








DOI 10.23859/estr-230808

EDN HNCIOU

УДК 551.583.2+574.42

Научная статья

Трансформация природных экосистем в условиях изменений климата на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры

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

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

*olipka@mail.ru

Аннотация. Приводятся результаты исследований наблюдаемых (с 1960 г.) и прогнозируемых (до конца XXI в.) изменений климатических параметров, а также их подтвержденных и вероятных последствий для экосистем, включая трансформацию. В 1960–2021 гг. среднегодовая температура воздуха на территории ХМАО росла со скоростью 0.33–0.52 °C/10 лет, а годовая сумма атмосферных осадков в этот период повышалась со скоростью 3–15 мм/10 лет. Количество опасных гидрометеорологических явлений, связанных с аномально низкими температурами, уменьшилось, связанных с аномально высокими температурами, а также интенсивными осадками и засухами – увеличилось. Интенсивность 19 опасных гидрометеорологических явлений на территории округа достаточна для нанесения существенного ущерба природным системам, включая необратимые изменения. К наиболее опасным относятся: паводки, природные пожары и засухи. Зафиксированы изменения сроков фенологических событий, ареалов видов, в том числе появление видов-вселенцев. Результаты биоклиматического моделирования подтверждают: к середине – концу XXI в. современные границы биомов не будут соответствовать климатическим условиям на большей части территории. Природные условия северной тайги сменятся пригодными для средней, на юге могут создаться предпосылки для развития степей. Такие изменения климата благоприятны для 112 редких видов, находящихся вблизи северной границы распространения, и неблагоприятны для 20 арктических. Потенциальная смена биомов в регионе на более южные будет сопровождаться увеличением биологического разнообразия и продуктивности экосистем.

Ключевые слова: природные системы, климатообусловленная динамика, климатические риски, изменение границ биомов

Финансирование. Работа выполнена при поддержке Природнадзора ХМАО-ЮГРЫ в рамках НИР «Разработка паспорта климатической безопасности и оценка климатических рисков территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры», а также темы госзадания № АААА-А20-120070990079-6 ФГБУ «ИГКЭ».

ORCID:О.Н. Липка, <https://orcid.org/0000-0003-4020-2419>С.В. Крыленко, <https://orcid.org/0000-0003-0411-8455>А.П. Андреева, <https://orcid.org/0000-0002-8258-3005>А.Ю. Богданович, <https://orcid.org/0000-0002-9762-3225>А.С. Караваева, <https://orcid.org/0009-0002-3119-0807>

Для цитирования: Липка, О.Н. и др., 2025. Трансформация природных экосистем в условиях изменений климата на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. *Трансформация экосистем* 8 (2), 12–40. <https://doi.org/10.23859/estr-230808>

Поступила в редакцию: 18.08.2023

Принята к печати: 04.11.2023

Опубликована онлайн: 25.04.2025






DOI 10.23859/estr-230808

EDN HNCIOU

UDC 551.583.2+574.42

Article

Transformation of natural ecosystems affected by climate change in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia

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

Yu.A. Israel Institute of Global Climate and Ecology, Glebovskaya st. 20B, Moscow, 107258 Russia

*olipka@mail.ru

Abstract. The article presents the analysis of both observed (1960–present) and modeled (present–2100) changes in climate parameters, and their observed and probable consequences for ecosystems, including transformation. In 1960–2021, the average annual air temperature in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug Yugra (KhMAO) was increasing as 0.33–0.52 °C/10 years, the annual amount of precipitation, as 3–15 mm/10 years. The number of dangerous hydrometeorological phenomena associated with abnormally low temperatures has decreased, while those associated with abnormally high temperatures, intense precipitation and droughts, have increased. The intensity of 19 dangerous hydrometeorological phenomena in the area is sufficient to cause significant damage to natural systems, including irreversible changes. The floods, wildfires, and droughts are the most dangerous. Changes in the timing of phenological events and shifts in the species ranges, including the emergence of invasive species, have been recorded. The results of bioclimatic modeling confirm that in the second half of the XXI century, the current boundaries of biomes will not correspond to the climatic conditions on most of the studied territory. The natural conditions of the northern taiga will be replaced by those observed for the middle taiga; in the southern areas, preconditions for steppe formation may emerge. Such climate change is favorable for 112 rare species with northern border of ranges located in KhMAO, but they are unfavorable for 20 arctic species. The potential change of biomes in the region to become of the southern (warmer) type will be accompanied by an increase in biological diversity and productivity of ecosystems.

Keywords: natural systems, climate-driven dynamics, climate risks, changing biome boundaries

Funding. The study was supported by the Service for Control and Supervision in the Field of Environmental Protection (Environmental Supervision Authority of KhMAO-Yugra) within the framework of the research topic "Development of a Climate Safety Passport and Assessment of Climate Risks on the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra" and by the State Assignment no. AAAA-A20-120070990079-6.

ORCID:

O.N. Lipka, <https://orcid.org/0000-0003-4020-2419>

S.V. Krylenko, <https://orcid.org/0000-0003-0411-8455>

A.P. Andreeva, <https://orcid.org/0000-0002-8258-3005>

A.Yu. Bogdanovich, <https://orcid.org/0000-0002-9762-3225>

A.S. Karavaeva, <https://orcid.org/0009-0002-3119-0807>

To cite this article: Lipka, O.N. et al., 2025. Transformation of natural ecosystems affected by climate change in the Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra, Russia. *Ecosystem Transformation* 8 (2), 12–40. <https://doi.org/10.23859/estr-230808>

Received: 18.08.2023

Accepted: 04.11.2023

Published online: 25.04.2025

Введение

В настоящее время природные системы существуют в условиях быстро протекающих глобальных процессов, а также растущей прямой антропогенной нагрузки. Климатические изменения относят к основным факторам трансформации экосистем (IPBES, 2018).

Антропогенные изменения глобальной среднегодовой температуры воздуха происходят с беспрецедентной скоростью – 0.18 °C/10 лет, что на порядок превышает скорость изменения температуры в ходе геологических эпох (IPCC, 2021). На территории России климатические изменения происходят еще более активно. Темпы потепления с середины 1970-х гг. к настоящему времени превосходят средние глобальные более чем в 2.5 раза, а в Арктике – в 3.5 раза. Если в среднем по стране рост среднегодовых температур составляет 0.51 °C/10 лет, то в Северной полярной области он достигает значений 0.88 °C/10 лет и более (Доклад об особенностях климата..., 2023; Третий оценочный доклад..., 2022).

Подобная скорость изменений климатических параметров превышает скорость эволюционного приспособления природных систем (Тишков, 2016; IPCC, 2022; Pörtner et al., 2021). Происходит рассинхронизация отклика разных систематических групп. Пространственная неравномерность изменений, наличие прямых и обратных связей может как усиливать, так и сдерживать (или маскировать) процессы спонтанной адаптации к изменениям климата, повышать уязвимость одних видов и создавать благоприятные условия для других (Третий оценочный доклад..., 2022; IPBES, 2016; IPCC, 2014a, b, 2022).

Помимо изменения температуры, а также количества и режима выпадения осадков, современные изменения климата характеризуются увеличением числа и интенсивности опасных гидрометеорологических явлений, наносящих ущерб. Если в конце прошлого – начале нынешнего века на территории страны их фиксировалось 150–200, то начиная с 2004 г. ежегодно фиксируется 300–450 событий (Доклад об особенностях климата..., 2023). Некоторые из них достигают уровня чрезвычайных ситуаций, приводят к уничтожению или деградации растительности на тысячах гектаров, массовой гибели животных или необратимым изменениям экосистем (Третий оценочный доклад..., 2022).

Западная Сибирь и территория Ханты-Мансийского автономного округа в частности не являются исключением. Оценка климатических рисков при подготовке регионального плана адаптации

к изменениям климата подтвердила проявление всех 24-х опасных явлений из общестранового списка¹: оползни; сели; лавины; абразия и термоабразия; переработка берегов водохранилищ, озер; карст; суффозия; просадочность лессовых пород; подтопление территории; эрозия плоскостная и овражная; русловые деформации; термоэрозия овражная; термокарст; пучение; солифлюкция; наледеобразование; наводнение; ураганы, смерчи, сильный ветер; жара; засуха; заморозки; град; сильные атмосферные осадки; пожарная опасность в лесах².

В «Шестом национальном докладе Российской Федерации Конвенции о сохранении биологического разнообразия» (2020) в связи с изменениями климата была поставлена задача снижения антропогенной нагрузки с уязвимых экосистем. При этом в зависимости от характера негативного воздействия было определено две категории природных систем:

- 1) экосистемы, подверженные плавным направленным изменениям климата, которые будут постепенно трансформироваться, чтобы прийти в соответствие с абиотическими факторами;
- 2) экосистемы, подверженные опасным климатообусловленным явлениям, соответствующим каждой из природных зон в каждом регионе России.

В первом случае изменения носят необратимый характер. Во втором – восстановление экосистем, близких к исходным, зависит от силы опасного явления и свойств природных систем, подвергшихся воздействию. В большинстве регионов России одновременно проявляются воздействия на экосистемы как плавных изменений погодно-климатических условий, так и опасных гидрометеорологических явлений, усиливающих или сдерживающих процессы трансформации через прямые и обратные связи (Третий оценочный доклад..., 2022).

Целью работы является выявление откликов природных систем Ханты-Мансийского автономного округа – Югры (их трансформация) в ответ на современные и прогнозируемые изменения климата и их последствия. Для достижения цели решаются следующие задачи:

- 1) Обобщить современные и прогнозируемые изменения климата, а также охарактеризовать опасные гидрометеорологические явления, которые могут оказывать значимое воздействие на биоразнообразие и приводить к трансформации природных систем.
- 2) Охарактеризовать биологическое разнообразие округа.
- 3) Оценить последствия климатических изменений и воздействия опасных гидрометеорологических явлений для природных систем округа.

Материалы и методы

Информация о воздействиях изменений климата и климатических рисках на территории ХМАО в значительной степени освещена в ряде недавних исследований² (Глобальное изменение климата..., 2021; Липка и др., 2023). В данной работе приводятся отдельные выводы, которые важны для понимания отклика природных систем на изменение абиотической среды.

Нами использована концепция **климатического риска** Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2014a). В ней климатический риск определяется как сочетание климатических угроз (Hazards), которые включают опасные явления и тенденции, с подверженностью (Exposure) и уязвимостью (Vulnerability) и антропогенных и природных систем. В данном контексте «угроза – потенциальное возникновение естественного или вызванного человеком физического события или тренда, которые могут привести к гибели людей, травмам или другим воздействиям на здоровье, а также к утрате/ущербу в отношении имущества, инфраструктуры, средств к существованию, экосистемных услуг, экосистем и природных ресурсов»; «подверженность» – присутствие людей, средств к существованию, видов или экосистем, экологических функций, услуг и ресурсов, инфраструктуры, а также экономических, социальных или культурных ценностей в местах и ситуациях, в которых они могут быть подвержены отрицательным воздействиям»; и «уязвимость» – склонность или предрасположенность к неблагоприятным последствиям. Уязвимость охватывает множество понятий и элементов, в том числе чувствительность или подверженность вреду и недостаток способности противостоять воздействию и адаптироваться» (IPCC, 2014b).

Понятие **адаптации к изменениям климата** также применяется в трактовке МГЭИК: приспособление в ответ на фактическое или ожидаемое воздействие изменения климата или его

¹ Приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата».

² Региональный план адаптации к изменениям климата в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. (введен постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 08.12.2022 № 659-п).

последствий, которое позволяет снизить вред или использовать благоприятные возможности. В природных системах вмешательство человека может облегчить приспособление к ожидаемому климату и его эффектам (IPCC, 2014a).

В более поздних докладах появилось определение **эволюционной адаптации**: это процесс, посредством которого вид или популяция становятся более приспособленными к жизни в изменяющейся среде путем выработки наследственных черт. В биологии отличают эволюционную адаптацию от акклиматизации (IPCC, 2022).

В работе использованы данные о метеорологических характеристиках за период с 1960 по 2021 гг. срочного и суточного разрешения, опубликованные на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных (Булыгина и др., 2022a, b) по пяти станциям наблюдений: Ханты-Мансийск, Березово, Леуши, Нижневартовск, Корлики. Также использовалась статистика опасных и неблагоприятных явлений, нанесших ущерб на территории России (Шамин и др., 2023).

Информация о биологическом разнообразии получена в результате анализа публикаций и баз данных, находящихся в открытом доступе. Концепция биомов и их границы соответствуют предложенным специалистами географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова (Биомы России, 2018; Биоразнообразие биомов России..., 2020).

Сведения о редких видах на территории округа соответствуют последним опубликованным версиям красных книг и утвержденных перечней³ (Красная книга..., 2001, 2008, 2013), а также официальным данным Природнадзора Югры⁴.

Результаты и обсуждение

Климат, его экстремальность и прогноз изменений

Ханты-Мансийский автономный округ – Югра расположен в центральной части Западно-Сибирской низменности. Он простирается от восточного макросклона Уральского хребта почти до берегов Енисея; с севера на юг (между 58 и 66° с.ш.) от Сибирских Увалов до Кондинской тайги. Горная часть занимает около 6% территории округа, равнинная выложена и в высокой степени заболочена (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004). Территория округа находится в пределах умеренного климатического пояса. Северо-западная часть ХМАО относится к Атлантико-арктической области, остальная часть территории – к континентальной западносибирской северной и центральной области (Национальный атлас..., 2007). Климат влажный с умеренно теплым летом и умеренно суровой снежной продолжительной зимой, длительным залеганием снежного покрова.

По данным наблюдений на метеорологических станциях, обработанных авторами за период 1960–2021 гг., среднегодовая температура воздуха растет на всей территории со скоростью 0.33–0.52 °C/10 лет. Изменения сезонной температуры наиболее ярко проявляются весной: от 0.49 °C/10 лет в Леушах до 0.89°C/10 лет в Нижневартовске. Число дней с температурой более +20 °C за период 1960–2021 гг. растет на всех станциях в среднем на 2 дня за 10 лет. Одновременно количество дней с температурой ниже –20 °C на всех станциях сокращается со средней скоростью 3 дня за 10 лет, но не всегда достоверно.

На территории ХМАО последние 50 лет наблюдается повышение годовой суммы атмосферных осадков со скоростью 3–15 мм/10 лет. Максимальная сумма осадков за сутки может быть значительной, особенно в летний период, достигая 70–90 мм и более. За период 1960–2020 гг. максимальный интервал с осадками менее 1 мм (засушливые периоды) в среднем составляет 16–19 дней.

На территории округа возможны не только экстремально низкие (ниже –50 °C), но и высокие (выше +35 °C) температуры. В качестве наиболее разрушительного гидрометеорологического явления выделяются половодья, реже – дождевые паводки. Феномен связан со спецификой территории: на низменной равнине расположено место слияния Оби и Иртыша с асинхронным

³ Приказ Минприроды России от 24.03.2020 № 162 “Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации” (Зарегистрировано в Минюсте России 02.04.2020 N 57940).

⁴ ООПТ Югры. Особо охраняемые природные территории Югры. Официальный сайт отдела особо охраняемых природных территорий Управления лесного хозяйства и особо охраняемых природных территорий Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Интернет-ресурс. URL: <https://ugraopt.admhmao.ru/> (дата обращения: 27.02.2023).

вскрытием и затяжными половодьями (высота подъема воды может достигать 8–10 м). Следствием является общая высокая заболоченность территории.

Также характерны опасные явления, связанные с высокими температурами и засушливостью. Площадь, пройденная огнем, может достигать 120–140 тыс. га в год. Сильный ветер и ураганы фиксируются практически на всей территории округа. Их продолжительность достигает 2–3 ч, а скорость – от 20 м/с до 34 м/с максимально.

По оценке климатических рисков для плана адаптации к изменениям климата ХМАО⁵ семь явлений (оползни, суффозия, эрозия плоскостная и овражная, наводнение, ураганы, смерчи и сильный ветер, жара, засуха) периодически достигают катастрофического уровня, при этом уровни опасности для засухи, подтопления, сильного ветра, осадков и пожарной опасности могут быть занижены (Липка и др., 2023).

Хотя наиболее масштабным опасным явлением в регионе являются наводнения, уязвимость экосистем к изменению климата связывают в первую очередь с лесными пожарами, в меньшей степени – с ветровыми событиями и биогенными факторами (Третий оценочный доклад..., 2022).

По данным Росгидромета, с 1991 г. здоровью населения и экономике округа опасные гидрометеорологические явления наносили ущерб 98 раз (Шамин и др., 2023). При низком среднегодовом количестве ущерб от одного опасного явления может быть зафиксирован до 5 раз в течение года (Табл. 1), например, половодья в 2015 г. (Шамин и др., 2023).

Наиболее экстремальными были 1993, 2006 и 2018 гг. (Рис. 1).

Пороговые значения, используемые Росгидрометом для опасных гидрометеорологических явлений (РД 52.88.699-2008⁶, РД 52.27.724-2019⁷), не всегда соответствуют интенсивности и продолжительности, при которых они наносят существенный ущерб популяциям видов или приводят к необратимым трансформациям экосистем на значительных территориях. В базе данных «Распределение опасных гидрометеорологических явлений и их последствий по биомам в России, их параметры» (Липка, 2023) приводятся сведения о 22 категориях опасных явлений. Их параметры получены на основе анализа воздействий на различные компоненты природных систем: на экосистемы в целом, их структуру и продуктивность, чувствительность отдельных видов сосудистых растений и животных к определенным погодно-климатическим феноменам. Для каждого опасного явления определено два уровня пороговых значений: с момента достижения первого порога оно становится опасным для природных систем; после превышения уровня второго порога последствия становятся критическими. На территории ХМАО первого порога достигают 19 явлений (15–17 для равнинных биомов и 17–19 для оробиемов: очень сильный ветер, смерч, очень сильный дождь, очень сильный снег, крупный град, сильная метель, сильное гололедно-изморозевое отложение (в т.ч. ледяная корка), сильный мороз, аномально-холодная погода, сильная жара, аномально-жаркая погода, чрезвычайная пожарная опасность, сход снежных лавин, суховей, засуха атмосферная, высокий снежный покров, наводнение, сель, оползень), второго – 16 (10–11 на равнине и 15–16 в горах: из общего списка выпадает сильная жара и атмосферная засуха).

Результаты расчетных прогнозов изменений климата с помощью ансамбля глобальных климатических моделей показали, что к концу XXI в. по отношению к 1850–1900 гг. в регионе «Западная Сибирь» произойдет устойчивое повышение средней годовой температуры воздуха на 2.6–6.8 °С в зависимости от сценария. Возможно также повышение максимальной и минимальной температуры воздуха на 2.4–7.3 °С, увеличение на 5–18 непрерывного интервала дней с максимальной температурой выше +35 °С, а также незначительное сокращение максимального количества последовательно сухих дней (Липка и др., 2023; IPCC, 2021). Скорость наиболее сильных ветров увеличится на 1–3%. Рост количества осадков может отразиться на увеличении вероятности и силы паводков (Третий оценочный доклад..., 2022; IPCC, 2019).

Как и в большинстве регионов России, для ХМАО ожидается уменьшение вероятности опасных явлений, связанных с холодовым стрессом, и увеличение – для явлений, связанных с высо-

⁵ Региональный план адаптации к изменениям климата в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. (введен постановлением Правительства Ханты-Мансийского автономного округа – Югры от 08.12.2022 № 659-п).

⁶ РД 52.88.699-2008. Положение о порядке действий учреждений и организаций при угрозе возникновения и возникновении опасных природных явлений.

⁷ РД 52.27.724-2019. Наставление по краткосрочным прогнозам погоды общего назначения.

Табл. 1. Виды и количество опасных гидрометеорологических явлений, нанесших ущерб на территории ХМАО (по: Шамин и др., 2023).

Опасное явление	Общее количество случаев	Среднее количество случаев в год	Максимальное количество в год
Аномально холодная погода	4	0.13	2
Ветер	24	0.75	4
Град	4	0.13	4
Дождь (сильный)	8	0.25	3
Комплекс неблагоприятных явлений	3	0.09	1
Ливень	1	0.03	1
Метель	2	0.06	1
Низкая межень	1	0.03	1
Паводок	4	0.13	1
Половодье	9	0.28	5
Продолжительный дождь	2	0.06	2
Резкое понижение температуры	3	0.09	3
Резкое изменение погоды	4	0.13	3
Сильный мороз	3	0.09	1
Сложные гололедно-изморозевые отложения	1	0.03	1
Снег	6	0.19	3
Чрезвычайная пожароопасность	18	0.56	3

кими температурами. Оценки изменения продолжительности засух неоднозначны. Повышение общего количества осадков может сопровождаться увеличением суточных максимумов, что усиливает предпосылки для дождевых паводков (Липка и др., 2023).

Биологическое разнообразие

Разнообразие природных условий проявляется в представленности на территории ХМАО четырех биомов (Биомы России, 2018). Примечательно, что их границы на равнине не совпадают с границами климатического районирования (Национальный атлас..., 2007) (Рис. 2), хотя относятся к одному временному периоду – началу XXI в. Границы оробиомов близки по конфигурации к предложенной в схеме природного районирования Урала (Чибилев и Чибилев, 2012) и относятся к Северо-Уральской физико-географической области (Восточно-Североуральская подобласть) в северной части округа и к Средне-Уральской физико-географической области (Восточно-Среднеуральская подобласть) на юге.

Большую часть территории округа занимают Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (северотаежный) и среднетаежная часть Обь-Иртышского среднетаежно-южно-таежного биома. Наиболее богатые с точки зрения видового разнообразия южнотаежная часть

Количество явлений

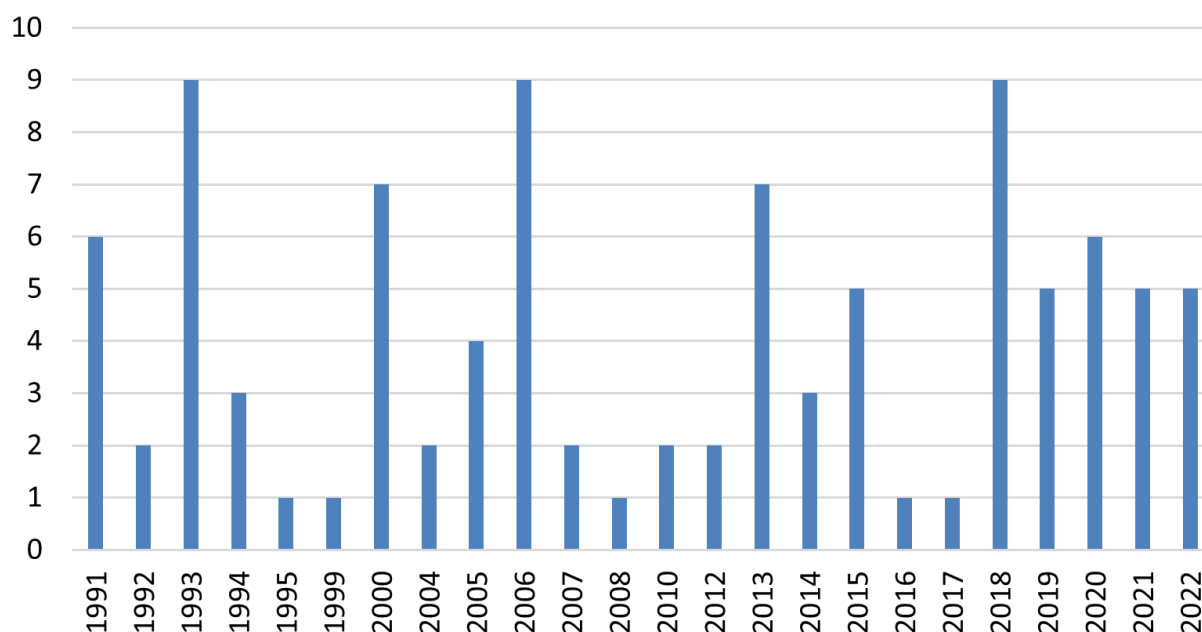


Рис. 1. Распределение по годам опасных гидрометеорологических явлений, нанесших ущерб на территории ХМАО (по: Шамин и др., 2023).

Обь-Иртышского среднетаежно-южнотаежного биома и Среднеуральский таежный (Восточноуральский) биом охватывают менее 5% территории. Фито- и зооразнообразие биомов ХМАО представлено в Табл. 2.

По данным Природнадзора округа, флора ХМАО включает свыше 800 видов высших сосудистых растений (Доклад о состоянии..., 2017). В литературе упоминается более 1200 видов высших сосудистых растений, 571 вид грибов, 973 вида лишайников, 88 видов миксомицетов (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Красноборов и др., 2000; Филиппова и др., 2017).

Растительность округа включает в себя сообщества лесов, болот, лугов, горных тундр (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004). Подзона северной тайги представлена западносибирскими хвойными кустарничково-лишайниково-зеленомошными редкостойными лесами и редколесьями, разрастание мохового покрова в которых способствует заболачиванию лесов (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999). Подзона средней тайги представлена западносибирскими елово-кедровыми и сосновыми зеленомошными лесами. Сосновые леса сменяют темнохвойные при усилении заболачивания и на песчаных почвах, где образуют боры-беломошники. К поймам рек, низинам приурочена луговая растительность. В северных районах распространены лишайниковые сообщества, используемые в качестве оленьих пастбищ. Значительную роль играют вторичные темнохвойно-осиново-березовые и березово-осиновые лесные сообщества, возникшие на месте гарей и вырубок (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999). Подзона южной тайги выражена в пределах округа только на самом юге его территории, представлена западносибирскими кедрово-елово-пихтовыми и сосновыми с примесью липы лесами (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999).

На Уральском хребте в пределах округа выделяются два класса типов поясности: гипоарктический (таежный) и бореальный (таежный). В первом отличительной чертой является отсутствие или незначительная роль сомкнутых лесных сообществ. Ведущее значение принадлежит гипоарктическим кустарничковым тундрам (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999). На территории округа к гипоарктическим относятся сообщества самой северной и самой высокой (в пределах региона) части Уральских гор (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999). Сообщества бореального класса типов поясности отличаются ведущей ролью в составе горно-

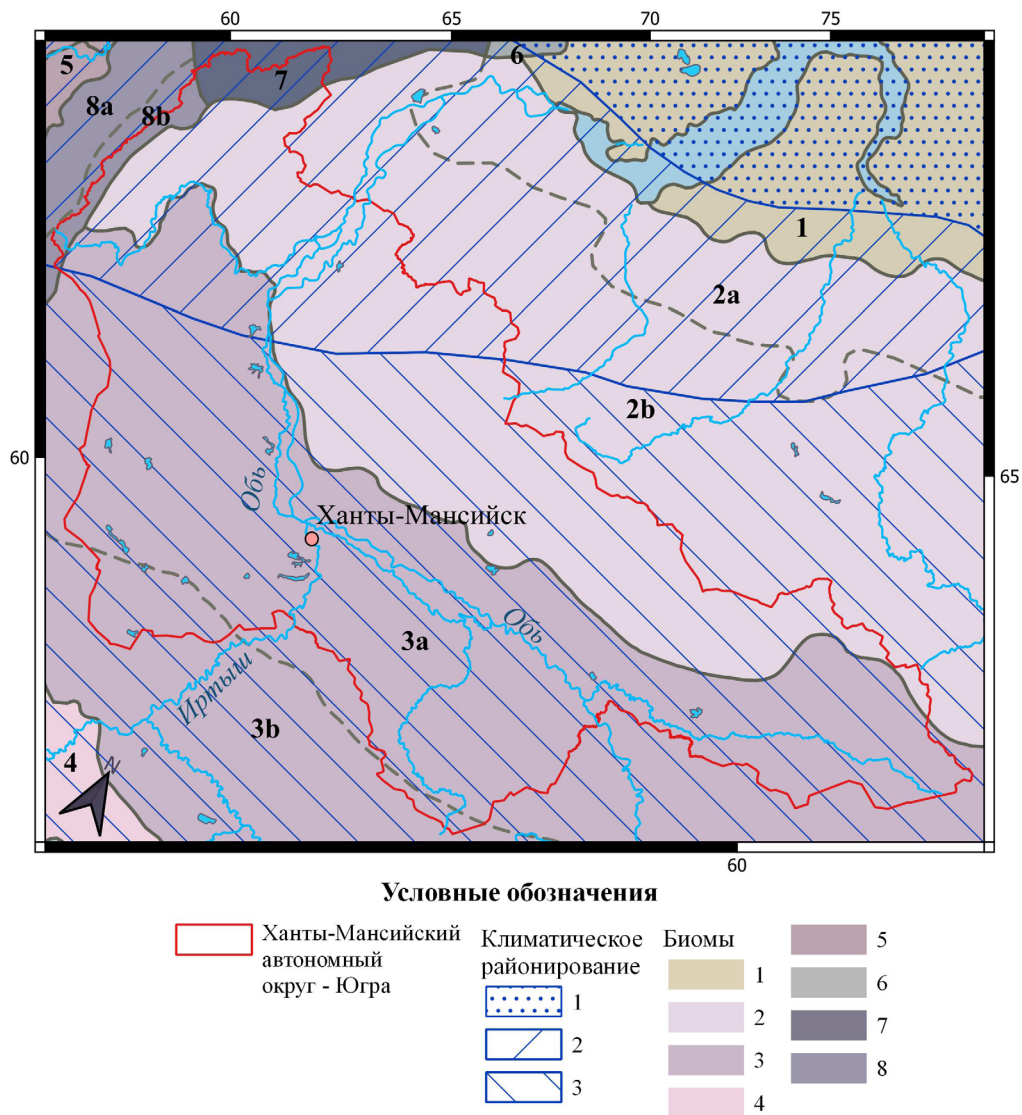


Рис. 2. Разнообразие биомов и климатическое районирование для территории ХМАО (по: Биомы России, 2018; Национальный атлас..., 2007). Климатические пояса и области: 1 – Субарктический пояс, Атлантическая область; 2 – Умеренный пояс, Атлантико-арктическая область; 3 – Умеренный пояс, Континентальная Западно-Сибирская область (северная и центральная подобласти). Биомы: 1 – Кольско-Большеземельско-Тазовский гипоарктическо-тундровый (южный гипоарктическо-тундровый); 2a – Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (лесотундровый); 2b – Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (северотаежный); 3a – Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (среднетаежный); 3b – Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (южнотаежный); 4 – Западносибирский мелколиственноресной; 5 – Приуральский: среднетаежно-южнотаежный; 6 – Центральносибирский (Арктические и гипоарктические тундровые); 7 – Хибино-Североуральский гипоарктический таежный (Североуральский); 8 – Среднеуральский таежный: Западноуральский (8a) и Восточноуральский (8b).

Табл. 2. Видовое разнообразие биомов, представленных на территории ХМАО (по: Биомы России, 2018).

Биом	Количество видов									
	Сосудистые растения на 100 км ²	Сосудистые растения	Мохообразные	Лишайники	Млекопитающие	Птицы (незаявленные)	Пресмыкающиеся	Земноводные	% территории округа	% биомы
Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (северотаежный)	300–400	600	300	500	41–45	136–150	1	3	37.2	36.8
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (среднетаежный)	300–400	900	300	500	41–45	151–165	3	4	56.4	54.8
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (южнотаежный)	400–500	1100	300	500	45–50	166–180	5	6	3.2	3.8
Хибино-Североуральский гипоарктический таежный	300–400	550	400	900	31–35	151–170	0	1	1.7	25.0
Среднеуральский таежный	400–500	1650	450	240	51–55	196–210	6	3	1.2	9.3

таежных систем хвойных сибирских лесов. В северной части ХМАО это лиственничные кустарничково-зеленомошные леса; в южной – сосновые с лиственницей редкостойные леса (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Огуреева и др., 1999).

Распределение высотных поясов в оробиомах на территории ХМАО представлено в Табл. 3. Вертикальная составляющая для каждого пояса не более 500 м.

Региональной особенностью территории автономного округа является переувлажнение. Треть ее занимают болота, преимущественно верхового и переходного типа⁸. Развитию болот способствуют равнинный рельеф, тектоническое опускание, слабая дренированность территории, избыточное увлажнение, а также низкие температуры (Биоразнообразие биомов России..., 2020). Растительный покров огромных по размерам пойм Оби и Иртыша состоит из множества болотных, луговых, кустарниковых и лесных сообществ (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004).

В аннотированном списке животных Ханты-Мансийского автономного округа – Югры по состоянию на 2011 г. отмечено 1524 видов и подвидов животных. В их числе 66 видов млекопитающих, 256 видов птиц, 4 вида рептилий, 6 видов амфибий, 30 видов рыбообразных (29 видов рыб и 1 вид круглоротых) и 1162 вида беспозвоночных животных⁹ (Доклад об экологической ситуации..., 2022).

На территории Ханты-Мансийского автономного округа обитает 35 объектов животного и растительного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации. Среди них 17 видов и подвидов животных, 8 видов и подвидов растений, 6 видов лишайников и 4 вида грибов. Млекопитающие представлены 1 видом: западносибирский речной бобр *Castor fiber pohlei* Serebrennikov, 1929; птицы – 14 видами: черный аист *Ciconia nigra* (L., 1758), краснозобая казарка *Branta ruficollis* (Pallas, 1769), пискулька *Anser erythropus* (L., 1758), малый лебедь *Cygnus columbianus bewickii* Yarrell, 1830, большой подорлик *Clanga clanga* Pallas, 1811, степной лунь *Circus macrourus* (S.G. Gmelin, 1770), беркут *Aquila chrysaetos* (L., 1758), орлан-белохвост *Haliaeetus albicilla* (L., 1758), скопа *Pandion haliaetus* (L., 1758), кречет *Falco rusticolus* L., 1758, сапсан *Falco peregrinus* Tunstall, 1771, стерх *Leucogeranus leucogeranus* (Pallas, 1773), кулик-сорока *Haematopus ostralegus* L., 1758, филин *Bubo bubo* L., 1758; костные рыбы – 2 видами: сибирский осетр *Acipenser baerii* Brandt, 1869, обыкновенный таймень *Hucho taimen* (Pallas, 1773). В список краснокнижных растений входят родиола розовая *Rhodiola rosea* L., кастиллея воркутинская *Castilleja arctica* Krylov & Serg., калипсо луковичная *Calypso bulbosa* (L.) Oakes, башмачок настоящий *Cypripedium calceolus* L., пальчатокоренник Траунштейнера *Dactylorhiza traunsteineri* (Saut. ex Rchb.) Soó, надбородник безлистный *Epipogium aphyllum* Sw., колеант маленький *Coleanthus subtilis* (Tratt.) Seidl ex Roem. & Schult., полушник щетинистый *Isoetes lacustris* L. К лишайникам относятся лобария легочная *Lobaria pulmonaria* (L.) Hoffm., асахиния Шоландера *Asahinea scholanderi* (Llano) W.L. Culb. & C.F. Culb., цетрелия аляскинская *Cetrelia alaskana* (C.F. Culb. & W.L. Culb.) W.L. Culb. & C.F. Culb., тукнерария Лаурера *Tuckneraria laureri* (Kremp.) Randle & A. Thell, пиксине соредиозная *Pyxine soreliata* (Ach.) Mont., лишеномфалина гудзонская *Lichenomphalia hudsoniana* (H.S. Jenn.) Redhead, Lutzoni, Moncalvo & Vilgalys, к грибам – саркосома шаровидная *Sarcosoma globosum* (Schmidel) Casp., мокруха желтоножковая *Gomphidius flavipes* Peck, ганодерма блестящая *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst., спарассис курчавый *Sparassis crispa* (Wulfen) Fr. (Красная книга..., 2001, 2008).

В новом утвержденном перечне объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации, содержится информация о 30 видах и подвидах животных, обитающих на территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры¹⁰. В перечень внесены следующие виды и подвиды животных ХМАО: млекопитающие – речной бобр *Castor fiber* L., 1758 и медновский песец *Vulpes lagopus semenovi* Ognev, 1931; птицы – белая чайка *Pagophila eburnea* (Phipps, 1774), западный лесной гуменник *Anser fabalis fabalis* (Latham, 1787), европейская белая лазоревка *Cyanistes cyanus* (Pallas, 1770), дубровник *Emberiza aureola* Pallas, 1773, овсянка-ре-

⁸ Постановление Губернатора ХМАО – Югры от 25.01.2019 № 2 “О Лесном плане Ханты-Мансийского автономного округа – Югры на 2019–2028 годы”.

⁹ ООПТ Югры. Особо охраняемые природные территории Югры. Официальный сайт отдела особо охраняемых природных территорий Управления лесного хозяйства и особо охраняемых природных территорий Департамента недропользования и природных ресурсов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Интернет-ресурс. URL: <https://ugraopt.admhmao.ru/> (дата обращения: 27.02.2023).

¹⁰ Приказ Минприроды России от 24.03.2020 № 162 “Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации” (Зарегистрировано в Минюсте России 02.04.2020 N 57940).

Табл. 3. Распределение высотных поясов растительности в биомах (по: Биомы России, 2018).

Высотные отметки поясов	Хибино-Североуральский гипоарктический таежный оробiom	Среднеуральский таежный оробiom
2000 м	Нивальный	
	Гольцово-тундровый	Гольцово-тундровый
1500 м		
1000 м	Горных тундр (кустарничковых, лишайниковых, моховых)	Горных тундр (кустарничковых, лишайниковых, моховых)
	Березовых редколесий	Березовых редколесий
500 м	Редин и стлаников (ерников, ольхи, ивняков)	Лиственнично-еловых, еловых лесов
	Темнохвойных лесов	Сосновых, лиственнично- сосновых лесов

мез *Emberiza rustica* Pallas, 1776, черный аист, клоктун *Sibirionetta formosa* (Georgi, 1775), кобчик *Falco vespertinus* L., 1766, краснозобая казарка, красношейная поганка *Podiceps auritus* (L., 1758), пiskuльka, савка *Oxyura leucocephala* (Scopoli, 1769), большой подорлик, степной лунь, беркут, орлан-белохвост, скопа, кречет, сапсан, стерх, среднерусская белая куропатка *Lagopus lagopus rossicus* Serebrowski, 1926, кулик-сорока, филин; костные рыбы – нельма *Stenodus nelma* (Pallas, 1773), сибирский осетр, обыкновенный таймень; беспозвоночные – обыкновенный аполлон *Parnassius apollo* (Linnaeus, 1758), жужелица Менетрие *Carabus (Carabus) menetriesi* Hummel, 1827. Таким образом, по сравнению с Красной книгой Российской Федерации (2001), число краснокнижных видов федерального значения в ХМАО увеличилось на 13 таксонов.

В Красную книгу Ханты-Мансийского автономного округа – Югры включено 265 объектов животного и растительного мира: 48 видов животных (10 видов млекопитающих, 26 – птиц, 3 – земноводных, 2 – костистых рыб и 7 – беспозвоночных); 150 видов высших сосудистых растений, 29 видов лишайников и 38 видов грибов (Красная книга..., 2013).

Климатообусловленная трансформация элементов природных систем по данным наблюдений

В современной литературе количество подтверждений направленных изменений в природных системах, связанных с изменениями климата или опасными гидрометеорологическими явлениями, еще невелико. Они по-прежнему фрагментарны для каждого отдельно взятого региона. Тем не менее, в публикациях продолжают накапливаться данные, что заметно, в частности, при сопоставлении глав «Природные системы суши» во втором (2014) и третьем (2022) оценочных докладах об изменении климата на территории Российской Федерации.

Изменение сроков фенологических событий тесно связано с изменением сезонной температуры воздуха. При наблюдающемся повышении температуры происходит сдвиг весенних событий в ХМАО на более ранние сроки, а осенних – на более поздние, однако погодные условия конкретного сезона конкретного года могут противоречить общему тренду. Для округа сильная прямая корреляционная связь ($R = +0.85$ и более) выявлена между переходом среднесуточной температуры воздуха выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и зеленым березы. Наступление фенологического лета (зацветание шиповника, малины) характеризуется прямой средней корреляционной связью с переходами температур выше $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (коэффициент корреляции R изменяется от $+0.56$ до $+0.95$). Начало пожелтения листьев на березах зависит от перехода среднесуточных температур

ниже +5 °C ($R = +0.61$), окончание листопада у берез сильно коррелирует с установлением температур ниже 0 °C ($R = +0.81$) (Кузнецова и Гребенюк, 2015; Третий оценочный доклад..., 2022).

В связи с повышением среднегодовой и сезонной температуры виды, находящиеся на южной границе своего распространения (в том числе песец *Vulpes lagopus* (Linnaeus, 1758)), постепенно вытесняются более теплолюбивыми, для которых новые условия более благоприятны (Второй оценочный доклад..., 2014).

Например, кабан *Sus scrofa* Linnaeus, 1758 является совершенно чужим для фауны Юганского заповедника видом. Его проникновение на территорию началось в конце 1980-х гг. (Юганский заповедник, 2022). Водяная ночница *Myotis (Myotis) daubentonii* (Kuhl, 1817) впервые была отловлена на территории ХМАО в 2005 г. (Красная книга..., 2013). Регистрируется сдвиг ареалов летучих мышей (двухцветный кожан *Vespertilio murinus* Linnaeus, 1758, восточная ночница *Myotis (Myotis) petax* Hollister, 1912, водяная ночница) в более северные территории (Емцев и др., 2012).

Отмечено проникновение и расширение границ ареалов птиц на север, например, для щеглов (Сульдин, 2017), степного луня и сизого голубя *Columba livia* J. F. Gmelin, 1789 (Емцев и др., 2012). Степной лунь был включен в Красную книгу ХМАО только в 2013 г., поскольку ранее вид на территории округа никогда не встречали (Красная книга..., 2013). На территории природного парка «Самаровский чугас» и сопредельных с ним территориях с 2000 г. выявлено семь видов птиц, проникших с юга в процессе расширения границ ареала: выпь *Botaurus stellaris* (Linnaeus, 1758), погоньш-крошка *Zapornia pusilla* (Pallas, 1776), индийская камышевка *Acrocephalus agricola* (Jerdon, 1845), камышница *Gallinula chloropus* (Linnaeus, 1758), большая поганка *Podiceps cristatus* (Linnaeus, 1758), черная крачка *Chlidonias niger* (Linnaeus, 1758), черный дрозд *Turdus merula* Linnaeus, 1758. Нельзя также исключать, что нахождение некоторых из них связано с малоизученностью территории ранее. Кроме указанных выше видов птиц, есть и такие, которые раньше встречались на рассматриваемой территории в качестве редких залетных с юга, а в последнее время стали более обычными, хотя и не гнездящимися: лебедь-шипун *Cygnus olor* (J. F. Gmelin, 1789), болотный лунь *Circus aeruginosus* (Linnaeus, 1758), обыкновенная лазоревка *Cyanistes caeruleus* (Linnaeus, 1758), серая цапля *Ardea cinerea* Linnaeus, 1758 (Бочков, 2022). На юге округа происходит расширение ареалов некоторых редких рептилий, например, гадюки *Vipera berus* (Linnaeus, 1758), что связано с изменениями температурных режимов (Стариков и др., 2011).

Одновременно с повышением температуры воды на север продвигается паразитофауна рыб, расширяются благоприятные условия для таких заболеваний рыб, как диплостомоз, лигулез, дифиллоботриоз и протиоцефалез (Аврунев и др., 2016).

Для жуужелиц выявлено наличие двух кластеров: «северного» (ЯНАО, Приполярный и Северный Урал, ХМАО) и «южного» (Новосибирская обл., Южный и Средний Урал, а также Тюменская обл. без автономных округов) с условной границей, проходящей между южной и средней тайгой лесной зоны в пределах административных границ ХМАО. При сдвиге границы биомов также можно ожидать и смещения комплексов жуужелиц для данных территорий (Акопян, 2015).

Расширяются на север и ареалы насекомых-вредителей лесного хозяйства; кроме того, участились случаи погодных условий, инициирующих вспышки хвое- и листогрызущих вредителей (Доклад об экологической ситуации..., 2021). В дальнейшем не исключено проникновение на территорию Югры с юга таких опасных вредителей, как непарный шелкопряд *Lymantria (Porthetria) dispar* (Linnaeus, 1758), модельный климатообусловленный ареал которого уже охватывает южные территории ХМАО (Богданович и др., 2023).

Из редких растений в 2017–2020 гг. на территории ХМАО впервые были выявлены следующие виды: гроздовник многораздельный *Sceptridium multifidum* (S. G. Gmel.) M. Nishida ex Tagawa, колеант маленький, кизильник черноплодный *Cotoneaster melanocarpus* G. Lodd., гудайера ползучая *Goodyera repens* (L.) R. Br., чина гороховидная *Lathyrus pisiformis* L., ликопоидиелла заливаемая *Lycopodiella inundata* (L.) Holub, пион уклоняющийся *Paeonia anomala* L. (Алексеева и др., 2020). Их обнаружение может быть связано как с изменением климатических условий, так и с повышением изученности территории.

Из опасных явлений, приводящих к значительному сокращению численности популяций отдельных видов животных, в большинстве случаев называют два: наводнения и природные пожары.

В случае наводнений под угрозой оказываются даже виды, привычные к регулярным паводкам и половодьям, например, западносибирский речной бобр (Атлас Ханты-Мансийского..., 2004; Красная книга..., 2013) и обыкновенный тритон *Lissotriton vulgaris* (Linnaeus, 1758) (Красная книга..., 2013). От наводнений страдает барсук *Meles meles* (Linnaeus, 1758) (Доклад об экологиче-

ской ситуации..., 2021). У птиц высокие паводки приводят к гибели кладок наземно гнездящихся видов, таких как коростель *Crex crex* (Linnaeus, 1758) (Емцев и Берников, 2017), кулик-сорока (Красная книга..., 2013), филин (Красная книга..., 2013). Кроме физической гибели угрозу несут изменения в кормовой базе в результате паводков (Акопян, 2015). В то же время продолжительные паводки высокой интенсивности приводят к широкому распространению и увеличению численности ондатры *Ondatra zibethicus* (Linnaeus, 1766) (Аврунев и др., 2016) за счет расширения их среды обитания.

Учащение лесных пожаров приводит к сокращению численности соболя *Martes zibellina* L., 1758 (Доклад об экологической ситуации..., 2021), глухаря *Tetrao urogallus* (Linnaeus, 1758) (Емцев и др., 2012). Для ряда видов птиц пожары приводят к утрате местообитаний на многие годы (Красная книга..., 2013).

Для северных оленей *Rangifer tarandus* (Linnaeus, 1758) наибольшую опасность представляют увеличение частоты и интенсивности оттепелей и заморозков, а также высокий снежный покров, достигающий иногда 75–90 см (Аврунев и др., 2016; Второй оценочный доклад..., 2014; Переясловец и др., 2019; Юганский заповедник, 2022).

Лоси *Alces alces* (Linnaeus, 1758) в период активности гнуса сильно страдают от кровососущих насекомых. Особое беспокойство доставляют слепни, повреждающие кожу этих копытных и оставляющие долго не заживающие раны. Наиболее уязвимы у лосей живот и задняя часть поверхности ног, где слепни иногда наносят значительные повреждения (Юганский заповедник,

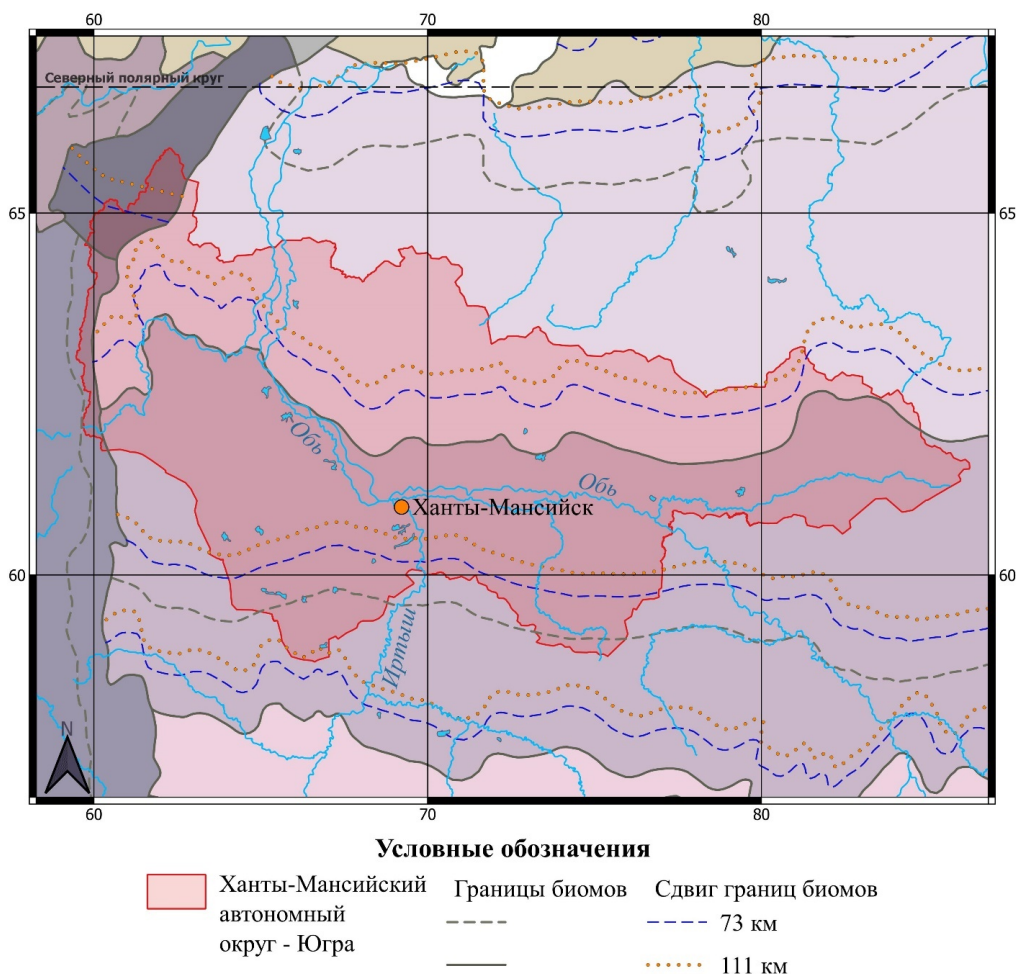


Рис. 3. Теоретический диапазон сдвига климатических условий, соответствующих границам биомов в конце XX – начале XXI вв.

2022). Повышение летних температур является фактором, благоприятным для активности кровососущих насекомых.

Из редких видов, занесенных в Красную книгу ХМАО (2013), 112 находятся вблизи северной границы распространения, 20 – вблизи южной. Часто в качестве лимитирующих климатообусловленных факторов называют природные пожары, в том числе как фактор уничтожения местообитаний. Виды, требовательные к высокой влажности (28), плохо переносят засухи. Изменение гидрологического режима в Красной книге округа рассмотрено только как результат прямого антропогенного вмешательства; в качестве следствия изменений климатических условий это явление в регионе не рассматривалось. Холод в качестве лимитирующего фактора указан для 12 видов, высокие паводки – для 8. Экстремально высокие температуры, а также сели, водно-каменные потоки, оползни и лавины, трансформирующие местообитания в Уральских горах, в качестве лимитирующих факторов оценены не были.

Прогнозы изменения природных систем

Классически считается, что изменение температуры воздуха у поверхности Земли на 1 °С приблизительно соответствует пространственному смещению на 1° по широте к северу или к югу. Высотный градиент в разных горных системах составляет 0.5–1.0 °С при подъеме/спуске на 100 м (Хромов и Петросянц, 2012). Абсолютное увеличение годовых количеств осадков на 100 м высоты для Среднего Урала составляет 61 мм (Берсенева и Данилова, 1954).

Табл. 4. Наименование природных систем при биоклиматическом моделировании и на карте «Биомы России» (2018).

Биомы России, 2018	Барталев и др., 2016	Жильцова и Анисимов, 2015	Румянцев и др., 2013
Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (северотаежный)	Бореальные хвойные вечнозеленые леса	Северная тайга	Северная тайга
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (среднетаежный)	Бореальные хвойные вечнозеленые леса	Средняя тайга	Средняя тайга
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (южнотаежный)	Бореальные хвойные листопадные леса + Бореальные мелколиственные листопадные леса	Южная тайга	Южная тайга
Западносибирский южный мелколиственный лесной	Бореальные мелколиственные листопадные леса	Смешанный лес	Подтайга (смешанные леса)
Тоболо-Приобский лесостепной	Травянистая растительность и тундра	Степь	Лесостепи
Хибино-Североуральский гипоарктический таежный (Североуральский)	Бореальные хвойные вечнозеленые леса	Альпийская тундра	Горы (анализ не проводился)
Среднеуральский таежный (Восточноуральский)	Бореальные хвойные вечнозеленые леса	Горная тайга	Горы (анализ не проводился)

С 1960 г. произошло повышение среднегодовой температуры на 1.98–3.12 °С, а с начала XXI в. – на 0.66–1.04 °С. Соответственно, в самом общем приближении, в настоящее время климатические границы биомов проходят на 73–111 км севернее, чем на карте «Биомы России» (2018) (Рис. 3). В Уральских горах потепление привело к сдвигу границ высотных поясов растительности на 33–100 м в зависимости от микроклиматических условий. Однако даже незначительные изменения расстояний приводят к существенному сокращению условий распространения северной тайги и расширению для южнотаежной растительности. Климатическая граница Западносибирского южного мелколиственно-лесного биома приблизилась к границе ХМАО (Рис. 3). В горах вертикальная составляющая поясов растительности не превышает 500 м, а в некоторых случаях – менее 200 м. Соответственно, сдвиг климатических границ может составлять от 13–21% до почти 50% высотной составляющей.

Для более точного прогнозирования изменения границ биомов в связи с изменениями климата, включая информацию об изменении увлажненности территории, ветрового режима и других параметров, применяют методы биоклиматического моделирования. Согласно вероятностному прогнозу смены современных биомов по климатическим показателям (Anisimov et al., 2017), на территории ХМАО в середине XXI в. вероятность сдвига климатических зональных границ к северу составляет 80–100% на равнине и около 3% для горной части округа.

Сложность сопоставления результатов заключается в несовпадении временных горизонтов, выбранных сценариев изменения климата, а также используемых классификаций природных систем. В Табл. 4 представлено соответствие названий природных систем трех результатов биоклиматического моделирования, охватывающих территорию Западной Сибири (Барталев и др., 2016; Жильцова и Анисимов, 2015; Румянцев и др., 2013), и биомов карты «Биомы России».

Прогноз изменения растительности России на ближайшее столетие (Барталев и др., 2016) осуществлялся для четырех сценариев изменения репрезентативных концентраций парниковых газов (RCP) в атмосфере, предложенных Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC) для пятого цикла оценочных докладов (IPCC, 2014a): RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0, RCP 8.5 (Moss et al., 2010). Использовалась модель земной системы HadGEM2-ES и заложенная в ней классификация растительности (Jones et al., 2011): бореальная зона не подразделяется на северо-, средне- и южнотаежные биомы и представляет собой единую зону хвойных вечнозеленых лесов, которая также охватывает зону высотной поясности Урала. Зона степей определена как «зона травянистой растительности» и объединена с тундрой (Табл. 4). В соответствии с результатами данного прогноза для наиболее мягкого сценария изменений климата RCP 2.6 ожидается сокращение площади бореальных хвойных вечнозеленых лесов, большая часть которых будет вытеснена мелколиственными листопадными лесами. Кроме того, прослеживается продвижение зоны широколиственных лесов и степей в южных районах ХМАО. Прогнозы для сценариев RCP 4.5 и RCP 6.0 предполагают довольно схожее со сценарием RCP 2.6 распространение биомов, за исключением экспансии хвойных листопадных лесов и частичного продвижения зоны травянистой растительности на востоке округа. При реализации наиболее жесткого сценария изменений климата RCP 8.5 бореальные леса будут полностью вытеснены широколиственными лесами умеренного пояса (Табл. 5).

Для прогноза потенциального изменения растительной зональности в 2016–2045 и 2031–2060 гг. (Жильцова и Анисимов, 2015) были использованы более ранние сценарии изменения климата (Meehl et al., 2007). Для сценария A2 (одного из наиболее жестких) на территории ХМАО уже в первой половине XXI в. климат будет благоприятствовать смене господствующих экосистем на большей части бореальной зоны. На равнине потенциально ожидается заметное сокращение таежной зоны и смещение ее подзональных границ к северу. Северная тайга сменит зону лесотундры и кустарниковую тундру, что говорит о полном исчезновении данной зоны с территории ХМАО на карте, представленной авторами. Средняя тайга целиком окажется за современной границей области распространения многолетней мерзлоты, а к 2031–2060 гг. по климатическим условиям севернее данной границы окажется зона южной тайги и часть смешанных лесов. Область высотной поясности, именованная в данном прогнозе как горная тайга (Табл. 4), заметно сократится и сменится в нижних поясах растительностью соответствующих биомов равнинной местности. (Табл. 5) (Жильцова и Анисимов, 2015).

Прогноз возможных изменений зональных границ растительности Европейской России и Западной Сибири на период 2046–2065 гг. (Румянцев и др., 2013) также выполнен на основе жесткого сценария A2 (Кислов, 2011; Кислов и др., 2011). В качестве базового периода «современного

Табл. 5. Прогнозируемая смена климатических условий биомов относительно их современного географического положения.

Биомы России, 2018 (на начало XX века)	Барталев и др., 2016 (к 2100 г.)	Жильцова и Анисимов, 2015 (к 2031–2060 гг.)	Румянцев и др., 2013 (к 2046–2065 гг.)
Западносибирский северный лесотундрово-северотаежный (северотаежный)	RCP 2.6 – бореальные хвойные вечнозеленые леса		
	RCP 4.5, RCP 6.0 – бореальные хвойные вечнозеленые леса + бореальные хвойные листопадные леса	Средняя тайга + южная тайга	Средняя тайга + южная тайга
	RCP 8.5 – широколиственные леса		
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (среднетаежный)	RCP 2.6 – мелколиственные листопадные леса		
	RCP 4.5, RCP 6.0 – мелколиственные листопадные леса + широколиственные леса	Южная тайга + смешанный лес	Южная тайга + подтайга (смешанные леса) + лесостепи
	RCP 8.5 – широколиственные леса		
Обь-Иртышский среднетаежно-южнотаежный (южнотаежный)	RCP 2.6 – мелколиственные листопадные леса		
	RCP 4.5, RCP 6.0 – мелколиственные листопадные леса + широколиственные леса + травянистая растительность	Смешанный лес + степь	Подтайга (смешанные леса) + лесостепи
	RCP 8.5 – широколиственные леса		
Западносибирский южный мелколиственный лесной	Широколиственные леса для всех сценариев	Смешанный лес + степь	Лесостепи + северные (разнотравно-дерновинно-злаковые) степи + средние (сухие) степи

Биомы России, 2018 (на начало XX века)	Барталев и др., 2016 (к 2100 г.)	Жильцова и Анисимов, 2015 (к 2031–2060 гг.)	Румянцев и др., 2013 (к 2046–2065 гг.)
Тоболо-Приобский лесостепной	Широколиственные леса для всех сценариев	Степь	Северные (разнотравно-дерновинно-злаковые) степи + средние (сухие) степи
Среднеуральский таежный (Восточноуральский)	RCP 2.6 – бореальные хвойные вечнозеленые + бореальные мелколиственные листопадные леса RCP 4.5, RCP 6.0 – бореальные мелколиственные листопадные леса RCP 8.5 – широколиственные леса	Южная тайга	Анализ не проводился
Хибино-Североуральский гипоарктический таежный (Североуральский)	RCP 2.6 – бореальные хвойные вечнозеленые леса RCP 4.5, RCP 6.0 – бореальные хвойные вечнозеленые леса RCP 8.5 – широколиственные леса	Альпийская тундра	Анализ не проводился

климата» использованы результаты ре-анализа NCAP/NCEP (Кислов, 2011; Кислов и др., 2011; Торопов, 2006) с 1961 по 1989 г. По результатам моделирования, на территории ХМАО ожидается «сдвиг» границ подзона тайги, сопровождающийся исчезновением климатических условий, пригодных для бореальных хвойных вечнозеленых лесов на территории округа. Сформируются более мягкие климатические условия, пригодные для зоны смешанных лесов или подтайги в центральной и южной частях ХМАО. Растительность южной части округа будет трансформироваться в лесостепи в пределах Кондинского и южной части Сургутского района (Румянцев и др., 2013).

В Табл. 5 представлены сводные данные о прогнозируемой трансформации климатических условий биомов на территории ХМАО – Югры по сравнению с их современным положением с учетом временных горизонтов.

Глобальный прогноз климатообусловленной трансформации биомов суши к 2100 г. (Sato and Ise, 2022) предполагает смену современных бореальных вечнозеленых (хвойных) и смешанных лесов на умеренные лиственные с участием бореальных смешанных лесов и лесостепи на юге. Использовались климатические сценарии RCP 2.6 и RCP 8.5, климатические модели Had2GEM-ES и MIROC-ESM, результаты которых интегрировались в биоклиматическую модель CNN (Sato and Ise, 2022). Полученный прогноз наиболее близок к оценкам С.А. Барталева и др. (2016). Сравнение с данными о биологическом разнообразии современных биомов на территории ХМАО (Биомы России, 2018) позволяет предположить, что трансформация экосистем в ответ на изменение климатических условий к концу века будет способствовать увеличению общего количества видов животных и растений, т.к. биологическое разнообразие южнотаежных биомов выше, чем северотаежных (см. Табл. 2).

Требуется изучения вопрос скорости отклика экосистем и их отдельных компонентов на наблюдаемые и прогнозируемые изменения климата. В настоящее время происходит рассинхронизация: более мобильные виды и виды с более высокой репродуктивной скоростью приспосабливаются быстрее (IPCC, 2022). Для развития широколиственных лесов на месте бореальных, как и таежных сообществ на месте тундровых, необходимы не только подходящие климатические условия, но также занос семян, деградация мерзлоты и многие другие факторы. Система прямых и обратных связей сложна и чутко реагирует на прямые антропогенные воздействия: режим природопользования, загрязнение, пожары и др. (Олсон, 2011).

Заключение

Современные изменения климата на территории ХМАО подтверждаются данными наблюдений с 1970-х гг. В 1960–2021 гг. среднегодовая температура воздуха росла на территории ХМАО со скоростью 0.33–0.52 °C/10 лет, а годовая сумма атмосферных осадков в этот период повышалась со скоростью 3–15 мм/10 лет. Интенсивность 19 опасных гидрометеорологических явлений достаточна для нанесения существенного ущерба природным системам, включая необратимые изменения.

Уменьшается количество дней с экстремально низкими температурами, интенсивность и продолжительность волн холода, повышаются минимальные температуры. Увеличивается продолжительность периодов с аномально высокими температурами, максимальные температуры летом чаще достигают значений более +25 °C и выше. Одновременно происходит увеличение частоты и продолжительности как периодов с сильными осадками (более 10 мм/сут.), так и засух (менее 1 мм/сут.).

Из климатообусловленных явлений, потенциально приводящих к массовой гибели животных, уничтожению растительности на значительной территории или необратимым трансформациям экосистем, в ХМАО наиболее часто проявляются паводки, засухи и природные пожары. Более 25% территории округа подвержено наводнениям, а длительность проявления процесса колеблется от менее 100 дней до > 200 (максимум 222 дня), скорость развития составляет 0.1–2.2 м/сут. Число дней подряд с осадками менее 1 мм ежегодно составляет 16–20. Данного уровня достаточно для возникновения природных пожаров. Критическое пороговое значение индекса пожароопасности Нестерова снижено в регионе до 6000 (°C)²·сут., явление может повторяться до 3-х случаев в год. Площадь, пройденная огнем, значительно варьирует и в засушливые годы может достигать 120–140 тыс. га. К частым опасным явлениям также относится сильный ветер, однако он редко достигает ураганной силы, а статистический учет ущербов не проводился. Возможно, воздействие других опасных климатообусловленных явлений на природные системы недоизучено.

Территорию ХМАО пересекают границы четырех биомов, биологическое разнообразие которых существенно колеблется и включает 600–1650 видов высших сосудистых растений, 31–55 видов млекопитающих, 136–210 видов гнездящихся птиц. Для округа выявлено более 1200 видов высших сосудистых растений, 1571 вид грибов, 973 вида лишайников, 1524 вида и подвида животных, в том числе 66 видов млекопитающих, 256 видов птиц, 4 вида рептилий, 6 видов амфибий, 30 видов рыбообразных. В региональную Красную книгу занесено 265 объектов животного и растительного мира: 48 видов животных (10 видов млекопитающих, 26 – птиц, 3 – земноводных, 2 – костистых рыб и 7 – беспозвоночных); 150 видов высших сосудистых растений, 29 – лишайников и 38 видов грибов.

В связи с изменениями климата подтверждаются изменения фенологических дат, связанные с увеличением продолжительности теплого периода. Однако на фоне общего тренда погодные условия весной или осенью конкретного года могут быть значительно холоднее, задерживая или ускоряя наступление фенологических событий.

По данным наблюдений находят подтверждение изменения ареалов 13 видов, в том числе фиксируются новые для территории таксоны. В горах древесная растительность продвигается вверх по склонам. Хотя климатические условия уже не соответствуют границам биомов даже конца XX в., трансформация экосистем требует более длительного времени. Стихийные бедствия могут как ускорять, так и сдерживать процесс.

Прогнозируется повышение средней годовой температуры воздуха на 2.6–6.8 °С в зависимости от выбранного сценария изменений климата. Вероятно повышение максимальной и минимальной температуры воздуха на 2.4–7.3 °С, увеличение на 5–18 числа дней с максимальной температурой выше +35 °С, незначительное сокращение максимального количества последовательно сухих дней на фоне общего некоторого повышения количества осадков. Однако при значительном потеплении увеличения количества осадков будет недостаточно для компенсации роста испаряемости, что может привести к аридизации территории.

К середине и концу XXI в. большая часть площади равнинных биомов будет находиться в пределах более южных климатических зон: подтайги, широколиственных лесов или даже лесостепи в зависимости от условий увлажнения. В большинстве случаев произойдет значительное увеличение биологического разнообразия, т.к. флора и фауна более южных биомов существенно богаче.

Для 112 редких видов, находящихся вблизи северной границы распространения, плавные изменения климата носят благоприятный характер. Для 20 арктических видов пригодные местообитания будут сокращаться или исчезнут. Уязвимыми также являются локальные эндемичные виды в горах, т.к. их местообитания могут быть уничтожены в результате опасных гидрометеорологических явлений.

Список литературы

- Аврунев, Е.И., Крупинин, Н.Я., Лебедева, Т.А., 2016. Влияние изменения климата на биологические ресурсы северных территорий (Урал, Западная Сибирь). *Известия Самарского научного центра РАН* 18 (2 (2)), 272–275.
- Акопян, Э.К., 2015. Карабидные (Insecta, Coleoptera, Caraboidea) Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. *Диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук*. Томск, Россия, 222 с.
- Алексеева, Н.А., Воронова, О.Г., Глазунов, В.А., Елишева, Е.В., Иванова, А.Н. и др. 2020. Новые местонахождения редких и охраняемых видов растений в Западной Сибири. *Растительный мир Азиатской России* 4 (40), 36–41.
- Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Т. 2. Природа и экология, 2004. Дикунец, В.А. и др. (ред.). Роскартография – Мониторинг, Ханты-Мансийск – Москва, Россия, 152 с.
- Барталев, С.А., Егоров, В.А., Жарко, В.О., Лупян, Е.А., Плотников, Д.Е., Хвостиков, С.А., Шибанов, Н.В., 2016. Спутниковое картографирование растительного покрова России. ИКИ РАН, Москва, Россия, 208 с.

- Берсенева, И.А., Данилова, Л.П., 1954. Влияние возвышенностей равнины на осадки и влагооборот. *Труды Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова* 45 (107), 44–54.
- Биомы России, 2018. Карта. Масштаб 1:7500000. Огуреева, Г.Н. (ред.). Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова – Русское географическое общество, Москва, Россия.
- Биоразнообразие биомов России. Равнинные биомы, 2020. Огуреева, Г.Н., Липка, О.Н. (ред.). ИГКЭ, Москва, Россия, 623 с.
- Богданович, А.Ю., Добролюбов, Н.Ю., Крыленко, С.В., Баранчиков, Ю.Н., Липка, О.Н., Семенов, С.М., 2023. Климатический ареал непарного шелкопряда на территории России, соответствующий климатам конца 20 века и 21 века. *Фундаментальная и прикладная климатология* 9 (1), 65–88.
- Бочков, А.В., 2022. Находки новых видов птиц как следствие расширения ареалов их обитания на примере природного парка «Самаровский чугас» и сопредельных территорий. *Материалы II Всероссийской конференции «Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах», посвященной 25-летию природного парка «Нумто»*. Белоярский, Россия, 23–28.
- Булыгина, О.Н., Веселов, В.М., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М., 2023а. Описание массива срочных данных об основных метеорологических параметрах на станциях России. База данных. Свидетельство о регистрации № 2014620549.
- Булыгина, О.Н., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М., 2023б. Описание массива данных суточной температуры воздуха и количества осадков на метеорологических станциях России и бывшего СССР (ТТТТ). База данных. Свидетельство о регистрации № 2014620942.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2014. Росгидромет, Москва, Россия, 1004 с.
- Глобальное изменение климата и Уральский федеральный округ. На пути к адаптации, 2021. Научное издание, Климатический центр Росгидромета, Санкт-Петербург, Россия, 12 с.
- Доклад о состоянии и использовании земель в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2016 году, 2017. Минэкономразвития России – Росреестр, Ханты-Мансийск, Россия, 98 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год, 2023. Росгидромет, Москва, Россия, 104 с.
- Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2020 году, 2021. Природнадзор Югры, Ханты-Мансийск, Россия, 187 с.
- Доклад об экологической ситуации в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре в 2021 году, 2022. Природнадзор Югры, Ханты-Мансийск, Россия, 200 с.
- Емцев, А.А., Берников, К.А., 2017. О локальной численности коростеля *Crex crex* в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре. *Русский орнитологический журнал* 26 (1495), 3724–3726.
- Емцев, А.А., Берников, К.А., Аюрян, Э.К., 2012. О расширении границ ареалов некоторых видов животных в северной части Западной Сибири. *Мир науки, культуры, образования* 6 (37), 471–477.

- Жильцова, Е.Л., Анисимов, О.А., 2015. Динамика растительности Северной Евразии: анализ современных наблюдений и прогноз на 21 век. *Арктика. XXI век. Естественные науки* 2 (3), 48–59.
- Кислов, А.В., 2011. Динамика климата в XX и XXI веках. В: Касимов, Н.С., Кислов, А.В. (ред.), *Эколого-географические последствия глобального потепления климата XXI века на Восточно-Европейской равнине и в Западной Сибири*. МАКС Пресс, Москва, Россия, 14–49.
- Кислов, А., Гребенец, В., Евстигнеев, В., Малхазова, С., Румянцев, В. и др. 2011. Комплексная оценка последствий потепления климата XXI века на севере Евразии. *Сборник трудов конференции «Четвертые европейские диалоги «Изменение климата: Европа, Северная Азия, Северная Америка»*. Эвиан, Франция, 83–96.
- Красная книга Российской Федерации (животные), 2001. Данилов-Данильян, В.И. (ред.). АСТ: Астрель, Москва, Россия, 862 с.
- Красная книга Российской Федерации (растения и грибы), 2008. Трутнев, Ю.П. и др. (ред.). Товарищество научных изданий КМК, Москва, Россия, 855 с.
- Красная книга Ханты-Мансийского автономного округа – Югры: животные, растения, грибы, 2013. Васин, А.М., Васина, А.Л. (ред.). Баско, Екатеринбург, Россия, 460 с.
- Красноборов, И.М., Ломоносова, М.Н., Шауло, Д.Н., Вибе, Е.И., Жирова, О.С., 2000. Определитель растений Новосибирской области. Наука, Новосибирск, Россия, 492 с.
- Кузнецова, В.П., Гребенюк, Г.Н., 2015. Динамика фенологических процессов в условиях изменения климата северных территорий (на примере таежной зоны Ханты-Мансийского автономного округа – Югры). *Труды международной научно-практической конференции «Современное состояние фенологии и перспективы ее развития», посвященной 115-летию со дня рождения выдающегося советского фенолога В.А. Батманова*. Екатеринбург, Россия, 99–121.
- Липка, О.Н., 2023. Распределение опасных гидрометеорологических явлений и их последствий по биомам в России, их параметры. База данных. Свидетельство о регистрации № 2023621809.
- Липка, О.Н., Богданович, А.Ю., Андреева, А.П., Караваева, А.С., Крыленко, С.В., Седова, А.М., 2023. Оценка климатических рисков для территории Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. *Фундаментальная и прикладная климатология* 9 (2), 33–64.
- Национальный атлас России. Т. 2. Природа. Экология, 2007. Роскартография, Москва, Россия, 495 с.
- Огуреева, Г.Н., Микляева, И.М., Сафронова, И.Н., Юрковская, Т.К., 1999. Зоны и типы поясности растительности России и сопредельных территорий. Карта. Масштаб 1:8000000. Экор, Москва, Россия.
- Олссон, Р., 2011. Бореальные леса и изменение климата. *Устойчивое лесопользование* 3 (28), 27–38.
- Переясловец, В.М., Ермаков, Л.Н., Хидекель, В.В., 2019. Динамика и циклы численности в некоторых популяциях лесного северного оленя. *Принципы экологии* 2 (32), 88–97.
- Румянцев, В.Ю., Малхазова, С.М., Леонова, Н.Б., Солдатов, М.С., 2013. Прогноз возможных изменений зональных границ растительности Европейской России и Западной Сибири в связи с глобальным потеплением. *Сибирский экологический журнал* 20 (4), 449–458.

- Стариков, В.П., Емцев, А.А., Берников, К.А., Акопян, Э.К., Наконечный, Н.В., и др., 2011. Биоразнообразие Югры: редкие и исчезающие животные. Полиграфист, Тобольск, Россия, 193 с.
- Сульдин, М.П., 2017. Северная граница ареала щегла *Carduelis carduelis major* в Западной Сибири. *Русский орнитологический журнал* 26 (1404), 552–563.
- Тишков, А.А., 2016. Биогеография антропоцена Северной Евразии: к методологии оценки актуального биоразнообразия. *Аспекты биоразнообразия*, 54 (2), 405–440.
- Торопов, П.А., 2006. Температурный режим и условия увлажнения Восточно-Европейской равнины в контрастных климатических эпохах. *Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук*. Москва, Россия, 24 с.
- Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, 2022. Катцов, В.М. (ред.). Научное издание, Санкт-Петербург, Россия, 676 с.
- Филиппова, Н.В., Арефьев, С.П., Бульонкова, Т.М., Звягина, Е.А., Капитонов, В.И., и т.д., 2017. История микологических исследований в Ханты-Мансийском автономном округе: 2) изучение макромицетов, лишайников и миксомицетов, состояние коллекций и региональная база находок видов. *Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата* 8 (2), 29–45.
- Хромов, С.П., Петросянц, М.А., 2012. Метеорология и климатология. Издательство МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, 584 с.
- Чибилев, А.А., Чибилев, А.А., 2012. Природное районирование Урала с учетом широтной зональности, высотной поясности и вертикальной дифференциации ландшафтов. *Известия Самарского научного центра РАН* 14 (1-6), 1660–1665.
- Шамин, С.И., Бухонова, Л.К., Санина, А.Т., 2023. Сведения об опасных и неблагоприятных гидрометеорологических явлениях, которые нанесли материальный и социальный ущерб на территории России. База данных. Свидетельство о регистрации № 2019621326.
- Шестой национальный доклад Российской Федерации Конвенции о биологическом разнообразии: Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации, 2020. Интернет-ресурс. URL: <https://chm.cbd.int/database/record?documentID=253450> (дата обращения: 27.02.2023).
- Юганский заповедник. Летопись природы. Книга 36. Тема: изучение естественного хода процессов и явлений, протекающих в природе, и выявление взаимосвязей между отдельными частями природного комплекса, 2022. Угут, Россия, 292 с. Интернет-ресурс. URL: <https://ugansky.ru/data/69745975a675a2851bcd90fad383ba6.pdf> (дата обращения: 27.02.2023).
- Anisimov, O., Kokorev, V., Zhiltcova, Y., 2017. Arctic ecosystems and their services under changing climate: predictive-modeling assessment. *Geographical Review* 107 (1), 108–124. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2016.12199.x>
- IPBES, 2016. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S.G. et al. (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 552 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>
- IPBES, 2018. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M. et al. (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 892 p. <https://ipbes.net/assessment-reports/eca>

- IPCC, 2014a. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 1132 p.
- IPCC, 2014b. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Barros, V.R. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 688 p.
- IPCC, 2019. Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner, H.O. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 35 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.001>
- IPCC, 2021. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- 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. Pörtner, H.O. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jones, C., Hughes, J.K., Bellouin, N., Hardiman, S.C., Jones, G.S., Knight, J., Zerroukat, M., 2011. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development* 4 (3), 543–570.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., et al., 2007. Chapter 10. Global climate projections. In: Solomon, S. et al. (eds.), *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 747–846.
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S. et al., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463 (7282), 747–756.
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., et al., 2021. *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*. IPBES secretariat – Bonn. 234 p.
- Sato, H., Ise, T., 2022. Predicting global terrestrial biomes with the LeNet convolutional neural network. *Geoscientific Model Development*, 15 (7), 3121–3132. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-3121-2022>

References

- Avruney, E.I., Krupinin, N.Ya., Lebedeva, T.A., 2016. Vliyaniye izmeneniya klimata na biologicheskie resursy severnykh territorii (Ural, Zapadnaya Sibir') [The impact of climate change on the biological resources of northern territories (Urals, Western Siberia)]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN [Izvestia of Samara Scientific Center of RAS]* 18 (2 (2)), 272–275. (In Russian).
- Akopyan, E.K., 2015. Karaboidnye (Insecta, Coleoptera, Caraboidea) Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry [Caraboidea (Insecta, Coleoptera, Caraboidea) Khanty-Mansi Autonomous Okrug – Yugra]. *PhD in Geography thesis*. Tomsk, Russia, 222 p. (In Russian).
- Alekseeva, N.A., Voronova, O.G., Glazunov, V.A., Elisheva, E.V., Ivanova, A.N. et al., 2020. Novye mestonakhozhdeniya redkikh i okhranyaemykh vidov rastenii v Zapadnoi Sibiri [New locations of

- rare and protected species of plants in Western Siberia]. *Rastitel'nyi mir Aziatskoi Rossii [Flora and Vegetation of Asian Russia]* **4** (40), 36–41. (In Russian).
- Anisimov, O., Kokorev, V., Zhiltcova, Y., 2017. Arctic ecosystems and their services under changing climate: predictive-modeling assessment. *Geographical Review* **107** (1), 108–124. <https://doi.org/10.1111/j.1931-0846.2016.12199.x>
- Atlas Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry. T. 2. Priroda i ekologiya [Atlas of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra. Vol. 2. Nature and ecology], 2004. Dikunets, V.A. et al. (eds.). Roskartografiya – Monitoring, Khanty-Mansiysk – Moscow, Russia, 152 p. (In Russian).
- Bartalev, S.A., Egorov, V.A., Zharko, V.O., Lupyan, E.A., Plotnikov, D.E., Hvoshtikov, S.A., Shibanov, N.V., 2016. Sputnikovoe kartografirovanie rastitel'nogo pokrova Rossii [Satellite mapping of the vegetation cover of Russia]. Russian Space Research Institute, Moscow, Russia, 208 p. (In Russian).
- Berseneva, I.A., Danilova, L.P., 1954. Vliyaniye vozvyshehnostei ravniny na osadki i vlogooborot [The influence of the uplands of the plain on precipitation and moisture circulation]. *Trudy Glavnoi geofizicheskoi observatorii im. A.I. Voeikova [Proceedings of Voeikov Main Geophysical Observatory]* **45** (107), 44–54. (In Russian).
- Biomy Rossii [Biomes of Russia], 2018. Map. Scale 1:7500000. Ogureeva, G.N. (ed.). MSU Faculty of Geography – Russian Geographical Society, Moscow, Russia. (In Russian).
- Bioraznoobrazie biomov Rossii. Ravninnye biomy [The biodiversity of Russian biomes. The biomes of plains], 2020. Ogureeva, G.N., Lipka, O.N. (eds.). Institute of Global Climate and Ecology, Moscow, Russia, 623 p. (In Russian).
- Bogdanovich, A.Yu., Dobrolyubov, N.Yu., Krylenko, S.V., Baranchikov, Yu.N., Lipka, O.N., Semenov, S.M., 2023. Klimaticheskii areal neparnogo shelkopyrada na territorii Rossii, sootvetstvuyushchii klimatam kontsa 20 veka i 21 veka [Climatic range of spongy moth in Russia corresponding to climates of the late 20th century and the 21st century]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]* **9** (1), 65–88. (In Russian).
- Bochkov, A.V., 2022. Nakhodki novykh vidov ptits kak sledstvie rasshireniya arealov ikh obitaniya na primere prirodnogo parka “Samarovskii chugas” i sopredel'nykh territorii [The findings of new bird species as a consequence of the expansion of their habitats on the example of the Samara Chugas Nature Park and adjacent territories]. *Materialy II Vserossiiskoi konferentsii “Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnnykh territorii v promyshlennno razvitykh regionakh”, posviashchennoi 25-letiiu prirodnogo parka “Numto” [Proceedings of the II All-Russian Conference “The current state and prospects for the development of a network of specially protected natural territories in industrially developed regions”, dedicated to the 25th anniversary of the Numto Nature Park]*. Beloyarsky, Russia, 23–28. (In Russian).
- Bulygina, O.N., Veselov, V.M., Razuvaev, V.N., Aleksandrova, T.M., 2023a. Opisanie massiva srochnykh dannykh ob osnovnykh meteorologicheskikh parametrakh na stancyakh Rossii [Description of the array of urgent data on the main meteorological parameters at stations in Russia]. Database. Registration certificate No. 2014620549.
- Bulygina, O.N., Razuvaev, V.N., Aleksandrova, T.M., 2023b. Opisanie massiva dannykh sutochnoi temperatury vozdukh i kolichestva osadkov na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR (TTTR) [Description of the array of data on daily air temperature and precipitation at meteorological stations in Russia and the former USSR (TTTR)]. Database. Registration certificate No. 2014620942.
- Chibilev, A.A., Chibilev, A.A., 2012. Prirodnoe raionirovanie Urala s uchetom shirotnoi zonal'nosti, vysotnoi poyasnosti i vertikal'noi differentsiatsii landshaftov [Urals natural zoning based on latitudinal

belts, elevation zones and vertical differentiation of landscapes]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN [Izvestia of Samara Scientific Center of RAS]* **14** (1-6), 1660–1665. (In Russian).

Doklad o sostoyanii i ispol'zovanii zemel' v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge – Yugre v 2016 godu [Report on the state and use of land in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra in 2016], 2017. Ministry of Economic Development of Russia – Federal Registration Service, Khanty-Mansiysk, Russia, 98 p. (In Russian).

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

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge – Yugre v 2020 godu [Report on the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra in 2020], 2021. Nature supervision of Yugra, Khanty-Mansiysk, Russia, 187 p. (In Russian).

Doklad ob ekologicheskoi situatsii v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge – Yugre v v 2021 godu [Report on the environmental situation in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra in 2021], 2022. Nature supervision of Yugra, Khanty-Mansiysk, Russia, 200 p. (In Russian).

Emtsev, A.A., Bernikov, K.A., 2017. O lokal'noi chislennosti korostelya *Crex crex* v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge – Yugre [About the local number of the corncrake *Crex crex* in the Khanty-Mansiysk autonomous okrug – Ugra]. *Russkii ornitologicheskii zhurnal [Russian Journal of Ornithology]* **26** (1495), 3724–3726. (In Russian).

Emtsev, A.A., Bernikov, K.A., Akopyan, E.K., 2012. O rasshirenii granits arealov nekotorykh vidov zhivotnykh v severnoi chasti Zapadnoi Sibiri [About the expansion of the areas' borders of some animals' species in the northern part of Western Siberia]. *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya [The World of Science, Culture, Education]* **6** (37), 471–477. (In Russian).

Filippova, N.V., Aref'ev, S.P., Bul'onkova, T.M., Zvyagina, E.A., Kapitonov, V.I. et al., 2017. Istoriya mikologicheskikh issledovaniy v Khanty-Mansiiskom avtonomnom okruge: 2) izuchenie makromitsetov, lishainikov i miksomitsetov, sostoyanie kolleksii i regional'naya baza nakhodok vidov [The history of mycological studies in Khanty-Mansi autonomous okrug: 2) studies of macromycetes, lichens and myxomycetes, state of mycological collections and fungal records database]. *Dinamika okruzhayushchei sredy i global'nye izmeneniya klimata [Environmental Dynamics and Global Climate Change]* **8** (2), 29–45. (In Russian).

Global'noe izmenenie klimata i Ural'skii federal'nyi okrug. Na puti k adaptatsii [Global climate change and the Ural Federal District. On the way to adaptation], 2021. High-tech technologies, Roshydromet Climate Center, Saint-Petersburg, Russia, 12 p. (In Russian).

IPBES, 2016. The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. Potts, S.G. et al. (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 552 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>

IPBES, 2018. The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for Europe and Central Asia. Rounsevell, M. et al. (eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany, 892 p. <https://ipbes.net/assessment-reports/eca>

IPCC, 2014a. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part A: Global and sectoral aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Field, C.B. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 1132 p.

- IPCC, 2014b. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Part B: regional aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Barros, V.R. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 688 p.
- IPCC, 2019. Summary for policymakers. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. Pörtner, H.O. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 35 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.001>
- IPCC, 2021. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- 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. Pörtner, H.O. et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 3056 p. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Jones, C., Hughes, J.K., Bellouin, N., Hardiman, S.C., Jones, G.S., Knight, J., Zerroukat, M., 2011. The HadGEM2-ES implementation of CMIP5 centennial simulations. *Geoscientific Model Development* 4 (3), 543–570.
- Khromov, S.P., Petrosyants, M.A., 2012. Meteorologiya i klimatologiya [Meteorology and climatology]. Publishing House of the Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, 584 p. (In Russian).
- Kislov, A.V., 2011. Dinamika klimata v XX i XXI vekakh [Climate dynamics in the 20th and 21st centuries]. In: Kasimov, N.S., Kislov, A.V. (eds.), *Ekologo-geograficheskie posledstviya global'nogo potepneniya klimata XXI veka na Vostochno-Evropeiskoi ravnine i v Zapadnoi Sibiri [Ecological and geographical consequences of global warming of the 21st century on the East European Plain and in Western Siberia]*. MAKS Press, Moscow, Russia, 14–49. (In Russian).
- Kislov, A., Grebenets, V., Evstigneev, V., Malkhazova, S., Rumyantsev, V. et al., 2011. Kompleksnaya otsenka posledstviy potepneniya klimata XXI veka na severe Evrazii [Integrated impact assessment climate warming of the 21st century in the north of Eurasia]. *Sbornik trudov konferentsii "Chetvertye evropeiskie dialogi "Izmenenie klimata: Evropa, Severnaya Aziya, Severnaya Amerika" [Proceedings of the Conference "The Fourth European Dialogues on Climate Change: Europe, North Asia, North America"]*. Evian, France, 83–96. (In Russian).
- Krasnaya kniga Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry: zhivotnye, rasteniya, griby [Red Book of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra: animals, plants, fungi], 2013. Vasin, A.M., Vasina, A.L. (eds.). Basko, Yekaterinburg, Russia, 460 p. (In Russian).
- Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (zhivotnye) [Red Book of the Russian Federation (animals)], 2001. Danilov-Danilyan, V.I. (ed.). AST: Astrel, Moscow, Russia, 862 p. (In Russian).
- Krasnaya kniga Rossiiskoi Federatsii (rasteniya i griby) [Red Book of the Russian Federation (plants and fungi)], 2008. Trutnev, Yu.P., et al. (eds.). KMK Scientific Press Ltd, Moscow, Russia, 855 p. (In Russian).
- Krasnoborov, I.M., Lomonosova, M.N., Shaulo, D.N., Vibe, E.I., Zhirova, O.S., 2000. Opredelitel' rastenii Novosibirskoi oblasti [Key to plants of the Novosibirsk region]. Nauka, Novosibirsk, Russia, 492 p. (In Russian).
- Kuznetsova, V.P., Grebenyuk, G.N., 2015. Dinamika fenologicheskikh protsessov v usloviyakh izmeneniya klimata severnykh territorii (na primere taezhnoi zony Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo

- okruga – Yugry) [Dynamics of phenological processes under climate change in the northern territories (on the example of the taiga zone of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra)]. *Trudy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Sovremennoe sostoyanie fenologii i perspektivy ee razvitiya", posviashchennoi 115-letiiu so dnia rozhdeniia vydaiushchegosia sovetskogo fenologa V.A. Batmanova [Proceedings of the international scientific-practical conference "The current state of phenology and the prospects for its development", dedicated to the 115th anniversary of the birth of the Soviet phenologist Batmanov V.A.]*. Ekaterinburg, Russia, 99–121. (In Russian).
- Lipka, O.N., 2023. Raspredelenie opasnykh gidrometeorologicheskikh yavlenij i ikh posledstviy po biomam v Rossii, ikh parametry [Distribution of dangerous hydrometeorological phenomena and their consequences by biomes in Russia, their parameters]. Database. Registration certificate No. 2023621809. (In Russian).
- Lipka, O.N., Bogdanovich, A.Yu., Andreeva, A.P., Karavaeva, A.S., Krylenko, S.V., Sedova, A.M., 2023. Otsenka klimaticheskikh riskov dlya territorii Khanty-Mansiiskogo avtonomnogo okruga – Yugry [Assessment of climate-related risks for the territory of Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug – Yugra]. *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya [Fundamental and Applied Climatology]* 9 (2), 33–64. (In Russian).
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., et al., 2007. Chapter 10. Global climate projections. In: Solomon, S. et al. (eds.), *Climate change 2007: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge – New York, UK – USA, 747–846.
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K., Manning, M., Rose, S. et al., 2010. The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463 (7282), 747–756.
- Natsional'nyi atlas Rossii. T. 2. Priroda. Ekologiya [National Atlas of Russia. Vol. 2. Nature. Ecology], 2007. Roskartografiya, Moscow, Russia, 495 p. (In Russian).
- Ogureeva, G.N., Miklyaeva, I.M., Safronova, I.N., Yurkovskaya, T.K., 1999. Zony i tipy poyasnosti rastitel'nosti Rossii i sopredel'nykh territorii [Zones and types of vegetation zonation in Russia and adjacent territories]. Map. Scale 1:8000000. Ecor, Moscow, Russia. (In Russian).
- Olsson, R., 2011. Boreal'nyye lesa i izmeneniye klimata [Boreal forests and climate change]. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye [Sustainable Forest Management]* 3 (28), 27–38. (In Russian).
- Pereyaslovets, V.M., Erdakov, L.N., Khidekel', V.V., 2019. Dinamika i tsikly chislennosti v nekotorykh populyatsiyakh lesnogo severnogo olenya [Dynamics and long-term cyclic changes in the number of some populations of forest subspecies of the reindeer]. *Printsipy ekologii [Principles of the Ecology]* 2 (32), 88–97. (In Russian).
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., et al., 2021. *Scientific outcome of the IPBES-IPCC co-sponsored workshop on biodiversity and climate change*. IPBES secretariat – Bonn. 234 p.
- Rumyantsev, V.Yu., Malkhazova, S.M., Leonova, N.B., Soldatov, M.S., 2013. Prognoz vozmozhnykh izmenenii zonal'nykh granits rastitel'nosti Evropeiskoi Rossii i Zapadnoi Sibiri v svyazi s global'nym potepleniem [Forecasting possible changes in zonal vegetation boundaries in European Russia and Western Siberia in connection with global warming]. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal [Contemporary Problems of Ecology]* 20 (4), 449–458. (In Russian).
- Sato, H., Ise, T., 2022. Predicting global terrestrial biomes with the LeNet convolutional neural network. *Geoscientific Model Development*, 15 (7), 3121–3132. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-3121-2022>
- Shamin, S.I., Bukhonova, L.K., Sanina, A.T., 2023. Svedeniya ob opasnykh i neblagopriyatnykh gidrometeorologicheskikh yavleniyakh, kotorye nanesli material'nyi i sotsial'nyi ushcherb na

territorii Rossii [Information about dangerous and adverse hydrometeorological phenomena that caused material and social damage on the territory of Russia.]. Database. Registration certificate No. 2019621326. (In Russian).

Shestoi natsional'nyi doklad Rossiiskoi Federatsii Konventsii o biologicheskom raznoobrazii: Sokhranenie bioraznoobraziya v Rossiiskoi Federatsii [Sixth National Report of the Russian Federation to the Convention on Biological Diversity: Conservation of Biodiversity in the Russian Federation], 2020. Web page. URL: <https://chm.cbd.int/database/record?documentID=253450> (accessed: 27.02.2023). (In Russian).

Starikov, V.P., Emtsev, A.A., Bernikov, K.A., Akopyan, E.K., Nakonechnyi, N.V., et al., 2011. Bioraznoobrazie Yugry: redkie i ischezayushchie zhivotnye [Biodiversity of Yugra: rare and endangered animals]. Poligrafist, Tobolsk, Russia, 193 p. (In Russian).

Sul'din, M.P., 2017. Severnaya granitsa areala shchegla *Carduelis carduelis major* v Zapadnoi Sibiri [Northern border of the range of *Carduelis carduelis major* in Western Siberia]. *Russkii ornitologicheskii zhurnal [Russian Journal of Ornithology]* 26 (1404), 552–563. (In Russian).

Tishkov, A.A., 2016. Biogeografiya antropotsena Severnoy Yevrazii: k metodologii otsenki aktual'nogo bioraznoobraziya [Biogeography of anthropocene of Northern Eurasia: a methodology for assessing the actual biodiversity]. *Aspekty bioraznoobraziya [Aspects of Biodiversity]* 54 (2), 405–440. (In Russian).

Toropov, P.A., 2006. Temperaturnyi rezhim i usloviya uvlazhneniya Vostochno-Evropeiskoi ravniny v kontrastnykh klimaticheskikh epokakh [Temperature regime and humidification conditions of the East European Plain in contrasting climatic epochs]. *PhD in Geography thesis abstract*. Moscow, Russia, 24 p. (In Russian).

Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [Third assessment report on climate change and its Consequences on the territory of the Russian Federation], 2022. Kattsov, V.M. (ed.). High-tech technologies, Saint-Petersburg, Russia, 676 p. (In Russian).

Vtoroi otsenochnyi doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiiskoi Federatsii [Second assessment report of Roshydromet on climate change and their impacts on the territory of the Russian Federation], 2014. Rosgidromet, Moscow, Russia, 1004 p. (In Russian).

Yuganskii zapovednik. Letopis' prirody. Kniga 36. Tema: izuchenie estestvennogo khoda protsessov i yavlenii, protekayushchikh v prirode, i vyyavlenie vzaimosvyazei mezhdou otdel'nymi chastyami prirodnogo kompleksa [Yugansky reserve. Chronicle of nature. Book 36. Topic: the study of the natural course of processes and phenomena occurring in nature, and the identification of relationships between individual parts of the natural complex], 2022. Ugut, Russia, 292 p. Web page. URL: <https://ugansky.ru/data/69745975a675a2851bcd90fad383ba6.pdf> (accessed: 27.02.2023). (In Russian).

Zhil'tsova, E.L., Anisimov, O.A., 2015. Dinamika rastitel'nosti Severnoi Evrazii: analiz sovremennykh nablyudenii i prognoz na 21 vek [Vegetation dynamics in North Eurasia: analysis of observations and projection for the 21st century]. *Arktika XXI vek. Estestvennye nauki [The Arctic XXI century. Natural Sciences]* 2 (3), 48–59. (In Russian).