатозависимые заболевания человека, приоритетные в краткосрочной перспективе для обеспечения информацией адаптационных мер в России, направленных на снижение климатообусловленных рисков в секторе «здоровье населения». Будут обсуждены также возможные форматы регулярного предоставления этой информации медицинским и санитарным органам в порядке климатического обслуживания.

## Глобальный контекст

Глобальная ситуация с климатозависимыми заболеваниями человека периодически (раз в 5-7 лет) характеризуется в оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Ее последний, Шестой оценочный доклад также (см. [www.ipcc.ch](http://www.ipcc.ch), закладка REPORTS) содержит главу, где рассматриваются вопросы влияния изменения климата на здоровье человека (Cissé et al., 2022). Информация о современной ситуации там организована отдельно по неинфекционным (non-communicable) и инфекционным (communicable) заболеваниям. Ниже приведено краткое резюме этой информации с некоторыми изменениями от авторов данной работы.

### *Неинфекционные заболевания*

Для этой группы заболеваний особое значение имеют такие факторы как экстремальные погодные явления. Так, влияние экстремальных холода и жары на заболеваемость и смертность людей хорошо документированы. С экстремальными погодными явлениями связан повышенный травматизм.

Однако изменения климатических средних также оказывают заметное влияние на здоровье людей, в том числе с ними связаны некоторые расстройства психического и репродуктивного здоровья.

*Сердечно-сосудистые заболевания.* Высокие и низкие температуры в периоды соответственно сильной жары и сильного холода, а также некоторые другие климатические явления, повышают риск сердечно-сосудистых заболеваний. Однако степень возможного увеличения нетемпературных рисков остается все еще неопределенной.

*Неинфекционные респираторные заболевания.* Крупнейшие подгруппы этой группы заболеваний: бронхиальная астма, хроническая обструктивная болезнь легких. Некоторые из них являются климатозависимыми. Тяжесть аллергических заболеваний, особенно аллергического ринита и аллергической астмы, может измениться в ответ на изменение климата.

*Диабет.* Здоровье людей, страдающих диабетом, в условиях жары подвергается более высокому риску (повышенная заболеваемость и смертность).

### *Инфекционные заболевания*

Зависимость инфекционных болезней от климатических факторов может проявляться различными путями: влиянием непосредственно на человека, на возбудителя заболевания или его переносчика.

*Трансмиссивные заболевания.* Среди трансмиссивных заболеваний (т.е. передаваемых от человека к человеку посредством переносчиков) в качестве климатозависимых (climate-sensitive) доминируют те, которые передаются посредством комаров, клещей и грызунов.

В отношении заболеваний, передающихся посредством комаров, отмечено, что вследствие изменения климата возможности передачи малярии, лихорадки Денге и некоторых других заболеваний этого класса в последние годы увеличились. Потепление климата, изменения в сумме осадков и отно-

сительной влажности воздуха расширяет область географического пространства, пригодную для осуществления передачи заболевания. Увеличивается распространение возбудителей лихорадок Денге, Западного Нила, Чикунгунья, Зика, японского энцефалита и лихорадки Рифт-Вэлли в Азии, Латинской Америке, Северной Америке и Европе.

В отношении заболеваний, передающихся посредством клещей, установлено, что произошедшее изменение климата способствовало распространению болезни Лайма (иксодовый клещевой боррелиоз) в Северной Америке (переносчик *Ixodes scapularis*), а также в Европе (переносчик *Ixodes ricinus*). В России обнаружены случаи Астраханской риккетсиозной лихорадки, клещевого риккетсиоза, Конго-крымской геморрагической лихорадки.

В отношении климатозависимости заболеваний, передаваемых посредством грызунов, необходимо обращать внимание на туляремию, лептоспироз, риккетсиозы. Ситуация требует мониторинга и дальнейших исследований.

*Заболевания, передающиеся через воду.* Включают диарейные заболевания (такие как холера, шигеллёз, криптоспоридиоз и брюшной тиф), шистосомоз, лептоспироз, гепатиты А и Е. Такие события, как рост температуры, сильные осадки, наводнения и засухи связаны с ростом случаев диарейных заболеваний. Экстремальные температуры и осадки увеличивают риск холеры.

*Болезни пищевого происхождения.* Это заболевания, возникающие в результате употребления пищи, которая испорчена болезнетворными бактериями, вирусами, паразитами и/или загрязнена токсинами, пестицидами и иными загрязняющими веществами. Возникновение таких заболеваний сильно связано с высокими температурами воздуха и воды, а также с более продолжительным летним сезоном. Высокие температуры способствуют распространению сальмонеллёза. Значительная связь наблюдается между заболеванием кампилобактериозом (*Campylobacter jejuni*, *C. coli*, *C. lari*, реже – *C. fetus*) с одной стороны и температурами и осадками с другой.

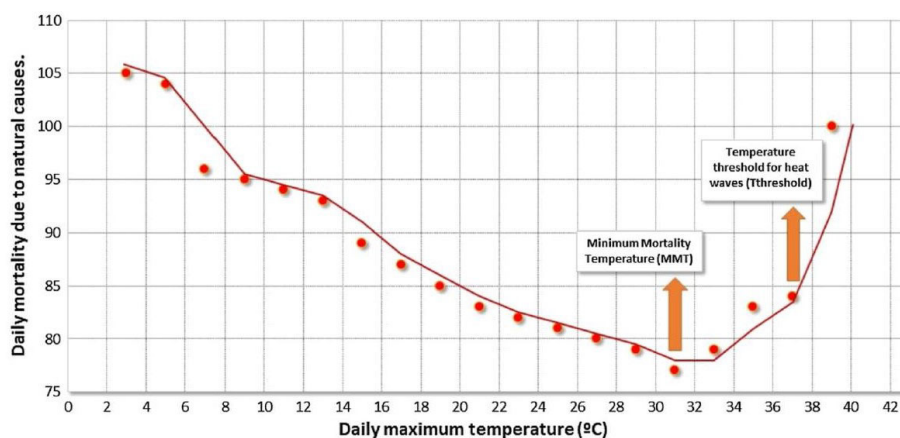
*Инфекции дыхательных путей.* Многие такие заболевания, вызываемые бактериями, вирусами и грибами, климатозависимы. Среди факторов следует указать температуру, экстремальные значения влажности, пыльные бури, экстремальные осадки и повышенную погодную изменчивость. Передача инфекции от человека к человеку является основной движущей силой распространения пандемии COVID-19, а не климатические факторы. В ряде стран Азии, Африки и Океании эти факторы способствовали более тяжёлому течению болезни, присоединению оппортунистических инфекций.

## Информация по России

### Неинфекционные заболевания

В специальной литературе имеется информация о климатозависимости некоторых сердечно-сосудистых заболеваний. Это, прежде всего, ишемическая болезнь сердца и болезни системы кровообращения. В современных

исследованиях зависимость смертности в сутки от сердечно-сосудистых заболеваний от среднесуточной температуры чаще всего характеризуют U-образной кривой – см., например, рис. 1 из работы (López-Bueno et al., 2021). На нем представлены данные о суточной смертности в зависимости от максимальной суточной температуры воздуха в Мадриде (Испания) в 1983-2018 гг. Чаще всего, однако, в качестве метеорологической переменной в таких графиках используют среднесуточную температуру воздуха.



**Рисунок 1.** Зависимость «температура-смертность» для Мадрида в 1983-2018 гг. (López-Bueno et al., 2021)

*Смертность указана в абсолютном выражении. Температура минимальной смертности (MMT – minimum mortality temperature) и пороговая температура для волны жары (Threshold)*

**Figure 1.** Temperature-mortality relationship for Madrid in 1983-2018 (López-Bueno et al., 2021)  
*Mortality is given in absolute units. Minimum mortality temperature (MMT) and heat wave threshold temperature (Threshold)*

Точка достижения минимума на подобных графиках называется «температурой минимальной смертности» (MMT – minimum mortality temperature). Значения MMT имеют региональную специфику. В отечественной литературе такие данные были впервые приведены в работах (Ревич и др., 2005, 2008). Для Ростова-на-Дону они приведены в табл. 1 (Шартова и др., 2019).

Минимальное значение MMT для ишемической болезни сердца, цереброваскулярных болезней и болезней системы кровообращения в табл. 1 есть 22.7°C. Оно соответствует цереброваскулярным болезням для категории «женщины старше 65 лет». Аналогичные исследования проводились и другими авторами. Так, в работе (Saez et al., 2000), температурный порог там оценен в 21-23°C в зависимости от влажности.

Отметим, что MMT обладает некоторой вариабельностью даже в пределах одного региона. В табл. 2 приведены данные по Квинсленду (Австралия) за 1997-2013 гг. Заметим, что оценка MMT для сердечно-сосудистых заболеваний у женщин 23.0°C весьма близка к полученной в работе (Шартова и др., 2019) для Ростова-на-Дону (Россия).

**Таблица 1.** Точки минимума зависимости смертности от температуры (ММТ – minimum mortality temperature – и проценти, °С) и пороговые значения среднесуточной температуры воздуха (°С) для возникновения риска дополнительной смертности населения при наступлении жаркой погоды (Шартова и др., 2019)

**Table 1.** Minimum mortality temperature MMT and percentiles (°C) and threshold values of average daily air temperature (°C) for the occurrence of the risk of additional mortality of the population with the onset of hot weather (Shartova et al., 2019)

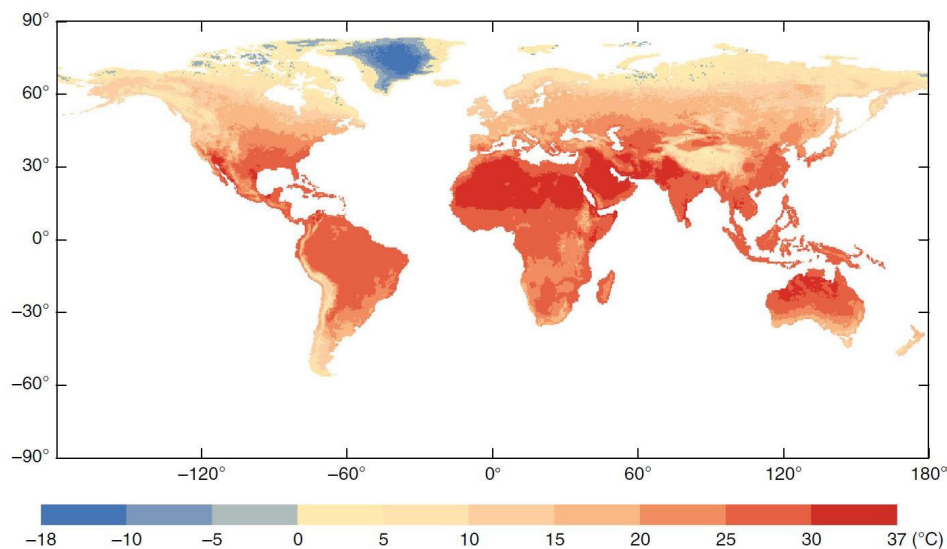
| Причина смерти                 | ММТ                   | ММТ (%) | “порог жары” | ММТ                   | ММТ (%) | “порог жары” |
|--------------------------------|-----------------------|---------|--------------|-----------------------|---------|--------------|
|                                | Женщины, 30-64 года   |         |              | Мужчины, 30-64 года   |         |              |
| Ишемическая болезнь сердца     | 25.5                  | 94      | не определен | 23.6                  | 88      | 27.4         |
| Цереброваскулярные болезни     | 24.3                  | 90      | не определен | 23.6                  | 88      | 24.7         |
| Болезни системы кровообращения | 24.8                  | 92      | не определен | 23.8                  | 89      | 25.3         |
| Все естественные причины       | 25.3                  | 93      | не определен | 22.7                  | 86      | 23.8         |
|                                | Женщины старше 65 лет |         |              | Мужчины старше 65 лет |         |              |
| Ишемическая болезнь сердца     | 23.8                  | 89      | 24.5         | 25.0                  | 92      | 26.7         |
| Цереброваскулярные болезни     | 22.7                  | 86      | 23.2         | 22.9                  | 86      | 23.7         |
| Болезни системы кровообращения | 23.1                  | 87      | 23.5         | 23.6                  | 88      | 24.2         |
| Все естественные причины       | 22.8                  | 86      | 23.3         | 23.5                  | 88      | 24.1         |

**Таблица 2.** Температура минимальной смертности (ММТ, °С) для различных подгрупп населения в Квинсленде (Австралия) в 1997-2013 гг. (Lu et al., 2021)

**Table 2.** Minimum mortality temperature (ММТ, °C) for different population subgroups in Queensland, Australia, 1997-2013 (Lu et al., 2021)

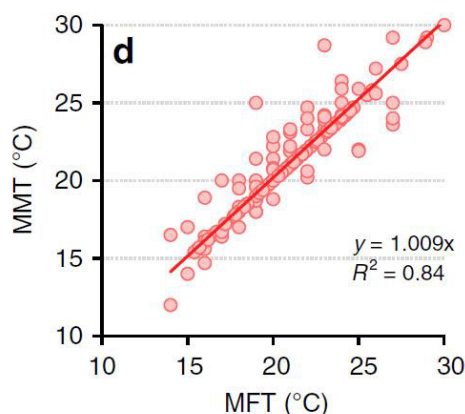
|                                   | Подгруппы | В целом | 1997 | 2013 |
|-----------------------------------|-----------|---------|------|------|
|                                   | Всего     | 23.4    | 22.6 | 24.0 |
| Пол                               | Женщины   | 23.0    | 23.0 | 23.0 |
|                                   | Мужчины   | 24.2    | 21.2 | 24.5 |
| Возраст (годы)                    | 0-59      | 24.3    | 26.5 | 22.7 |
|                                   | 60-84     | 23.1    | 20.9 | 23.8 |
|                                   | 85+       | 23.5    | 23.0 | 25.2 |
| Климат                            | Холодный  | 23.8    | 23.0 | 25.3 |
|                                   | Умеренный | 23.7    | 23.3 | 24.2 |
|                                   | Жаркий    | 22.1    | 20.0 | 23.3 |
| Социально-экономическое положение | Низкое    | 23.5    | 33.1 | 23.1 |
|                                   | Среднее   | 23.2    | 20.1 | 24.0 |
|                                   | Высокое   | 23.6    | 23.3 | 33.1 |

Следует отметить, что значения ММТ заметно меняются в географическом пространстве. На рис. 2 представлены данные из работы (Yin et al., 2019) о глобальном распределении ММТ. Авторы этой работы приводят 12–32 °С в качестве глобального диапазона изменения ММТ. В этой же работе приводятся результаты оценки корреляций между ММТ и МФТ (maximum frequent temperature) – наиболее часто встречающимся значением среднесуточной температуры. Обнаружена весьма тесная связь этих показателей, в особенности для умеренной зоны ( $MMT = 1.009 \cdot MFT$ ,  $R^2 = 0.84$ ), что представлено на рис. 3.



**Рисунок 2.** Глобальное распределение температуры минимальной смертности (ММТ, °С) в 2010-х годах, оцененной для элементов пространственной сетки 0.5° x 0.5° (Yin et al., 2019)

**Figure 2.** Global distribution of minimum mortality temperature (MMT, °C) in the 2010s, estimated for 0.5° x 0.5° spatial grid elements (Yin et al., 2019)



**Рисунок 3.** Линейная (без свободного члена) зависимость ММТ от МФТ для умеренной зоны (Yin et al., 2019)

**Figure 3.** Linear (without intercept) dependence of MMT on MFT for the temperate zone (Yin et al., 2019)

По мнению авторов работы (Yin et al., 2019), приведенные на рис. 2 значения ММТ можно воспринимать как результат адаптации организма человека к локальным/региональным климатическим условиям. В краткосрочной перспективе (10-20 лет) при оценке реакции здоровья населения на изменение климата в аспекте риска сердечно-сосудистых заболеваний можно использовать как ММТ, так и МFT, в зависимости от наличия информации об этих параметрах.

### ***Инфекционные заболевания***

Наиболее полная характеристика современной ситуации с инфекционными заболеваниями представлена в государственном докладе «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году» (2023).

В данном разделе приведена информация из этого доклада, способствующая определению природно-очаговых, зоонозных и зооантропонозных инфекций, которые являются приоритетными в отношении оценки связанных с ними рисков при климатическом обслуживании, в том числе в направлении адаптации. Обобщенная информация по России в отношении актуальности таких заболеваний приведена на стр. 235 доклада в форме таблицы, которая воспроизведена ниже (табл. 3).

Если исходить из превышения заболеваемости всего населения в 2022 г. уровня 1% или же из факта превышения среднегодового ее показателя (СМП), то в качестве кандидатов в приоритетные (в краткосрочной перспективе) заболевания определяются следующие:

- иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ);
- геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС);
- клещевой вирусный энцефалит (КВЭ);
- бруцеллёз;
- туляремия;
- лихорадка Ку.

Кроме этих заболеваний целесообразно обратить внимание еще на два:

- малярия;
- лихорадка Западного Нила (ЛЗН).

Они хотя и не представляют сегодня существенной опасности, но могут составить определенный риск распространения в близком будущем по следующим причинам. В 2022 г. по сравнению с 2021 г. наблюдался рост заболеваемости малярией на 33.3%. Все случаи – завозные. Потенциально этот показатель может увеличиться в связи с ростом эмиграции из южных стран и усилением сезонной трудовой миграции. По ЛЗН в 2022 г., особенно в осенний период, было установлено течение эпидемического процесса в рекордном за весь период наблюдений числе субъектов Российской Федерации.

---

**Таблица 3.** Актуальные для Российской Федерации природно-очаговые, зоонозные и зооантропонозные инфекции (О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия..., 2023)\*

**Table 3.** Natural focal, zoonotic and zoonotic infections relevant to the Russian Federation (On the state of sanitary and epidemiological well-being..., 2023)\*

| №  | Заболевания               | Все население                    |                           |                                             | Сельское население               |                           |                                             |
|----|---------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------------|
|    |                           | Заболе-<br>ваемость<br>в 2022 г. | СМП<br>(2010-2019<br>гг.) | Рост/сни-<br>жение по<br>отношению<br>к СМП | Заболе-<br>ваемость<br>в 2022 г. | СМП<br>(2010-2019<br>гг.) | Рост/сни-<br>жение по<br>отношению<br>к СМП |
| 1  | ИКБ                       | 4.98                             | 4.8                       | ↑3.4%                                       | 2.99                             | 3.4                       | ↓12.1%                                      |
| 2  | ГЛПС                      | 4.77                             | 5.02                      | ↓5%                                         | 6.47                             | 6.97                      | ↓7.2%                                       |
| 3  | КВЭ                       | 1.34                             | 1.56                      | ↓14.1%                                      | 1.51                             | 2.01                      | ↓25%                                        |
| 4  | Псевдо-<br>туберкулез     | 0.22                             | 0.81                      | ↓3.7 раза                                   | 0.1                              | 0.62                      | ↓6.2 раза                                   |
| 5  | СКТ                       | 0.97                             | 1.06                      | ↓8.5%                                       | 2.09                             | 2.61                      | ↓20%                                        |
| 6  | Бруцеллез                 | 0.32                             | 0.26                      | ↑23.1%                                      | 0.94                             | 0.8                       | ↑17.5%                                      |
| 7  | Лептоспирозы              | 0.06                             | 0.14                      | ↓2.3 раза                                   | 0.07                             | 0.17                      | ↓2.4 раза                                   |
| 8  | КГЛ                       | 0.04                             | 0.07                      | ↓1.8 раза                                   | 0.13                             | 0.21                      | ↓38%                                        |
| 9  | Туляремия                 | 0.08                             | 0.07                      | ↑14.3%                                      | 0.2                              | 0.08                      | ↑2.5 раза                                   |
| 10 | Сибирская язва            | 2 сл.                            | -                         | -                                           | 2 сл.                            | -                         | -                                           |
| 11 | Бешенство<br>(гидрофобия) | 2 сл.                            | -                         | -                                           | 1 сл.                            | -                         | -                                           |
| 12 | Лихорадка Ку              | 0.11                             | 0.09                      | ↑22%                                        | 0.25                             | 0.15                      | ↑1.7раза                                    |
| 13 | ЛЗН                       | 0.02                             | 0.12                      | ↓6 раз                                      | 0.02                             | 0.11                      | ↓5.5 раз                                    |
| 14 | АПЛ                       | 0.03                             | 0.18                      | ↓6 раз                                      | 0.05                             | 0.43                      | ↓8.6 раза                                   |

\*Примечание. ИКБ – иксодовый клещевой боррелиоз; ГЛПС- геморрагическая лихорадка с почечным синдромом; КВЭ – клещевой вирусный энцефалит.

В табл. 4 приведена информация, позволяющая судить о климатозависимости выбранных инфекционных заболеваний и конкретных климатических факторах, влияющих на их распространение. Информацию, представленную в табл. 4, можно резюмировать следующим образом.

А. Климатозависимость туляремии опосредована влиянием климата на переносчиков (комары, мошка, слепни, клещи) и резервуар инфекции (грызуны). Это, по-видимому, способствовало последним эпидемиям в приполярных областях Швеции и России. Однако в явном виде количественных зависимостей распространения этого заболевания от климата в специальной литературе пока не имеется.

Б. В отношении геморрагической лихорадки с почечным синдромом (ГЛПС) в специальной литературе есть указания на влияние фактора климата на распространение лесных и полевых мышей – резервуара этого заболевания (см., например, (Дуванова и др., 2010; Салтыков, Позняков, 2013; Прислегина и др., 2021)). Однако, определенных алгоритмизируемых требований к климату для этих видов грызунов или возбудителей ГЛПС пока не имеется.

**Таблица 4.** Характеристики инфекционных заболеваний, наиболее актуальных в России в 2022 г., и их климатозависимость

**Table 4.** Characteristics of infectious diseases most relevant to Russia in 2022 and their climate dependence

| Заболевание                                           | Возбудитель                                                                                                                                                                                          | Передача                                                                                                                                                                                                | Устойчивость и климатозависимость                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ, болезнь Лайма)     | Бактерии рода <i>Borrelia</i>                                                                                                                                                                        | Переносчиками являются клещи рода <i>Ixodes</i> (в России <i>I. ricinus</i> , <i>I. persulcatus</i> ), а также олени кровососки <i>Lipoptena cervi</i>                                                  | Климат определяет область распространения переносчиков <i>Ixodes</i>                                                                                                                                                                             |
| Геморрагическая лихорадка с почечным синдромом (ГЛПС) | Вирус Хантаан ( <i>Hantaan orthohantavirus</i> ).<br>Вирус Добrava-Белград ( <i>Dobrava-Belgrade orthohantavirus</i> ).<br>Вирус Пуумала ( <i>Puumala orthohantavirus</i> , <i>Saaremaa virus</i> ). | Вдыхание мелких частиц и употребление воды, содержащих выделения переносчиков - грызунов                                                                                                                | Климат – один из факторов динамики численности переносчиков. Климатозависимость полностью количественно не охарактеризована.                                                                                                                     |
| Клещевой вирусный энцефалит (КВЭ)                     | Вирус рода <i>Flavivirus</i>                                                                                                                                                                         | Переносчиками являются клещи рода <i>Ixodes</i> (в России <i>I. ricinus</i> , <i>I. persulcatus</i> )                                                                                                   | Климат определяет область распространения переносчиков <i>Ixodes</i>                                                                                                                                                                             |
| Бруцеллёз                                             | Бактерии <i>Brucella abortus bovis</i> ,<br><i>Brucella melitensis</i> ,<br><i>Brucella suis</i> ,<br><i>Brucella canis</i>                                                                          | Контакт (больные люди, крупный и мелкий рогатый скот, свиньи, собаки).<br>Употребление в пищу зараженных животных продуктов.<br>Укусы переносчиков (жигалка осенняя <i>Stomoxys calcitrans</i> , клещи) | Живет в окружающей среде несколько десятков суток. Погибает от фактора высокой температуры при ее уровнях, которые в России не встречаются или очень редко встречаются (> 50°C). Климатозависимость полностью количественно не охарактеризована. |

Продолжение таблицы 4.

| Заболевание               | Возбудитель                                                                                                                                                                                                                     | Передача                                                                                                                                                                                                                      | Устойчивость и климатозависимость                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Туляремия                 | Бактерия <i>Francisella tularensis</i>                                                                                                                                                                                          | Контакт (зайцы, кролики, водяные крысы, полёвки).<br>Употребление зараженных животных продуктов и воды.<br>Укусы кровососущих членистоногих переносчиков (слепни, клещи, комары и др.)                                        | Возбудитель устойчив в окружающей среде при встречающихся реальных температурах, особенно при низких – несколько месяцев. При температурах > 60°C время жизни резко сокращается. Климатозависимость определяется влиянием на переносчиков и резервуар. Климатозависимость полностью количественно не охарактеризована. |
| Лихорадка Ку (кокциеллез) | Бактерия <i>Coxiella burnetii</i>                                                                                                                                                                                               | Контакт (крупный и мелкий рогатый скот, лошади, свиньи, собаки, домашние птицы, дикие копытные и мелкие млекопитающие животные, в основном грызуны, птицы).<br>Употребление в пищу загрязнённого молока и молочных продуктов. | Климатозависимость этого заболевания не отмечена.                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Малярия                   | Простейшие паразиты - плазмодии <i>Plasmodium vivax</i> (трехдневная малярия), <i>Plasmodium ovale</i> (овале-малярия), <i>Plasmodium malariae</i> (четырёхдневная малярия), <i>Plasmodium falciparum</i> (тропическая малярия) | Укусы самок комаров <i>Anopheles maculipennis</i>                                                                                                                                                                             | Климат ограничивает область с эффективным циклом развития возбудителя                                                                                                                                                                                                                                                  |

Продолжение таблицы 4

| Заболевание                    | Возбудитель                  | Передача                                                                                                                                    | Устойчивость и климатозависимость                                     |
|--------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|
| Лихорадка западного Нила (ЛЗН) | Вирус рода <i>Flavivirus</i> | Укус комара рода <i>Culex pipiens</i> , иксодовых и аргасовых клещей, при котором происходит передача от больных людей, птиц, млекопитающих | Климат ограничивает область с эффективным циклом развития возбудителя |

В. Хотя в научных публикациях есть указания на некоторую роль климатических факторов в распространении бруцеллёза (см., например, (Захарова и др., 2023; Онищенко, Куличенко, 2019)), определенных алгоритмизируемых требований к климату для переносчиков или же возбудителей бруцеллёза пока не имеется.

Г. Передача лихорадки Ку человеку осуществляется множеством путей. Климатозависимость этого заболевания пока в явной форме не отмечена.

Д. Распространение иксодовых клещей – переносчиков иксодового клещевого боррелиоза (ИКБ) и клещевого вирусного энцефалита (КВЭ) – зависит от климатических факторов. Распространение переносчиков и развитие возбудителей малярии – трехдневной и тропической – также зависит от климата. Эффективность возбудителя лихорадки Западного Нила зависит от климатических факторов. Ограничения по климату, перечисленные в этом пункте, суммированы в работе (Ясюкевич, Богданович, 2021). Для территории России и соседних стран они следующие.

Д1. Иксодовый клещевой боррелиоз (ИКБ) и клещевой вирусный энцефалит (КВЭ):

– для переносчика *I. ricinus* (европейский лесной клещ) САТ<sup>1)</sup> – сумма активных (среднесуточных) температур при пороге 10°C – должна за год быть не меньше 1550°C·сут., годовая сумма осадков не меньше 491 мм, средняя температура января не меньше 14.1°C (Попов, 2016; Попов, Попова, 2020);

– для переносчика *I. persulcatus* (таежный клещ) САТ – сумма активных (среднесуточных) температур при пороге 10°C – должна за год быть не меньше 1340°C·сут., годовая сумма осадков не меньше 339 мм, средняя температура января не больше (-5°C) (Попов, 2016; Попов, Попова, 2020);

Д2. Малярия:

– для переносчиков-комаров группы *Anopheles maculipennis* число суток в году со среднесуточной температурой, превышающей 10°C, должно быть не меньше 85 (Беклемишев, 1970);

<sup>1)</sup> Сумма активных температур (САТ) – сумма за определенный отрезок времени значений температуры воздуха заданного осреднения, превышающих установленное пороговое значение.

– для переносчиков-комаров, зимующих в активном состоянии и питающихся кровью (*An. superpictus*, *An. sacharovi*, *An. atroparvus*), – средняя температура января должна быть не меньше ( $-7^{\circ}\text{C}$ ) (Беклемишев, 1970);

– для переносчиков-комаров *Anopheles pulherrimus* годовая сумма осадков должна быть не больше 750 мм, а число суток в году со среднесуточной температурой, превышающей  $20^{\circ}\text{C}$ , должно быть не меньше 110 (Беклемишев, 1970);

– для развития возбудителя трехдневной малярии *Plasmodium vivax* сумма эффективных (среднесуточных) температур ( $\text{CЭТ}^2$ ) с порогом  $14.5^{\circ}\text{C}$  должна быть не меньше  $105^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$  (Детинова, 1962);

– для развития возбудителя тропической малярии *Plasmodium falciparum* сумма эффективных (среднесуточных) температур ( $\text{CЭТ}$ ) с порогом  $16^{\circ}\text{C}$  должна быть не меньше  $111^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$  (Детинова, 1962);

Важные аспекты климатообусловленности распространения малярии рассмотрены в работе (Эколого-географические последствия..., 2011).

ДЗ. Лихорадка Западного Нила (ЛЗН):

– для развития возбудителя сумма активных температур с порогом  $10^{\circ}\text{C}$  должна быть не меньше  $2200^{\circ}\text{C}\cdot\text{сут}$  (Платонов, 2008).

### **Возможные форматы регулярного предоставления климатической информации для целей климатического обслуживания сектора «здоровье населения» в направлении адаптации**

Климатическая информация, регулярно предоставляемая сектору «здоровье населения» в порядке климатического обслуживания, необходима для принятия научно-обоснованных мер адаптации к изменению климата. Заболевания, которым нужно уделить внимание в приоритетном порядке, сейчас широко обсуждаются. Выше были высказаны некоторые предложения авторов по этому вопросу.

Важным техническим моментом является периодичность представления соответствующих данных Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет), их состав и конкретные форматы. Ниже мы выскажем предложения по этим вопросам для двух категорий болезней человека – сердечно-сосудистых заболеваний и инфекционных трансмиссивных заболеваний.

Следует отметить, что эти предложения – для начального этапа климатического обслуживания сектора «здоровье населения» в направлении адаптации к изменению климата. Более продвинутые подходы будут предлагаться к внедрению по мере готовности соответствующей необходимой информации в

---

<sup>2)</sup> Сумма эффективных температур ( $\text{CЭТ}$ ) – сумма за определенный отрезок времени превышений значениями температуры воздуха заданного осреднения установленного порогового значения.

масштабе страны. Речь идет прежде всего о распределении в географическом пространстве порогов опасности для температуры и влажности воздуха. Пока такие пороговые значения установлены для отдельных локаций в ходе реализации научно-исследовательских проектов (Ревич и др., 2005, 2008). Необходимо также расширять базу знаний о требованиях видов переносчиков трансмиссивных болезней к климату среды обитания. Сейчас такие сведения весьма отрывочны.

### ***Сердечно-сосудистые заболевания***

Учитывая тесную связь (она приводилась выше в данной работе) между температурой минимальной смертности от сердечно-сосудистых заболеваний ММТ и MFT (maximum frequent temperature) – наиболее часто встречающимся значением среднесуточной температуры, целесообразно предоставлять информацию о числе значений среднесуточной температуры воздуха, превышающих MFT. Формат – карты-схемы, которые строятся на основе данных системы мониторинга климата Росгидромета. Предлагается следующая процедура построения.

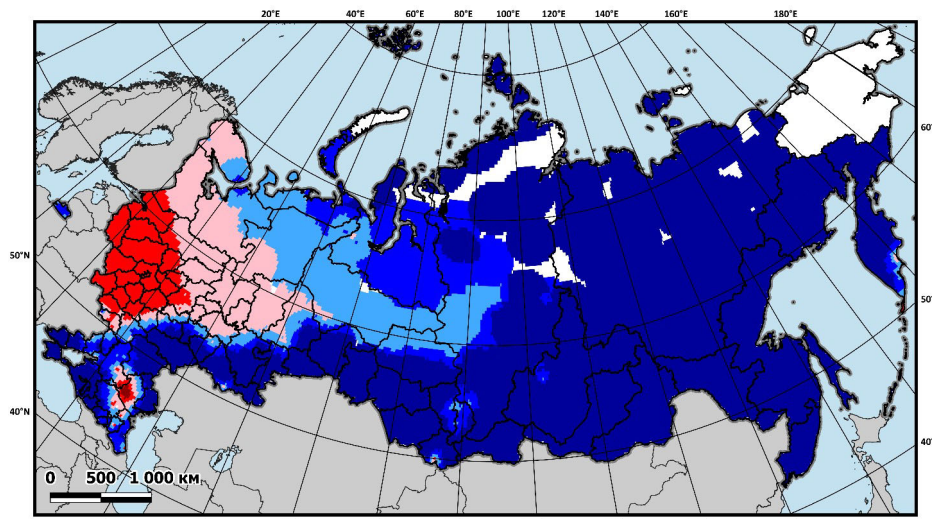
Анализируются данные измерений температуры воздуха на каждой метеостанции, входящей в сеть мониторинга климата, усредненные за каждые сутки. Такие данные подготавливаются во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (ВНИИГМИ-МЦД) Росгидромета. Вычисляются частоты попадания значения среднесуточной температуры в каждый полуинтервал ( $T_1$ ,  $T_2$ ) между последовательными целочисленными значениями температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ). Выбирается полуинтервал, которому соответствует максимальная частота, и для данной метеостанции MFT принимается равным среднему арифметическому значений из этого полуинтервала. Далее вычисляются процент  $u$  значений температуры в рассматриваемом ряду, которые больше MFT, и индекс  $I_u = u - 50$ . Его положительное значение означает, что в данной точке географического пространства человек чаще, чем в 50% случаев, сталкивается со значениями среднесуточной температуры, превосходящими то, при котором наблюдается минимальная смертность от термического фактора. Отрицательное значение означает, наоборот, что, напротив, чаще, чем в 50% случаев, человек сталкивается со значениями среднесуточной температуры, которые меньше такого оптимального значения.

Результаты таких оценок интерполируются на узлы регулярной пространственной сетки  $0.25 \times 0.25^{\circ}\text{C}$ .

В порядке климатического обслуживания сектора «здоровье населения» в направлении адаптации в части сердечно-сосудистых заболеваний на первом этапе в качестве первичной информации рекомендуется предоставление карты-схемы распределения значений индекса  $I_u$  на территории России.

Предлагается предоставлять такую карту-схему раз в 5 лет, причем при ее построении использовать метеорологические данные за предшествующие 30 лет. Пример такой карты-схемы приведен на рис. 4 для тридцатилетнего периода времени 1961-1990 гг.

В качестве вспомогательной информации, для удобства пользователей, предлагается также изготавливать карты-схемы изменений  $I_u$  по отношению к предыдущим представленным.



**Рисунок 4.** Распределение индекса  $I_u$  на территории России в климатический период 1961-1990 гг.

Цветовое отображение значений:  $<(-20)$  – темно-синий,  $(-20)-(-10)$  – синий,  $(-10)-0$  – голубой,  $0-10$  – розовый,  $10-20$  – красный,  $>20$  – темно-красный, нет данных – белый, точка вне территории России – серый

**Figure 4.** Distribution of the  $I_u$  index on the territory of Russia in the climatic period of 1961-1990 color display of values:  $<(-20)$  – dark blue,  $(-20)-(-10)$  – blue,  $(-10)-0$  – light blue,  $0-10$  – pink,  $10-20$  – red,  $>20$  – dark red, no data – white, point outside the territory of Russia – grey

Высказанное выше предложение о периодичности представления такой информации – раз в 5 лет – предварительное. Авторы исходили из того, что менее чем за 5 лет изменения климата только начинают проявляться, а такая информация в определенных случаях будет основанием, в том числе, для организационных решений в секторе «здоровье населения». При существующей системе принятия крупных организационных решений пятилетний срок является, пожалуй, минимальным для их реализации.

### **Инфекционные трансмиссивные заболевания**

Для этого класса заболеваний предлагается периодически предоставлять сектору «здоровье населения» карты-схемы климатических ареалов переносчиков этих болезней. Климатический ареал – часть географического пространства, климат которой позволяет устойчиво существовать популяции данного вида.

Для описания климатического ареала, исходя из данных мониторинга климата, используются климатические предикторы. Это – собственно климатические параметры (например, температура, сумма осадков) или построенные с их использованием прикладные климатические индексы (например, сумм эффективных температур, гидротермический коэффициент Селянинова).

Для некоторых видов переносчиков в специальной литературе приведена совокупность климатических предикторов и границы их изменения, соответствующие требованиям вида к климату среды. Это позволяет строить карту-схему климатического ареала, исходя из данных мониторинга климата. При изменении климата границы климатического ареала будут смещаться соответственно. В работах (Семенов и др., 2020; Добролюбов и др., 2023) описана концепция и детали соответствующей методологии.

Особенность этой методологии состоит в том, что она позволяет относить точки географического пространства к климатическому ареалу с различной вероятностью, которой присваивается ранг и цветовое отображение при картографическом воплощении – см. табл. 5.

**Таблица 5.** Характеризация, цветовое отображение и ранг вероятности того, что точка географического пространства входит в климатический ареал вида

**Table 5.** Characterization, color display and probability rank of a point in geographic space being part of a species' climatic range

| Вероятность, $PR$     | Словесная характеристика | Цвет             | Ранг |
|-----------------------|--------------------------|------------------|------|
| $PR \leq 0.33$        | Маловероятно             | Белый            | 0    |
| $0.33 < PR \leq 0.66$ | Средне-вероятно          | Желтый           | 1    |
| $0.66 < PR \leq 0.90$ | Вероятно                 | Темно-желтый     | 2    |
| $0.90 < PR \leq 0.99$ | Весьма вероятно          | Коричневый       | 3    |
| $0.99 < PR \leq 1.00$ | Практически достоверно   | Темно-коричневый | 4    |

Такая оценка выполняется для климата, соответствующего определенному периоду времени, например, 1990-1999 гг.

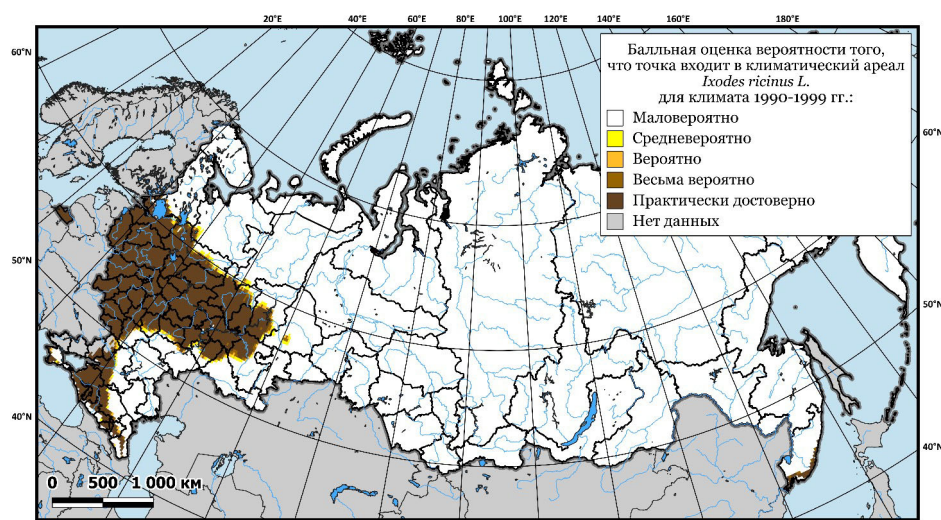
Для другого промежутка времени построенный таким способом климатический ареал может быть иным вследствие изменения климата. Для некоторых точек географического пространства ранги вероятности могут измениться. Эти изменения также характеризуются словесно и визуализируются в цвете – см. табл. 6.

**Таблица 6.** Словесная характеризация и цветовое отображение изменений рангов вероятности

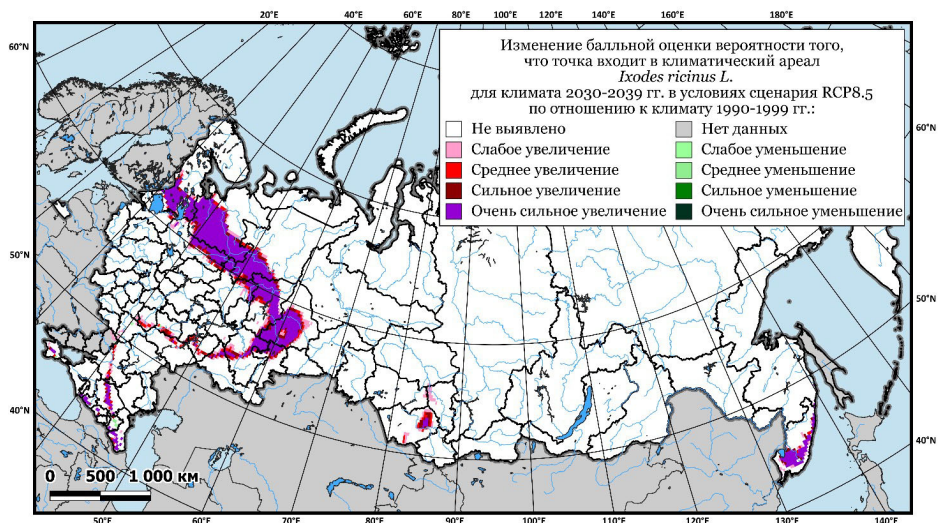
**Table 6.** Verbal characterization and color display of changes in probability ranks

| Изменение ранга | Словесная характеристика |               | Цвет           |
|-----------------|--------------------------|---------------|----------------|
| 4               | Увеличение               | Очень сильное | Фиолетовый     |
| 3               |                          | Сильное       | Темно-красный  |
| 2               |                          | Среднее       | Красный        |
| 1               |                          | Слабое        | Розовый        |
| 0               | Изменение                | Не выявлено   | Белый          |
| -1              | Уменьшение               | Слабое        | Салатовый      |
| -2              |                          | Среднее       | Светло-зеленый |
| -3              |                          | Сильное       | Зеленый        |
| -4              |                          | Очень сильное | Темно-зеленый  |

Пример применения описанной выше процедуры оценки приведен на рис. 5. На рис. 5а изображен климатический ареал европейского иксодового клеща *Ixodes ricinus* – переносчика клещевого вирусного энцефалита и иксодового клещевого боррелиоза – опасных заболеваний человека. Совокупность климатических предикторов и границы их изменения приведены в работе (Ясюкевич, Богданович, 2021).



а



б

**Рисунок 5.** Климатический ареал *I. ricinus* на территории России, соответствующий климату 1990-1999 гг. (а) и его изменение в 2030-2039 гг. (б)

**Figure 5.** Climatic range of *I. ricinus* in Russia, corresponding to the climate of 1990-1999 (a) and its change in 2030-2039 (b)

Климатический ареал соответствует климату 1990-1999 гг. На рис. 5б представлено его изменение в 2030-2039 гг. Для описания климата этого периода времени использовались расчетные данные Климатического центра Росгидромета (любезно предоставлены И.М. Школьников, Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова). Расчет выполнен в условиях сценария RCP8.5 антропогенного воздействия на климат Земли, скорректированный таким образом, чтобы максимально соответствовать данным наблюдений за 1990-1999 гг.

Такие карты-схемы предлагается предоставлять в порядке климатического обслуживания сектору «здоровье населения» – органам здравоохранения и санитарным органам – один раз в 5 лет. Пространственное разрешение карт-схем 0.25 x 0.25°С.

### **Заключение**

В связи с современными изменениями глобального климата проблемы со здоровьем населения могут возникать, а существующие – усугубляться. Это – глобальный процесс, проявляющийся и в России. В связи с этим требуется адекватная ответная государственная стратегия. В ее разработке и реализации целесообразно участие, в первую очередь, органов здравоохранения и санитарных органов, а также Росгидромета.

Задача гидрометеорологов – систематически указывать те области географического пространства, где уже проявляются климатообусловленные угрозы здоровью населения или же ожидается их возникновение. При этом используются данные мониторинга климата и результаты математического моделирования величины и вероятности воздействий и последствий.

Используя эту информацию, органы здравоохранения и санитарные органы разрабатывают и внедряют меры адаптации, а также организуют мониторинг их эффективности.

Следует отметить целесообразность координации усилий упомянутых выше федеральных органов исполнительной власти при осуществлении всей этой работы на уровне экспертов – для начала. Рекомендуем руководству этих органов рассмотреть вопрос о создании такой группы экспертов. Эта группа могла бы, прежде всего, дать рекомендации об адресатах, сроках, составе и форматах представления климатической информации, необходимой для разработки и внедрения адаптационных мер в связи с изменениями климата.

### **Благодарности**

*Авторы признательны за поддержку данного исследования Росгидрометом (госзадание ФГБУ «ИГКЭ» № 169-00009-24-00, проект 3.1.2.).*

### Список литературы

Беклемишев, В.Н. (1970) *Биоценологические основы сравнительной паразитологии*, М., Наука.

Детинова, Т.С. (1962) *Методы установления возрастного состава двукрылых насекомых, имеющих медицинское значение*, Женева, ВОЗ, 220 с.

Добролюбов, Н.Ю., Семенов, С.М., Володин, Е.М., Богданович, А.Ю. (2023) Алгебраический алгоритм статистической оценки параметра биномиального распределения и пример его применения в одной глобальной геоинформационной задаче прикладной климатологии, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 16-24, doi:10.52002/0130-2906-2023-10-16-24.

Дуванова, И.А., Хицова, Л.Н., Недосекин, В.Ю., Дроздова В.Ф. (2010) Факторы изменения численности малой лесной мыши (*Apodemus uralensis* Pall.) в условиях известнякового севера Среднерусской возвышенности, *Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Биология*, т. 3(1), с. 112-116.

Захарова, О.И., Бурова, О.А., Яшин, И.В., Блохин, А.А. (2023) Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу животных в Российской Федерации (обзор), *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*, т. 24(1), с. 20-29, URL: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>.

*О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году* (2023) Государственный доклад, М., Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 368 с.

Онищенко, Г.Г., Куличенко, А.Н. (2019) *Бруцеллёз. Современное состояние проблемы*, Ставрополь, ООО «Губерния», 336 с.

Попов, И.О. (2016) *Климатически обусловленные изменения аутоэкологических ареалов иксодовых клещей ixodes ricinus и ixodes persulcatus на территории России и стран ближнего зарубежья*, Дис. ... канд. биол. наук, М., ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева, 112 с.

Попов, И.О., Попова, Е.Н. (2020) Идентификация климатических условий, ограничивающих распространение таежного клеща *Ixodes persulcatus* на территории России и соседних стран, *Доклады Российской академии наук. Науки о Земле*, т. 493, № 1, с. 94-97.

Прислегина, Д.А., Дубянский, В.М., Платонов, А.Е., Малецкая, О.В. (2021) Влияние природно-климатических факторов на эпидемиологическую ситуацию по природно-очаговым инфекциям, *Инфекция и иммунитет*, т. 11, № 5, с. 820-836.

Ревич, Б.А., Шапошников, Д.В., Галкин, В.Т., Крылов, С.А., Черткова, А.Б. (2005) Воздействие высоких температур атмосферного воздуха на здоровье населения в Твери, *Гигиена и санитария*, № 2, с. 20-24.

Ревич, Б.А., Шапошников, Д.А., Семутникова, Е.Г. (2008) Климатические условия и качество атмосферного воздуха как факторы риска смертности населения Москвы в 2000-2006 гг., *Медицина труда и промышленная экология*, № 7, с. 29-35.

Салтыков, А.Н., Позняков, С.И. (2013) Структура и численность популяций мышевидных грызунов и ее особенности в пристеппных борах бассейна р. Северский Донец, *Научные ведомости. Серия Естественные науки*, № 3 (146), выпуск 22, с. 84-90.

Семенов, С.М., Попов, И.О., Ясюкевич, В.В. (2020) Статистическая модель для оценки формирования климатических угроз по данным мониторинга климата, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 59-65, doi:10.3103/S1068373920050040.

Шартова, Н.В., Шапошников, Д.А., Константинов, П.И., Ревич, Б.А. (2019) Температура воздуха и смертность: исследование пороговых значений жары и чувствительности населения на примере г. Ростов-на-Дону, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 5, № 2, с. 66-94, doi:10.21513/2410-8758-2019-2-66-94.

*Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири* (2011) Под ред. Касимова Н.С., Кислова А.В., МАКС Пресс, 496 с.

Ясюкевич, В.В., Богданович, А.Ю. (2021) Климатические предикторы для модельного описания климатических ареалов некоторых биологических видов и их изменений в условиях будущего климата, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 1, с. 117-137, doi:10.21513/2410-8758-2021-1-117-137.

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. (2022) *Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegrna, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lüscke, V. Müller, A. Okem, B. Rama (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1041-1170, doi:10.1017/9781009325844.009.

López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellon, J., McNavas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sanchez-Martinez, G., Linares, C. (2021) Evolution of the threshold temperature definition of a heat wave vs. evolution of the minimum mortality temperature: a case study in Spain during the 1983-2018 period, *Environ. Sci. Eur.*, vol. 33, p. 101, URL: <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>.

Lu, P., Zhao, Qi, Xia, G., Xu, R., Hanna, Jiang J., Li, S., Guo, Y. (2021) Temporal trends of the association between ambient temperature and

cardiovascular mortality: a 17-year case-crossover study, *Environ. Res. Lett.*, 16 045004, doi:10.1088/1748-9326/abab33.

Platonov, A.E., Fedorova, M.V., Karan, L.S., Shopenskaya, T.A., Platonova, O.V., Zhuravlev, V.I. (2008) Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics, *Parasitology research*, (Suppl 1), vol. 103, pp. 45-53, doi:10.1007/s00436-008-1050-0.

Saez, M., Sunyer, J., Tobias, A., Ballester, B., Antó, J.M. (2000) Ischaemic heart disease mortality and weather temperature in Barcelona, Spain, *European Journal of Public Health*, vol. 10, issue 1, pp. 58-63, URL: <https://doi.org/10.1093/eurpub/10.1.58>.

Yin, Q., Wang, J., Ren, Z., Li, J., Guo, Y. (2019) Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change, *Nat. Commun.*, vol. 10, p. 4640, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12663-y>.

## References

Beklemishev, V.N. (1970) *Biocenologicheskie osnovy sravnitel'noj parazitologii* [Biocenological foundations of comparative parasitology], Moscow, Russia.

Detinova, T.S. (1962) *Metody ustanovleniya vozrastnogo sostava dvukrylyh nasekomyh, imeyushchih medicinskoe znachenie* [Methods for determining the age composition of dipteran insects of medical importance], Zheneva, Switzerland, 220 p.

Dobrolyubov, N.Yu., Semenov, S.M., Volodin, E.M., Bogdanovich, A.Yu. (2023) Algebraicheskiy algoritm statisticheskoy ocenki parametra binomial'nogo raspredeleniya i primer ego primeneniya v odnoy global'noj geoinformacionnoj zadache prikladnoj klimatologii [Algebraic algorithm for statistical estimation of the parameter of binomial distribution and the example of its application in a single global geoinformation problem of applied climatology], *Meteorologiya i gidrologiya*, vol. 10, pp. 16-24, doi:10.52002/0130-2906-2023-10-16-24.

Duvanov, I.A., Hitsova, L.N., Nedosekin, V.Yu., Drozdova, V.F. (2010) Faktory izmeneniya chislennosti maloj lesnoj myshi (*Apodemus uralensis* Pall.) v usloviyah izvestnyakovogo severa Srednerusskoj vozvysheynosti [Factors of change in the number of the small wood mouse (*Apodemus uralensis* Pall.) in the conditions of the limestone north of the Central Russian Upland], *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo. Biologiya*, vol. 3(1), pp. 112-116.

Zaharova, O.I., Burova, O.A., Yashin, I.V., Blohin, A.A. (2023) Epizooticheskaya situatsiya po brucellezu zhivotnyh v Rossijskoj Federacii (obzor) [Epizootic situation of animal brucellosis in the Russian Federation (review)], *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, vol. 24(1), pp. 20-29, URL: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>.

*O sostoyanii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2022 godu* [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2022] (2023) Gosudarstvennyj doklad, Moscow, Russia, 368 p.

Onishchenko, G.G., Kulichenko, A.N. (eds.) (2019) *Brucellyoz. Sovremennoe sostoyanie problemy* [Brucellosis. Current state of the problem], Stavropol', Russia, 336 p.

Popov I.O. (2016) *Klimaticheski obuslovlennye izmeneniya avteologicheskikh arealov iksodovyh kleshchej ixodes ricinus i ixodes persulcatus na territorii Rossii i stran blizhnego zarubezh'ya* [Climate-induced changes in the autecological ranges of ixodid ticks *ixodes ricinus* and *ixodes persulcatus* in Russia and neighboring countries], Candidate's thesis, Moscow, Russia, 112 p.

Popov, I.O., Popova, E.N. (2020) Identifikatsiya klimaticheskikh usloviy, ogranichivayushchikh rasprostraneniye tayezhnogo kleshcha *Ixodes persulcatus* na territorii Rossii i sosednikh stran [Identification of climatic conditions restricting the distribution of the taiga tick *Ixodes persulcatus* in the territory of Russia and neighboring countries], *Doklady Rossiyskoy akademii nauk. Nauki o Zemle*, 2020, vol. 493, no. 1, pp. 94-97.

Prislegina, D.A., Dubyanskij, V.M., Platonov, A.E., Maleckaya, O.V. (2021) Vliyaniye prirodno-klimaticheskikh faktorov na epidemiologicheskuyu situatsiyu po prirodno-ochagovym infektsiyam [The influence of natural and climatic factors on the epidemiological situation of natural focal infections], *Infektsiya i immunitet*, vol. 11, no. 5, pp. 820-836.

Revich, B.A., Shaposhnikov, D.V., Galkin, V.T., Krylov, S.A., Chertkova, A.B. (2005) Vozdejstvie vysokih temperatur atmosfernogo vozduha na zdorov'e naseleniya v Tveri [The impact of high atmospheric temperatures on public health in Tver], *Gigiena i sanitariya*, no. 2, pp. 20-24.

Revich, B.A., Shaposhnikov, D.A., Semutnikova, E.G. (2008) Klimaticheskie usloviya i kachestvo atmosfernogo vozduha kak faktory riska smertnosti naseleniya Moskvy v 2000-2006 gg. [Climatic conditions and air quality as risk factors for mortality in Moscow in 2000-2006], *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*, no. 7, pp. 29-35.

Saltykov, A.N., Poznyakov, S.I. (2013) Struktura i chislennost' populyacij myshevidnyh gryzunov i ee osobennosti v pristepnykh borah bassejna r. Severskij Donec [The structure and number of populations of mouse-like rodents and its features in the steppe pine forests of the Seversky Donets River basin], *Nauchnye vedomosti. Seriya Estestvennye nauki*, no. 3 (146), issue 22, pp. 84-90.

Semenov, S.M., Popov, I.O., Yasyukevich, V.V. (2020) Statisticheskaya model' dlya ocenki formirovaniya klimaticheskikh ugroz po dannym monitoringa klimata [Statistical model for assessing the formation of climate threats based on climate monitoring data], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 59-65, doi:10.3103/S1068373920050040.

Shartova, N.V., Shaposhnikov, D.A., Konstantinov, P.I., Revich, B.A. (2019) Temperatura vozduha i smertnost': issledovanie porogovyh znachenij zhary i chuvstvitel'nosti naseleniya na primere g. Rostov-na-Donu [Air temperature and mortality: a study of heat thresholds and population sensitivity using the example of Rostov-on-Don], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 5, no. 2, pp. 66-94, doi:10.21513/2410-8758-2019-2-66-94.

*Ekologo-geograficheskiye posledstviya global'nogo potepleniya klimata XXI veka na Vostochno-Yevropeyskoy ravnine i v Zapadnoy Sibiri* [Ecological and geographical consequences of global warming of the 21st century on the East European Plain and Western Siberia] (2011) In N.S. Kasimov, A.V. Kislov (eds.), MAK Press, Russia, 496 p.

Yasyukevich, V.V., Bogdanovich, A.Yu. (2021) Klimaticheskie prediktory dlya model'nogo opisaniya klimaticheskikh arealov nekotorykh biologicheskikh vidov i ih izmenenij v usloviyakh budushchego klimata [Climate predictors for model description of climatic ranges of some biological species and their changes under future climate conditions], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 7, no. 1, pp. 117-137, doi:10.21513/2410-8758-2021-1-117-137.

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. (2022) *Health, Wellbeing, and the Changing Structure of Communities, Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, in H.-O. Piirtnier, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegrna, M. Craig, S. Langsdorf, S. Litschke, V. Müller, A. Okem, B. Rama (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 1041-1170, doi:10.1017/9781009325844.009.

López-Bueno, J.A., Díaz, J., Follos, F., Vellon, J., McNavas, M.A., Culqui, D., Luna, M.Y., Sanchez-Martinez, G., Linares, C. (2021) Evolution of the threshold temperature definition of a heat wave vs. evolution of the minimum mortality temperature: a case study in Spain during the 1983-2018 period, *Environ. Sci. Eur.*, vol. 33, p. 101, URL: <https://doi.org/10.1186/s12302-021-00542-7>.

Lu, P., Zhao, Qi, Xia, G., Xu, R., Hanna, Jiang J., Li, S., Guo, Y. (2021) Temporal trends of the association between ambient temperature and cardiovascular mortality: a 17-year case-crossover study, *Environ. Res. Lett.*, 16 045004, doi:10.1088/1748-9326/abab33.

Platonov, A.E., Fedorova, M.V., Karan, L.S., Shopenskaya, T.A., Platonova, O.V., Zhuravlev, V.I. (2008) Epidemiology of West Nile infection in Volgograd, Russia, in relation to climate change and mosquito (Diptera: Culicidae) bionomics, *Parasitology research*, (Suppl 1), vol. 103, pp. 45-53, doi:10.1007/s00436-008-1050-0.

Saez, M., Sunyer, J., Tobias, A., Ballester, B., Antó, J.M. (2000) Ischaemic heart disease mortality and weather temperature in Barcelona, Spain, *European*

*Journal of Public Health*, vol. 10, issue 1, pp. 58-63, URL: <https://doi.org/10.1093/eurpub/10.1.58>.

Yin, Q., Wang, J., Ren, Z., Li, J., Guo, Y. (2019) Mapping the increased minimum mortality temperatures in the context of global climate change, *Nat. Commun.*, vol. 10, p. 4640, URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12663-y>.

Статья поступила в редакцию (Received): 29.05.2024;

Статья доработана после рецензирования (Revised): 15.07.2024;

Принята к публикации (Accepted): 08.08.2024.

### Для цитирования / For citation:

Семенов, С.М., Малеев, В.В., Ревич, Б.А., Андреева, А.П., Богданович, А.Ю., Добролюбов, Н.Ю., Смирнов, В.Д. (2024) Климатическая информация для адаптационных мер в России в секторе «Здоровье населения»: краткосрочная перспектива, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 3, с. 413-438, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-413-438.

Semenov, S.M., Maleev, V.V., Revich, B.A., Andreeva, A.P., Bogdanovich, A.Yu., Dobrolyubov, N.Yu., Smirnov, V.D. (2024) Climatic information for adaptation measures in Russia in the "Public Health" sector: a short-term perspective, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 3, pp. 413-438, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-413-438.

## ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

*В данном разделе публикуются статьи, при оценке которых у членов редколлегии возникли существенные разногласия. Однако результаты исследований, приведенные в этих статьях, интересны и их целесообразно широко представить специалистам, что будет способствовать профессиональной дискуссии на страницах научных изданий.*

DOI:10.21513/2410-8758-2024-3-439-455

УДК 551.87,551.583

### Проявление самоподобия в колебаниях уровня Каспийского моря

*А.В. Кислов<sup>\*</sup>, Т.А. Янина*

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,  
географический факультет  
Россия, 119234, г. Москва, тер. Ленинские Горы, д. 1

<sup>\*</sup> Адрес для переписки: [avkislov@mail.ru](mailto:avkislov@mail.ru)

**Реферат.** Колебания уровня Каспийского моря многомасштабны. На основе анализа трансгрессий моря (по данным гидрометеорологических измерений, а также на основе палеоданных) установлено, что в диапазоне  $10^0$ - $10^5$  лет флуктуации уровня моря самоподобны с коэффициентом Херста  $H \sim 1/2$ , что служит признаком случайного процесса типа классического броуновского движения. Использовать для аналогичного исследования регрессии моря менее продуктивно, поскольку их реконструкции гораздо менее надежны, чем реконструкции трансгрессий.

**Ключевые слова.** Колебания уровня Каспийского моря, самоподобие, эффект Херста, трансгрессивные события, броуновское движение.

### Self-similarity in fluctuations in the level of the Caspian Sea

*A.V. Kislov<sup>\*</sup>, T.A. Yanina*

M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography  
1, Leninskie Gory, 119234, Moscow, Russian Federation

<sup>\*</sup>Correspondence address: [avkislov@mail.ru](mailto:avkislov@mail.ru)

**Abstract.** Fluctuations in the level of the Caspian Sea are multi-scale. Based on the analysis of transgressions (the results of hydrometeorological measurements, as well as paleodata, the reconstructions of which are much more reliable than regressions), it was established that in the range of  $10^0$ - $10^5$  years, sea level

fluctuations are self-similar with a Hurst coefficient  $H \sim 1/2$ , which is a sign of a random process such as a Brownian movement. It is less productive to use sea regressions for a similar study, since their reconstructions are much less reliable than reconstructions of transgressions.

**Keywords.** Caspian Sea, self-similarity, Hurst effect, sea level transgressive events, Brownian motion.

## Введение

Колебания уровня Каспийского моря происходят в широком диапазоне амплитуд и частот, создавая своеобразную многомасштабность флуктуаций. Этот вопрос был исследован в диапазоне межгодовой – междекадной изменчивости, по данным наблюдений за уровнем моря (Кучмент, Поюровский, 1998; Соболев, 2019). Представления о более протяженных событиях могут быть основаны на палеогеографических реконструкциях (Рычагов, 1997; Свиточ, Янина, 1997; Krijgsman et al., 2019; Kroonenberg et al., 2007; Yanina, 2020). Цель статьи заключается в том, чтобы, соединив эти источники информации, исследовать особенность вариаций уровня Каспия.

Если считать, что механизмы вариаций связаны исключительно с особенностями климата (а это обычно принимаемая парадигма подкрепляется геологическими данными (Рычагов, 1997)), то всю совокупность разномасштабных вариаций можно анализировать с единых позиций. Принимая общность климатообразующих факторов, положим в основу своеобразный принцип актуализма, согласно которому разномасштабные колебания происходят одновременно. Это позволяет сопоставить и соотнести друг с другом характеристики колебаний различной протяженности. При этом сразу возникает ощущение, что, как правило, протяженные по времени события характеризуются большей амплитудой, чем менее длительные события.

Это означает, что в многомасштабном наборе случайных флуктуаций уровня Каспия имеется определенная закономерность. Цель данной работы заключается в том, чтобы проверить ее и определить, насколько она универсальна на разных временных масштабах. Практически это означает изучение того, подчиняются ли универсальным связям статистические характеристики изменчивости на разных масштабах. Такое свойство называется самоподобием и служит признаком фрактального поведения (строгое определение фрактала см., например, (Федер, 1991)).

Одной из распространенных характеристик такой организации временной эволюции служит показатель самоподобности  $H$ , так называемый параметр Херста, хотя этот термин может использоваться по-разному (Franzke et al., 2018). С его помощью описывается то, что появление экстремумов в выборке увеличивается пропорционально ее объему в соответствии с соотношением  $\sim \tau^H$  ( $\tau$  – объем выборки или, в случае временного ряда, длина временного интервала), причем сам Г. Херст, родоначальник данного направления науки, получил, что поведение многих объектов (не только гидрологических)

характеризуется  $H \sim 0.7$  (Hurst, 1951). С другой стороны, в весьма распространенном случае броуновского движения должно быть  $H=1/2$  (см., например, Кроновер, 2000; Демченко, Кислов, 2010). С  $H$  связаны и другие показатели (в том числе, фрактальная размерность  $d=1-H$  (Кроновер, 2000) и др.).

Информация о параметрах  $H$  или  $d$  полезна потому, что позволяет оценить интегральные свойства объекта, в частности, подобрать для их описания математическую модель. С практической точки зрения это бывает важно, поскольку позволяет переносить информацию о статистических свойствах, определенных (измеренных) на определенном масштабе, на другие уровни. Однако обоснованием возможности такого подхода, кроме формально установленной принадлежности к единому фракталу, должно быть то, что «физика» на всех масштабах изменчивости одинакова. В самом деле, принципиальной особенностью фрактала является не только то, что статистика изменчивости на всех уровнях пропорционально сопоставима, но обычно неявно предполагается, что и механизм, создающий данную структурную особенность, одинаков на всех масштабах. Именно так устроена, например, «каноторова пыль», «снежинка Коха» и другие классические модели фракталов (Федер, 1991). Некоторые авторы, рассматривая проявление фрактальных свойств окружающей среды, вообще не акцентируют внимание на данной проблеме (Федер, 1991) или, хотя и отмечают, что механизмы на разных уровнях неодинаковы (Линник, 2018), но не принимают это во внимание. Другие авторы, наоборот, постулируют свойство одинаковости физики процессов, считая, что оно следует из установленного формального признака – существования единого коэффициента самоподобия (Пузаченко и др., 1997; Lovejoy, 2019).

Требование единства физики создает серьезные проблемы при обосновании использования фрактальных свойств. Кроме того, выделяемые в природе самоподобные объекты, строго говоря, фракталами не являются из-за принципиальной невозможности реализации «бесконечного зума», поэтому самоподобие наблюдается только в ограниченном диапазоне частот.

В данной работе для анализа взято Каспийское море потому, что оно представляет собой уникальный гидрологический объект, демонстрирующий многомасштабные вариации уровня с большой амплитудой в связи с изменениями регионального и глобального климата. Для исследования использованы только трансгрессии, поскольку реконструкции уровня Каспия в регрессивные эпохи для большинства из них не выполнены (кроме ательской (поздний плейстоцен) и мангышлакской (голоцен) регрессий).

При попытке определить особенности многомасштабных вариаций уровня Каспия существует ряд методологических трудностей. В том числе, априорно неясно, к какому классу относится случайный процесс изменений уровня моря – стационарному или нестационарному, является ли динамика случайным процессом с «короткой» или «бесконечной» LRD памятью (long-range distance) (Franzke et al., 2018) и др. Понимание этого позволило бы следовать изначально по правильному пути, с последовательным применением, например, идеологии классического броуновского движения или обобщенного броуновского движения. Однако такой подход невозможен потому, что

данные наблюдений (разной природы) совершенно недостаточны для требуемой характеристики объекта. Поэтому авторы ставят скромную задачу – только определить показатель  $H$ , а затем, на этой основе, сделать выводы об особенностях случайного процесса, который может служить моделью поведения вариаций уровня моря.

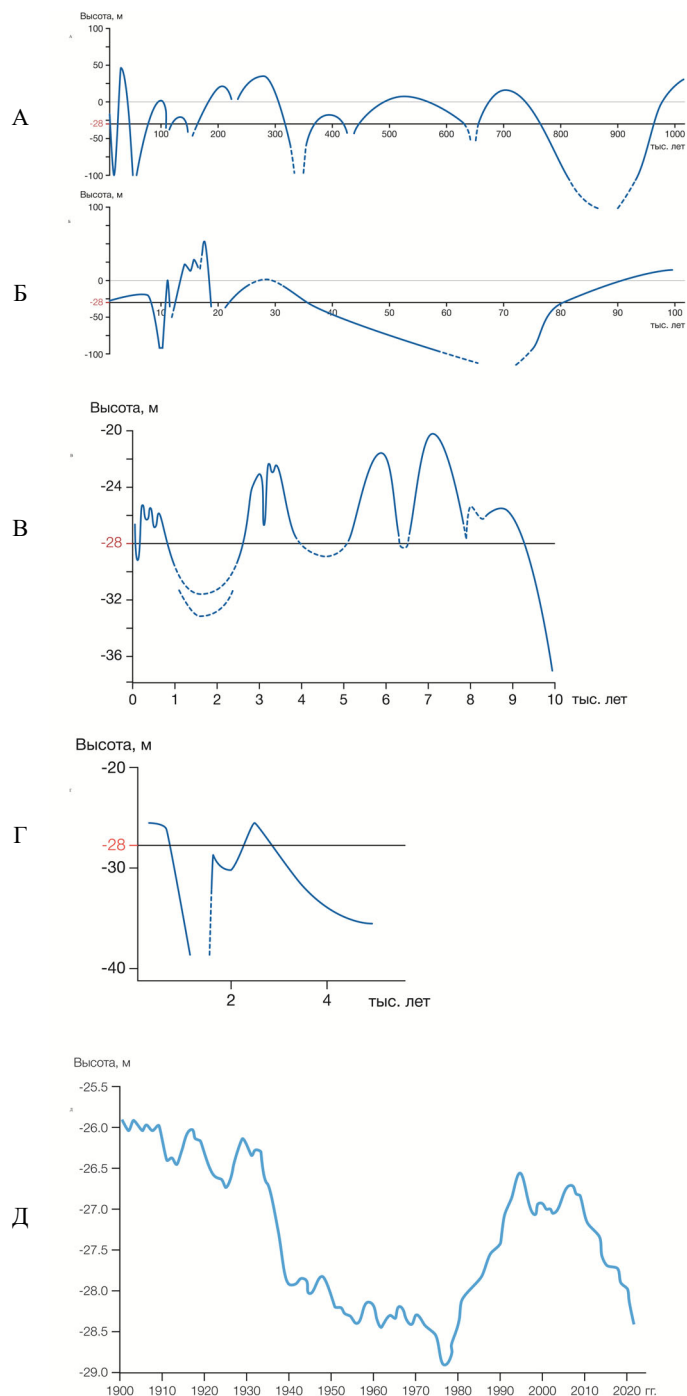
В следующем разделе проанализированы палеоданные, примененные, вместе с данными гидрологических наблюдений, для дальнейшего анализа. Затем представлена методика определения показателя  $H$ . Далее рассмотрены полученные результаты.

## Материалы и методы

Данные инструментальных наблюдений дают неоценимый материал для исследования межгодовых особенностей вариаций уровня. Однако они охватывают сравнительно непротяженный интервал времени, поэтому для оценки гораздо более длительных изменений следует обратиться к палеогеографическим реконструкциям.

В монографии Г.И. Рычагова (1997) в основу реконструкции трансгрессивных и регрессивных событий Каспия положены многолетние исследования на дагестанском побережье, где в строении морских террас и долин малых рек отражены происходившие в прошлом колебания уровня. В монографии А.А. Свиточа и Т.А. Яниной (1997) приведены результаты как их собственных многолетних исследований в различных районах Каспийского региона (азербайджанское и дагестанское побережье, Северный Прикаспий, долины Волги и Урала), так и обширный опубликованный материал по всему региону. Одними из последних обзорных публикаций по реконструкции колебаний уровня Каспия, оценке их размаха и времени проявления, являются статьи (Krijgsman et al., 2019; Yanina, 2020). Обобщенная кривая приведена на рис. 1А. Основанные на ее использовании данные представлены в табл. 1.

Колебания уровня Каспия становятся все более надежно интерпретируемы при приближении к современности. Наиболее полно реконструированы трансгрессивно-регрессивные события позднего плейстоцена (130 тыс. лет) (рис. 1Б). Но они же относятся к самым дискуссионным. Так, начало позднего плейстоцена, по мнению большинства исследователей, ознаменовалось позднехазарской межледниковой трансгрессией, уровень которой не превышал -10 м (абс.). Последовавшая за ней гирканская трансгрессия, установленная Г.И. Поповым (1967), не получила подтверждения (Федоров, 1978; Свиточ, Янина, 1997). Однако выполненное в последние годы обширное бурение в Северном Каспии (Sorokin et al., 2018; Yanina et al., 2018) подтвердило существование гирканского трансгрессивного бассейна. Методом оптически стимулированной люминесценции возраст события определен примерно в 100 тыс. лет (Курбанов и др., 2018). О признании гирканской трансгрессии высказался и Г.И. Рычагов (2016) на основе ревизии своих материалов по дагестанскому побережью. На этом основании гирканская трансгрессия включена в палеогеографическую схему колебаний уровня Каспия.



**Рисунок 1.** Разномасштабные колебания уровня Каспийского моря  
А – за 1 миллион лет, Б – за 100 тысяч лет, В – за 10 тысяч лет (по Рычагову, 1993а),  
Г – уточнения кривой (В) в интервале 5 тысяч лет, Д – инструментальные данные

**Figure 1.** Different fluctuations of the Caspian Sea  
А – during 1 000 000 years, Б – during 100 000 years, В – during 10 000 years (Rychagov, 1993a),  
Г – improvement curve C in the range 5 000 years, Д – observational data

**Таблица 1.** Параметры трансгрессий Каспийского моря, использованные в данной работе

**Table 1.** Parameters of the Caspian Sea Transgressions using in this paper

| Название трансгрессии<br>(или отметка времени) | Продолжительность (t), лет | Максимальное отклонение<br>уровня (h), м |
|------------------------------------------------|----------------------------|------------------------------------------|
| Ранняя Бакинская                               | 130 000                    | 48                                       |
| Поздняя Бакинская                              | 180 000                    | 43                                       |
| Урунджикская                                   | 70 000                     | 13                                       |
| Ранняя Хазарская                               | 165 000                    | 63                                       |
| Поздняя Хазарская                              | 10 000                     | 18                                       |
| Гирканская                                     | 20 000                     | 38                                       |
| Хвалынская                                     | 26 000                     | 78                                       |
| Новокаспийская                                 | 8 000                      | 8                                        |
| Голоцен                                        |                            |                                          |
| ~7.9-6.5 тыс. лет назад                        | 1 400                      | 8                                        |
| ~6.2-5.2                                       | 1 000                      | 5.5                                      |
| ~3-2.2                                         | 800                        | 5                                        |
| Дербентско-Каспийская                          | 1 000                      | 4                                        |
| Новокаспийская 5-я трансгрессивная фаза        |                            |                                          |
| 1400-1500                                      | 100                        | 0.5                                      |
| 1550-1700                                      | 150                        | 1                                        |
| 1700-1800                                      | 100                        | 1                                        |
| Инструментальные данные                        |                            |                                          |
| Межгодовые вариации                            | 3.8                        | 0.3                                      |
| 1980-2020                                      | 40                         | 1.5                                      |
| 1930-1990                                      | 60                         | 2                                        |

Дискуссионным вопросом в течение многих лет является хвалынский этап развития бассейна, несмотря на то, что в отличие от более ранних трансгрессий, его следы отмечаются на всех побережьях Каспия. Особенно четко в рельефе прослеживается уровень максимального стояния хвалынского моря, располагающийся, за некоторым исключением, на отметках 46-50 м (абс.) по всему периметру палеобассейна. Почти все исследователи Каспия пришли к заключению о двух хвалынских трансгрессиях (стадиях) – ранне- и позднехвалынской, разделенных енотаевской регрессией. Раннехвалынская трансгрессивная стадия в свой максимум достигала абсолютных отметок 46-50 м; позднехвалынская не поднималась выше 0 м.

Для максимального уровня комплексом методов датирования (радиоуглеродным, торий-урановым, оптико-люминесцентным) получен возраст 19-18 тыс. лет (Kurbanov et al., 2021; Макшаев, Ткач, 2023). Острая дискуссия в связи с этим возникла о возрасте позднехвалынской стадии (Рычагов, 2014;

Yanina et al., 2018; Макшаев, Ткач, 2023). В результате принято решение выделить хвалынский этап как единую трансгрессию с максимальным уровнем +50 м и полной ее продолжительностью в 26 тыс. лет, включив в этот интервал все ее стадии и фазы.

Информация о колебаниях уровня Каспийского моря в голоцене наиболее достоверно отражена в работах Г.И. Рычагова (Рычагов, 1993а; Rychagov, 1997) (рис. 1В). Работы С. Крооненберга с соавторами (Kroonenberg et al., 2007; Hoogendoorn et al., 2005), проведенные на побережье Дагестана, в дельтах Волги и Куры, на основе массива аналитических данных и радиоуглеродных датировок позволили уточнить кривую колебаний уровня Г.И. Рычагова, начиная с дербентской регрессии (рис. 1Г, табл. 1).

Для установления колебаний уровня моря в исторический период широко используются, помимо палеогеографических исследований, данные археологии и исторические источники (Варущенко и др., 1987; Рычагов, 1993б, 1994; Naderi Beni et al., 2013). Наиболее яркими проявлениями изменений являются «средневековая аномалия» с снижением уровня Каспия до -33...-35 м и «малый ледниковый период» с повышением уровня до -25...-24 м (табл. 1). Отметим, что, как и для более древних временных интервалов, в оценке колебаний уровня в исторический период среди специалистов полного согласия нет.

Таким образом, колебания уровня Каспия представлены разнородными данными, причем только последние ~130 лет представлены непрерывной кривой данных гидрологических измерений, а в остальном случае это набор сведений о разновозрастных трансгрессивных явлениях. Своеобразие материала накладывает ограничения на возможности использования апробированных методов при определении характеристик самоподобия, которые развиты для длинных и полных рядов. Среди них метод нормированного размаха (Hurst, 1951; Федер, 1991; Кучмент, Поюровский, 1998; Соболев, 2019), метод удаления тренда (Bashan et al., 2008), метод, основанный на расчетах функции спектральной плотности (Пузаченко и др., 1997; Кислов, 2018), метод окон переменного размера (Schmittbuhl et al., 1995), метод Ричардсона для определения зависимости суммарной протяженности объекта от размера измерителя (Сидорчук, 2014) и некоторые другие (Franzke et al., 2018).

Применительно именно к Каспийскому морю в работе (Кучмент, Поюровский, 1998) с использованием данных за 1890-1994 гг., получено, что  $H=0.63$ . Однако эта оценка оказалась статистически неустойчива, поскольку добавление к анализу пятнадцати лет измерений XXI века показало, что  $H=0.52$  (Соболев, 2019).

В нашей работе за основу взят адаптированный метод окон переменного размера (Schmittbuhl et al., 1995). В оригинале он применяется к длинному временному ряду измерений с достаточно большой дискретностью. Этот ряд разделяется на  $l_r$  «окон» продолжительностью  $r$ . Внутри каждого «окна» подсчитывается размах значений  $\epsilon$ . Такая процедура повторяется для разных разбиений. Обозначим усредненный размах

$$\frac{1}{l_r} \sum_{i=1}^{l_r} \varepsilon_i = V(r).$$

Если при изменении числа окон получается зависимость  $V(r) \sim r^H$ , и если качество аппроксимации удовлетворительное, то это служит основанием для утверждения о том, что количество экстремумов в ряду пропорционально длине ряда в степени  $H$ . Это означает проявление самоподобия и позволяет определить  $H$ .

Для палеоданных формальная реализация подобного подхода невозможна, поскольку временного ряда с высокой дискретностью не существует, а изменчивость представлена набором разреженных аномалий (событий) разного возраста. Поэтому процедура выделения многих «окон», отвечающих определенному масштабу, и проведение усреднения по всему их количеству невозможна. Мы предполагаем, что в нашем случае «усредненный размах» описывается амплитудой аномалии уровня Каспия ( $h$ ), выступающей как представитель явлений данного масштаба, а размер «окна» есть продолжительность этой аномалии ( $\tau$ ). На этой основе из постулируемого соотношения  $h = A\tau^H$  можно оценить показатель  $H$ . При этом, учитывая специфику палеореконструкций (см. выше), в качестве аномалий использованы только трансгрессии. Они характеризовались, в соответствии с требованиями методики, максимальным отклонением и продолжительностью, которая может быть ассоциирована с половиной периода колебания (см. табл. 1).

Аналогичным образом были проанализированы и ряды гидрологических наблюдений (рис. 1Д). Отметим, что имея более чем столетний ряд измерений, можно было бы применить рассматриваемый метод (Schmittbuhl et al., 1995) и в оригинальной трактовке. Однако нам хотелось провести анализ по единой методике, и для этого мы сняли с кривой вариаций уровня информацию о нескольких четко выраженных аномалиях, имевших продолжительность в несколько лет (от 2.5 до 5 лет). Эти данные были усреднены, позволив получить таким способом типичное значение межгодовых вариаций (см. табл. 1). Такой подход, несмотря на кажущуюся грубость по сравнению с количественным формальным анализом данных, имеет свои преимущества, поскольку фактически отфильтровывает малые аномалии, «зашумляющие» результаты.

## Результаты и обсуждение

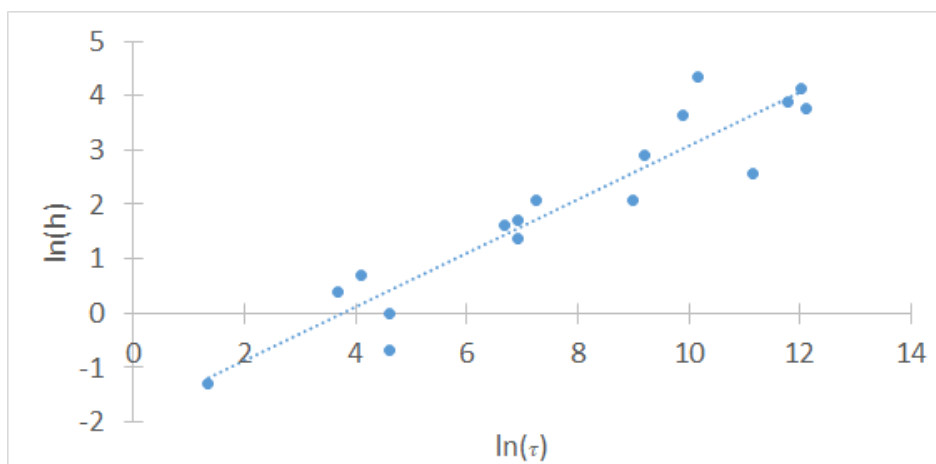
Практически удобно находить  $H$  логарифмируя соотношение  $h = A\tau^H$ , преобразуя его в удобную форму

$$\ln(h) = H\ln(\tau) + \ln(A) \quad (1)$$

и применяя метод наименьших квадратов.

---

В соответствии с предложенным подходом соотнесем данные табл. 1 друг с другом в логарифмических координатах. В случае, если между параметрами есть связь, то точки должны расположиться вдоль отрезка прямой линии. Видно (рис. 2), что во всем диапазоне изменчивости получена зависимость, соответствующая формуле (1), причем с достаточно высокой точностью (это характеризует большой коэффициент детерминации 0.88). Определение показателя самоподобия, осуществленного по подобранному уравнению регрессии, показало, что  $H \cong 0.49$ . Отклонение этого значения от  $1/2$ , при весьма невысокой точности рассматриваемых данных, несущественно. Это означает, что вариации отвечают модели броуновского стационарного случайного процесса с «короткой» памятью. Полученное отсутствие эффекта Херста подтверждает результаты (Кислов, 2018; Соболев, 2019), полученные путем применения иных подходов. Следует отметить, что к выводам, касающимся эффекта Херста, вообще надо относиться осторожно, учитывать погрешности данных и методов и принимать его во внимание только тогда, когда отклонения  $H$  от  $1/2$  действительно велики.



**Рисунок 2.** Связь амплитуды и продолжительности аномалий уровня Каспийского моря  
Показано аппроксимирующее связь уравнение регрессии:  $\ln(h) = 0.49 \cdot \ln(68.1 + \tau)$ .  
Коэффициент детерминации равен 0.88

**Figure 2.** Relationship between the amplitude and duration of Caspian Sea level anomalies  
A straight line is shown that approximates formula (1), regression equation  
is  $\ln(h) = 0.49 \cdot \ln(\tau) + 1.86$ . The coefficient of determination is 0.88

Факт самоподобия вариаций уровня Каспийского моря означает то, что изменчивость на масштабах от  $10^0$  до  $10^5$  лет обладает, в определенном смысле, универсальными свойствами. То есть, несмотря на использование дискретных и даже очень разрозненных данных, создается впечатление, что дисперсия флуктуаций континуально распределена по спектру. Так может происходить, если имеется источник (источники) возбуждения изменчивости, от которых энергия способна передаваться от одного масштаба к другому. Поскольку гидрологический режим определяется состоянием климата, то из общих соображений можно предположить, что постоянно действующими

являются два источника. В высокочастотном участке спектра «энергия» создается за счет бароклинной гидродинамической неустойчивости, присущей общей циркуляции атмосферы. Генерируемые вариации метеорологических полей определяют изменчивость речного стока, осадков и испарения. Возникающие вариации разных знаков не погашают друг друга, а вызывают накопление долгоживущих аномалий уровня (и площади) Каспийского моря на межгодовых, междекадных и, возможно, «вековых» масштабах. Это порождает изменчивость типа красного шума (при этом  $H=1/2$ ), и построенные на этой основе теоретические модели не противоречат данным наблюдений (Kislov, 2016). Другой источник изменчивости климата и гидрологического цикла может быть связан с долговременными вариациями радиационного режима, которые активируются ритмами Миланковича на периодах 41, ~20 и 100 тысяч лет, возбуждая широкий набор флуктуаций в климатической системе и, возможно, каскадный перенос энергии в сторону высоких частот (Huybers, Curry, 2006; Кислов, 2023).

Эти рассуждения следовало бы подкрепить описанием механизмов, однако ничего более конкретного, чем использование общих представлений о закономерностях нелинейного взаимодействия разномасштабных структур, предложить нельзя, и это, разумеется, снижает ценность концепции.

Кроме того, рассматривая по отдельности события, слагающие историю Каспия, можно прийти к выводу, что изменчивость уровня в каждом случае определяется разными причинами. Так, можно определенно утверждать, что на масштабах в несколько лет изменения уровня определяются вариациями в системе атмосферы и океана, то есть опосредованно чувствуют изменения Североатлантической осцилляции, Южного колебания, Тихоокеанской и Атлантической междекадной изменчивости и др. На масштабах в десятки тысяч лет в динамике уровня прослеживается ритм вариаций климата в плейстоцене - голоцене, непосредственно связанный с механизмом Миланковича и развивающимися в климатической системе обратными связями. В этом контексте уникальности физики явлений в зависимости от их масштаба, возникает обоснованное опасение, что эмпирически установленное наличие универсальной связи не имеет смысла, поскольку, как было отмечено во Введении, кроме формально установленной принадлежности к единому фракталу, должно быть единство «физики» на всех масштабах изменчивости. В этом случае альтернативным объяснением упорядоченности статистических свойств, обнаруженных в данном исследовании, могла бы быть интерпретация полученного результата с точки зрения нарастания ошибок информации с уменьшением частоты флуктуаций.

## Выводы

Целью работы было исследование общих закономерностей колебаний уровня Каспийского моря, проявляющихся в широком диапазоне изменчивости от нескольких лет до сотен тысяч лет. Для анализа взяты трансгрессии, поскольку они в циклических вариациях восстановлены гораздо надежнее,

чем регрессии. Показано, что колебания уровня Каспия в диапазоне от 1 до  $10^5$  лет обладают свойством статистического самоподобия с показателем Херста  $H=1/2$ . Это позволяет предположить, что моделью аномалий может служить простое (классическое) броуновское движение, порождающее так называемый «красный шум». Следствием данной теории служит, в том числе, представление о том, что средняя амплитуда трансгрессий пропорциональна квадратному корню из продолжительности событий.

В то же время, к данной универсальной закономерности следует относиться с осторожностью. Возможно, что это не следствие физической закономерности (тем более, что известно, что на каждом уровне изменчивости имеются свои управляющие процессы), а проявления эффекта нарастания амплитуды ошибок информации пропорционально масштабу явления.

### Благодарности

*Работа А.В. Кислова выполнена в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”, а также финансирование осуществлено Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова (№ 121051400081-7).*

*Работа Т.А. Яниной выполнена в рамках тем Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова № 121051100135-0 и № 121040100323-5.*

### Список литературы

Варущенко, С.И., Варущенко, А.Н., Клиге, Р.К. (1987) Изменение режима Каспийского моря и бессточных водоемов в палеовремени, М., Наука, 255 с.

Демченко, П.Ф., Кислов, А.В. (2010) Стохастическая динамика природных объектов. Броуновское движение и геофизические приложения, М., Геос, 190 с.

Кислов, А.В. (2018) Вековая изменчивость уровня Каспийского моря, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 71-80.

Кислов, А.В. (2023) К теории климата плиоцена – плейстоцена и голоцена, *Геоморфология и палеогеография*, т. 54, № 1, с. 3-16, URL: <https://doi.org/10.31857/S0435428123010066>; <https://elibrary.ru/GQCYHO>.

Кучмент, Л.С., Поюровский, Л.В. (1998) Эффект Херста в многолетних колебаниях уровня Каспийского моря, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 73-79.

Кроновер, Р.М. (2000) *Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории*, М., Постмаркет, 352 с.

Курбанов, Р.Н., Янина, Т.А., Мюррей, А., Борисова, О.К. (2018) Гирканский этап в позднеплейстоценовой истории Манычской депрессии, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 3, с. 77-88.

Линник, В.Г. (2018) *Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов*, М., ГЕОХИ РАН, 372 с.

Макшаев, Р.Р., Ткач, Н.Т. (2023) Хронология хвалынского этапа развития Каспия, по данным радиоуглеродного датирования, *Геоморфология и палеогеография*, т. 54, № 1, с. 37-54, URL: <https://doi.org/10.31857/S0435428123010066>; <https://elibrary.ru/GQCYHO>.

Попов, Г.И. (1967) Гирканская трансгрессия в Северном Прикаспии, *Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода*, № 33, с. 77-86.

Пузаченко, Ю.Г., Дьяконов, К.Н., Иванов, А.Н. (1997) Анализ иерархической структуры рельефа как основа организации природно-территориального комплекса, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 5, с. 3-9.

Рычагов, Г.И. (1993а) Уровенный режим Каспийского моря за последние 10 000 лет, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 2, с. 38-49.

Рычагов, Г.И. (1993б) Уровень Каспийского моря за историческое время, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 4, с. 42-49.

Рычагов, Г.И. (1994) Уровень Каспийского моря на рубеже XVIII-XIX веков, *Геоморфология*, № 2, с. 102-108.

Рычагов, Г.И. (1997) *Плейстоценовая история Каспийского моря*, М., Изд-во МГУ, 267 с.

Рычагов, Г.И. (2014) Хвалынский этап в истории Каспийского моря, *Вестник Московского университета. Серия География*, № 4, с. 3-9.

Рычагов, Г.И. (2016) Гирканский этап в истории Каспийского моря, *Геоморфология*, № 1, с. 3-17.

Свиточ, А.А., Янина, Т.А. (1997) *Четвертичные отложения побережий Каспийского моря*, М., РАСХН, 267 с.

Сидорчук, А.Ю. (2014) Фрактальная геометрия речных сетей, *Геоморфология*, № 1, с. 3-14.

Соболь, С.В. (2019) *Фрактальные параметры водных объектов*, Н. Новгород, ННГАСУ, 232 с.

Федер, Е. (1991) *Фракталы*, М., Мир, 254 с.

Федоров, П.В. (1978) *Плейстоцен Понто-Каспия*, М., Наука, 165 с.

Bashan, A., Bartsch, R., Kantelhardt, J.W., Havlin, S. (2008) Comparison of detrending methods for fluctuation analysis, *Physica A*, issue 387, pp. 5080-5090, available at: [10.1016/j.physa.2008.04.023](https://doi.org/10.1016/j.physa.2008.04.023).

Franzke, C.L.E., Graves, T., Watkins, N.W., Gramacy, R.B., Hughes, C. (2012) Robustness of estimators of long-range dependence and self-similarity under non-Gaussianity, *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 370, pp. 1250-1267, available at: [10.1098/rsta.2011.0349](https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0349).

---

Hoogendoorn, R.M., Boels, J.F., Kroonenberg, S.B. et al. (2005) Development of the Kura delta, Azerbaijan; a record of Holocene Caspian sea level changes, *Marine Geology*, no. 222-223, pp. 359-380, available at: 10.1016/j.mar-geo.2005.06.007.

Hurst, H. (1951) Long-term storage capacity of reservoirs, *Trans. Am. Resour. Res.*, vol. 14, pp. 509-516.

Huybers, P.J., Curry, W. (2006) Links between annual, Milankovitch and continuum temperature variability, *Nature*, issue 441, pp. 329-332, available at: <https://doi.org/10.1038/nature04745>.

Kislov, A. (2016) The interpretation of secular Caspian Sea level records during the Holocene, *Quaternary International*, vol. 409, part A, pp. 39-43, available at: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.026>.

Krijgsman, W., Tesakov, A., Yanina, T. et al. (2019) Quaternary time scales for the Pontocaspian domain, interbasinal connectivity and faunal evolution, *Earth-Science Reviews*, no. 188, pp. 1-40, available at: 10.1016/j.earscirev.2018.10.013.

Kroonenberg, S.B., Abdurakhmanov, G.M., Aliyeva, E.G. et al. (2007) Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea, *Quaternary International*, no. 173-174, pp. 137-143, available at: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.03.010>.

Kurbanov, R.N., Murray, A.S., Yanina, T.A. et al. (2021) First optically stimulated luminescence ages of the Early Khvalynian Caspian sea transgression in the lower Volga, *Boreas*, vol. 50, issue 1, pp. 134-146, available at: 10.1111/bor.12478.

Lovejoy, S. (2019) *Weather, Macroweather and the Climate*, Oxford Univ. Press., 347 p.

Naderi Beni, A., Lahijani, H., Mousavi Harami, R. et al. (2013) Caspian sea-level changes during the last millennium, Historical and Geological evidence from the south Caspian Sea, *Clim. Past*, no. 9, pp. 1645-1665, available at: 10.5194/cp-9-1645-2013.

Rychagov, G.I. (1997) Holocene oscillations of the Caspian Sea, the forecasts based on palaeogeographical reconstructions, *Quaternary International*, no. 41-42, pp. 167-172.

Schmittbuhl, J., Vilotte, J.-P., Roux, S. (1995) Reliability of self-affine measurements, *Phys. Rev. E*, vol. 51, pp. 131-147, available at: 10.1103/PhysRevE.51.131.

Sorokin, V.M., Yanina, T.A., Bezrodnykh, Y.P., Romanyuk, B.F. (2018) Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (upper Pleistocene) in the Caspian Sea, *Quaternary International*, vol. 465, part A, pp. 152-157, available at: 10.1016/j.quaint.2016.08.044.

Yanina, T.A. (2020) Environmental variability of the Ponto-Caspian and Mediterranean basins during the last climatic macrocycle, *Geography*,

*Environment, Sustainability*, vol. 13, issue 4, pp. 6-23, available at: 10.24057/2071-9388-2020-120.

Yanina, T., Sorokin, V., Bezrodnykh, Yu., Romanyuk, B. (2018) Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data), *Quaternary International*, vol. 465 (A), pp. 130-141, available at: 10.1016/j.quaint.2017.08.003.

## References

Varushchenko, S.I., Varushchenko, A.N., Klige, R.K. (1987) *Izmenenie rezhima Kaspiyskogo morya i besstochnykh vodoemov v paleovremeni* [Changes in the regime of the Caspian Sea and endorheic water bodies in paleotime], Nauka, Moscow, Russia, 255 p.

Demchenko, P.F., Kislov, A.V. (2010) *Stokhasticheskaya dinamika prirodnikh lyu"yektov. Brounovskoye dvizheniye i geofizicheskiye prilozheniya* [Stochastic dynamics of natural objects. Brownian motion and geophysical applications], Geos, Moscow, Russia, 190 p.

Kislov, A.V. (2018) Vekovaya izmenchivost' urovnya Kaspiyskogo moray [Secular variability of the Caspian Sea level], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 71-80.

Kislov, A.V. (2023) K teorii klimata pliotsena – pleystotsena i golotsena [On the Theory of Pliocene – Pleistocene and Holocene Climate], *Geomorfologiya i paleogeografiya*, no. 1, pp. 3-16, URL: <https://doi.org/10.31857/S0435428123010066>; <https://elibrary.ru/GQCYHO>.

Kuchment, L.S., Poyurovsky, L.V. (1998) Effekt Khersta v mnogoletnikh budushchikh urovnyakh Kaspiyskogo moray [The Hurst Effect in Long-Term Fluctuations of the Caspian Sea Level], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 73-79.

Kronover, R.M. (2000) *Fraktaly i khaos vo sodержashchikhsya v nikh veshchestvakh. Osnovy teorii* [Fractals and Chaos in Dynamic Systems. Fundamentals of Theory], Postmarket, Moscow, Russia, 352 p.

Kurbanov, R.N., Yanina, T.A., Murray, A., Borisova, O.K. (2018) Girkanskiy etap v pozdnepleystootsenovoy istorii Manychskoy depressii [The Hyrcanian stage in the late Pleistocene history of the Manych depression], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 3, pp. 77-88.

Linnik, V.G. (2018) *Landshaftnaya differentsiatsiya tekhnogennykh radionukleidov* [Landscape differentiation of technogenic radionuclides], GEOKHI RAN, Moscow, Russia, 372 p.

Makshaev, R.R., Tkach, N.T. (2023) Khronologiya khvalynskogo razvitiya Kaspiya po dannym radiouglerodnogo datirovaniya [Chronology of the Khvalynsk stage of the Caspian development based on radiocarbon dating], *Geomorfologiya i paleogeografiya*, vol. 54, no. 1, pp. 37-54, URL: <https://doi.org/10.31857/S0435428123010066>; <https://elibrary.ru/GQCYHO>.

Popov, G.I. (1967) Girkanskaya transgressiya v Severnom Prikaspii [Hyrceanian transgression in the Northern Caspian region], *Byull. Komis. po izuch. chetvertich. Period* [Bulletin of the Commission for the Study of the Quaternary Period], no. 33, pp. 77-86.

Puzachenko, Yu.G., Dyakonov, K.N., Ivanov, A.N. (1997) Analiz iyerarkhicheskoy struktury rel'yefa kak osnova organizatsii prirodno-territorial'nogo kompleksa [Analysis of the hierarchical structure of relief as a basis for organizing a natural-territorial complex], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 5, pp. 3-9.

Rychagov, G.I. (1993a) Urovenny rezhim Kaspiyskogo morya za posledniye 10 000 let [Geografiya, Caspian Sea level regime over the last 10 000 years], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5*, no. 2, pp. 38-49.

Rychagov, G.I. (1993b) Uroven Kaspiyskogo morya za istoricheskoe vremya [Caspian Sea level over historical time], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 4, pp. 42-49.

Rychagov, G.I. (1994) Uroven Kaspiyskogo morya na rubezhe XVIII-XIX vekov [Caspian Sea level at the turn of the 18th-19th centuries], *Geomorfologiya*, no. 2, pp. 102-108.

Rychagov, G.I. (1997) *Pleystotsenovaya istoriya Kaspiyskogo morya* [Pleistocene history of the Caspian Sea], Moscow State University Publishing House, Moscow, Russia, 267 pp.

Rychagov, G.I. (2014) Khvalynskiy etap v istorii Kaspiyskogo moray [Khvalynsk stage in the history of the Caspian Sea], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5, Geografiya*, no. 4, pp. 3-9.

Rychagov, G.I. (2016) Girkanskiy etap istorii Kaspiyskogo moray [Hyrceanian stage in the history of the Caspian Sea], *Geomorfologiya*, no. 1, pp. 3-17.

Svitoch, A.A., Yanina, T.A. (1997) *Chetvertye otlozheniya poberezhny Kaspiyskogo moray* [Quaternary sediments of the coasts of the Caspian Sea], Russian Academy of Agricultural Sciences, Moscow, Russia, 267 p.

Sidorchuk, A.Yu. (2014) Fraktal'naya geometriya rechnykh setey [Fractal geometry of river networks], *Geomorfologiya*, no. 1, p. 3-14.

Sobol, S.V. (2019) *Fraktal'nyye parametry vodnykh ob'yektov* [Fractal parameters of water bodies], NNGASU, N. Novgorod, Russia, 232 p.

Feder, E. (1991) *Fraktaly* [Fractals], World, Moscow, Russia, 254 p.

Fedorov, P.V. (1978) *Pleystotsen Ponto-Kaspiya* [Pleistocene of the Ponto-Caspian Sea], Nauka, Moscow, Russia, 165 p.

Bashan, A., Bartsch, R., Kantelhardt, J.W., Havlin, S. (2008) Comparison of detrending methods for fluctuation analysis, *Physica A*, issue 387, pp. 5080-5090, available at: 10.1016/j.physa.2008.04.023.

Franzke, C.L.E., Graves, T., Watkins, N.W., Gramacy, R.B., Hughes, C. (2012) Robustness of estimators of long-range dependence and self-similarity under non-Gaussianity, *Phil. Trans. R. Soc. A*, vol. 370, pp. 1250-1267, available at: [10.1098/rsta.2011.0349](https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0349).

Hoogendoorn, R.M., Boels, J.F., Kroonenberg, S.B. et al. (2005) Development of the Kura delta, Azerbaijan; a record of Holocene Caspian sea level changes, *Marine Geology*, no. 222-223, pp. 359-380, available at: [10.1016/j.mar-geo.2005.06.007](https://doi.org/10.1016/j.mar-geo.2005.06.007).

Hurst, H. (1951) Long-term storage capacity of reservoirs, *Trans. Am. Resour. Res.*, vol. 14, pp. 509-516.

Huybers, P.J., Curry, W. (2006) Links between annual, Milankovitch and continuum temperature variability, *Nature*, issue 441, pp. 329-332, available at: <https://doi.org/10.1038/nature04745>.

Kislov, A. (2016) The interpretation of secular Caspian Sea level records during the Holocene, *Quaternary International*, vol. 409, part A, pp. 39-43, available at: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.07.026>.

Krijgsman, W., Tesakov, A., Yanina, T. et al. (2019) Quaternary time scales for the Pontocaspian domain, interbasinal connectivity and faunal evolution, *Earth-Science Reviews*, no. 188, pp. 1-40, available at: [10.1016/j.earscirev.2018.10.013](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.10.013).

Kroonenberg, S.B., Abdurakhmanov, G.M., Aliyeva, E.G. et al. (2007) Solar-forced 2600 BP and Little Ice Age highstands of the Caspian Sea, *Quaternary International*, no. 173-174, pp. 137-143, available at: <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.03.010>.

Kurbanov, R.N., Murray, A.S., Yanina, T.A. et al. (2021) First optically stimulated luminescence ages of the Early Khvalynian Caspian sea transgression in the lower Volga, *Boreas*, vol. 50, issue 1, pp. 134-146, available at: [10.1111/bor.12478](https://doi.org/10.1111/bor.12478).

Lovejoy, S. (2019) *Weather, Macroweather and the Climate*, Oxford Univ. Press., 347 p.

Naderi Beni, A., Lahijani, H., Mousavi Harami, R. et al. (2013) Caspian sea-level changes during the last millennium, Historical and Geological evidence from the south Caspian Sea, *Clim. Past*, no. 9, pp. 1645-1665, available at: [10.5194/cp-9-1645-2013](https://doi.org/10.5194/cp-9-1645-2013).

Rychagov, G.I. (1997) Holocene oscillations of the Caspian Sea, the forecasts based on palaeogeographical reconstructions, *Quaternary International*, no. 41-42, pp. 167-172.

Schmittbuhl, J., Vilotte, J.-P., Roux, S. (1995) Reliability of self-affine measurements, *Phys. Rev. E*, vol. 51, pp. 131-147, available at: [10.1103/PhysRevE.51.131](https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.131).

Sorokin, V.M., Yanina, T.A., Bezrodnykh, Y.P., Romanyuk, B.F. (2018) Identification and age of submarine Girkanian sediment beds (upper Pleistocene) in

the Caspian Sea, *Quaternary International*, vol. 465, part A, pp. 152-157, available at: 10.1016/j.quaint.2016.08.044.

Yanina, T.A. (2020) Environmental variability of the Ponto-Caspian and Mediterranean basins during the last climatic macrocycle, *Geography, Environment, Sustainability*, vol. 13, issue 4, pp. 6-23, available at: 10.24057/2071-9388-2020-120.

Yanina, T., Sorokin, V., Bezrodnykh, Yu., Romanyuk, B. (2018) Late Pleistocene climatic events reflected in the Caspian Sea geological history (based on drilling data), *Quaternary International*, vol. 465 (A), pp. 130-141, available at: 10.1016/j.quaint.2017.08.003.

*Статья поступила в редакцию (Received): 21.06.2024;*

*Статья доработана после рецензирования (Revised): 04.08.2024;*

*Принята к публикации (Accepted): 08.08.2024.*

### **Для цитирования / For citation:**

Кислов, А.В., Янина, Т.А. (2024) Проявление самоподобия в колебаниях уровня Каспийского моря, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 3, с. 439-455, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-439-455.

Kislov, A.V., Yanina, T.A. (2024) Self-similarity in fluctuations in the level of the Caspian Sea, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 3, pp. 439-455, doi:10.21513/2410-8758-2024-3-439-455.

---

## ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ И ПРИКЛАДНАЯ КЛИМАТОЛОГИЯ

Полное библиографическое описание всех статей журнала представлено в Научной электронной библиотеке **elibrary.ru** с целью формирования Российского индекса научного цитирования (**РИНЦ**).

Журнал входит в **ПЕРЕЧЕНЬ ВАК** рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук.

Все публикуемые статьи рецензируются. В среднем период рассмотрения статей при однократном рецензировании составляет 4 месяца.

Осуществляется анонимное рецензирование одним-двумя рецензентами как из числа членов редколлегии журнала, так и внешними рецензентами. Все публикуемые статьи проходят проверку на плагиат с помощью <https://www.antiplagiat.ru/>, результаты которой документируются и хранятся в архиве.

Редакция журнала «Фундаментальная и прикладная климатология» признает обязательными для соблюдения авторами, рецензентами, членами редколлегии и сотрудниками редакции требования «**Кодекса этики научных публикаций**», разработанного и утвержденного Комитетом по этике научных публикаций, а также заявляет об отсутствии злоупотреблений служебным положением в деятельности редакции.

Публикация в журнале бесплатная.

веб-страница: <https://fa-climatology.ru>.

## FUNDAMENTAL AND APPLIED CLIMATOLOGY

Full bibliographic description of all articles published in the journal is presented in the Scientific Electronic Library (elibrary.ru) for the formation of the Russian Science Citation Index (RSCI).

The journal is included into the List of Peer-reviewed Scientific Journals (compiled by Supreme Qualification Council), where basic scientific results of PhD and DSc dissertations must be published.

All papers submitted are peer-reviewed. The average review period for a single review is 4 months.

Anonymous review is carried out by one or two reviewers from among the members of the Editorial Board of the journal, as well as by external reviewers. All published articles are checked for plagiarism using <https://www.antiplagiat.ru/>, the results of which are documented and stored in the archive.

The Editorial Office of "Fundamental and applied climatology" finds it obligatory for authors, reviewers, editorial board members and editorial staff to meet requirements of the "Code of Ethics for Scientific Publications", developed and approved by the Committee on Scientific Publications Ethics as well as declares no conflicts of interest in the activities of the Editorial Board.

Publication in the journal is free of charge.

web-page: <https://fa-climatology.ru>.

---