

ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КОМИ И МЕРЫ АДАПТАЦИИ К НИМ

Анна Евгеньевна Коробейникова, Алина Евгеньевна Макарова,
Кристина Павловна Конакова

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ);
г. Москва, Российская Федерация

Актуальность. Актуальность статьи обусловлена глобальным изменением климата в Российской Федерации и в Арктической зоне РФ (АЗРФ), в частности. Авторы рассматривают влияние различных естественных процессов, которые могут иметь серьезные последствия для окружающей среды и населения региона Крайнего севера, а также и Республики Коми. Исследование и понимание влияния климатических изменений на этот регион имеет большое значение для обеспечения устойчивого развития и благополучия его жителей. А разработка стратегий адаптации и смягчения последствий климатических изменений представляет собой глобальную значимость.

Цель. Выявление естественных процессов, влияющих на изменение климата в Российской Федерации на примере Республики Коми, определение мероприятий, нацеленных на адаптацию территорий к изменению климата и смягчение его последствий.

Задачи. Анализ влияния естественных процессов на глобальное изменение климата в Республике Коми. Предложения и рекомендации по снижению влияния на глобальное потепление и адаптации городов к последствиям.

Методология. При анализе влияния естественных процессов на изменение климата предложен алгоритм выявления основных источников выбросов загрязняющих веществ (CO_2 , CH_4 , NO_2). Основные методы исследования: аналитический метод, статистический анализ данных и ГИС-моделирование. Проведен проектный эксперимент на примере Республики Коми, часть территории которой относится к АЗРФ.

Результаты. Методика, приведенная в исследовании, позволяет выявить естественные процессы, влияющие на изменение климата в Российской Федерации на примере Республики Коми. Методика позволяет определить дальнейшие мероприятия по адаптации территорий к изменению климата.

Выводы. Потребность в реализации мер по снижению негативного влияния естественных факторов на климатическую ситуацию в Республике Коми путем разработки комплексного плана международных научных исследований в сфере наблюдения за состоянием арктических экосистем, глобальными климатическими изменениями и изучением Арктики. Развитие единой системы государственного экологического мониторинга с применением современных информационно-коммуникационных технологий и систем связи.

Ключевые слова: изменение климата, АЗРФ, жизнестойкий город, адаптация городов, естественные процессы, природные факторы, Республика Коми

Для цитирования: Коробейникова А.Е., Макарова А.Е., Конакова К.П. Влияние естественных процессов на изменение климата урбанизированных территорий Республики Коми и меры адаптации к ним // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. 2024. № 2. С. 42–58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.2.42-58

THE INFLUENCE OF NATURAL PROCESSES ON CLIMATE CHANGE IN URBANIZED TERRITORIES OF THE KOMI REPUBLIC AND MEASURES OF ADAPTATION TO THEM

Anna E. Korobeinikova, Alina E. Makarova, Kristina P. Konakova

Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU); Moscow, Russian Federation

Relevance. The relevance of the article is due to global climate change in the Russian Federation and in the Arctic zone of the Russian Federation in particular. The authors consider the impact of various natural processes that can have serious consequences for the environment and the population of the far north region and the Komi Republic in particular. The study and understanding of the impact of climate change on this region is of great importance to ensure sustainable development and well-being of its inhabitants. And the development of adaptation and mitigation strategies for climate change are of global significance.

Purpose. Identification of natural processes affecting climate change in the Russian Federation on the example of the Komi Republic, identification of measures aimed at adaptation of territories to climate change and mitigation of its consequences.

Objectives. Analyzing the impact of natural processes on global climate change in the Komi Republic. Proposals and recommendations to reduce the impact on global warming and adaptation of cities to the consequences.

Methodology. When analyzing the impact of natural processes on climate change, an algorithm for identifying the main sources of pollutant emissions (CO_2 , CH_4 , NO_2) is proposed. The main research methods: analytical method, statistical data analysis and GIS-modeling. The project experiment was carried out on the example of the Komi Republic, part of the territory of which belongs to the AZRF. **Results.** The methodology presented in the study allows to identify natural processes affecting climate change in the Russian Federation on the example of the Komi Republic. The methodology allows us to identify further measures to adapt territories to climate change. **Conclusions.** The need to implement measures to reduce the negative impact of natural factors on the climatic situation in the Komi Republic, by developing a comprehensive plan of international scientific research in the field of observation of the state of Arctic ecosystems, global climate change and the study of the Arctic. Development of a unified system of state environmental monitoring with the use of modern information and communication technologies and communication systems.

Keywords: climate change, AZRF, resilient city, urban adaptation, natural processes, natural factors

For citation: Korobeinikova A.E., Makarova A.E., Konakova K.P. The influence of natural processes on climate change in urbanized territories of the Komi Republic and measures of adaptation to them. *Biosphere Compatibility: Man, Region, Technology*. 2024; 2: 42-58. DOI: 10.22227/2311-1518.2024.2.42-58 (rus.).

Введение

Факт изменения климата в последние десятилетия не вызывает сомнения, он подтвержден многочисленными исследованиями отечественных и зарубежных ученых^{1,2,3,4} [1–3]. В настоящее время одной из приоритетных задач стратегического развития РФ согласно Указу Президента РФ⁵ является решение проблемы влияния глобального потепления на зону АЗРФ. Для формирования комфортной среды жизнедеятельности людей необходимо уделить особое внимание вопросам глобального потепления и разработке мероприятий по снижению последствий изменения климата и адаптации территорий [4].

Современное глобальное потепление отчетливо выражено на территории России. Потепление климата в Арктике происходит в 2–2,5 раза быстрее, чем в целом на планете. Скорость роста температуры значительно увеличивается в последние 30 лет. Температура воздуха с середины 1980-х гг. по 2020 г. повысилась зимой более чем на 4 °С, а летом — почти на 2,5 °С (рис. 1). Рост среднегодовой температуры повышается на 0,179 °С каждое десятилетие.

Одна из основных причин климатических изменений в Арктической зоне — влияние природных факторов.

Основные природные факторы, оказывающие влияние на изменение климата, включают в себя:

- естественные выбросы парниковых газов: естественные процессы, такие как лесные пожары, гниение органического вещества и таяние вечной мерзлоты, могут приводить к выбросу парниковых газов;
- циркуляцию атмосферы и океана. Этот фактор оказывает значительное влияние на климат России, так как определяет распределение тепла и влаги по всей планете;
- усиление поглощения солнечной энергии из-за уменьшения отражательной способности поверхности после изменения толщины снежного покрова и значительной потери сухопутных и морских льдов;
- рост повторяемости, интенсивности и продолжительности экстремальных осадков, наводнений.

Для характеристики климатических изменений необходимо рассмотреть ряд климатических переменных, таких как температура приземного воздуха, атмосферные осадки, высота снежного покрова, протяженность морского льда и другое за достаточно длительный период времени.

Основными драйверами современного потепления являются продолжающийся рост концентраций углекислого газа (CO_2), метана (CH_4) и оксида азота (NO_2). Темпы роста содержания парниковых газов в атмосфере стали стремительно увеличиваться еще с 1926 г., когда промышленность страны восстановила объемы производства после военного времени, и достигли максимума к 1990 годам, после которых резко сократились наполовину, что непосредственно связано с политическими изменениями в стране.

Данные фоновых станций РФ показывают, что темпы роста концентрации CO_2 вновь стали увеличиваться в начале 2000 годов⁶. По данным бюллетеня Всемирной метеорологической организации (ВМО),

¹ Глобальная климатическая угроза и экономика России: в поисках особого пути // Центр энергетики Московской школы управления СКОЛКОВО. 2020. 69 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Climate_Primer_RU.pdf (дата обращения: 13.10.2023).

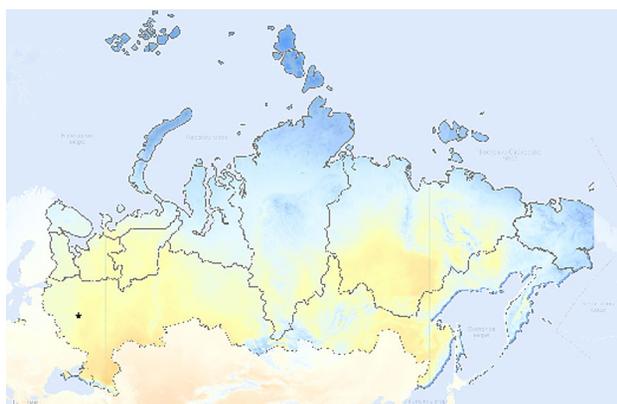
² Глазовский А.Ф., Лаврентьев И.И., Муравьев А.А., Никитин С.А., Носенко Г.А.и др. Каталог ледников России. URL: <https://www.glacru.ru/> (дата обращения: 23.12.2023).

³ Kristina Kiest. Despite pandemic shutdowns, carbon dioxide and methane surged in 2020 // NOAA Research. URL: <https://research.noaa.gov/2021/04/07/despite-pandemic-shutdowns-carbon-dioxide-and-methane-surged-in-2020/> (дата обращения: 23.10.2023).

⁴ Ilissa B.Ocko. Acting rapidly to deploy readily available methane mitigation measures by sector can immediately slow global warming. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/abf9c8/pdf> (дата обращения: 23.10.2023).

⁵ Стратегия развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года : Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645.

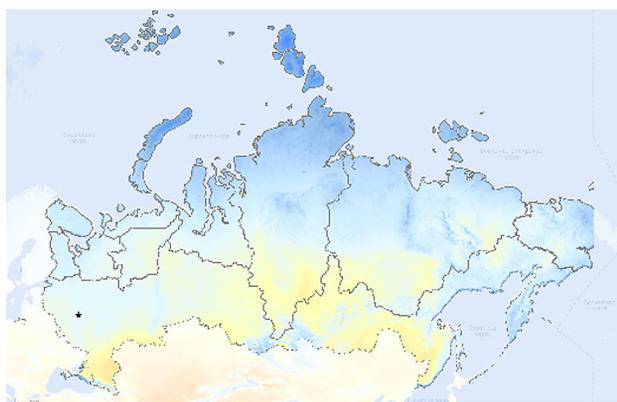
⁶ Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) : доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/climate/rus-clim-annual-report.pdf> (дата обращения: 23.12.2023).



— градусы Цельсия, РФ, территория, которая не была заселена в Адгитическую Эпоху РФ

градусы

a



— градусы Цельсия, РФ, территория, которая не была заселена в Адгитическую Эпоху РФ

градусы

b



— градусы Цельсия, РФ, территория, которая не была заселена в Адгитическую Эпоху РФ

градусы

c

Рис. 1. a — температура приземного воздуха на территории РФ в 1976 г. Source: Earth-engine data catalog + Adobe Illustrator; b — температура приземного воздуха на территории РФ в 2000 г. Source: Earth-engine data catalog + Adobe Illustrator; c — температура приземного воздуха на территории РФ в 2022 г. Source: Earth-engine data catalog + Adobe Illustrator

по сравнению с 2020 и 2021 гг. уровень концентрации CO₂ за 2022 г. увеличился на 3,4-3,5 млн, что значительно превышает мировую скорость роста за предыдущие 10 лет и 2021 г., составлявшую 2,5 млн/год.

Per capita greenhouse gas emissions

Greenhouse gas emissions include carbon dioxide, methane and nitrous oxide from all sources, including land-use change. They are measured in tonnes of carbon dioxide-equivalents over a 100-year timescale.



Data source: Jones et al. (2023). Population based on various sources (2023).
Note: Land-use change emissions can be negative.
OurWorldInData.org/co2-and-greenhouse-gas-emissions | CC BY

Рис. 2. Выбросы CO₂ (Россия). URL: ourworldindata.org

В 2022 г. концентрация CO₂ достигла максимума за это столетие. Среднегодовое значение на фоновых станциях РФ превысило 422 млн (рис. 2).

Растительность играет важную роль в регулировании углекислого газа, обеспечивая углеродный баланс и снижая его концентрацию в атмосфере (рис. 3). Леса занимают более 70 % территории (преобладают леса с хвойными породами: ель, пихта, сосна), болота — около 15 %. Охрана и улучшение лесных и других экосистем, богатых растительностью, могут помочь снизить выбросы углекислого газа и улучшить климатические изменения.

В Арктической зоне, в толще земли накоплено значительное количество органического углерода. По причине глобального потепления и таяния ледников эти почвы становятся суше, что увеличивает вероятность возникновения крупных пожаров в Арктической зоне (рис. 4). В результате воздействия огня на мерзлую почву происходит высвобождение углекислого газа (CO₂) и метана (CH₄), что в свою очередь еще больше усиливает процесс глобального потепления. Кроме того, дым и сажа, образующиеся в результате пожаров, также оказывают влияние на климатические процессы. В 2021 г. лесные пожары в России затронули площадь более 17 млн га, что привело к рекордным выбросам парниковых газов и серьезным климатическим последствиям [5].

Парниковые газы, такие как метан, препятствуют выходу тепла из атмосферы, позволяя солнечному свету проходить через нее (рис. 5). При анализе данных по изменению среднегодовой концентрации метана на российских арктических станциях за период с 2020 по 2022 г. было выявлено сильное увеличение количества метана на всей территории Российской Федерации, особенно в регионах Арктической зоны.

Исследования показывают, что сокращение выбросов метана может замедлить скорость глобального потепления на 30 %.

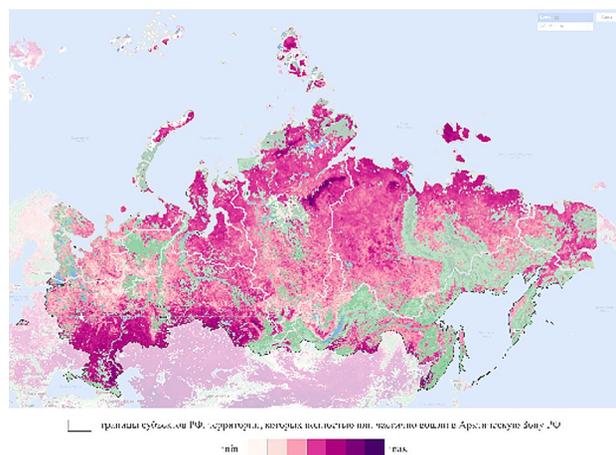
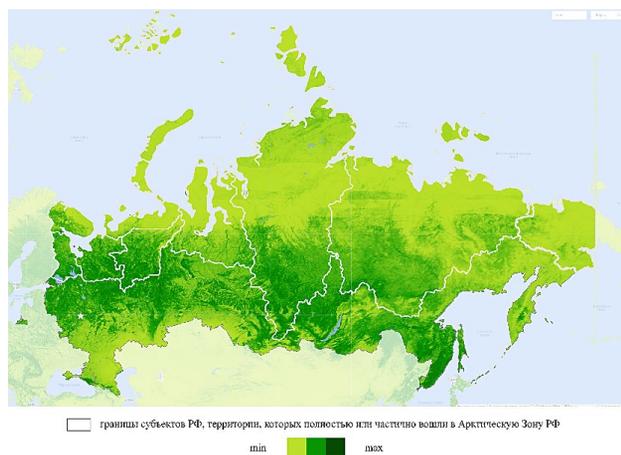


Рис. 3. Карта растительности Российской Федерации. Source: Earth-engine data catalog Adobe Illustrator

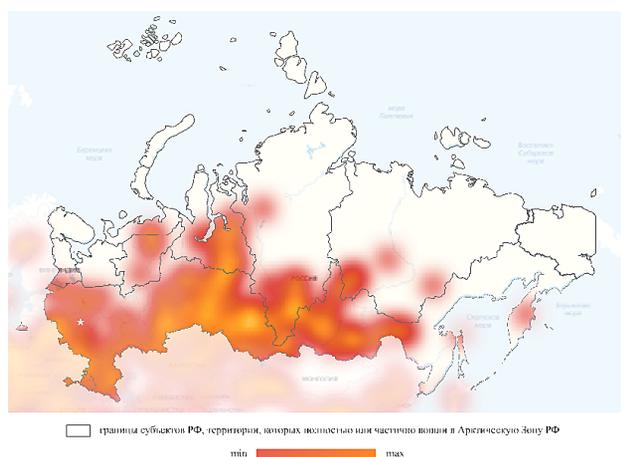


Рис. 4. Карта пожаров Российской Федерации. Source: pro.fires.ru + Adobe Illustrator

Также на значительном пространстве территории России наблюдается **сокращение продолжительности залегания снежного покрова**, однако одновременно отмечается увеличение максимальной высоты снежного покрова зимой. В среднем по России зимой 2018–2022 гг. продолжительность залегания снежного покрова оказалась ниже климатической нормы (рис. 6, 7). В северных районах страны и центральных районах Восточной Сибири наблюдались значительные отрицательные отклонения продолжительности залегания снежного покрова, которые входят в десятку наибольших с 1967 г. Максимальная высота снежного покрова в среднем по России оказалась значительно выше климатической нормы.

С ростом концентрации парниковых газов в атмосфере увеличивается темп роста среднегодовой глобальной приповерхностной температуры и изменение количества атмосферных осадков.

На основе данных российских статистических ежегодников Федеральной службы государственной

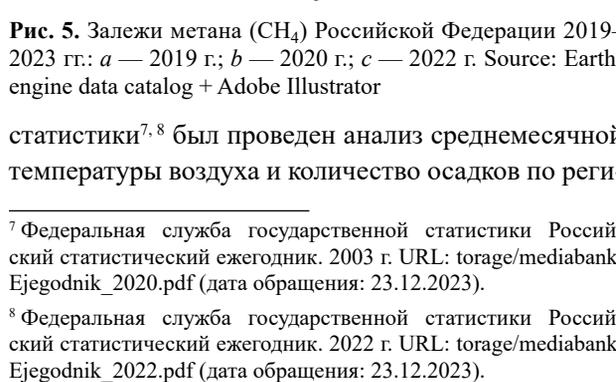
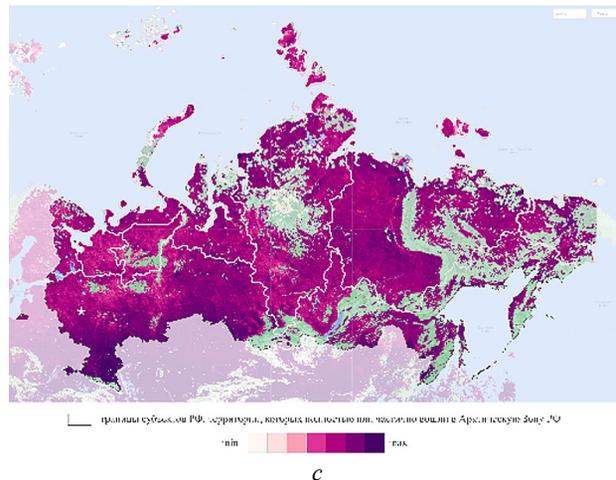
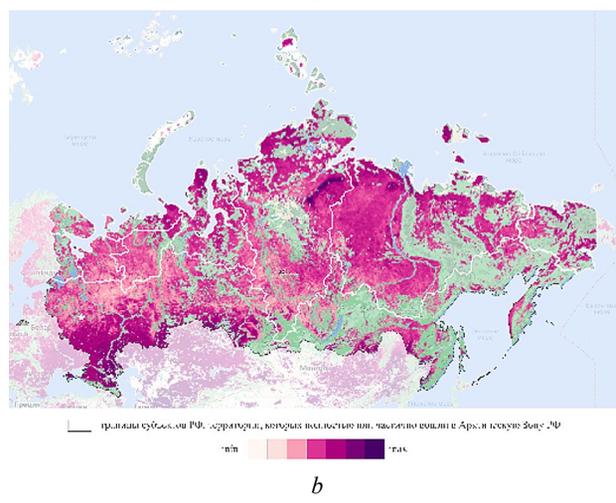


Рис. 5. Залежи метана (CH₄) Российской Федерации 2019–2023 гг.: *a* — 2019 г.; *b* — 2020 г.; *c* — 2022 г. Source: Earth-engine data catalog + Adobe Illustrator

статистики^{7, 8} был проведен анализ среднемесячной температуры воздуха и количество осадков по реги-

⁷ Федеральная служба государственной статистики Российской статистический ежегодник. 2003 г. URL: torage/mediabank/Ejagodnik_2020.pdf (дата обращения: 23.12.2023).

⁸ Федеральная служба государственной статистики Российской статистический ежегодник. 2022 г. URL: torage/mediabank/Ejagodnik_2022.pdf (дата обращения: 23.12.2023).

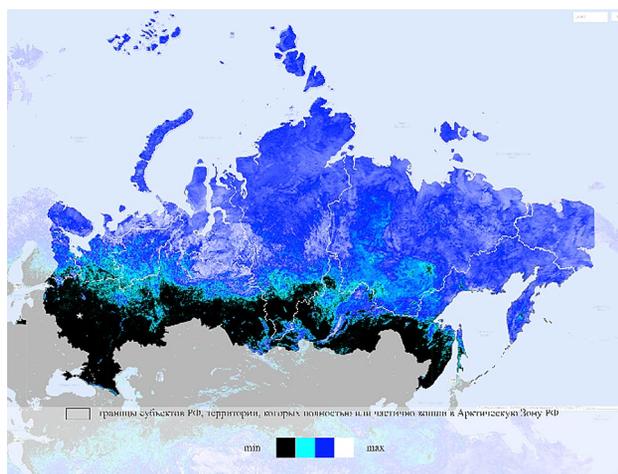


Рис. 6. Снежный покров Российской Федерации 2018 г. Source: Earth-engine data catalog

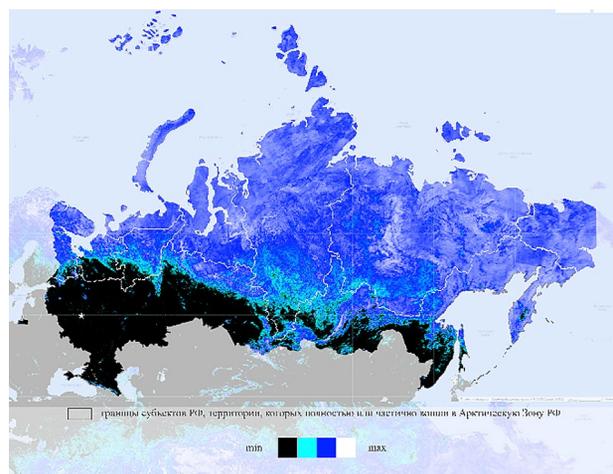


Рис. 7. Снежный покров Российской Федерации 2023 г. Source: Earth-engine data catalog

онам Арктической зоны Российской Федерации (рис. 8).

По результатам анализа можно сделать вывод, что в 2020 г. выявлено повышение температурного режима на всей территории арктических регионов страны.

Глобальное потепление влияет на скорость таяния ледников, которая в последние десятилетия неуклонно растет. По сравнению с 90-ми годами прошлого уже века она увеличилась более чем в половину. Из-за этого с начала 2000-х гг. уровень моря поднялся более чем на два метра. Потеря «ледяных шапок» на полюсах в свою очередь вызывает увеличение температуры в этих регионах до десяти градусов Цельсия (рис. 9, 10). Среди изученных регионов мировой Арктической зоны наибольшие потери льда именно в Арктической зоне Российской Федерации.

Научные исследования показывают, что Арктическая зона Российской Федерации играет значительную роль в глобальном изменении климата⁹ [6–9]. Этот регион стал одним из наиболее уязвимых и чувствительных к последствиям глобального потепления. Арктика также является «кухней мирового климата»:

- Арктика является тепловым насосом, перераспределяющим тепло между экваториальными и полярными регионами. Это происходит из-за разницы в температуре между экватором и полюсами. Теплообмен между Арктикой и экватором создает ветры и океанские течения, которые влияют на климат во всем мире;
- Арктика содержит огромные запасы метана в морском дне и в местах перманентного мороза. При потеплении эти запасы метана могут выделяться в атмосферу, что приведет к дополнитель-

ному усилению парникового эффекта и изменению климата;

- изменения в Арктике могут влиять на погоду в других частях мира. Например, теплые воздушные массы, поднимающиеся над тающими льдами, могут вызывать изменения в атмосферной циркуляции и приводить к экстремальным погодным условиям в других регионах.

Арктическая зона России охватывает 9 регионов, из которых полностью принадлежат ей четыре: Мурманская область, Ненецкий, Чукотский и Ямало-Ненецкий автономные округа. Пять регионов: Республика Коми, Республика Карелия, Республика Саха (Якутия), Архангельская область и Красноярский край относятся к Арктической зоне частично. В этих приарктических регионах расположены Ханты-Мансийский автономный округ — Югра, Камчатский край и Магаданская область. Общая площадь арктических территорий составляет 4,8 млн кв. км, что составляет 28 % от всей территории страны. В этих территориях проживает 2,6 млн человек, что составляет более половины населения мировой Арктики (рис. 11).

Методология исследования

В данном исследовании рассматривается влияние естественных процессов (выделение парниковых газов вследствие пожаров, вырубки лесов, таяния ледников и других естественных явлений) на изменение климата в Республике Коми (рис. 12). Методы исследования: аналитический метод, статистический анализ данных и ГИС-моделирование.

Для анализа степени влияния естественных процессов на изменение климата на урбанизированных территориях АЗРФ был разработан алгоритм исследования, состоящий из четырех этапов:

1. Сбор основной информации об изменении климата в регионе за последние несколько десятков лет.

⁹ АМАП 2021. Изменение климата в Арктике: основные тенденции и воздействия. URL: <https://www.amap.no/documents/download/6887/inline> (дата обращения: 23.12.2023).

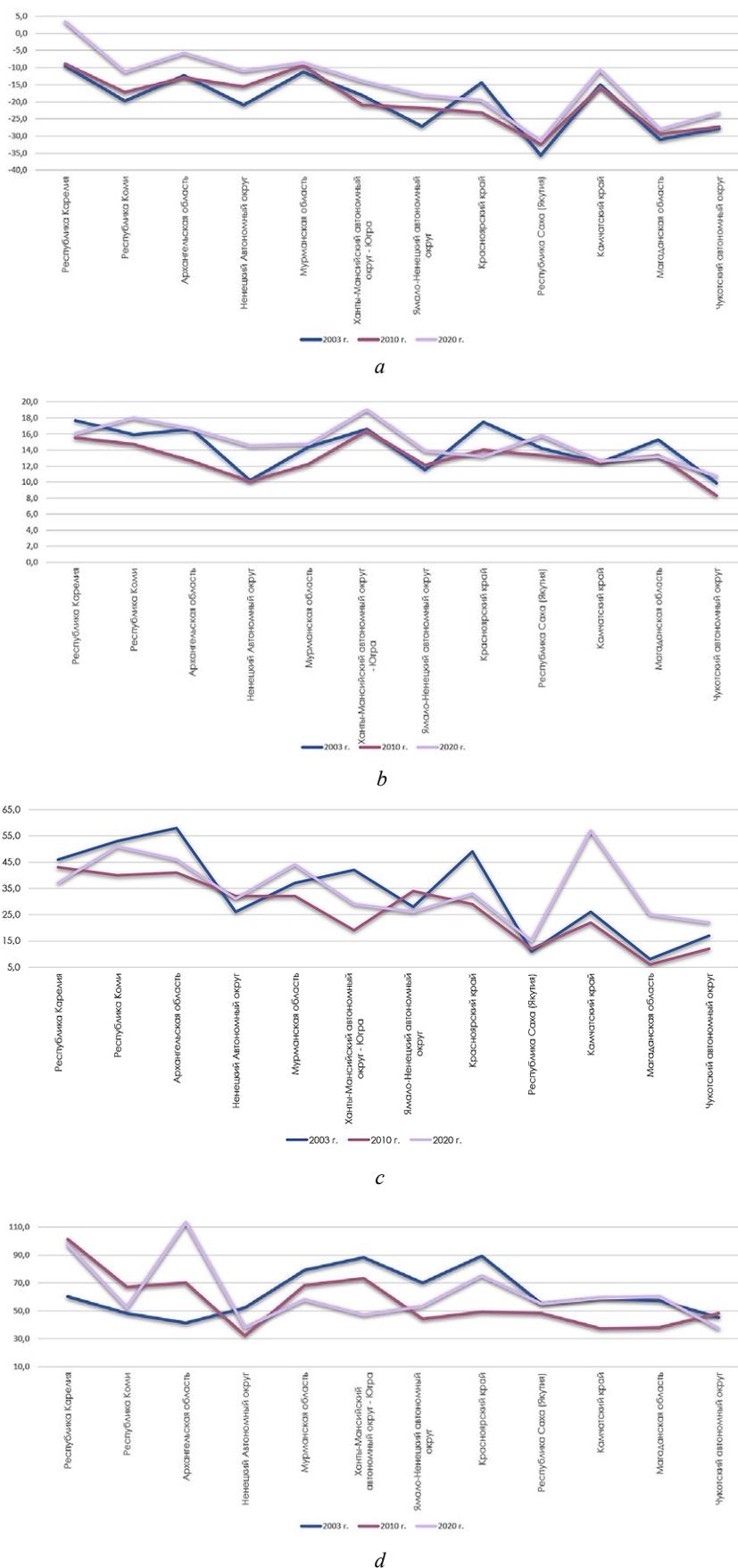


Рис. 8. Среднемесячные показатели по регионам АЗРФ: *a* — средняя месячная температура воздуха (январь); *b* — средняя месячная температура воздуха (июль); *c* — среднемесячное количество осадков (январь); *d* — среднемесячное количество осадков (июль). Source: материалы российских статистических ежегодников Федеральной службы государственной статистики



Рис. 9. Ледники АЗРФ. Source: Felt.com



Рис. 11. Арктическая зона Российской Федерации. Source: QGIS



Рис. 10. Риск затопления прибрежных районов. Source: Felt.com

2. Сбор основной информации о выбросах загрязняющих веществ и проведение их оценки методом геоинформационного анализа (ГИС-систем):

- определение основных источников загрязнения, относящихся к природным факторам, влияющих на изменение климата в регионе;
- определение количества загрязняющих веществ по основным парниковым газам: CO₂, CH₄, NO₂, и их суммарное количество;
- ввод данных в систему в виде атрибутов:
 - 1) ввод наименования АДТ-расположение;
 - 2) название источника загрязнения;
 - 3) суммарное количество выбросов основных крупных источников загрязняющих веществ;
 - 4) пространственный анализ данных;

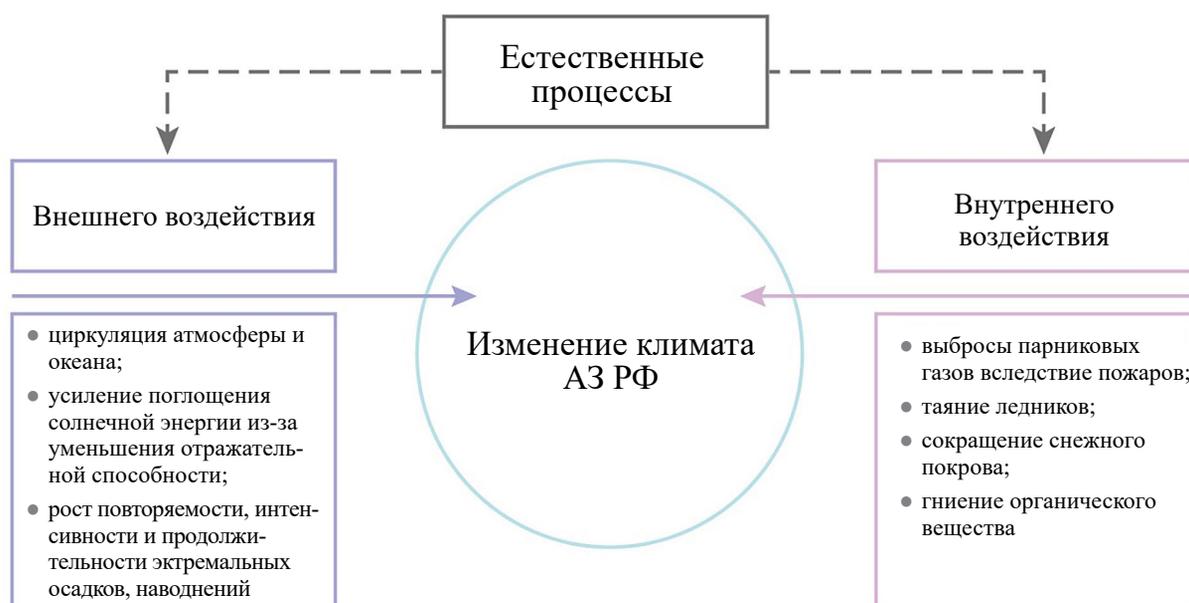


Рис. 12. Модель влияния естественных процессов на изменение климата АЗРФ

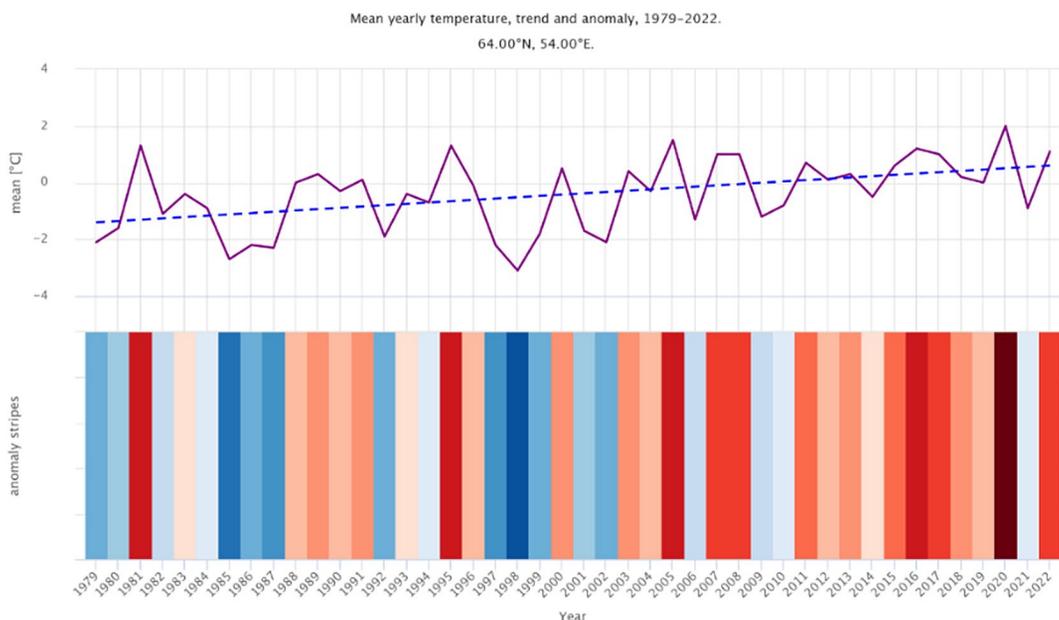


Рис. 13. Годовое изменение температуры Коми. Source: meteoblue.com

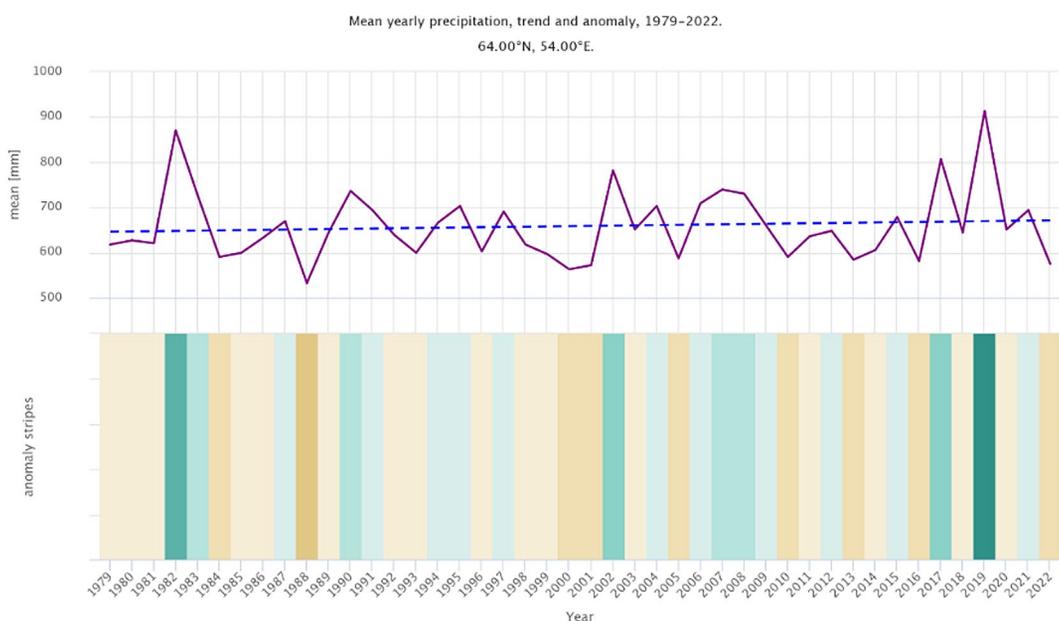


Рис. 14. Изменение количества осадков за год. Source: meteoblue.com

3. Оценка состояния и выявление основных источников выбросов парниковых газов

Этап включает в себя построение схемы с районами, наиболее подверженными изменению климата под влиянием естественных процессов. Этот этап был проведен при помощи программного обеспечения QGIS с использованием открытой базы данных ClimateTrace. Данные обработаны методом кластеризации в рамках границ муниципальных образований.

4. Предложения по адаптации территории к изменению климата

Предложения по мероприятиям, направленным на адаптацию территорий, формируются с помощью анализа отечественных и зарубежных научных источников.

Материалами исследования являются статистические данные (данные с открытых баз данных ClimateTrace, Earth-engine data catalog, Felt.com).

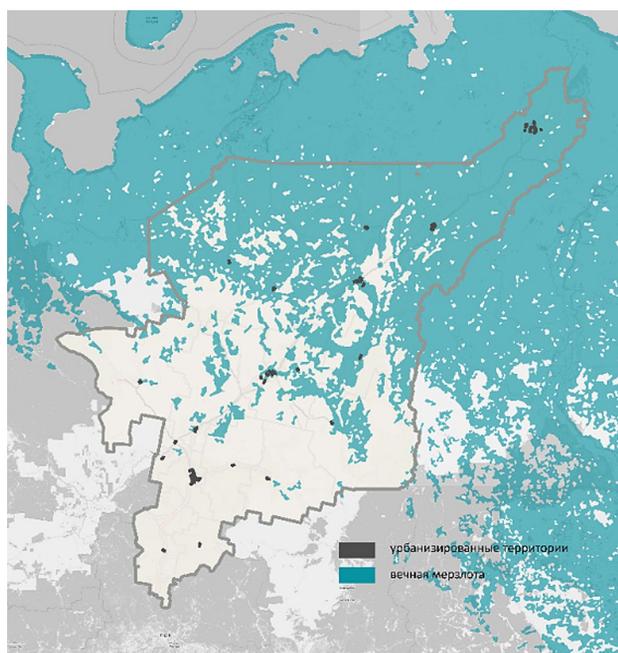


Рис. 15. Вечная мерзлота. Source: QGIS + Adobe Illustrator

Результаты исследования

В качестве объекта исследования выбрана Республика Коми. Численность населения 820,2 тыс. чел. (2019; 901,2 тыс. чел. в 2010, 1018,7 тыс. чел. в 2002, 1261,0 тыс. чел. в 1989, 964,8 тыс. чел. в 1970, 815,8 тыс. чел. в 1959). Столица — город Сыктывкар. Расположен в 1515 км к северо-востоку от Москвы, на левом берегу р. Сысола (порт). Население 229,6 тыс. чел. Выявление естественных процессов, влияющих на изменение климата в Российской Федерации на примере Республики Коми, актуально тем, что часть территорий субъекта относится к АЗРФ, а значит подвержена наибольшему влиянию глобального изменения климата.

Республика Коми является одним из ведущих лесных регионов России, с большим потенциалом развития, связанным с лесными ресурсами. Леса Республики Коми имеют огромное значение для экологии, сырьевой базы, экономики и социальной сферы региона. По данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Коми, площадь лесного фонда на 1 января 2022 г. составляла 36,3 млн га, что составляет 87 % территории республики. Общий объем древесины в лесах республики оценивается в 2,8 млрд куб. м. преимущественно хвойных пород (83 %) и лиственных (17 %). Определение основных источников естественных процессов позволит выявить проблемы и возможности для адаптации к изменению климата и смягчения его последствий в регионе.

Первый этап исследования заключается в сборе основной информации об изменении климата в регионе. На диаграммах (рис. 13, 14) можно увидеть,

как изменение климата повлияло на регион Коми за последние 40 лет. В качестве источника данных используется ERA5, атмосферный реанализ глобального климата пятого поколения ECMWF, охватывающий временной диапазон с 1979 по 2022 г. с пространственным разрешением 30 км.

В настоящий период наиболее неблагоприятные последствия изменений климата для Республики Коми обуславливает деградация многолетне-мерзлых пород (рис. 15).

В последние 30 лет их температура увеличилась на 0,8–1,5 °С, возникли несвязанные талики мощностью до 10 м, мощность ранее существовавших таликов увеличилась на 6–7 м, термокарстовые провалы земной поверхности достигают 0,6–0,7 м, граница мерзлоты, залегающей с поверхности, отступила к северу на 30–50 км (рис. 16)¹⁰.

Второй этап: сбор информации об основных выбросах загрязняющих веществ и проведение их оценки методом геоинформационного анализа (ГИС-систем) (табл.).

Увеличение среднегодовой концентрации метана на территории Республики Коми за период с 2020 по 2023 г., связанный с лесными пожарами, таянием вечной мерзлоты и сокращением снежного покрова (рис. 17, 18).

Третий этап: оценка состояния и выявление основных источников выбросов парниковых газов (естественные процессы).

Как видим из таблицы, основное количество выбросов загрязняющих веществ производят следующие источники: пожары, водно-болотные угодья, древесно-кустарниковые растения, лесные угодья. На основе трех основных загрязняющих веществ: углекислого газа (CO₂), оксидов азота (NO₂) и метана (CH₄) с учетом степени их влияния на здоровье человека и окружающую среду проанализирован уровень загрязнения воздуха, были выявлены основные крупные источники выбросов и составлена схема районов, наиболее подверженных изменению климата под воздействием естественных выбросов загрязняющих веществ для 20 районов Республики Коми. Схема позволяет наглядно увидеть наиболее загрязненные парниковыми газами районы республики: Княжпогостский район, Удорский муниципальный район, Усть-Куломский, Троицко-Печорский районы, Усть-Цилемский район, Городской округ Ухта. В данных районах наиболее активно происходит воздействие на окружающую среду (рис. 19).

Общая площадь земель лесного фонда (рис. 20) Республики Коми на 1 января 2019 г. составляет 36 271,8 тыс. га или 87,0 % территории республики.

¹⁰ Изменения климата Коми. URL: https://www.meteoblue.com/ru/climate-change/Коми_Россия_545854?month=12 (дата обращения: 23.12.2023).

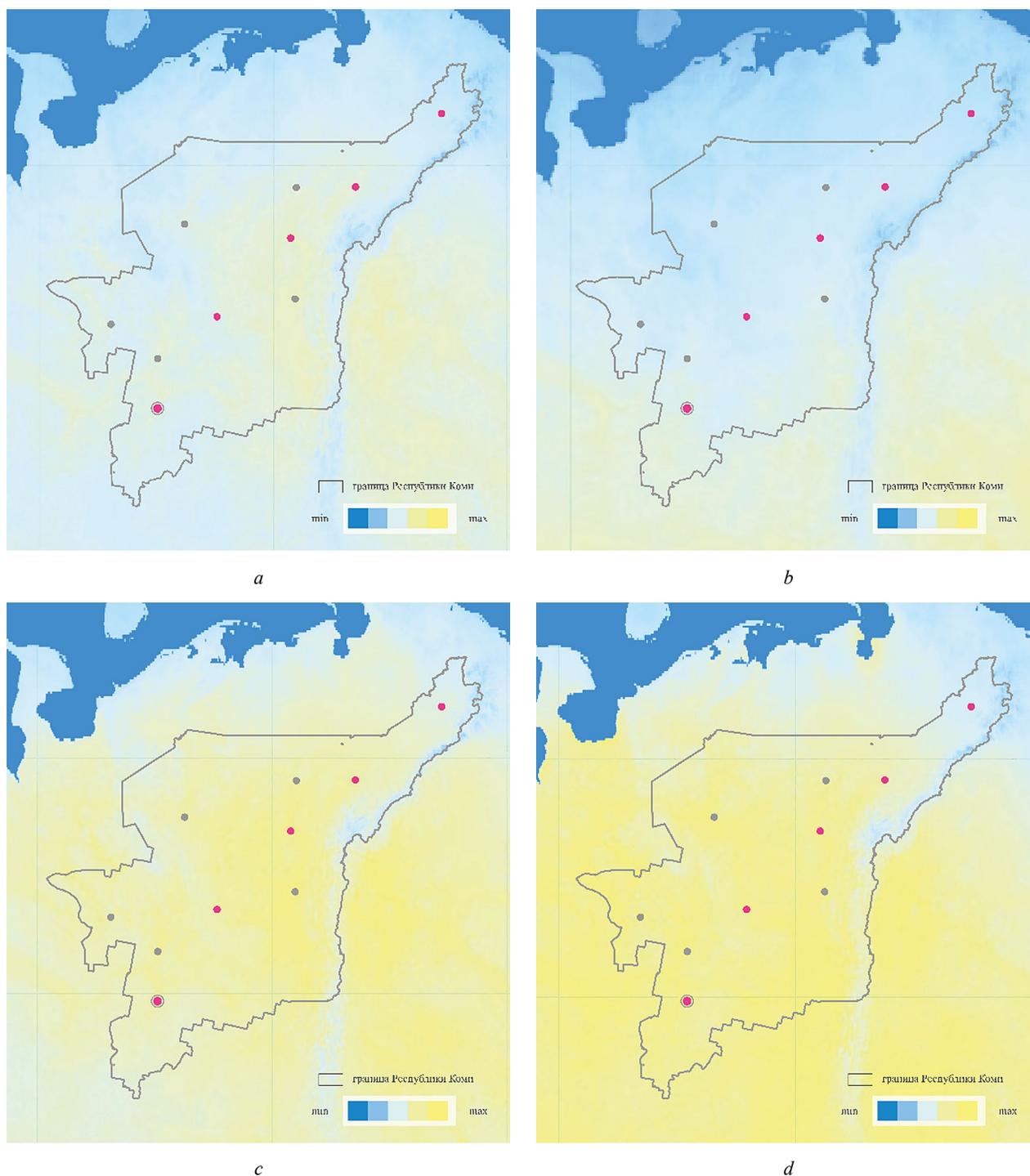


Рис. 16. Изменение температуры приземного воздуха, ретроспектива. Source: Earth-engine data catalog + Adobe Illustrator: *a* — 1976 г.; *b* — 1991 г.; *c* — 2015 г.; *d* — 2022 г.

Кроме того, 2656,7 тыс. га занимают леса, не входящие в лесной фонд:

- земли обороны и безопасности — 4,1 тыс. га;
- земли населенных пунктов, на которых расположены городские леса, — 6,4 тыс. га;
- земли особо охраняемых природных территорий (рис. 21) — 2613 тыс. га, в том числе национальный парк «Югыд ва» — 1891,7 тыс. га, Печоро-Ильчский государственный заповедник — 721,3 тыс. га;
- земли иных категорий — 33,5 тыс. га.

В 2018 г. площадь лесов, расположенных на землях населенных пунктов, увеличилась в связи с созданием Прилузского муниципального лесопарка, в соответствии с приказом Федерального агентства лесного хозяйства от 1 октября 2018 г. № 801. Величина лесистости в отдельных районах республики различна и зависит от физико-географических, климатических и почвенных условий. Средняя лесистость по респу-

Количество выбросов основных крупных источников по муниципальным районам

Наименование АДТ	Источник загрязнения	Загрязняющие вещества, т			
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	CO ₂ е
Городской округ Сыктывкар	Пожары	455,25	0,81	0,02	456,08
	Водно-болотные угодья	3283,42	–	–	3283,42
	Древесно-кустарниковые растения	3820,79	–	–	3820,79
	Лесные угодья	587 336	–	–	587 336
	Пастбища крупного рогатого скота	–	35,41	–	35,41
	Выпас крупного рогатого скота	–	0,61	1,15	1,76
	Поле для посева	–	–	0,23	0,23
	Итого:	594 895,46	36,83	1,4	594 933,69
Сыктывдинский район	Пожары	2364,89	4,21	0,11	2369,21
	Водно-болотные угодья	7043,57	–	–	7043,57
	Древесно-кустарниковые растения	14 445,1	–	–	14 445,1
	Лесные угодья	2 397 780	–	–	2 397 780
	Пастбища крупного рогатого скота	–	187,17	–	187,17
	Выпас крупного рогатого скота	–	3,23	6,06	9,29
	Поле для посева	–	–	2,04	2,04
	Итого:	2 421 633,6	194,61	8,21	2 421 836,4
Городской округ Воркута	Водно-болотные угодья	48 820,8	–	–	48 820,8
	Древесно-кустарниковые растения	984 459	–	–	984 459
	Лесные угодья	–251 494	–	–	–251 494
	Итого:	781 785,8	0	0	781 785,8
Городской округ Ухта	Водно-болотные угодья	116 597	–	–	116 597
	Древесно-кустарниковые растения	26 720,1	–	–	26 720,1
	Лесные угодья	5 272 160	–	–	5 272 160
	Итого:	5 415 477,1	0	0	5 415 477,1
Городской округ Инта	Водно-болотные угодья	–84 125,10	–	–	–84 125,100
	Древесно-кустарниковые растения	352 258,00	–	–	352 258
	Лесные угодья	–	–	–	3 072 290
	Итого:	3 340 422,9	0	0	3 340 422,9
Городской округ Усинск	Водно-болотные угодья	250 400	–	–	250 400,000
	Древесно-кустарниковые растения	200 033	–	–	200 033
	Лесные угодья	2 071 790	–	–	2 071 790
	Итого:	2 522 223	0	0	2 522 223
Городской округ Вуктыл	Водно-болотные угодья	106 397	–	–	106 397,000
	Древесно-кустарниковые растения	346 161	–	–	346 161
	Лесные угодья	4 092 720	–	–	4 092 720
	Итого:	4 545 278	0	0	4 545 278
МР Сосногорск	Водно-болотные угодья	245 973	–	–	245 973,000
	Древесно-кустарниковые растения	12 656,4	–	–	12 656,4
	Лесные угодья	3 195 890	–	–	3 195 890
	Итого:	3 454 519,4	0	0	3 454 519,4

Наименование АДТ	Источник загрязнения	Загрязняющие вещества, т			
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	CO ₂ е
Княжпогостский район	Водно-болотные угодья	335 259	–	–	335 259,000
	Древесно-кустарниковые растения	73 882,4	–	–	73 882,4
	Лесные угодья	11 377 400	–	–	11 377 400
	Поле для посева	–	–	0,01	0,01
	Итого:	11 786 541	0	0,01	11 786 541
МР Печора	Водно-болотные угодья	176 236	–	–	176 236,000
	Древесно-кустарниковые растения	43 850,4	–	–	43 850,4
	Лесные угодья	2 198 470	–	–	2 198 470
	Итого:	2 418 556,4	0	0	2 418 556,4
Усть-Цилемский район	Водно-болотные угодья	1 999 570	–	–	1 999 570
	Древесно-кустарниковые растения	251 076	–	–	251 076
	Лесные угодья	5 142 420	–	–	5 142 420
	Итого:	7 393 066	0	0	7 393 066
Ижемский район	Водно-болотные угодья	279 085	–	–	279 085
	Древесно-кустарниковые растения	25 784,8	–	–	25 784,8
	Лесные угодья	1 537 050	–	–	1 537 050
	Итого:	1 841 919,8	0	0	1 841 919,8
Удорский МР	Водно-болотные угодья	119 437	–	–	119 437,000
	Древесно-кустарниковые растения	70 925,5	–	–	70 925,5
	Лесные угодья	13 469 600	–	–	13 469 600
	Поле для посева	–	–	0,01	0,01
	Итого:	13 659 963	0	0,01	13 659 963
Сысольский район	Пожары	2185,63	3,9	0,1	2189,630
	Водно-болотные угодья	–609,77	–	–	–609,77
	Древесно-кустарниковые растения	–13910	–	–	–13 910
	Лесные угодья	1 102 620	–	–	1 102 620
	Пастбища крупного рогатого скота	–	83,81	–	83,81
	Выпас крупного рогатого скота	–	1,45	2,71	4,16
	Поле для посева	–	–	1,89	1,89
	Итого:	1 090 285,9	89,16	4,7	1 090 379,7
Троицко-Печорский район	Пожары	82,73	0,15	–	82,880
	Водно-болотные угодья	91 094,5	–	–	91 094,5
	Древесно-кустарниковые растения	308 277	–	–	308 277
	Лесные угодья	7 484 260	–	–	7 484 260
	Пастбища крупного рогатого скота	–	11,64	–	11,64
	Выпас крупного рогатого скота	–	0,2	0,38	0,58
	Поле для посева	–	–	0,01	0,01
	Итого:	7 883 714,2	11,99	0,39	7 883 726,6

Наименование АДТ	Источник загрязнения	Загрязняющие вещества, т			
		CO ₂	CH ₄	NO ₂	CO ₂ e
Корткеросский район	Пожары	1533,45	2,73	0,07	1536,250
	Водно-болотные угодья	-220 389	-	-	-220 389
	Древесно-кустарниковые растения	-65 266,9	-	-	-65 266,9
	Лесные угодья	-5 135 060	-	-	-5 135 060
	Пастбища крупного рогатого скота	-	137,92	-	137,92
	Выпас крупного рогатого скота	-	2,38	4,46	6,84
	Поле для посева	-	-	0,95	0,95
	Итого:	-5 419 182	143,03	5,48	-5 419 033,9
Усть-Вымский район	Пожары	376,05	0,67	0,02	376,740
	Водно-болотные угодья	4526,5	-	-	4526,5
	Древесно-кустарниковые растения	17 387,8	-	-	17 387,8
	Лесные угодья	1 894 030	-	-	1 894 030
	Пастбища крупного рогатого скота	-	48,14	-	48,14
	Выпас крупного рогатого скота	-	0,83	1,56	2,39
	Поле для посева	-	-	0,36	0,36
	Итого:	1 916 320,4	49,64	1,94	1 916 371,9
Усть-Куломский район	Пожары	4261,06	7,59	0,2	4268,850
	Водно-болотные угодья	101 451	-	-	101 451
	Древесно-кустарниковые растения	12 324	-	-	12 324
	Лесные угодья	7 595 980	-	-	7 595 980
	Пастбища крупного рогатого скота	-	205,16	-	205,16
	Выпас крупного рогатого скота	-	3,54	6,64	10,18
	Поле для посева	-	-	1,55	1,55
	Итого:	7 714 016,1	216,29	8,39	7 714 240,7
Прилузский район	Пожары	4744,38	8,46	0,22	4753,060
	Водно-болотные угодья	-124,03	-	-	-124,03
	Древесно-кустарниковые растения	-26 906,2	-	-	-26 906,2
	Лесные угодья	-1 427 500	-	-	-1 427 500
	Пастбища крупного рогатого скота	-	295,66	-	295,66
	Выпас крупного рогатого скота	-	5,1	9,57	14,67
	Поле для посева	-	-	5,4	5,40
	Итого:	-1 449 786	309,22	15,19	-1 449 461,4
Койгородский район	Пожары	1570,08	2,8	0,07	1572,950
	Водно-болотные угодья	-491,74	-	-	-491,74
	Древесно-кустарниковые растения	-2336,35	-	-	-2336,35
	Лесные угодья	-284 878	-	-	-284 878
	Пастбища крупного рогатого скота	-	31,55	-	31,55
	Выпас крупного рогатого скота	-	0,54	1,02	1,56
	Поле для посева	-	-	0,83	0,83
	Итого:	-286 136	34,89	1,92	-286 099,2
Итого суммарное по региону:		71 625 514	1085,66	47,64	71 626 647

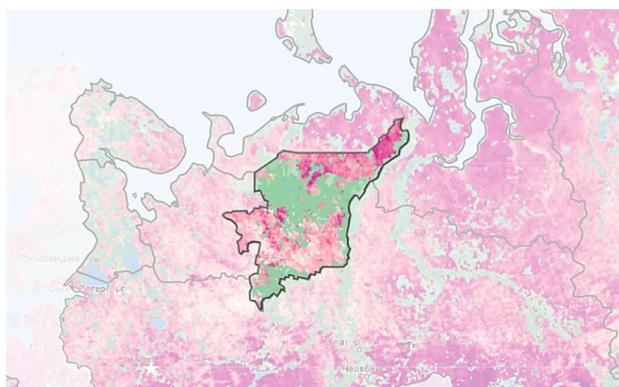


Рис. 17. Залежи метана (CH₄). Республика Коми 2019 г.
Source: Earth-engine data catalog

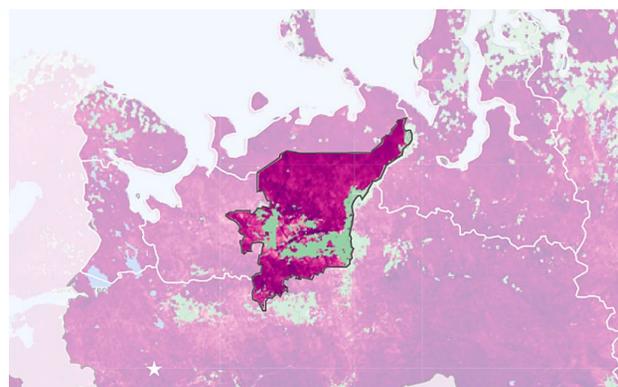


Рис. 18. Залежи метана (CH₄). Республика Коми 2023 г.
Source: Earth-engine data catalog

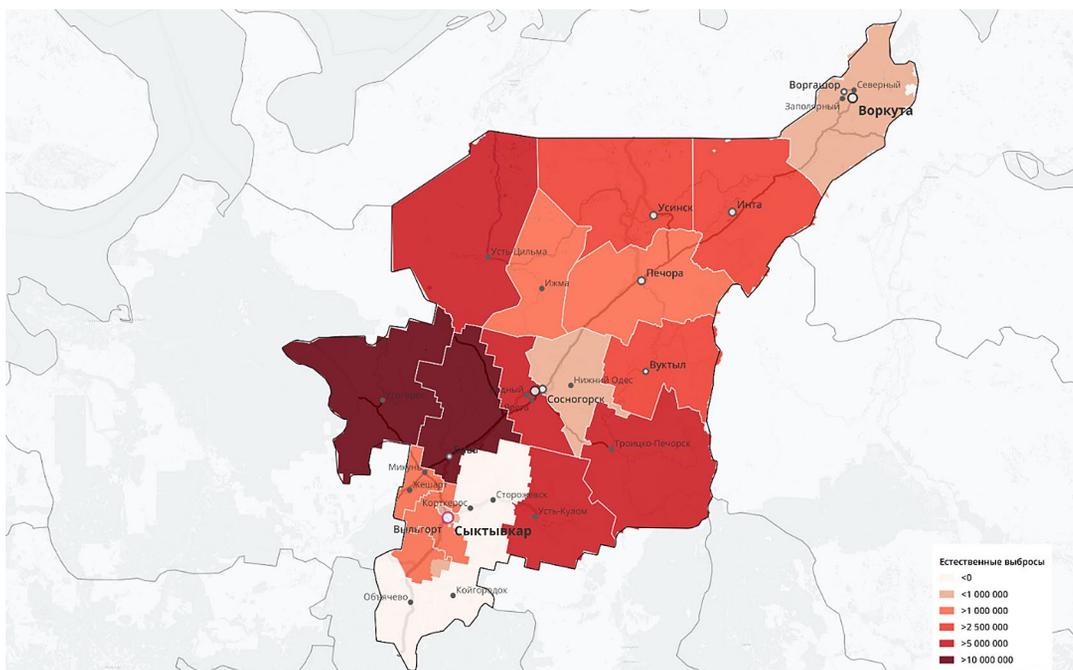


Рис. 19. Районы, наиболее подверженные изменению климата под воздействием естественных выбросов загрязняющих веществ

блике составляет 79,1 %. Ученые обнаружили, что восстанавливающиеся после вырубок леса выделяют больше углерода, чем поглощают (рис. 22).

Таким образом, можно утверждать, что основные естественные процессы, влияющие на изменение климата в Республике Коми, включают в себя:

1. Крупные пожары, на которые приходится 7 % глобальных годовых выбросов углерода. Пожары в Арктике преимущественно происходят на богатых углеродом торфяниках и вечномёрзлых почвах. В результате сгорания органики и таяния мерзлоты в атмосферу выбрасывается колоссальное количество накопившегося за тысячелетия углерода.

2. Изменение использования земли, включая уменьшение лесных площадей и разрушение растительности, что приводит к снижению способности природы поглощать углекислый газ. Нарушение экологического равновесия происходит из-за уничтоже-

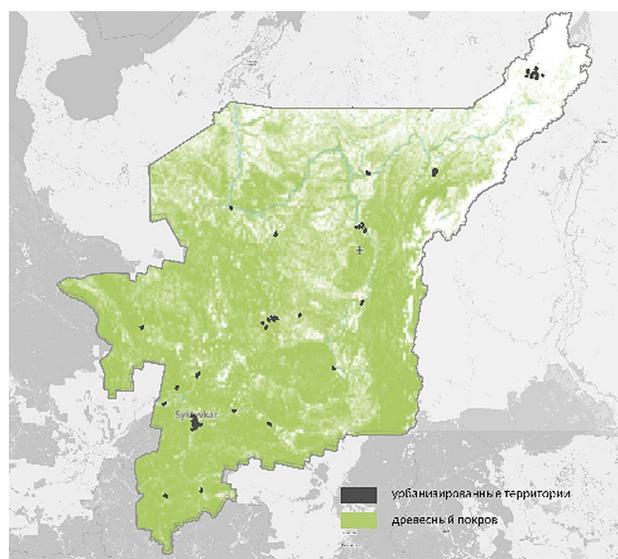


Рис. 20. Деревянный покров. Source: globalforestwatch

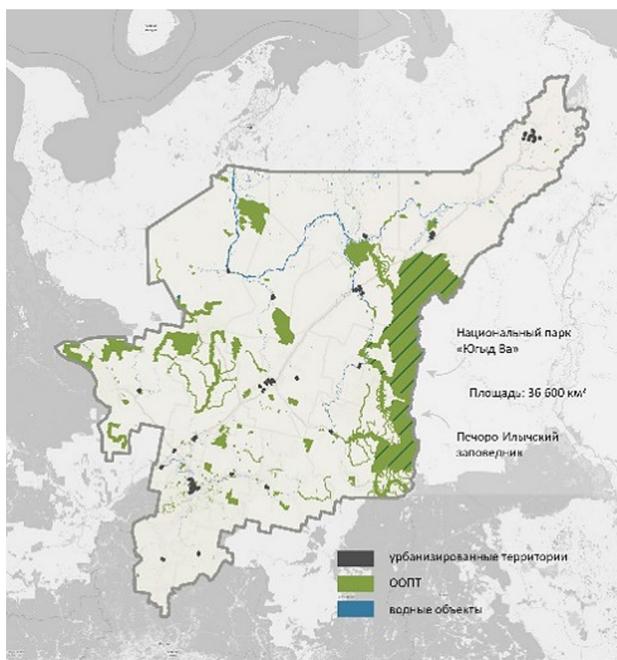


Рис. 21. ООПТ Республики Коми. Source: QGIS

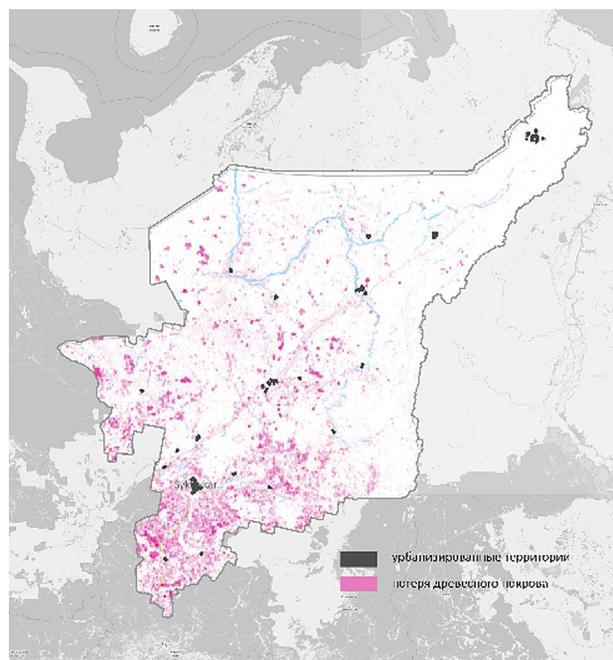


Рис. 22. Потеря древесного покрова. Source: globalforestwatch

ния деревьев в биогеоценозе, что приводит к увеличению диоксида углерода и глобальному потеплению.

3. Почвенная эрозия и образование пустынь, а также заболачивание в местах с высоким уровнем грунтовых вод.

4. Уменьшение глубины промерзания и сокращение снежного покрова.

Данные факторы значительно влияют на изменение климата, увеличивая концентрацию парниковых газов и приводя к изменению климатических условий. Ограничение антропогенной нагрузки и снижение выбросов парниковых газов являются важными мерами в борьбе с глобальным изменением климата.

Четвертый этап: предложения по мероприятиям, направленным на адаптацию урбанизированных арктических территорий.

Глобальные изменения климата представляют серьезный вызов для лесов и лесного хозяйства в России, включая Республику Коми, в ближайшей и среднесрочной перспективе. Для преодоления этих вызовов, связанных с изменением климата, необходимо разработать и применять адаптационные меры и стратегии в сфере лесного хозяйства. Это может включать управление лесами, учитывающее изменяющиеся условия, выбор лесных пород, адаптированных к новым условиям, а также принятие мер по предот-



Рис. 23. Предложения по мероприятиям, направленным на адаптацию урбанизированных арктических территорий

вращению и управлению лесными пожарами (рис. 23). Проведение мониторинга и исследований также необходимо для более полного понимания влияния изменения климата на леса и разработки эффективных стратегий адаптации¹¹ [10].

Выводы

Климатические изменения, происходящие в настоящее время на планете, могут вызвать негативные последствия: увеличение частоты и интенсивности экстремальных погодных явлений, включая штормы и ураганы, а также повышение уровня мирового океана и связанные с этим проблемы. Арктическая зона оказывает значительное влияние на климат из-за своего географического положения и способности отражать или поглощать солнечное излучение. Таяние ледников и морского льда в Арктике влияет на уровень мирового океана, а также на циркуляцию воздушных масс и осадков. Выбросы парниковых газов в этой

зоне играют важную роль в климатических изменениях. Углекислый газ и метан задерживают тепло в атмосфере, что приводит к глобальному потеплению и изменению климата.

По результатам исследования очевидно, что на данный момент существует потребность в реализации мер по снижению негативного влияния естественных факторов на климатическую ситуацию в Республике Коми и в АЗРФ в целом. Ситуация может быть улучшена путем разработки комплексного плана международных научных исследований в сфере наблюдения за состоянием арктических экосистем, глобальными климатическими изменениями и изучением Арктики. Развитие единой системы государственного экологического мониторинга с применением современных информационно-коммуникационных технологий и систем связи может помочь предотвратить последствия климатических изменений, позволит прогнозировать экологические катастрофы, влияющие на климат, а также сохранить природные ресурсы, которые играют важную роль в регулировании климатических условий. Повышение уровня экологической осведомленности также стимулирует общество принимать меры по борьбе с климатическими изменениями.

¹¹ Доклад о научно-методических основах для разработки стратегий адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (в области компетенции Росгидромета). Санкт-Петербург; Саратов : Амирит, 2020. 120 с. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2020/dokladRGM.pdf> (дата обращения: 01.10.2020).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Бондаренко Л.В., Маслова О.В., Белкина А.В., Сухарева К.В.* Глобальное изменение климата и его последствия // Вестник Российского экономического университета им. ГВ Плеханова. 2018. № 2 (98). С. 84–93.
2. *Песчанов Г.Г., Нифонтов Ю.А.* Влияние изменения климата на Российскую Арктику // Неделя науки Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2020. Т. 2. № 4. С. 69–69.
3. *Бедрицкий А.И.* Устойчивое развитие Арктической зоны Российской Федерации и климатические аспекты экологической и гидрометеорологической безопасности // Энергетическая политика. 2018. № 4. С. 3–10.
4. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб. : Научное издание, 2022. 124 с.
5. *Шихов А.Н., Зарипов А.С.* Многолетняя динамика потерь лесов от пожаров и ветровалов на северо-востоке Европейской России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15. № 7. С. 114–128. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-114-128
6. *Хохлова Л.П., Мандрыка О.Н.* Влияние долговременных климатических изменений на состояние арктической экосистемы // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ : сб. тезисов Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета. 2020. С. 556–557.
7. *Yumashev D., Hope C., Schaefer K., Riemann-Campe K.* Climate policy implications of nonlinear decline of Arctic land permafrost and other cryosphere elements // Nature communications. 2019. Vol. 10. No. 1. Pp. 1–11. DOI: 10.1038/s41467-019-09863-x
8. *Vavrus S.J.* The influence of Arctic amplification on mid-latitude weather and climate // Current Climate Change Reports. 2018. Vol. 4. Pp. 238–249. DOI: 10.1007/s40641-018-0105-2
9. *Yamanouchi T., Takata K.* Rapid change of the Arctic climate system and its global influences-Overview of GRENE Arctic climate change research project (2011–2016) // Polar Science. 2020. Vol. 25. P. 100548. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100548
10. *Влад И.В., Шароватов А.А.* Вопросы предотвращения последствий глобального изменения климата в Арктике // Инновации и инвестиции. 2023. № 1. С. 52–57.

Об авторах: **Анна Евгеньевна Коробейникова** — кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры градостроительства; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет**

(НИУ МГСУ); Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0000-0002-4357-1757, ResearcherID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru;

Алина Евгеньевна Макарова — магистр; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0009-0007-8587-3837; e-mail: makarova.al1999@gmail.com;

Кристина Павловна Конакова — магистр; **Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ)**; Российская Федерация, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; ORCID: 0009-0008-8747-2970; e-mail: conakova.kristina@yandex.ru.

REFERENCES

1. Bondarenko L.V., Maslova O.V., Belkina A.V., Sukhareva K.V. Global climate changing and its after-effects. *Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics*. 2018; 2(98):84-93. (rus).
2. Peschanov G.G., Nifontov Y.A. Climate change impact on the Russian Arctic. *Week of Science of St. Petersburg State Marine Technical University*. 2020; 2(4):69-69. (rus).
3. Bedritsky A.I. Sustainable development of the Russian Arctic zone and climatic aspects of environmental and hydrometeorological security. *Energy Policy*. 2018; 4:3-10. (rus).
4. *The third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary*. St. Petersburg, High-tech technologies, 2022; 124. (rus).
5. Shikhov Shikhov A.N., Zaripov A.S. Long-term dynamics of fire- and wind-related forest losses in northeast European Russia from satellite data. *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*. 2018; 15(7):114-128. DOI: 10.21046/2070-7401-2018-15-7-114-128
6. Khokhlova L.P., Mandryka O.N. The influence of long-term climatic changes on the state of the Arctic ecosystem. *Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the CIS space : collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 90th anniversary of the Russian State Hydrometeorological University*. 2020; 556-557. (rus).
7. Yumashev D., Hope C., Schaefer K., Riemann-Campe K. Climate policy implications of nonlinear decline of Arctic land permafrost and other cryosphere elements. *Nature communications*. 2019; 10(1):1-11. DOI: 10.1038/s41467-019-09863-x
8. Vavrus S.J. The influence of Arctic amplification on mid-latitude weather and climate. *Current Climate Change Reports*. 2018; 4:238-249. DOI: 10.1007/s40641-018-0105-2
9. Yamanouchi T., Takata K. Rapid change of the Arctic climate system and its global influences-Overview of GRENE Arctic climate change research project (2011–2016). *Polar Science*. 2020; 25:100548. DOI: 10.1016/j.polar.2020.100548
10. Vlad I.V., Sharovатов A.A. Issues of preventing the consequences of global climate change in the Arctic. *Innovations and Investments*. 2023; 1:52-57. (rus).

About the authors: **Anna E. Korobeinikova** — Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Urban Planning; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0000-0002-4357-1757, Researcher ID: AAC-8979-2022; e-mail: anna-chega@mail.ru;

Alina E. Makarova — Master's Degree; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0007-8587-3837; e-mail: makarova.al1999@gmail.com;

Kristina P. Konakova — Master's Degree; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ORCID: 0009-0008-8747-2970; e-mail: conakova.kristina@yandex.ru.