

**Четвертая всероссийская научная конференция
«Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды:
адаптация к изменениям климата»**

О.Н. Липка^{1)}, А.П. Андреева¹⁾, У.И. Антипина^{1,2)}, Е.И. Белов^{1,3)},
А.Ю. Богданович¹⁾, Ю.А. Буйолов¹⁾, Е.М. Володин⁴⁾, Н.С. Журавлева¹⁾,
Д.Г. Замолодчиков⁵⁾, А.В. Константинов⁶⁾, В.Н. Коротков¹⁾, Б.А. Ревич⁷⁾,
А.А. Романовская¹⁾, А.М. Стерин⁸⁾, Г.М. Черногаева¹⁾,
А.В. Чернокульский^{2,9,10)}*

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

²⁾ Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН,
Россия, 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 3

³⁾ АО «Северсталь Менеджмент»,
Россия, 125130, г. Москва, ул. К. Цеткин, д. 2

⁴⁾ Институт вычислительной математики РАН им. Г.И. Марчука,
Россия, 119333, г. Москва, ул. Губкина, д. 8

⁵⁾ Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов имени А.С. Исаева РАН,
Россия, 117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр. 14

⁶⁾ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт лесного хозяйства,
Россия, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пр., д. 21

⁷⁾ Институт народнохозяйственного прогнозирования РАН,
Россия, 117418, г. Москва, Нахимовский проспект, д. 47

⁸⁾ Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической
информации – Мировой центр данных,
Россия, 249035, Калужская обл., г. Обнинск, ул. Королева д. 6

⁹⁾ Институт географии РАН,
Россия, 11907, г. Москва, Старомонетный пер., д. 29

¹⁰⁾ Высшая школа экономики,
Россия, 101000, г. Москва, ул. Мясницкая, д. 20

*Адрес для переписки: olipka@igce.ru

Реферат. В Институте глобального климата и экологии им. академика Ю.А. Израэля прошла Четвертая всероссийская научная конференция «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата». Конференция посвящена вопросам мониторинга изменений климата и опасных гидрометеорологических явлений, последствий климатических изменений, а также широкому кругу вопросов, связанных с адаптацией к изменениям климата, включая синергию со смягчением антропогенного воз-

действия на климатическую систему. Мероприятие проводилось как платформа для обмена знаниями и опытом в сфере климатических исследований, климатического обслуживания и практического применения полученных результатов в разных социальных и экономических отраслях, а также в областях здравоохранения и охраны природы. В обсуждении приняли участие специалисты из ведущих научных институтов Росгидромета, Российской академии наук, университетов и других организаций. Освещались не только новые результаты и научные достижения, но и проблемы, пути их решения, а также ставились задачи для дальнейших исследований.

Ключевые слова. Мониторинг изменения климата, моделирование изменения климата, опасные гидрометеорологические явления, адаптация, синергия адаптации и митигации, ООПТ.

The Fourth All-Russian Scientific conference “Monitoring of the environment state and pollution: adaptation to climate change” results

O.N. Lipka^{1)}, A.P. Andreeva¹⁾, U.I. Antipina^{1,2)}, E.I. Belov^{1,3)},
A.Yu. Bogdanovich¹⁾, Yu.A. Buivolov¹⁾, E.M. Volodin⁴⁾, N.S. Zhuravleva¹⁾,
D.G. Zamolodchikov⁵⁾, A.V. Konstantinov⁶⁾, V.N. Korotkov¹⁾, B.A. Revich⁷⁾,
A.A. Romanovskaya¹⁾, A.M. Sterin⁸⁾, G.M. Chernogaeva¹⁾, A.V. Chernokulsky^{2,9,10)}*

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

²⁾ Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS,
3, Pyzhevsky, 119017, Moscow, Russian Federation

³⁾ JSC Severstal Management,
2, K.Tsetkin st., 125130, Moscow, Russian Federation

⁴⁾ G.I. Marchuk Institute of Numerical Mathematics RAS,
8, Gubkina st., 119333, Moscow, Russian Federation

⁵⁾ A.S. Isaev Center for Ecology and Forest Productivity of the Russian Academy of Sciences,
84/32 Profsoyuznaya street, building 14, 117997, Moscow, Russian Federation

⁶⁾ Saint Petersburg Forestry Research Institute,
21, Institutsky av., 194021, Saint Petersburg, Russian Federation

⁷⁾ Institute of Economic Forecasting RAS,
47, Nakhimovsky Prospekt, 117418, Moscow, Russian Federation

⁸⁾ All Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Centre,
6, Koroleva st., 249035, Obninsk, Russian Federation

⁹⁾ Institute of Geography RAS,
29, Staromonetny lane, 119017, Moscow, Russian Federation

¹⁰⁾ HSE University,
20, Myasnitskaya st., 101000, Moscow, Russian Federation

*Correspondence address: olipka@igce.ru

Abstract. Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology hosted the Fourth All-Russian Scientific conference "Monitoring of environment state and pollution: adaptation to climate change". The conference is dedicated to monitoring climate change and dangerous hydrometeorological phenomena, climate change impacts, as well as a wide range of issues related to adaptation to climate change, including synergy with mitigation of anthropogenic impact on the climate system. The event was held as a platform for knowledge and experience exchange in the field of climate research, climate services and practical application of the obtained results in various social and economic sectors, as well as in healthcare and nature conservation. Experts from leading scientific institutes of Russian Hydrometeorological Service, Russian Academy of Sciences, universities and other organizations took part in the discussion. Not only new results and scientific achievements were highlighted, but also problems, ways to solve them, and tasks for further research were proposed.

Keywords. Climate change monitoring, climate change modeling, dangerous hydrometeorological phenomena, adaptation, synergy of adaptation and mitigation, protected areas.

Введение

Четвертая всероссийская научная конференция «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата» состоялась 24-28 ноября 2025 г. в ФГБУ «ИГКЭ». Традиционно целью конференции является обсуждение проблем и результатов мониторинга состояния и загрязнения экосистем. В 2025 году акцент был сделан на вопросы мониторинга изменений климата и опасных гидрометеорологических явлений, последствий климатических изменений. Особое внимание уделялось широкому кругу вопросов, связанных с адаптацией к изменениям климата, включая синергию со смягчением антропогенного воздействия на климатическую систему.

Задачи Конференции:

– создание независимой площадки для научного обсуждения современных подходов и международного опыта исследований в данной области, направленных на обоснование и совершенствование мониторинга и оценки климатических рисков;

– обсуждение научных результатов мониторинга климатических изменений и их прогнозирования, оценки последствий для природных и антропогенных систем;

– обмен опытом по практике организации мониторинга изменений климата и их последствий, а также определения возможных направлений адаптации к изменениям климата, в том числе с использованием основанных на природе решений;

– оценка кадрового потенциала и потребности в его наращивании и координации.

Мероприятие проходило в гибридном формате, что позволило принять участие большому количеству докладчиков и заинтересованных слушателей.

Было сформировано семь тематических секций. Всего зарегистрировалось около 200 участников, из которых 29% работает в научных институтах РАН и почти столько же (28%) – в НИУ Росгидромета, 20% участников преподает или ведет исследования в университетах. Также к конференции присоединились сотрудники научных отделов особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и бизнес-компаний, отраслевых институтов Рослесхоза и Минздрава, а также эксперты некоммерческих организаций (рис. 1а). По количеству представленных организаций лидируют университеты (32%) и научные институты РАН (26%) (рис. 1б).

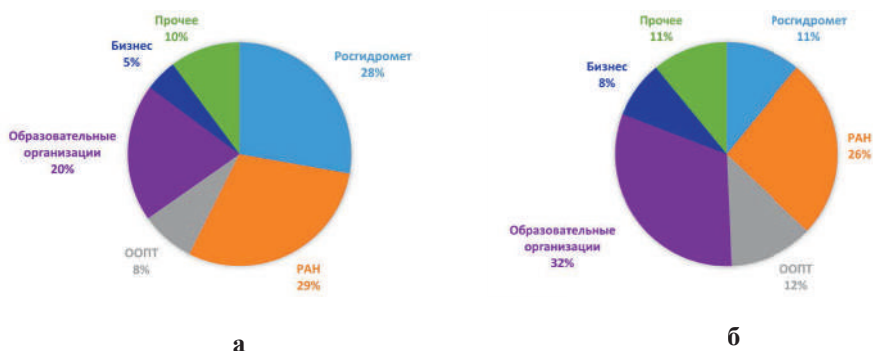


Рисунок 1. Представленность конференции по количеству участников (а) и организаций (б), в %

Figure 1. Number of participants (a) and organizations (b) of the conference, %

Такое распределение участников свидетельствует о высоком интересе к заявленной тематике, актуальности поставленных задач, а также быстром развитии науки и накоплении данных в области изменений климата и адаптации к ним. Из семи секций модераторами четырех выступили молодые ученые.

Ниже представлен обзор результатов и основные выводы по секциям конференции.

Пленарное заседание

Четвертая всероссийская научная конференция «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата» была открыта приветственной речью заместителя руководителя Росгидромета России В.В. Соколова. В своем выступлении он подчеркнул значимость проведения конференций, посвященных мониторингу изменений климата, их последствий и адаптации на базе научного института Росгидромета, пожелал успешной и продуктивной работы, а также обратил внимание на важность не только фундаментальных исследований в области климатологии и гидрометеорологии, но также прикладных, и их практического применения в условиях меняющегося климата на территории Российской Федерации.

Приветственное слово директора ФГБУ «ИГКЭ» А.А. Романовской перешло в первый научный доклад конференции, посвященный диспропорции в разработке и реализации митигации и адаптации в России. Представлен набор показателей, согласно которым, как это ни парадоксально звучит, развитие и реализацию мер адаптации в России в настоящее время можно оценить как примерно в 2 раза более успешные, чем в области митигации (рис. 2).

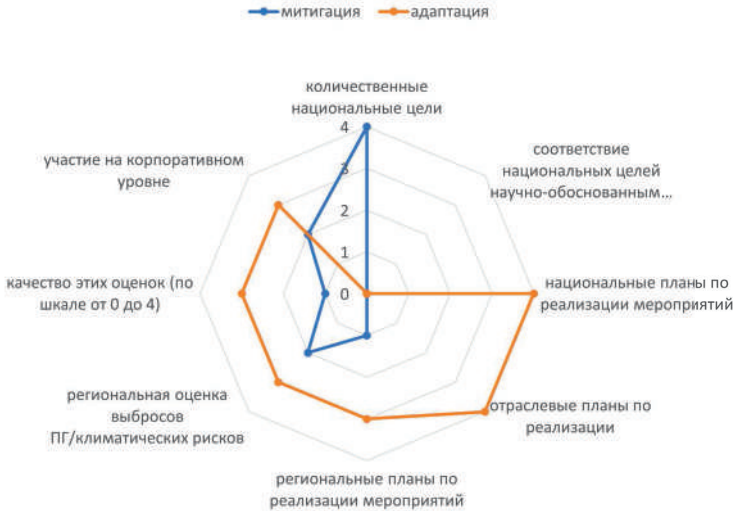


Рисунок 2. Сопоставление эффективности планирования и реализации митигации и адаптации в России

Figure 2. Comparison of mitigation and adaptation effectiveness in planning and implementation in Russia

В ходе Пленарного заседания обсуждался анализ многолетней динамики высоты тропопаузы. Анализ включал обработку статистических характеристик тропопаузы по данным радиозондирования 12 аэрологических станций Российской Федерации, для которых имеются качественные ряды данных за период 1978-2024 гг. Подтвержден рост высоты нижней границы (ВНГ) тропопаузы, причем скорость роста ВНГ тропопаузы за период с начала XXI века превышает как скорость роста за период с 1978 года до конца XX века, так и скорость роста ВНГ тропопаузы за весь рассматриваемый период 1978-2024 гг. Полученные результаты хорошо согласуются с представлениями об основных изменениях температурного режима в свободной атмосфере в XXI веке: продолжение потепления в тропосфере, происходящее в XXI веке с увеличивающейся скоростью; значительное похолодание в нижней стратосфере, наблюдавшееся до конца XX века (антропогенный процесс – разрушение озонового слоя, сохранение баланса между тропосферой и стратосферой); значительное уменьшение скорости похолодания в нижней стратосфере в XXI веке (существенное уменьшение эмиссии озоноразрушающих веществ за счет реализации Монреальского протокола, влияние теплеющей тропосферы). По полученным данным сформирован специализированный массив характеристик тропопаузы, демонстрационная версия которого представлена на портале meteo.ru.

Система мониторинга глобального климата, разработанная в ИГКЭ и функционирующая с 2015 г. (по территории России – с 1998 г.), представляет собой комплексную систему оценки климатических параметров, позволяющую отслеживать как общие тенденции изменения климата, так и региональные особенности климатических изменений, включая циркуляционные режимы в тропосфере и экстремальные режимы температуры и осадков над сушей Земного шара. На сегодняшний день 2024-й год в целом по Земному шару стал самым теплым годом в истории инструментальных наблюдений (потепление относительно доиндустриального периода 1850-1900 гг. составило $+1.44^{\circ}\text{C}$). В среднем по территории РФ 2024 г. оказался вторым самым теплым годом (аномалия $+1.21^{\circ}\text{C}$), а рекордно теплым пока остается 2020-й год (аномалия 2.02°C). Согласно представленным оценкам, статистически значимый восходящий тренд глобальной температуры (у поверхности) имеет место на любых отрезках времени от 10 до 100 лет, завершившихся не раньше середины 1970-х гг. На наш взгляд, этот тренд (с ~ 1976 г.) и есть «современное глобальное потепление», активная фаза которого началась именно в середине 70-х годов прошлого столетия. Протекает оно на суше почти вдвое активнее, чем на поверхности океанов, и в Северном полушарии вдвое интенсивнее, чем в Южном (на акваториях – в 1.8 раз).

Также в ходе Пленарного заседания рассматривалось воспроизведение современных и будущих изменений климата в мире и на территории России с помощью климатической модели ИВМ РАН. Показано, что модель хорошо воспроизводит наблюдаемый тренд температуры и осадков в России в 1980-2020 гг. Ожидаемые изменения климата в XXI веке по четырем сценариям, согласно модели, находятся примерно в середине интервала неопределенностей для современных моделей климата. В настоящее время рассматривается возможность воспроизведения моделью компонентов углеродного цикла.

Последствия изменений климата формируют климатические риски для населения, экосистем и разных отраслей экономики России. С учетом фрагментарности (или полного отсутствия) данных по ущербу, затрудняющей оценку климатического воздействия на разные объекты и отрасли экономики, предложено реализовывать подход по ранжированию объектов по степени риска. Подход был апробирован для субъектов Российской Федерации, в том числе на примере влияния аномальной жары на городское население, влияния водного стресса на сельское хозяйство, влияния интенсификации лесных пожаров на лесное хозяйство, влияния усиления осадков на инфраструктуру и население, влияния деградации вечной мерзлоты на жилищно-коммунальное хозяйство. Природный климатический риск при этом оценивался как среднее геометрическое компонентов риска (опасности, подверженности и уязвимости), а компоненты характеризовались одним или несколькими индикаторами, которые нормировались на диапазон от нуля до единицы. Были выделены регионы с наиболее высокими уровнями рисков.

Изменение климата в XXI веке в наибольшей степени проявляется в арктических зонах восточного и западного полушарий планеты. На примере р. Лена (Россия) и р. Маккензи (Канада) – крупнейших арктических рек,

испытывающих минимальную антропогенную нагрузку, проведено междисциплинарное исследование водного баланса и выявлены проблемы его эффективной оценки. Значительное влияние на водный баланс и, в первую очередь, на сток оказывают геологическое строение, характер почв, наличие оледенения. Бассейн р. Лены, северная и центральная части (до 50°с.ш.) Канады являются районами сплошного и островного развития многолетнемерзлых пород. Широкое распространения мерзлых грунтов, ледниковый рельеф, близкое залегание к поверхности водоупорных пород (Сибирская кристаллическая платформа, Канадский кристаллический щит) в сочетании с достаточной увлажненностью способствовали интенсивному развитию поверхностных вод – рек и озер, заболоченности, слабой эрозионной деятельности рек и скудности подземных вод.

Медицинские аспекты адаптации к изменениям климата охватывают широкий спектр вопросов, и не ограничиваются снижением воздействия волн жары. В последние годы все большее внимание уделяется проблемам психического здоровья в разных погодно-климатических ситуациях. Для России также актуальными являются вопросы воздействия холодового стресса на население, распространение аллергенов и трансмиссивных заболеваний. Важна система мониторинга опасных явлений, а также предупреждения населения, в том числе о возможных мерах профилактики заболеваний и их обострений, связанных с изменениями климата.

Также обсуждались результаты анализа реализованных мероприятий по адаптации в лесном хозяйстве за период 2019-2024 гг., который свидетельствует о переходе от разрозненных, точечных мер к более широкому внедрению адаптационных мер. Общий объем адаптационных мероприятий по пяти ключевым климатическим рискам увеличился на 47%. В целом наблюдается рост затрат на выполнение адаптационных мероприятий, однако эта динамика носила достаточно вариативный характер. Сохраняется высокая фрагментарность реализации мероприятий и значительная региональная дифференциация. Наибольшее внимание уделялось снижению риска лесных пожаров и изменению видового состава лесов, в то время как мероприятия по профилактике распространения фитофагов и патогенов остаются недостаточно распространёнными. Система адаптационных мер реагирует дифференцированно: отвечая на острые угрозы (лесные пожары), она игнорирует или недооценивает системные и долгосрочные риски (экстремальные погодные явления). Это создаёт уязвимость: меры, направленные на краткосрочное реагирование, не обеспечивают устойчивости лесных экосистем в долгосрочной перспективе. Результаты исследования подчеркивают необходимость разработки федеральной стратегии адаптации с унификацией терминологии, стандартизацией процедур мониторинга и оценкой эффективности мероприятий.

Проведение мероприятий по адаптации лесного хозяйства к изменениям климата предписывается лесными планами регионов России. Структура адаптационных мероприятий задается типовой формой лесного плана, которая не в полной мере учитывает пространственную специфику воздействия изменений климата на леса. В Сибири и на Дальнем Востоке значительные площади

лесов находятся на многолетней мерзлоте, испытывающей деградацию при потеплении. Нарушения лесного покрова, в том числе рубки, могут привести к развитию термокарстовых процессов вплоть до образования котловин. Для территорий с повышенной геокриологической опасностью предлагается ввести новую категорию защитных лесов – «леса с ограничением лесоэксплуатации в местах распространения многолетней мерзлоты».

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

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

Также были освещены ключевые проблемы разработки корпоративных планов адаптации: недостаточность или фактическое отсутствие ретроспективных климатических данных и прогнозов, ограниченная применимость существующих методических рекомендаций по вопросам адаптации к изменениям климата, неоднозначность понятия «климатически уязвимый объект»,

отсутствие отраслевых стандартов по адаптации практически для всех ключевых отраслей российской экономики, сложность идентификации мероприятий с адаптационной компонентой в условиях разнообразия производственных процессов. Аналогично отмечены ключевые проблемы реализации адаптационных проектов: отсутствие государственных мер финансовой и нефинансовой поддержки, стимулирующих инвестиции в адаптацию (включая отсутствие таксономии адаптационных проектов), дефицит релевантных инструментов страхования и опций снижения страховой премии при эффективном управлении климатическими рисками, необходимость оперативно осуществлять крупные инвестиционные проекты при реализации наиболее значительных острых физических климатических рисков, в отдельных случаях – сложность реорганизации производственных и управленческих процессов и регламентов. Рассмотрены практики взаимодействия крупного бизнеса и местных сообществ, включая формирование корпоративных информационно-просветительских и обучающих программ, поддержка субъектов МСП при реализации климатических рисков, заключение соглашений и совместная реализация различных климатических инициатив с местными и региональными властями; также изучен опыт использования новых климатообусловленных возможностей и создания продуктов и услуг для реализации проектов адаптации к изменениям климата (на примере ПАО «Северсталь»).

Секция «Мониторинг изменений климата и опасных гидрометеорологических явлений»

В докладах секции был рассмотрен широкий спектр вопросов, связанных с мониторингом изменений климата, анализом опасных гидрометеорологических явлений, состоянием снежного и почвенного покрова, а также оценкой климатических тенденций на региональных примерах. Работы охватывали как анализ данных наблюдательной сети гидрометеорологических станций Росгидромета, так и результаты реанализов, полевых измерений и климатического моделирования.

Влияние глобальных процессов на региональный климат было представлено на примере анализа аномалий климатической системы 2023 г. в экваториальных областях Индийского и Тихого океанов. Событие Эль-Ниньо 2023-2024 гг. относится к категории экстремально тёплых эпизодов за период с конца 1970-х годов. Установлено значимое влияние данного события на атмосферную циркуляцию Евро-Атлантического региона: в осенне-зимний сезон наблюдалось развитие интенсивной положительной фазы Восточно-Атлантического колебания, сопровождавшееся положительной фазой Северо-Атлантического колебания. Эти процессы привели к усилению циклонической активности над Северной Атлантикой и в Европе, включая европейскую часть России.

В докладах был приведен выполненный анализ многолетних рядов среднемесячной температуры воздуха и осадков января и июля на территории Санкт-Петербурга и Ленинградской области с использованием данных 22 станций и трёх климатических архивов. Расширенные и восстановленные ряды

позволили применить ensemble-подход СМIP6 для оценки будущих изменений климата. На основе скорректированных сценарных значений получены карты будущего распределения температур и осадков для ключевых месяцев и выполнено сравнение с современными климатическими условиями региона.

Обсуждены результаты анализа механизмов формирования аномально высоких температур в ходе волны тепла 2010 года, наиболее интенсивной за всю историю наблюдений на Европейской территории России. Показано, что экстремальные температуры в разные периоды волны тепла были обусловлены различными процессами, включая неадиабатический нагрев и адвекцию тёплого воздуха из юго-восточных регионов. Доклад уточняет роль термодинамических и циркуляционных факторов в формировании температурных экстремумов.

Также были представлены тенденции изменений температуры воздуха и атмосферных осадков в Астраханской области за период 1961-2020 гг. Установлен устойчивый положительный тренд как для среднегодовой, так и для сезонной температуры воздуха, тогда как динамика годовых сумм осадков носит циклический характер с тенденцией к уменьшению в последние десятилетия. Пространственное распределение осадков характеризуется выраженной сезонностью и преобладанием осадков в тёплый период года, что имеет важные последствия для водных ресурсов и природных систем региона.

Рассмотрены результаты оценки качества данных реанализа ERA5 на территории Дальневосточного федерального округа на основе сравнения с наблюдениями 180 метеорологических станций за период 1974-2024 гг. Анализ статистических метрик показал высокую согласованность долгосрочных климатических трендов между реанализом и наземными измерениями, однако выявил значительные сезонные расхождения в абсолютных значениях температуры, особенно зимой и весной, что связано со сложностью моделирования приземных инверсий и локальных эффектов рельефа.

Три доклада были посвящены вопросам мониторинга снежного покрова и его характеристик в условиях изменяющегося климата. На основе натурных наблюдений был проанализирован вертикальный профиль температуры в снежном покрове Иркутска и рассчитан послойный температурный градиент, что позволило выявить суточные и сезонные особенности теплового режима снега и показать существенную роль солнечной радиации в формировании температурных аномалий в верхних слоях снежной толщи. В другом докладе представлен картографический анализ дат установления устойчивого снежного покрова на территории России по данным научного волонтерства; с использованием ГИС-интерполяции построены изолинии, отражающие пространственную структуру начала снежного сезона, и показан потенциал волонтерских наблюдений для расширения сети климатического мониторинга при условии учёта их ограничений. Также были представлены результаты, направленные на модернизацию мониторинга влагозапаса в снежном покрове, ориентированные на повышение точности оценок и адаптацию методов наблюдений к условиям изменения климата, что имеет ключевое значение для гидрологического прогнозирования и оценки климатических рисков.

В ходе секции было уделено внимание исследованиям потоков CO_2 с поверхности напочвенного покрова в бореальных лесных экосистемах с сопоставлением естественных и нарушенных участков. Показано, что в естественных экосистемах величины потоков в основном определяются температурой и влажностью почвы, тогда как на нарушенных территориях решающую роль играет сам факт нарушения.

Обсуждены подходы к оценке климатических рисков для России и представлены результаты анализа связей между интенсивностью осадков и атмосферными условиями. Установлена положительная зависимость интенсивности осадков от температуры и влажности воздуха, причём для ливневых осадков эта связь выражена сильнее, чем для обложных. Статистический анализ показал, что при увеличении температуры воздуха на 1°C интенсивность ливневых осадков возрастает на 0.067 мм/мин, а обложных – на 0.022 мм/мин. Полученные зависимости подтверждают важность учёта температурных трендов при прогнозировании будущих гидрометеорологических рисков.

На примере Рязанской области были продемонстрированы результаты анализа динамики температуры почв в связи с изменением атмосферного климата за период 1961-2024 гг. Установлено устойчивое потепление почвенного профиля во все сезоны года, совпадающее по направлению с ростом температуры воздуха и увеличением высоты снежного покрова.

На секции были рассмотрены подходы к оптимизации мониторинга климатических характеристик морской среды в условиях роста значимости морских наблюдений при глобальном потеплении. Представлена система специализированных информационных продуктов, включающая ежегодный «Бюллетень гидрометеорологического состояния Черного моря» (издаётся с 2019 г.) и периодически обновляемый морской климатический справочник. Эти издания ориентированы на широкий круг пользователей и обеспечивают расширенный формат наблюдений за изменениями морской природной среды, отражая запросы различных категорий потребителей климатической информации.

Были представлены результаты совместного анализа данных рейса НИС «Академик Страхов» и спутниковых РСА снимков Sentinel-1, что позволило изучить холодное вторжение над Баренцевым морем 14 ноября 2021 года. Выявлено формирование конвективных ячеек размером 20-40 км с изменчивостью скорости ветра около 5 м/с. Спектральный анализ полей ветра показал наклон, близкий к $-5/3$, что соответствует режиму конвективной турбулентности. Результаты подтверждают важную роль мезомасштабных циркуляций в энергообмене и демонстрируют эффективность комплексного использования судовых и спутниковых измерений.

Секция «Мониторинг последствий изменений климата»

В докладах секции был обсужден широкий спектр вопросов, связанных с последствиями изменений климата для природных и антропогенных систем.

На примере территории Карачаево-Черкессии показано, как данные дистанционного зондирования могут быть использованы для оценки послед-

ствий изменений климата в регионе. С помощью цифровой модели рельефа (FABDEM) на основе данных о высоте поверхности и приуроченности мерзлотных процессов впервые для территории была составлена схематическая геокриологическая карта, содержащая информацию о типах сезонного промерзания, мощности многолетнемерзлых пород. Путём обработки углов наклона поверхности цифровой модели рельефа были выделены четыре зоны с различной степенью лавинной опасности. С помощью космических снимков Landsat и Sentinel за 2000-2024 гг. было измерено 14 наиболее крупных ледников республики. Зафиксировано сокращение от 11 до 22% их площади за период. На примере Байкальской природной территории, по данным космических снимков Modis, за XXI век был выполнен анализ динамики температуры земной поверхности и зафиксировано повышение (наиболее значительный рост наблюдался после 2014 г.): на 1.38°C в Прибайкалье, на 6.10°C в акватории Байкала и на 1.68°C и 1.64°C на территориях, прилегающих к суше (полосы, шириной 5 и 10 км от уреза воды).

Актуальной задачей является определение наиболее подверженных опасным гидрометеорологическим явлениям объектов. Мозаичность условий на локальном уровне определяет уязвимость и требует высокодетальных исследований. Так, для экосистем Черноморского побережья России на участке от Анапы до Геленджика на основе данных полевых описаний, анализа литературных источников и обработки спутниковых снимков Landsat и Sentinel была построена карта разнообразия (рис. 3). По данным ВНИИГМИ-МЦД, была рассчитана частота возникновения очень сильного ветра, очень сильного дождя, сильной жары и чрезвычайной пожарной опасности на трех станциях в районе исследования. В результате сопоставления расположения экосистем разного типа со спецификой опасных явлений было выявлено, что наиболее подвержены воздействию сильной жары (чрезвычайная пожарная опасность также высока) экосистемы можжевеловых и сосновых лесов на южных, юго-восточных и юго-западных склонах крутизной 20° и более. Сильному ветру в осенне-зимний период (норд-ост) – экосистемы полидоминантных широколиственных, грабовых и частично буковых лесов на склонах северных, северо-восточных и восточных экспозиций крутизной 20°-45°. В летний период экосистемы южных макросклонов находятся под воздействием сильных юго-западных ветров. Очень сильный дождь приводит к деградации экосистем как на южных, так и на северных макросклонах, особенно на крутых (30°-45°) и очень крутых (45°-60°) участках.

Обсуждались методологические подходы к исследованию метеореакции у компрометированных групп населения, для оценки уровня метеореакции использован информационно-энтропийный анализ. Показано, что в климатических условиях юга Дальнего Востока формируется патогенная метеореакция как у здорового населения, так и у лиц с бронхолегочной патологией. Выявлено, что при бронхиальной астме максимальный отклик иммунной системы проявляется на температурный режим: в зимний период – на низкие, в летний – на высокие температуры в сочетании с повышенной влажностью.

Актуальной задачей является оценка динамики атмосферных загрязнений и их последствий в разных погодно-климатических условиях. В докладах анализировались данные о концентрациях эфиров фталевой кислоты (дибутилфталата – ДБФ, диизобутилфталата – ДИБФ, диэтилгексилфталата – ДЭГФ) во взвешенных частицах приземного слоя атмосферы Владивостока. В условиях муссонного климата было установлено, что уровни ДБФ и ДЭГФ в городской зоне статистически значимо превышают таковые на острове Русский (6.22 и 10.39 $\text{нг}/\text{м}^3$ против 3.34 и 8.61 $\text{нг}/\text{м}^3$), что свидетельствует о доминирующем вкладе техногенных источников. Также была исследована зависимость газовой фазы концентраций полихлорированных бифенилов (ПХБ) в атмосферном воздухе, измеренных в г. Байкальске (Слюдянский район, Иркутская область) в 2022-2023 гг. от температуры почвы с использованием графиков линейной зависимости ($\ln PA - 1/T$). На основе равновесной термодинамической модели (уравнение Клаузиуса-Клапейрона) показано, что наклон линейной зависимости (m) отражает вклады дальнего переноса и поступления ПХБ от локальных источников. Низкий наклон линейной зависимости указывает на то, что концентрации ПХБ в атмосфере формируются за счет адвективного переноса воздушных масс на большие расстояния.

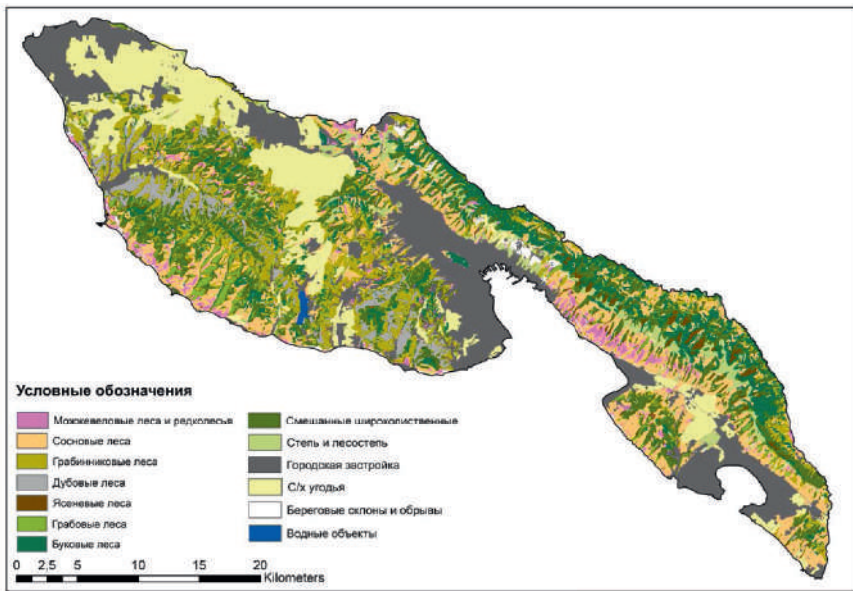


Рисунок 3. Экосистемы западной части черноморского побережья Кавказа

Figure 3. Ecosystems of the western Black Sea coast and Caucasus Mountains

Особое внимание в докладах было уделено гидрологическим объектам, их чувствительности к изменению режима температуры и осадков. Были представлены результаты анализа динамики выноса сульфатов арктическими реками бассейна Карского моря (рр. Обь, Надым, Пур, Таз и Енисей) за предшествующие 34 года. Показано, что в реках Обь, Надым, Пур и Таз увеличение выноса сульфатов вплоть до 2014 г. в основном было вызвано значительным увеличением их концентраций в воде. Однако с 2014 г. наблюдается противопо-

ложная тенденция – снижение концентраций сульфатов и, как следствие, их выноса. В воде р. Енисей, напротив, с 2015 г. колебания концентраций сульфат-ионов перестали быть стабильными и стали нарастать, а вместе с ними увеличивается и их сток. В то же время временная динамика главных ионов в воде р. Волга с 1991 по 2015 гг. демонстрирует снижение среднегодовых значений концентраций главных ионов и минерализации воды на Верхней Волге. В воде водохранилищ Средней Волги многолетняя динамика главных ионов чаще всего или отсутствует, или выявляется только в один из сезонов. В устьевой части Волги минерализация воды возрастает, особенно интенсивно – в периоды пониженной водности. Кроме того, в увеличении минерализации воды после Волгоградского водохранилища сказывается накопление хлоридов, а в устье – сульфатов и ионов магния. При этом в Камском и Воткинском водохранилищах в связи с потеплением климата в последние десятилетия было выявлено увеличение биомассы зоопланктона за счет роста количества ракообразных. Уровень биомассы в 2014-2023 гг. оказался в 2.5-3.0 раза выше отмеченного в 1950-1960-х гг. Обнаружена тенденция к изменению видового состава доминантов: с начала 70-х годов *Daphnia galeata* стала основным компонентом летнего зоопланктона (9% численности и 60% биомассы), с 2010 г. увеличилась численность (24-30%) термофильного рачка *Thermocyclops crassus*, который сменил в доминантном комплексе *T. oithonoides*.

В докладах подчеркивалось, что в условиях изменения климата точная оценка запасов гумуса в почвах критически важна для ведения национального кадастра парниковых газов и прогнозирования климатических последствий. Для восполнения недостающих данных широко применяются педотрансферные функции (ПТФ). На примере дерново-подзолистых почв УОПЭЦ «Чашниково» (Московская область) была проведена валидация уравнения Честных-Замолодчикова для расчета плотности и показано, что использование расчетных значений плотности не приводит к статистически значимым ошибкам в оценке запасов гумуса в слое 0-30 см для различных типов землепользования.

Представленные результаты многолетнего мониторинга чернично-сфагновых ельников в окрестностях Костромской биостанции ИПЭЭ РАН показали, что напочвенный покров чернично-сфагновых еловых и листовенно-еловых лесов очень стабилен, изменения покрытия преобладающих видов за 40 лет оказались невелики. В первую очередь, выявленные изменения были связаны с динамикой климатических параметров – температуры и влажности. К антропогенным нарушениям древесного яруса (вырубкам) доминантные виды напочвенного покрова оказались устойчивы.

В результате исследования аборигенной растительности на стационаре Международной совместной программы комплексного мониторинга влияния загрязнения воздуха на экосистемы (МСП КМ) на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника было сделано заключение о возможности проведения фонового экологического мониторинга, изучения сукцессии, а также выявления трендов уровня биоразнообразия экосистем на территории заповедника с помощью полученной информации.

На примере Кыргызстана был представлен комплексный анализ последствий изменений климата для территории: от деградации ледников и развития опасных гидрометеорологических процессов до сокращения биологического разнообразия и смещения границ экосистем. Особое внимание уделялось уязвимым пойменным экосистемам, а также усилению процессов опустынивания и деградации земель. Учитывался вклад как климатических процессов, так и прямых антропогенных нарушений.

Отдельные доклады были посвящены анализу последствий изменений климата для отраслей экономики, в частности – региональным проблемам транспорта. Так, по данным реанализа высокого пространственного разрешения ERA5-Land, были исследованы метеорологические факторы риска для наиболее крупных автомагистралей в Европейской части России в холодный период года за последние четыре десятилетия: сильные снегопады, переходы температуры воздуха через ноль градусов и метеорологические условия, характерные для гололедных явлений. Были определены участки автодорог с повышенным влиянием указанных неблагоприятных факторов, а наименьшее совокупное их воздействие проявилось на участках М-4 на Северном Кавказе.

Секция «Моделирование изменений климата и их последствий для природных и антропогенных систем»

В работе секции затрагивались актуальные вопросы моделирования природных и антропогенных последствий изменений климата, а также обсуждались насущные проблемы моделирования климатических изменений.

В одном из докладов представлена система RANGES – программный комплекс, предназначенный для расчёта климатических областей распространения природных явлений, в том числе – климатических ареалов видов. Ключевая особенность системы – использование вероятностного байесовского подхода при расчете вероятностной оценки принадлежности точки географического пространства к климатическому ареалу вида. Полученные характеристики позволяют проводить процедуры оценки рисков при климатических изменениях. В качестве результатов показаны оценки моделирования ареалов двух опасных переносчиков заболеваний человека: азиатского тигрового комара и таёжного клеща. Результаты показали, что при развитии экстремального климатического сценария RCP8.5 к середине XXI века ожидается значительное смещение их ареалов на север и восток России, что имеет важное значение для планирования мер в области здравоохранения. Пример результатов расчета системы RANGES, показывающий изменение расчетного климатического ареала таёжного клеща в 2050-2059 гг. по сравнению с 1990-1999 гг., согласно сценарию RCP8.5, представлен на рис. 4.

Также рассматривалась проблема инвазии самшитовой огневки – опасного вредителя растений, который изначально обитал в Азии, а сейчас активно распространяется по Европе. Авторы попытались смоделировать потенциальный ареал вида в Евразии, для чего собрали обширную базу данных о точках обнаружения огневки и использовали алгоритм градиентного

бустинга (XGBoost) для построения модели. Результаты показали, что существует множество территорий, где вредитель еще не зафиксирован, но климат для него благоприятен.

Были представлены результаты оценки того, как изменение климата повлияет на сибирского шелкопряда – одного из самых опасных вредителей хвойных лесов Сибири. Для этого моделировали потенциальный ареал вида к середине XXI века, сопоставив его с ареалами деревьев, которыми он питается (кедр, пихта, лиственница). Для расчетов использовалась российская климатическая модель INM-CM5-0 Института вычислительной математики РАН и два сценария: мягкий SSP1-2.6 (с учетом зеленой энергетики) и жёсткий SSP5-8.5. Результаты показали, что в обоих случаях ареал шелкопряда значительно расширится и сместится на северо-восток, причём при жёстком сценарии он может увеличиться вдвое. Важным выводом стало то, что зона благоприятного для вредителя климата будет расширяться быстрее, чем смогут мигрировать сами деревья, ограниченные распространением многолетней мерзлоты.

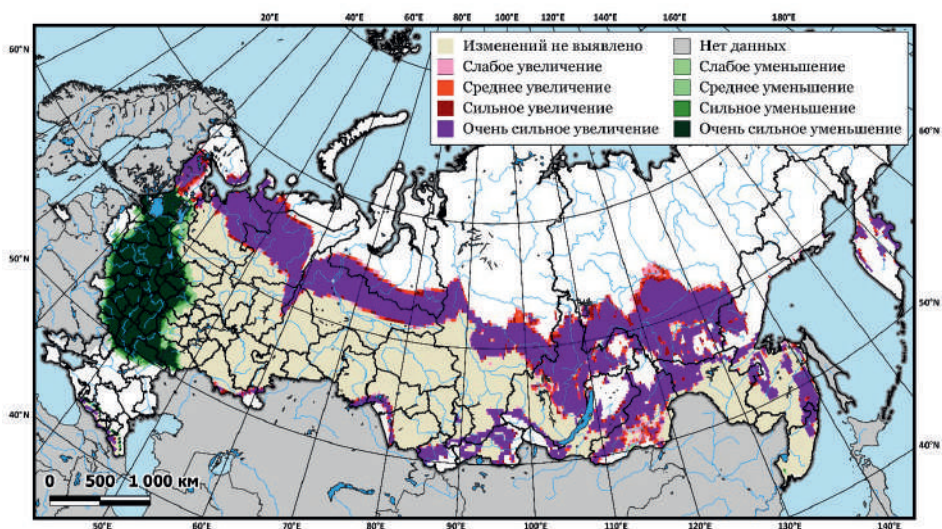


Рисунок 4. Изменение расчетного климатического ареала таежного клеща в 2050-2059 гг. по сравнению с 1990-1999 гг.; сценарий RCP8.5

Figure 4. Change in the estimated climatic range of taiga tick in 2050-2059 compared to 1990-1999; RCP8.5

Отдельное исследование было посвящено оценке современной и прогнозной степени благоприятности окружающей среды для гренландского кита и нарвала в западной части российской Арктики вплоть до 2100 года.

Представлено исследование о влиянии изменения климата на весенние половодья шести крупных рек европейской части России: Оки, Камы, Дона, Северной Двины, Печоры и Урала. С помощью комплекса гидрологических моделей ECOMAG и данных климатических моделей из CMIP6 были смоделированы изменения речного стока на период 2021-2050 гг. относительно величин, определенных для исторического базового периода 1985-2014 гг. Результаты показали, что весенние паводки будут начинаться и заканчиваться

раньше (на 3-11 дней), их общая продолжительность сократится, а объем стока и максимальные расходы воды снизятся. Наиболее заметное уменьшение стока половодья прогнозируется для рек Дон и Ока – до 12-14%.

В докладах обсуждался феномен рекордно низкой площади арктических льдов, зафиксированной в сентябре 2012 г. Проверялась гипотеза, согласно которой причиной рекорда является циркуляция в августе – диполь давления с циклоном над Северным Ледовитым океаном и антициклоном над северной частью Тихого океана. В результате сравнения данных климатических моделей СМIP6 с реальными данными (реанализ ERA5) было показано, что модели в целом верно воспроизводят общие атмосферные условия, приведшие к таянию льдов. Однако они значительно недооценивают реальный масштаб сокращения льда: показывают аномалию в 30-45%, в то время как фактические данные за 2012 год говорят о сокращении 60-70% льда. Высказано предположение, что современные климатические модели могут не до конца улавливать механизмы, приводящие к экстремальным событиям таяния.

Секция «Направления адаптации к изменениям климата, в том числе с применением основанных на природе решений»

В ходе секции обсуждались важные как теоретические, так и практические вопросы адаптации к изменениям климата. Подчеркивалось, что процесс адаптации начинается с изучения трендов изменения климата, а также опасных гидрометеорологических явлений для конкретного региона. Иногда целесообразно выделять не один, а несколько порогов интенсивности по степени разрушительного воздействия для объектов. Например, для экосистем юга Дальнего Востока использовалось два: опасный и катастрофический. На основе анализа многолетних данных было установлено, что к наиболее часто фиксируемым опасным для природных систем явлениям здесь относятся высокий снежный покров (до 70 дней в год) и очень сильный ветер (до 47 дней в год). Также часто наблюдаются: очень сильный дождь (до 6 дней в год), очень сильный снег (до 2 дней в год), сильные метели (до 16 дней в год). При этом сильный мороз, сильная жара, смерчи, чрезвычайная пожарная опасность, засухи наблюдаются реже одного раза в год (рис. 5).

В серии докладов был предложен и обоснован алгоритм адаптации сельского хозяйства к изменениям климата как часть общей региональной и отраслевой системы адаптации. Исследование выполнено на примере растениеводства в Кабардино-Балкарской Республике. По мнению авторов, на региональном уровне нецелесообразно ограничиваться адаптацией производства продукции растениеводства, а к изменению климата следует адаптировать систему: «растениеводство–перерабатывающая отрасль» с учетом взаимосвязей между ее элементами. Такой подход повысит эффективность системы, доходы региона. Система должна быть в состоянии обеспечить связанные с ней отрасли сырьем и, кроме этого, активное участие России в обеспечении глобальной продовольственной безопасности.

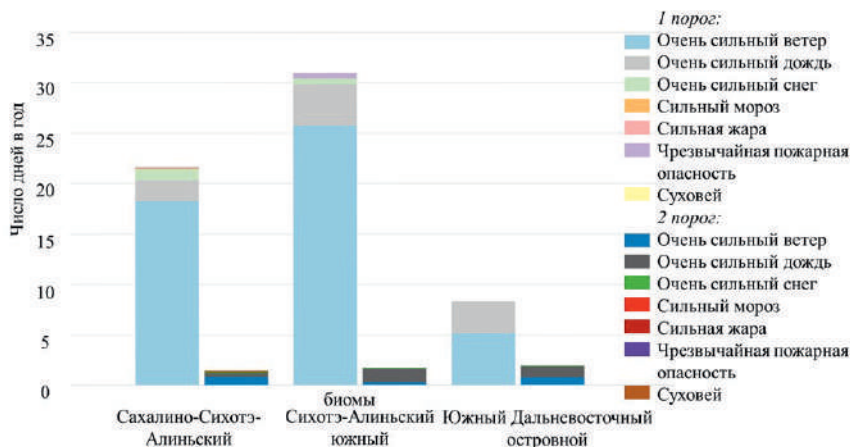


Рисунок 5. Среднее число дней в году с опасными гидрометеорологическими явлениями первого и второго порогового уровня опасности

Figure 5. Average number of days per year with dangerous hydrometeorological phenomena of the first and second thresholds

Было предложено активнее использовать природно-климатические решения для адаптации к изменениям климата в широком спектре отраслей и регионов.

Рассматривался потенциальный отклик углеродного баланса болотных экосистем на изменения климата на примере нескольких полигонов измерения потоков углекислого газа. Показано, насколько болотные системы чувствительны к изменению погодных условий. В большинстве случаев при прогнозируемых изменениях климата в регионах исследования ожидается увеличение эмиссии парниковых газов.

К чрезвычайно опасным и трудно обнаруживаемым явлениям относятся торфяные пожары, переживающие зимний сезон в активном состоянии. В докладах был описан механизм перехода в следующий пожароопасный сезон, когда очаги тления торфа дают начало другим видам ландшафтных пожаров, создавая угрозу для жизни и здоровья людей. На секции был предложен способ выявления тех болот, где развитие транссезонных пожаров наиболее вероятно, на основе данных спутникового мониторинга. Для решения задачи была собрана выборка по данным *Esri World Imagery* и вручную размеченным полигонам осушенных торфяников, а также использованы архитектуры сегментационных нейросетей: U-Net с различными энкодерами, DeepLabv3+ и FPN.

Также был представлен обзор зарубежных и российских источников на тему связи последствий изменения климата и состояния психического здоровья. Описывается ряд прямых, косвенных и опосредованных воздействий изменения климата на психическое здоровье, приведены основные уязвимые группы населения и направления адаптации. Эффекты для психического здоровья включают ухудшение состояния пациентов с уже диагностированными заболеваниями, формирование новых случаев расстройств, а также общее ухудшение эмоционального состояния. В настоящий момент наиболее изучены последствия экстремальных природных явлений. В меньшей степени в

научной литературе представлены примеры воздействия долгосрочного роста средней температуры и частого повторения экстремальных природных явлений, а также проявление симптомов сезонного аффективного расстройства.

Секция «Синергия адаптации и митигации»

Синергия митигации и адаптации к изменению климата может служить основой климатически устойчивого развития, когда борьба с изменением климата путем сокращения антропогенных выбросов парниковых газов и увеличения их поглощения не противоречит, а способствует экономическому росту, социальному благополучию и экологической стабильности. Доклады на секции были посвящены методическим аспектам мониторинга парниковых газов и других климатически активных веществ (КАВ), проблемам митигации и адаптации в секторах «Энергетика», «Транспорт», «Сельское хозяйство», «Лесное хозяйство», развитию природо-ориентированных решений.

В качестве основы для принятия мер по митигации и адаптации к современным климатическим изменениям было предложено развивать систему экологического мониторинга за содержанием КАВ. Система фонового мониторинга КАВ представлена как совокупность наблюдательных сетей Росгидромета и национальной сети мониторинга в наземных экосистемах России. Показаны различные подходы к формированию сетей наблюдения и предложена схема расположения станций системы фонового мониторинга. В отдельном докладе обсуждались возможности мониторинга парниковых газов в атмосфере: инвентаризация выбросов на основе пересчётных коэффициентов (метод «снизу-вверх») и прямые наблюдения за содержанием и потоками парниковых газов (метод «сверху-вниз»). Представлены примеры реализации рассматриваемых подходов за рубежом и в России.

Совершенствованию методов мониторинга выбросов парниковых газов в секторе «Сельское хозяйство» в национальном кадастре парниковых газов посвящен специальный доклад. Адекватная оценка потоков парниковых газов важна для разработки неотложных мер по адаптации и митигации в сельском хозяйстве. Пересчеты выбросов от осушенных органических почв, используемых в сельском хозяйстве (возделываемые земли, сенокосы и пастбища), связаны с получением новых исходных данных, представленных Минсельхозом и Почвенным институтом им. В.В. Докучаева. Дополнительно рассмотрены подходы к оценке изменения запасов углерода в органическом веществе минеральных почв сельхозугодий с использованием математического моделирования и данных Агрохимслужбы.

Отдельный доклад был посвящен методическим аспектам оценки изменения запасов углерода в пуле заготовленных лесоматериалов применительно к национальному кадастру парниковых газов. Расширенное использование заготовленных лесоматериалов с длительным сроком использования, а также замещение древесины строительных материалов с высоким углеродным следом имеет большой потенциал для митигации и адаптации.

Большой интерес вызвал доклад, посвященный анализу взаимосвязей между возобновляемой энергетикой (ВИЭ), смягчением антропогенного

воздействия и адаптацией к изменениям климата на примере Китая. В докладе рассмотрена эффективность ВИЭ в сокращении выбросов углекислого газа в семи провинциях Китая, а также региональные особенности адаптации к изменению климата с учетом развития ВИЭ. Выполнены оценки сокращения выбросов CO₂ за счет замены угольной генерации солнечными и ветро- электростанциями. Вклад ВИЭ в адаптацию к климатическим изменениям в рассмотренных провинциях имеет общие и региональные особенности, которые обусловлены географическими и социально-экономическими факторами.

Один из докладов посвящен транспорту, который является существенным источником выбросов парниковых газов и оказывает влияние на климат, а климатические изменения, в свою очередь, воздействуют на транспортную инфраструктуру и работу транспортных средств. В презентации проанализированы меры, направленные на снижение выбросов парниковых газов и адаптацию к факторам климатического риска в транспортном секторе. Сделан вывод о том, что комплексная реализация мер по адаптации и митигации способствует повышению устойчивости транспортного сектора к климатическим рискам, позволяет оптимизировать затраты и увеличить эффективность как краткосрочных, так и долгосрочных решений в области климата.

В отдельном докладе отмечено разнообразие форм использования энергетических ресурсов населением России и способность граждан существенно влиять на объемы потребляемого топлива и выбросы парниковых газов не только при непосредственном сжигании для бытовых и хозяйственных нужд, но и при потреблении тепловой и электрической энергии. Поэтому при анализе и разработке адаптационных мер к изменению климата необходимо учитывать все разнообразие форм потребления энергоресурсов населением. В докладе представлена методика исследования и результаты анализа данных потребления топлива населением на региональном уровне, что позволит выявить влияние климатических факторов на потребление топлива населением России.

Значительная часть докладов посвящена проблемам адаптации и митигации в сельском хозяйстве. В частности, рассмотрены особенности изменения в землепользовании Ярославской области на основе двух баз пространственных данных Европейского космического агентства и Института космических исследований РАН. На территории Ярославской области происходит как зарастание лесом сельскохозяйственных угодий, так и обратный процесс, однако в последние десятилетия наблюдается увеличение лесистости, что является положительным фактором смягчения климатических изменений.

Важной проблемы касается доклад, посвященный оценке скорости секвестрации углерода пахотными почвами Московской области с использованием: 1) методики ФАО, основанной на глобальных климатических данных и модели MIAMI для расчета чистой первичной продукции (NPP); 2) альтернативной методики с использованием модели Roth-C и локальных статистических данных Росстата об урожайности сельскохозяйственных культур и посевных площадях. Установлено, что использование данных Росстата позволяет получить более детализированную и точную пространственную оценку

потоков углерода. Рассчитанная по методике ФАО скорость секвестрации составила 0.09 т С/га в год, а по альтернативной методике – 0.31 т С/га в год. Предложенная методика позволяет выявить вариабельность потенциала секвестрации между муниципальными образованиями, что крайне важно для разработки адресных мер по адаптации и митигации.

Специальный доклад посвящен разработке технологии получения удобрений из микроводорослей (*Cyanobacteria*, *Chlorella*). Полученные результаты демонстрируют высокий потенциал микроводорослей в качестве эффективного способа утилизации CO₂ из газовых выбросов предприятий. Дополнительно исследуется возможность использования сточных вод в качестве питательной среды для культивирования микроводорослей. Проведена эколого-экономическая оценка технологии производства биоудобрения.

Отрасль сельского хозяйства наиболее уязвима к изменению климата, поэтому актуальна разработка и реализация климатических проектов на землях сельскохозяйственного назначения. В специальном докладе представлено несколько методологий климатических проектов, разработанных ФГБУ «ИГКЭ» и нацеленных на поддержание плодородия и секвестрацию углерода в почве: 1) изменение запасов углерода в почве пахотных земель; 2) замена синтетических удобрений путем внесения побочных продуктов животноводства; 3) увеличение накопления углерода в сельскохозяйственных почвах по результатам агролесомелиорации и агрофитомелиорации.

Большой потенциал климатических проектов по вторичному обводнению осушенных торфяников на примере Московской области показан в одном из докладов. Такие проекты способствуют восстановлению водно-болотных угодий, а также сокращению выбросов от торфяных пожаров, увеличению накопления углерода в торфе, но увеличению выбросов метана. Обводнение приводит к резкому сокращению выбросов от пожаров по сравнению с уровнем пожарных нарушений в 2001-2023 гг.

Специальный доклад посвящен анализу лесоклиматических проектов, реализованных в России. Такой тип проектов менее популярен по сравнению с технологическими. Из 84 климатических проектов, зарегистрированных на сайте carbonreg.ru, только 5 относятся к лесоклиматическим, из которых один проект посвящен охране лесов от пожаров, а остальные четыре представляют собой проекты по лесовосстановлению и лесоразведению. Проекты по лесоразведению и лесовосстановлению отличаются высоким риском непостоянства и в основном представляют собой монокультуры, отличающиеся повышенной пожароопасностью и низким уровнем биоразнообразия, кроме того, выявлено некорректное использование методик для расчета результатов и невысокое качество проектной документации.

Секция «Адаптация к изменениям климата на ООПТ»

На секции были представлены результаты научных исследований на федеральных ООПТ, расположенных в различных регионах России. В их числе: государственный природный заповедник «Таймырский» (Краснояр-

ский край), Тункинский национальный парк (Республика Бурятия), национальные парки Урала «Таганай» и «Зигальга» (оба в Челябинской области). В лесной зоне Европейской части России исследования проводились в национальных парках «Угра» (Калужская область), «Куршская коса» (Калининградская область), Центральном-Лесном биосферном заповеднике (Тверская область), государственном природном заповеднике «Кивач» (Республика Карелия). На всех ООПТ выявлены последствия воздействия климатических изменений на экосистемы. В ряде представленных на сессии кейсов показано, что изучение естественной адаптации видов и экосистем, развитие мониторинга динамики основных характеристик под воздействием изменений климата наиболее эффективно реализуются в партнерских отношениях учреждений Минприроды России, осуществляющих управление ООПТ, с профильными научно-исследовательскими институтами РАН, Росгидромета, университетами и некоммерческими природоохранными организациями.

В заповеднике «Кивач» сотрудниками Карельского научного центра РАН выявлено, что уровень болотных вод становится одним из ключевых индикаторов изменения биологических, химических и физических процессов на болоте. Полученные данные суточных измерений CO_2 с поверхности олиготрофного болота позволяют охарактеризовать динамику выбросов в зависимости от основных микроклиматических условий, которые определяют направление тепловой энергии и стимулирование специфических реакций экосистемы в виде выбросов CO_2 .

Большую угрозу природным комплексам представляют растительные пожары в национальных парках, усиление которых отмечается в Челябинской области. При участии неправительственной организации «Центр профилактики ландшафтных пожаров» для снижения пожарной опасности и адаптации к новым климатическим условиям проводится комплекс мер, сочетающих методы пространственного, пирологического и социологического анализа.

В Тункинском национальном парке исследования проводятся в сотрудничестве с Институтом мониторинга климатических и экологических систем СО РАН и Институтом географии им. В.Б. Сочавы СО РАН. Территория Тункинского национального парка является селеопасным районом. Поэтому одним из климатических факторов, который нужно особо учитывать при оценке климатообусловленных рисков, являются атмосферные осадки. Еще одним объектом исследования в национальном парке является многолетняя мерзлота, приуроченная к озерно-болотному комплексу в центральной части Тункинской котловины и к предгорьям Хамар-Дабана. При современном потеплении и дополнительном антропогенном влиянии (чаще всего при возникновении пожаров по вине человека) наблюдается деградация многолетней мерзлоты и опускание ее верхней границы. Вследствие чего изменяется гидротермический режим верхних слоев почвы, что может привести к различным изменениям в функционировании инфраструктуры (дорог, линий электропередач и др.).

В национальном парке «Куршская коса» с изменением климата связана посещаемость парка и состояние береговой линии. Необходимо восстановле-

ние аварийных участков, включая строительство и реконструкцию берегового защитного вала (авандюны), а также проведение берегозащитных мероприятий, снижающих негативное волновое воздействие на берег и способствующих формированию широких пляжей, включая намыв пляжей и строительство пляжеудерживающих сооружений, вдоль береговых волноломов. Адаптация к климатическим изменениям в управлении туризмом в национальных парках должна быть направлена на минимизацию негативного воздействия туристско-рекреационной деятельности, в том числе внедрение комплексного рекреационного мониторинга.

В Центрально-Лесном биосферном заповеднике с 1990-х годов в сотрудничестве с рядом институтов РАН, Росгидромета и университетов проводятся комплексные долговременные исследования климатических изменений и их воздействий на экосистемы заповедника. Полученные результаты в соответствии с рекомендациями программы ЮНЕСКО «Человек и Биосфера» используются не только в научных работах, но и в практике управления. Необходимо донести до лиц, принимающих решения, и экономически-активного местного населения проблематику климатических изменений. Требуется разъяснительная работа с лесопользователями о необходимости изменений системы лесопользования и усиления противопожарных профилактических мероприятий как мерам адаптации к изменению климата. Для отдела экопросвещения и туризма биосферного заповедника это означает расширение целевых групп, тематики и контента просветительских программ. Климатическая повестка может использоваться в экскурсионной и образовательной программах, поскольку изменения в природных комплексах доступны для наблюдений в ходе ознакомительных экскурсий.

Во всех докладах сессии отмечалась необходимость развития мониторинга последствий изменения климата на ООПТ, модернизации существующей системы мониторинга с учетом выявленных климатических изменений и возросших технических возможностей. Готовятся прогнозные оценки изменений, которые могут быть учтены в среднесрочном и долгосрочном планировании деятельности на ООПТ.

Секция «Адаптация к изменениям климата на корпоративном уровне»

В ходе секции обсуждались разнообразные прикладные решения, повышающие эффективность управления климатическими рисками и адаптации к изменениям климата на корпоративном уровне.

Показана высокая практическая значимость использования современных средств дистанционного зондирования Земли и разработки различных информационно-технологических платформенных решений для оценки возможного и фактического ущерба при реализации климатических рисков. При этом были определены не только существующие и перспективные возможности и сценарии использования, но и актуальные управленческие риски эксплуатации подобных систем, включая кадровые и санкционные.

Было предложено активно внедрять практики климатического риск-профилирования не только для крупных единиц административно-территориального деления, но и для отдельных муниципальных районов, населенных пунктов, производственных (корпоративных) площадок. Продемонстрированы возможности современных информационно-технологических решений, предполагающих использование алгоритмов машинного обучения и иных методов «слабого искусственного интеллекта» для решения прикладных задач по оценке уязвимости и подверженности активов различным климатическим рискам.

Был представлен обзор ключевых «универсальных» проблем и стоп-факторов при реализации адаптационных программ. В их числе:

- дефицит климатической информации, отсутствие упорядоченного взаимодействия между всеми заинтересованными сторонами как в пределах, так и за пределами отдельных компаний (в том числе с региональными властями);

- трудность привлечения финансирования под адаптационные проекты в условиях отсутствия соответствующей таксономии и высокой степени неопределенности климатических рисков;

- отсутствие практико-ориентированной методологии оценки климатических рисков (в том числе в части построения финансовых моделей и последующей организации эффективного управления климатическими рисками) и отраслевых стандартов, пособий, методических рекомендаций по управлению физическими климатическими рисками; на примере целлюлозно-бумажной промышленности показано, что наличие отраслевого стандарта способствует повышению осведомленности менеджеров компаний и обеспечивает определенный рост уровня климатического риск-менеджмента.

Также был представлен обзор лучших секторальных практик по адаптации. В зависимости от сектора экономики в их число попеременно входят планировочные, оперативные, технологические, инженерно-технические, экосистемные решения.

В ходе секции были рассмотрены значительные межрегиональные различия в части применения такого инструмента, как страхование. Даже сопоставимые по климатическим условиям регионы существенно отличаются как по уровню «риск-культуры» (фактически – популярности страховых услуг) физических и юридических лиц, так и по размерам средних страховых выплат.

Для комплексного управления климатическими рисками в такой высокоуязвимой отрасли экономики, как лесное хозяйство, предложено активнее использовать инструменты добровольной лесной сертификации.

Заключение

Представленные на конференции доклады осветили в той или иной степени все этапы процесса адаптации к изменениям климата: от мониторинга метеорологических параметров, их анализа, прогноза изменений климата до оценки климатических рисков, разработки и внедрения практических мер адаптации.

Подробно с полными текстами докладов можно ознакомиться в сборнике материалов конференции: Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата. Материалы IV всероссийской научной конференции с международным участием. Москва, 24-28 ноября 2025 г. М.: ФГБУ «ИГКЭ», 2025. 367 с.

Все материалы доступны на сайте конференции по ссылке: <http://www.igce.ru/mspe2025/>, а также в электронной научной библиотеке: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=83157143>.

Статья поступила в редакцию (Received): 16.12.2025.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 01.02.2026.

Принята к публикации (Accepted): 17.02.2026.

Для цитирования / For citation:

Липка, О.Н., Андреева, А.П., Антипина, У.И., Белов, Е.И., Богданович, А.Ю., Буйволов, Ю.А., Володин, Е.М., Журавлева, Н.С., Замолодчиков, Д.Г., Константинов, А.В., Коротков, В.Н., Ревич, Б.А., Романовская, А.А., Стерин, А.М., Черногаева, Г.М., Чернокульский, А.В. (2026) Четвертая всероссийская научная конференция «Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды: адаптация к изменениям климата», *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 12, № 1, с. 8-32, doi:10.21513/2410-8758-2026-1-8-32.

Lipka, O.N., Andreeva, A.P., Antipina, U.I., Belov, E.I., Bogdanovich, A.Yu., Buivolov, Yu.A., Volodin, E.M., Zhuravleva, N.S., Zamolodchikov, D.G., Konstantinov, A.V., Korotkov, V.N., Revich, B.A., Romanovskaya, A.A., Sterin, A.M., Chernogaeva, G.M., Chernokulsky, A.V. (2026) The Fourth All-Russian Scientific conference "Monitoring of the environment state and pollution: adaptation to climate change" results, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 12, no. 1, pp. 8-32, doi:10.21513/2410-8758-2026-1-8-32.