

УДК 551.58

РОССИЙСКИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 2019–2022 гг.

© 2023 г. И. И. Мохов^{a, b, *}

^aИнститут физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Пыжевский пер., д. 3, Москва, 119017 Россия

^bМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, 119992 Россия

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 31.08.2023 г.

После доработки 07.11.2023 г.

Принята к публикации 15.11.2023 г.

Представлены результаты российских исследований климата и его изменений (опубликованных в 2019–2022 гг.) на основе обзора, подготовленного для Национального доклада по метеорологии и атмосферным наукам к XXVIII Генеральной ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Берлин, Германия, 11–20 июля 2023 г.).

Ключевые слова: глобальные и региональные климатические изменения, моделирование, естественные и антропогенные факторы, адаптация, регулирование

DOI: 10.31857/S0002351523070106, **EDN:** BONZIT

1. ВВЕДЕНИЕ

Цель данного обзора — представить информацию о результатах российских исследований климата и его изменений (опубликованных в 2019–2022 гг.) для Национального отчета России по метеорологии и атмосферным наукам за 2019–2022 гг. к XXVIII Генеральной ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Берлин, Германия, 11–20 июля 2023 г.) [Russian National Report, 2023] (см. также [Мохов, 2023]). Предыдущий аналогичный обзор был опубликован в [Мохов, 2020] (см. также [Мохов, 2019; Russian National Report, 2019]). Росгидромет ежегодно публикует доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации (<http://meteorf.ru>), в 2022 г. был опубликован Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации [Третий оценочный доклад, 2022], регулярно информация об исследованиях климата публикуется в бюллетене “Изменение климата”.

Проблема изменений климата — одна из ключевых глобальных проблем. Современные изменения климата с увеличением глобальной приповерхностной температуры сопровождаются быстрым ростом региональных природных аномалий. При этом наиболее значимый вклад связан с гидрологическими и метеорологическими экстремальными явлениями (<https://www.munichre.com/>). Последние десятилетия характеризуются значительными глобальными и региональными климатическими изменениями, особенно в высоких широтах [Доклад об особенностях климата, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023; Russian National Report,

2019, 2023; Мохов, 2020; Третий оценочный доклад, 2022]. Максимальное потепление в последние полвека в арктических широтах достигало значений около 5°C — в пять раз больше, чем для Земли в целом. Наибольшая скорость температурных изменений в арктических широтах — так называемое Арктическое усиление — формируется под влиянием ряда климатических обратных связей, в том числе из-за зависимости альбедо поверхности от температуры.

В России, как северной стране, современное повышение средней приповерхностной температуры на 0.5°C за десятилетие более, чем вдвое превышает скорость глобального потепления. При этом и внутригодовые и межгодовые температурные вариации в России в целом также значительно превышают глобальные вариации. В связи с этим проблема климатических изменений и связанных с ними экологических изменений в российских регионах имеет особое значение, в том числе социально-экономическое и политическое. Тем более, что Россия подписала и ратифицировала Парижское соглашение — международное соглашение в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

2. КЛИМАТ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ, ДАННЫМ РЕАНАЛИЗА И ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЯМ

В рамках климатических исследований по данным наблюдений в сравнении с данными реанализа и палеореконструкции в последние годы получено много значимых результатов (см. список

литературы). Также отмечены значительные современные глобальные и региональные изменения климата, особенно в высоких широтах.

Широкий спектр результатов исследований климатических аномалий и изменений на региональном и глобальном уровнях, полученных в последние годы, представлен в Третьем оценочном докладе об изменении климата и его последствиях на территории Российской Федерации, опубликованном в 2022 г. [Третий оценочный доклад, 2022].

По данным Росгидромета (<https://www.meteorf.gov.ru/>), линейный тренд общего потепления в России, заметно проявившийся с середины 1970-х гг., объясняет более 50% межгодовой дисперсии среднегодовой приповерхностной температуры [Доклад об особенностях климата, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023]. За последние полвека во всех регионах России и во все времена года отмечается общее потепление. Максимальная скорость потепления в арктических регионах достигает и превышает 1 К за десятилетие. Осадки имеют тенденцию менять знак в зависимости от региона. В то же время количество осадков в год для России в целом значительно увеличилось за последние полвека со скоростью около 2% за десятилетие. Количество осадков увеличивается во все сезоны, но наиболее значительно весной. На значительной части территории России наблюдается тенденция к уменьшению продолжительности снежного покрова и, вместе с тем, к общему увеличению максимальной высоты снежного покрова в течение зимы. Потепление в Арктике сопровождается сокращением площади морского льда в Северном Ледовитом океане, и это еще более заметно на Северном морском пути [Климат Арктики, 2022].

Данные измерений с 1990 года мощности сезонно-талого слоя, являющегося индикатором состояния многолетнемерзлых грунтов, в рамках Международной программы мониторинга CALM (Circum Polar Active Layer Monitoring) свидетельствуют об общей устойчивой тенденции увеличения глубины таяние вечной мерзлоты в XXI веке. В последние десятилетия наметилась тенденция к увеличению продолжительности вегетационного периода (с температурами выше 5°C) со средней для России скоростью около 4 дней в десятилетие, при этом весенний переход через 5°C происходит раньше на около 2 дней каждое десятилетие. На фоне потепления в России наблюдается общее снижение скорости приземного ветра во все сезоны. Отмеченные климатические изменения проявляются на фоне закономерного повышения концентрации CO₂ в атмосфере, в том числе по измерениям на российских арктических станциях Териберка и Тикси, среднегодовая концентрация CO₂ превысила 420 ppm. В то же время

после 2020 г. при минимальном годовом увеличении концентрации CO₂ около 2 млн⁻¹ годовой прирост превысил 3 млн⁻¹.

Для диагностики механизмов формирования климатических изменений с оценкой роли природных и антропогенных факторов необходимы исследования изменений температуры на разных уровнях атмосферы. По данным Росгидромета, при общем потеплении в последние десятилетия тропосферного слоя на 850–300 гПа в Северном полушарии (СП) со скоростью около 0.2 К за десятилетие нижняя стратосфера (слой 100–50 гПа) охлаждалась на скорость примерно в два раза больше – около –0.4 К за декаду. В то же время в тропических широтах скорость охлаждения нижней стратосферы примерно в 3.5 раза превышает скорость нагрева тропосферного слоя над пограничным слоем [Доклад об особенностях климата, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023]. В [Dalin et al., 2020] представлены результаты анализа данных по температуре на уровне мезопаузы за период 2000–2018 гг. По полученным оценкам температура на уровне мезопаузы статистически значимо снижалась в летние сезоны со скоростью –2.5 К за десятилетие; в зимние сезоны изменения оценены как статистически незначимые.

На фоне стремительного потепления в последние десятилетия наиболее заметные изменения проявляются в частоте и интенсивности экстремальных погодно-климатических явлений, в частности в регионах России [Бардин, Платова, 2019, 2022; Доклад об особенностях климата, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023; Russian National Report, 2019; Куликова и др., 2022; Мохов, 2022; Мохов, Тимажев, 2022а, 2022б]. По данным Росгидромета, с конца XX века количество опасных метеорологических явлений в России увеличилось более чем в два раза. Средняя скорость роста их числа за последнюю четверть века составляла около двух десятков явлений в год. При этом доля экстремальных явлений летом превышает 40% от их количества в целом году [Мохов, 2022]. В формировании экстремальных погодно-климатических явлений особый вклад связан с гидрологическим циклом. В том числе с потеплением увеличивается вероятность выпадения экстремальных осадков из-за увеличения влагоемкости атмосферы. К наиболее частым явлениям в регионах России относятся экстремальные осадки, особенно в летние месяцы, а также сильные ветры.

В [Chernokulsky et al., 2019] представлены количественные оценки многолетних изменений различных типов осадков, включая конвективные осадки, в регионах Северной Евразии за последние полвека. Из исходных 538 станций основной анализ проводится для 326 станций с более полными данными. Отмечено увеличение

общего количества осадков за анализируемый период с относительно сильным ростом конвективных осадков и одновременным уменьшением осадков из слоистых облаков. Основные изменения общего количества осадков, их интенсивности и количества сильных осадков проявляются в летние сезоны. Существенно, что вклад сильных конвективных ливней в общее количество осадков статистически значимо увеличивается для протяженных регионов Северной Евразии. При этом осадки, связанные со слоистыми облаками, в целом уменьшаются для большинства регионов Северной Евразии во все сезоны, кроме зимнего.

В [Чернокульский и др., 2022] проведен анализ изменения повторяемости и интенсивности опасных конвективных явлений, в том числе сильных ливней, гроз, града, шквалов, смерчей) в регионах России в теплые сезоны с использованием различных данных. Получены количественные оценки повторяемости гроз, кучево-дождевых облаков, града, сильного ветра, экстремальных ливневых осадков на основе данных наблюдений на российских метеорологических станциях для периода 1966–2020 гг. Сделаны количественные оценки повторяемости и интенсивности смерчевых и шкваловых событий, вызвавших ветровалы (1986–2021 гг.), высоты верхней границы облаков глубокой конвекции (за 2002–2021 гг.) с использованием спутниковых данных. На основе данных реанализа ERA5 получены оценки повторяемости условий, характерных для развития умеренных и интенсивных опасных конвективных явлений. Полученные результаты свидетельствуют об общей интенсификации конвективных процессов и явлений в большинстве регионов России.

Наиболее сильные региональные погодно-климатические аномалии связаны с блокинками — блокированиями зонального переноса в тропосфере средних широт, и их предсказуемость имеет не только фундаментальное, но и прикладное значение [Бардин, Платова, 2019, 2022; Бондур и др., 2020; Куликова и др., 2022; Мохов, 2022; Мохов, Тимажев, 2022а, 2022б]. Проблема предсказуемости атмосферных блокировок в Северном полушарии на внутрисезонных временных масштабах рассматривается в [Куликова и др., 2022] с использованием операционного варианта полулагранжевой модели атмосферы для долгосрочного прогнозирования (SL-AV), а также сопряженной модели атмосфера—океан. модель и реанализ. В [Бардин и др., 2022] рассмотрены особенности изменчивости антициклонической активности, в том числе блокирующей, в атмосфере средних широт Северного полушария с середины XX века в разные сезоны. Отмечена существенная связь между характеристиками антициклонической деятельности и ведущими модами климатической изменчивости.

В [Бардин, Платова, 2019] представлены результаты анализа климатической изменчивости, в частности температурных экстремумов, в регионах России по данным о среднесуточной приземной температуре на 367 станциях за 1960–2016 гг. Отмечено, что с 1980-х годов количество дней с экстремально высокими летними температурами в европейской части России монотонно растет, с сильными пиками в отдельные годы, а в азиатской части — с начала 2000-х рост приостановился. При этом уменьшается количество отрицательных температурных аномалий. Изменения зимних сезонов в целом соответствуют общему тренду потепления, при этом колебания в азиатской части соответствуют ведущим режимам атмосферной циркуляции, включая Североатлантическое колебание и Скандинавский режим. Статистика индексов экстремальности в противоположных фазах режимов выявила сильный отклик зимой, что позволяет качественно объяснить особенности многолетних вариаций.

Для понимания особенностей современных изменений климата особое значение имеют палеоклиматические исследования [Безверхний, 2019а, 2019б; Екайкин и др., 2021; Мухин и др., 2021; Loskutov et al., 2022; Mukhin et al., 2019]. В [Мухин и др., 2021], в частности, представлен обзор приложений метода построения оптимальных эмпирических моделей для климатических систем, в том числе для палеоклиматических систем. Этот метод, включающий построение редуцированных моделей исследуемой системы в форме случайных динамических систем в сочетании с байесовой оптимизацией структуры модели позволяет реконструировать статистически обоснованные закономерности, в том числе для палеоклиматических изменений, в частности в плейстоцене с ледниковыми циклами, а также для явлений Эль-Ниньо-Южное колебание на масштабах порядка года и для климата тропической части Тихого океана на столетних масштабах. Климатические аномалии последних лет свидетельствуют не только об увеличении риска экстремальных явлений, но и о новых процессах и явлениях, характеризующих достижение определенного критического уровня изменения климата. По результатам анализа современных климатических изменений с использованием наряду с данными наблюдений и палеекострукций модельных оценок с учетом природных и антропогенных факторов можно сделать вывод, что в ходе потепления последних десятилетий климатическая система Земли вышла на режим, сравнимый с режимом оптимум голоцена [Мохов, 2022].

3. ТЕОРИЯ КЛИМАТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Различные направления теории климата и проблемы моделирования климатической системы

рассматриваются в публикациях, ссылки на которые приведены в списке литературы). В рамках исследований используются климатические модели и модели земной системы разной степени сложности — от простейших концептуальных моделей до наиболее сложных и детальных глобальных и региональных моделей. Разрабатываются новые параметризации, алгоритмы и модельные блоки для развития климатических моделей и моделей земной системы в целом. Все более активно развиваются модели земной системы, включающие взаимодействие климатической системы с естественным углеродным циклом и другими природными циклами.

Разносторонние численные эксперименты проводятся с климатической моделью общей циркуляции и моделью земной системы в ИВМ РАН, в том числе в рамках международного проекта сравнения климатических моделей CMIP 6 [Володин, 2019, 2020, 2021a, 2021b; Володин, Грицун, 2020]. Результаты проведенных модельных расчетов используются, в том числе, в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC).

Развитие моделей Земной системы предполагает, в частности, более детальный учет верхних слоев атмосферы, в том числе ионосферы. В [Дымников и др., 2020] представлена совместная модель глобальной динамики термосферы и ионосферы Земли (для высот 90–500 км). Модель базируется на трехмерной модели общей циркуляции термосферы и динамической модели F — слоя ионосферы, учитывающей плазмохимические процессы, амбиполярную диффузию и адвективный перенос ионов за счет нейтрального ветра. Предложенная модель способна в целом воспроизводить основные характеристики верхней атмосферы. Исследована чувствительность характеристик термосферы к параметрам ионосферы и чувствительность распределения поля электронной концентрации в F — слое ионосферы к параметрам термосферы при заданном суточном цикле.

В [Karagodin et al., 2019] представлены результаты исследования ионосферного потенциала с использованием химико-климатической модели SOCOL (Solar Climate Ozone Links). При этом использовалась параметризация разности электрических потенциалов между поверхностью Земли и нижней границей ионосферы в зависимости от грозных и наэлектризованных свойств облаков. Полученные результаты способствуют пониманию особенностей изменения ионосферного потенциала в суточном и годовом ходе. Проведено сравнение с соответствующими исследованиями с использованием климатической модели INMCM4 с подобной параметризацией ионосферного потенциала.

В [Елисеев и др., 2019] представлены результаты оценки регионального влияния учета атмосферного блока сернистого газа на наземный углеродный цикл на основе численных экспериментов с клима-

тической моделью промежуточной сложности (КМ ИФА РАН).

Ряд интересных результатов получен в области модельных исследований механизмов климатической изменчивости, включая исследование особенностей проявления и механизмов формирования квазициклических климатических мод и их влияния на глобальные процессы [Володин, 2019, 2020; Дианский, Багатинский, 2019; Яковлев, Смышляев, 2019; Polonsky, 2019; Кузнецова, Башмачников, 2021]. В том числе исследуются климатические процессы, связанные Атлантической мультidesятилетней осцилляцией, квазиду-хлетней циклическостью, явлениями Эль-Ниньо.

В обзоре [Studholme et al., 2021] рассмотрены вопросы моделирования изменений режимов тропических циклонов, циркуляции Хэдли и струйных течений в атмосфере при глобальном потеплении. Сделан вывод о том, что в XXI веке вероятно наибольшее расширение широтного ареала проявления тропических циклонов за последние 3 млн лет. Также оцениваются тенденции проникновения тропических циклонов во вне-тропические широты.

Целый ряд климатических исследований выполнен с использованием концептуальных моделей [Мурышев и др., 2019, 2021; Петров, 2019; Bekryaev, 2019; Soldatenko, 2019, 2020, 2021; Солдатенко, Юсупов, 2019; Alexandrov et al., 2020a, 2021, 2022; Colman, Soldatenko, 2020; Мохов, Порошенко, 2021a, 2021b; Ryashko et al., 2021; Мохов, 2022]. В [Bekryaev, 2019], в частности, особенности климатической изменчивости в Северной Атлантике изучаются с помощью простой стохастической модели, использующей случайное воз-действие для моделирования теплообмена между атмосферой и океаном и влияния на температуру поверхности океана Атлантической меридиональной циркуляции. В частности, связь между индексами Атлантической меридиональной циркуляции и Атлантической мультidesятилетней осцилляции зависит от океанических обратных связей и интенсивности диссипации.

В [Мохов, 2022] с использованием энергобалансовой климатической модели получены аналитические условия формирования так называемого Арктического (полярного) усиления в зависимости от разного рода радиационных воздействий на климатическую систему Земли, включая солнечную и вулканическую активность и антропогенные изменения содержания углекислого газа в атмосфере, и с учетом различных климатических обратных связей. В частности, условия формирования арктического усиления были получены при одновременном воздействии различных факторов, в частности, при одновременном изменении солнечной постоянной и содержания CO₂ в атмосфере.

Для развития модельных исследований палеоклиматических процессов существенное значение

имеют соответствующие проекты, организованные в рамках международных программ CMIP, в частности PMIP (Paleoclimate Modelling Intercomparison Project). При этом для оценки способности климатических моделей адекватно воспроизводить палеоклиматические изменения необходимы соответствующие палеореконструкции. В [Malakhova, Eliseev, 2020] с использованием модельных расчетов сделаны оценки неопределенности палеоклиматических режимов в Плейстоцене. В том числе, оценена неопределенность реакции теплового состояния подводных отложений — это существенно при определении устойчивости залежей метангидратов в связи с климатическими изменениями. Поддержан вывод о характерном времени общей инерционности вечной мерзлоты и залежей метангидратов не менее нескольких тысяч лет. В соответствии с этим выделение метана в атмосферу в арктических широтах можно объяснить многотысячелетними климатическими изменениями, а не потеплением последних десятилетий.

В [Alexandrov et al., 2021] сделаны оценки роли в земном углеродном цикле северных торфяников, являющихся естественным поглотителем углерода со времени последнего ледникового максимума. Согласно [Alexandrov et al., 2021] северные торфяники вместе с океанами потенциально должны играть важную роль в снижении концентрации углекислого газа в атмосфере в течение следующих 5 тысячелетий.

В [Мохов и др., 2020] с использованием численных расчетов с глобальной климатической моделью оценены глобальные и региональные изменения климата в голоцене. Согласно полученным модельным результатам, современная среднегодовая глобальная приповерхностная температура в последние десятилетия превысила соответствующие значения для предыдущих 10 тыс. лет, в том числе в период так называемого “оптимума голоцена” (среднего голоцена), около 6 тыс. лет назад. При этом современные температурные режимы для отдельных регионов, в частности в Европе, могут не достигать еще уровня максимального потепления в среднем голоцене. Глобальные и региональные климатические изменения и изменения характеристик углеродного цикла в последнее столетие по модельным расчетам (с учетом антропогенных воздействий) существенно отличаются от изменений в предыдущие столетия и тысячелетия, когда ключевую роль играли естественные воздействия на климатическую систему.

Фундаментальное развитие моделирования климата на длительных интервалах времени, включая моделирование ледниковых циклов в плейстоцене, связано с учетом динамики ледниковых щитов и их взаимодействия с другими подсистемами климатической системы Земли. В [Постникова, Рыбак, 2022] сделан обзор построения и развития гляциологических моделей, кото-

рые должны быть включены в модели климата и модели земной системы.

В [Cooper et al., 2021] с помощью глобального химико-климатического моделирования установлено, что минимумы геомагнитного поля около 42 тыс. лет назад в сочетании с солнечными минимумами вызвали значительные изменения концентрации и циркуляции атмосферного озона и синхронные глобальные климатические сдвиги с серьезными экологическими изменениями, приведшие к массовому вымиранию.

Оценки эмиссии метана в атмосферу имеют большое значение в связи с возможным разложением гидратов метана, в том числе на арктическом шельфе России, при потеплении и таянии вечной мерзлоты [Shakhova et al., 2019; Анисимов и др., 2020, 2022; Малахова, Елисеев, 2020; Arzhanov et al., 2020; Malakhova, 2020; Метан, 2022; Мохов, 2022; Malakhova, Golubeva, 2022]. В настоящее время эти оценки, в частности для морей Восточной Арктики, различаются на порядки [Shakhova et al., 2019; Малахова, Елисеев, 2020; Malakhova, 2020; Метан, 2022; Мохов, 2022; Malakhova, Golubeva, 2022]. Следует отметить, что эмиссия метана в атмосферу, отмеченная по данным наблюдений на арктическом шельфе, может быть связана с адаптацией термического режима донных отложений шельфа (с характерным временем около 10^4 лет) к режиму потепления в оптимуме голоцена. По модельным оценкам дополнительное глобальное потепление с учетом взаимодействия с естественным циклом метана (за счет соответствующей положительной обратной связи с климатом) относительно невелико на фоне ожидаемых изменений температуры в XXI веке по сценариям антропогенного воздействия [Мохов, 2022]. В [Анисимов и др., 2022] с использованием модели наземной системы INM-CM48 не обнаружено значимой положительной связи между эмиссией метана на шельфе и глобальной приповерхностной температурой и сделан вывод, что эмиссия метана на шельфе в основном обусловлена геологическими факторами.

Различные международные программы, инициативы и проекты с российским участием, в том числе CMIP6, CORDEX (Arc CORDEX), ISIMIP, NEFI (NEESPI), PEEX, PMIP и другие способствуют развитию различных направлений моделирования климатической системы и Земной системы в целом.

4. МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ВКЛАДОВ

Во многих публикациях (см. список публикаций) представлены результаты моделирования глобальных и региональных климатических из-

менений, в частности в российских регионах, с оценкой роли естественных и антропогенных факторов на разных временных горизонтах.

Результаты разносторонних исследований климатических изменений в российских регионах приведены в [Третий оценочный доклад, 2022] (см. также [Катцов и др., 2019, 2022]). Согласно [Третий оценочный доклад, 2022], глобальное потепление в XXI веке будет сопровождаться формированием все более теплого и влажного климата в большинстве российских регионов. Повышение зимней температуры и росте количества осадков в более холодных регионах страны сопровождается увеличением весеннего снегозапаса с осложнением паводковой обстановки на водосборах крупнейших рек в период снеготаяния. При этом в южных российских регионах ожидается увеличение засушливости с усилением влияния экстремально высоких значений температуры и экстремальных осадков в летние сезоны. Существенные экологические и социально-экономические последствия связаны с деградацией многолетней мерзлоты и сокращением протяженности морских льдов в Арктике. В целом, согласно расчетам с моделями CMIP6 для сценариев семейства SSP, оценки ожидаемых изменений климата в российских регионах в XXI веке качественно согласуются с оценками, полученными ранее для сценариев SRES и RCP. Это свидетельствует о достаточно высокой степени устойчивости оценок изменений климата на территории России.

В [Володин, Грицун, 2020] представлены результаты моделирования изменений климата в 2015–2100 гг. с использованием климатической модели ИВМ РАН INM-CM5 при различных сценариях антропогенных воздействий (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 и SSP5-8.5). В том числе получено, что ни при каком сценарии полное освоение от морских льдов Северного Ледовитого океана в XXI веке не достигается. Это связано с тем, что для этой климатической модели характерна относительно слабая скорость глобального потепления по сравнению с другими моделями ансамбля CMIP 6. К концу XXI века проявляется ослабление интенсивности циркуляции Хэдли в обоих полушариях с расширением в сторону полюсов. Отмечено также изменение ячейки Ферреля. На фоне потепления тропосферы и выхолаживания стратосферы проявляется изменение режима западных ветров в средних широтах.

В [Алешина, Семенов, 2022] получены оценки изменений характеристик осадков в российских регионах по расчетам с ансамблем климатических моделей CMIP 6 при сценарии антропогенных воздействий SSP 585 для XXI века. Для большинства российских регионов получен общий рост количества осадков и повторяемости экстремальных осадков в зимние сезоны. Для летних сезонов проявляется слабое уменьшение общего количе-

ства осадков и их повторяемости на юге европейской части России.

В [Климат Арктики, 2022] проведены разносторонние исследования ключевых процессов и изменений в арктической климатической системе. Представлены оценки возможных региональных изменений температурного режима и морских льдов, в том числе на Северном морском пути, изменений ветро-волновой и циклонической активности, изменений многолетней мерзлоты. Приведены оценки влияния изменений климата на режимы метангидратов, в частности субаквальных залежей метангидратов. Результаты разносторонних исследований изменений цикла метана, включая режимы метангидратов в арктических регионах, при изменениях климата представлены в [Метан, 2022].

В [Акперов и др., 2022] впервые получены количественные оценки изменений ветроэнергетических ресурсов в Арктике с использованием региональной климатической модели при разных сценариях антропогенных воздействий (RCP 4.5 и RCP 8.5) для 21 века. Выявлено заметное увеличение в XXI веке мощности ветроэнергетического потенциала, пропорциональной кубу скорости ветра, над Баренцевым, Карским и Чукотским морями и прибрежными регионами зимой. Летом проявляется общее увеличение мощности ветроэнергетического потенциала над Северным Ледовитым океаном. Изменения более значительные при сценарии с более сильными антропогенными воздействиями (RCP 8.5).

В [Парфенова и др., 2022] проведен анализ продолжительности изменений навигационного периода на Северном морском пути на основе расчетов с климатическими моделями ансамбля CMIP5 при сценарии RCP 8.5 в XXI веке с использованием методов байесового осреднения с выделением различных участков Северного морского пути. Получено, что различия качества воспроизведения моделями продолжительности навигационного периода и ее изменений в западной части Северном морском пути больше, чем в восточной.

В [Мохов, Тимажев, 2019] получены оценки изменения повторяемости атмосферных блокирований в Северном полушарии с разными критериями их детектирования с использованием численных расчетов с климатическими моделями общей циркуляции ансамбля CMIP5 при различных RCP-сценариях антропогенных воздействий для XXI века. Качество воспроизведения разными климатическими моделями характеристик атмосферных блокировок оценивалось сравнением меридиональных сезонных распределений повторяемости атмосферных блокирований с данными реанализа. Согласно полученным результатам, целесообразно выделение ансамблей моделей, лучше воспроизводящих современные режимы атмосферных блоки-

рований и их вариаций. При выделении лучших моделей выявляется, в частности, риск увеличения повторяемости атмосферных блокирований при потеплении, что не выявлено по расчетам с ансамблем всех анализировавшихся моделей.

В [Гельфан и др., 2022] сделан обзор публикаций с оценками изменений стока российских рек при изменениях климата в XXI веке, выполненных в последние годы. Отмечено, что использование региональных гидрологических моделей способствует уменьшению неопределенности возможных в будущем изменений водного режима рек. В [Липавский и др., 2022] проведен анализ изменений стока Амура и Селенги по расчетам с ансамблем климатических моделей CMIP 6 при разных SSP-сценариях в XXI веке с использованием Байесова подхода. Отмеченные для обоих водосборов большие межмодельные различия связаны с оценками и многолетнего среднего стока, и межгодовой изменчивости. Для стока в бассейне Амура проявляется положительный тренд в 21 веке при всех проанализированных сценариях антропогенного воздействия. Для стока Селенги тренды в XXI веке не выявлены при всех использованных сценариях антропогенных воздействий. При этом отмечены существенные междесятилетние вариации межгодовой изменчивости стока.

В [Денисов и др., 2022] получены модельные оценки вклада антропогенных и природных потоков парниковых газов с территории разных стран в глобальные изменения климата в XXI веке при различных сценариях антропогенных воздействий. Сделаны количественные оценки влияния учета изменений региональных климатических условий на интенсивность обмена парниковыми газами между атмосферой и естественными экосистемами на разных временных горизонтах в сопоставлении с антропогенными эмиссиями. В том числе, для России, Китая, Канады и США во второй половине XXI века поглощение CO_2 природными экосистемами уменьшается при всех сценариях антропогенного воздействия с ослаблением соответствующего стабилизирующего климат эффекта. При этом эмиссия метана в атмосферу болотными экосистемами в анализировавшихся регионах значительно увеличивается в XXI веке согласно модельным оценкам. Как следствие, суммарный эффект естественных потоков парниковых газов в атмосферу для отдельных регионов может ускорять потепление.

5. ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ И СМЯГЧЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ

Значительное внимание в климатических исследованиях уделяется проблемам, связанным с последствиями изменений климата, в том числе проблемам адаптации и смягчения последствий

(см. список литературы). В связи с быстрыми современными изменениями климата в регионах России, в частности в арктических широтах, актуальны не только вопросы, связанные с адаптацией российской социально-экономической системы к негативным последствиям изменения климата и обеспечением гидрометеорологической безопасности, но и вопросы своевременного учета новых возможностей. Необходимо, например, стратегически оценивать потенциальные возможности сокращения морозного периода и удлинения вегетационного периода в регионах России, перспективы Северного морского пути и т.д. в условиях потепления.

Различные проблемы, связанные с последствиями изменения климата в регионах России, в том числе проблемы адаптации и регулирования, анализируются в [Третий оценочный доклад, 2022]. Отмечено, что для оценки последствий изменения климата по результатам моделирования требуется пространственно-временная детализация прогностических климатических оценок, а также массовые численные расчеты для более надежного статистического описания ожидаемых изменений (см. также [Катцов и др., 2020]). В рамках оценивания воздействий изменения климата на природную среду рассматриваются особенности природных систем суши, углеродного баланса почв, морских природных систем. В числе воздействий климатических изменений на население выделяются проблемы демографической ситуации и миграции, трудовых ресурсов и занятости, влияния погодно-климатических экстремальных явлений на здоровье населения, эпидемиологической обстановки. Рассматриваются также проблемы влияния климатических изменений на различные отрасли российской экономики, в том числе на добывающую промышленность, сельское хозяйство, водное хозяйство, лесное хозяйство, энергетику, транспорт, строительство и жилищно-коммунальное хозяйство, инфраструктуру в зоне многолетней мерзлоты, морскую деятельность, туризм и рекреацию.

Проблемы адаптации в чувствительных к изменениям климата арктических российских регионах анализируются в [Эдельгериев, Романовская, 2020]. В том числе обсуждаются вопросы предотвращения нарушений поверхностных покровов мерзлых пород, минимизации антропогенного загрязнения, сохранения и увеличения альбедо поверхности в зимние сезоны. Отмечено, что анализ всех показателей в системе мониторинга эффективности адаптации и прогностические оценки способствуют принятию обоснованных управленческих решений о целесообразности корректирования применяемых адаптационных решений.

Проблемы, связанные с влиянием изменений климата на здоровье населения, анализируются в [Ревич и др., 2019; Григорьева, Ревич, 2021; Ревич, 2021; Ревич, Григорьева, 2021; Grigorieva,

Revich, 2021; Revich et al., 2022]. В обзоре [Ревич, Григорьева, 2021] представлены основные материалы международных организаций по проблеме оценки воздействия климатических рисков на здоровье городского населения и программ действий по адаптации системы здравоохранения и других управленческих структур. Систематизированы результаты российских исследований по оценке воздействия волн жары и холода на показатели смертности населения мегаполисов и больших городов, расположенных в различных климатических зонах — арктических, приарктических и южных регионах, в том числе в условиях резко континентального и муссонного климата. Отмечено, что волны жары в городах с умеренным континентальным климатом приводят к более значительному приросту смертности от всех причин, чем волны холода, по сравнению с городами в других климатических зонах. С волнами холода в целом связаны гораздо большие риски для здоровья населения в северных городах, чем в южных. Предложены количественные оценки пороговых температурных условий, по достижении которых необходимо проведение соответствующих профилактических мероприятий.

В [Изменение климата, 2022] представлены результаты многолетних исследований в связи с проблемами адаптации к изменениям климата российской экономики. В том числе, обсуждаются методологические вопросы использования климатических данных при социально-экономических оценках, анализируются современные процессы с прогностическими оценками ожидаемых в XXI веке изменений. Представлены соответствующие оценки влияния климатических изменений на экономику и социальную сферу в России, включая развитие ключевых отраслей. Анализируются проблемы стратегии снижения климатических рисков для устойчивого развития России, в том числе основные направления и меры сокращения нетто-выбросов парниковых газов и адаптации населения и экономики к последствиям изменений климата.

В [Башмаков, 2020, 2022] анализируется проблема декарбонизации глобальной промышленности, декарбонизирующей в прямых и косвенных выбросах парниковых газов в атмосферу. Отмечено, что рост выбросов от промышленности в последнее десятилетие замедлился, а решение проблемы декарбонизации требует в ближайшие 30–50 лет динамичного снижения потоков парниковых газов в атмосферу при существенной модернизации глобальной промышленности с масштабным использованием новых технологий.

В соответствии с целями Парижского соглашения в [Акаев, Давыдова, 2020] оценивается возможность энергетического перехода от доминирующих ископаемых углеводородов к преимущественному использованию возобновляемых источников энергии, когда их доля в общем энергобалансе превысит 40% (см. также [Акаев, Давы-

dova, 2021]). Согласно полученным оценкам, подобный переход может состояться в 2060-е гг. при условии увеличения доли ядерной энергетики почти втрое. Отмечено, что только при совместном использовании возобновляемых источников энергии и АЭС можно в достаточной мере заместить углеводороды для достижения поставленных целей климатической безопасности без ущерба экономике.

В связи с необходимостью выполнения условий Парижского соглашения (2015 г.) Рамочной конвенции ООН об изменении климата необходима адекватная количественная оценка всех источников эмиссий парниковых газов в атмосферу и их стоков, в том числе адекватный учет углеродного баланса лесов, наземных и водных экосистем. Наземные экосистемы в российских регионах, поглощая CO_2 из атмосферы, способствуют замедлению роста глобальной температуры у поверхности, а эмитируя в атмосферу CH_4 , ускоряют потепление. Общий эффект естественных потоков этих парниковых газов из российских регионов в современных условиях способствует замедлению потепления. При этом, согласно полученным в [Денисов и др., 2019] модельным оценкам, роль этого замедляющего потепление эффекта в первой половине XXI века растет, а после достижения максимума (зависящего от сценария антропогенных выбросов) к концу века уменьшается при различных анализировавшихся сценариях антропогенных воздействий в связи с ростом естественных эмиссий CH_4 и уменьшением поглощения CO_2 наземными экосистемами (см. также [Денисов и др., 2022; Мохов, 2022]).

Необходимо принимать во внимание потенциальные новые риски и возможности. При принятии решений следует учитывать, что в зависимости от горизонта планирования может измениться роль естественных потоков парниковых газов в атмосферу из наземных экосистем, в том числе стабилизирующий эффект, обусловленный поглощением потоков CO_2 лесами. Необходимы количественные оценки на разных временных горизонтах роли ключевых источников и стоков парниковых газов, связанных с различными естественными экосистемами — от степных до тундровых, а также болотами, озерами и др. [Глобальный климат, 2019; Денисов и др., 2019; Клименко и др., 2019, 2020; Russian National Report, 2019; Winkler et al., 2019; Торжков и др., 2019; Лукина, 2020; Alexandrov et al., 2020; Lukina et al., 2020; Romanovskaya et al., 2020; Ваганов и др., 2021; Anisimov, Zimov, 2021; Schepaschenko et al., 2021; Климат Арктики, 2022; Мохов, 2022; Третий оценочный доклад, 2022; Geraskina et al., 2022].

В [Пекарникова, Полонский, 2021; Полонский, Пекарникова, 2021] отмечены проблемы формирования международной правовой системы, связанной с системой контроля за выбросами

в атмосферу парниковых газов, как причины глобального потепления антропогенного происхождения. Обсуждается развитие международной деятельности по контролю над антропогенными изменениями климата со времени подписания в 1992 г. Рамочной конвенции ООН об изменении климата до принятия в 2015 г. Парижского соглашения по климату. Анализируется процесс принятия Киотского протокола к Рамочной конвенции ООН, международная деятельность по формированию рынка торговли квотами на выбросы парниковых газов и принятые в 2012 г. поправки к Киотскому протоколу, продлевающие действие Протокола до 2020 г. Рассматриваются основные положения Парижского соглашения по климату и связанные с его ратификацией проблемы правового регулирования контроля за антропогенными выбросами парниковых газов и аэрозолей на международном и национальном уровнях.

Что касается России, то с продолжением глобального потепления, наряду с учетом новых возможностей, в том числе перспектив использования Северного морского пути, увеличения вегетационного периода и т.д., необходимо решать проблемы адаптации и регулирования. в связи с негативными последствиями таяния вечной мерзлоты, увеличением опасности наводнений, аномальной жары и засух, лесных пожаров и др. [Мохов, 2022].

В связи с происходящими и ожидаемыми изменениями климата для эффективного решения задач адаптации к ним и возможного их регулирования требуется коренной пересмотр системы критериев оценки новых рисков, негативных последствий и потенциальных выгод. Необходим стратегический подход (не только на одно—два десятилетия), а также разработка общей системы взаимосогласованных региональных оценок прогнозируемости сезонных климатических аномалий в межгодовой и междесятилетней изменчивости.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные изменения климата уже диктуют новые требования к своевременному и более детальному и разностороннему учету региональных экологических и социально-экономических последствий с формированием соответствующих систем адаптации и возможного регулирования. Необходимо разработать единую систему взаимно согласованных региональных оценок риска и предсказуемости аномальных климатических режимов и их изменчивости с учетом природных и антропогенных воздействий на разных временных горизонтах. Все большее значение приобретают количественные оценки компонентов углеродного баланса системы Земли, в том числе более детальные региональные оценки роли российских лесов и других природных экосистем в рамках системы углеродных полигонов.

В России в 2019 г. был принят Национальный план действий по первому этапу адаптации к изменению климата до 2022 г. После этого был принят Национальный план действий по второму этапу адаптации к изменению климата до 2025 г. (<http://static.government.ru/media/files/>). Цель — предотвратить негативное влияние изменения климата на отрасли экономики и качество жизни и заблаговременно учесть новые возможности, открывающиеся на федеральном, отраслевом и региональном уровнях. Должно быть организационное, правовое, научное, методическое и информационное обеспечение необходимых адаптационных мероприятий. Развитие системы адекватного и своевременного учета новых рисков и возможностей, связанных с изменением климата, должно включать в себя соответствующее развитие мониторинга климата, в частности спутникового, и моделирования изменения климата и его последствий при различных сценариях природных и антропогенных воздействий. Этому должна способствовать Федеральная научно-техническая программа в области экологического развития Российской Федерации и изменения климата на 2021—2030 гг. (<http://static.government.ru/media/files/>).

Особое внимание следует уделить изменению климата и его последствиям в полярных широтах, имеющим не только региональное, но и быстро возрастающее в последние годы глобальное значение. В Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 г. (<http://www.kremlin.ru/acts/bank/45972/>) отмечены особенности Арктической зоны, определяющие особые подходы к ее социально-экономическому развитию и обеспечению национальной безопасности в Арктике с учетом экстремальных природно-климатических условий, высокой чувствительности экологических систем и роста конфликтного потенциала. Сильные и быстрые климатические изменения в арктических широтах способствуют возникновению как новых экономических возможностей, так и рисков для хозяйственной деятельности и окружающей среды, в частности для судоходства по Северному морскому пути и использования природных ресурсов на шельфе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Акаев А.А., Давыдова О.И. Парижское климатическое соглашение вступает в силу. Состоится ли великий энергетический переход? // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 10. С. 926—938.
- Акперов М.Г. и др. Потенциал ветровой энергетики в арктических и субарктических широтах и его изменения в XXI веке по расчетам с использованием региональной климатической модели // Метеорология и гидрология. 2022. № 6. С. 18—29.
- Алешина М.А., Семенов В.А. Изменения характеристик осадков на территории России в XX–XXI вв. по

- данным ансамбля моделей CMIP6 // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 8. № 4. С. 424–440.
- Анисимов О.А., Зимов С.А., Володин Е.М., Лавров С.А. Эмиссия метана в криолитозоне России и оценка ее воздействия на глобальный климат // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 5. С. 19–27.
- Анисимов О.А., Зимов С.А., Володин Е.М. Климатообразующая роль эмиссии метана на шельфе морей Восточной Арктики // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 10. С. 131–143.
- Бардин М.Ю., Платова Т.В. Долгопериодные вариации показателей экстремальности температурного режима на территории России и их связь с изменениями крупномасштабной атмосферной циркуляции и глобальным потеплением // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 12. С. 5–19.
- Бардин М.Ю., Платова Т.В. Волны холода в Европейской части России: структура, циркуляционные условия и изменения сезонных статистик // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 8. № 3. С. 5–30.
- Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 3. С. 32–58.
- Башмаков И.А. Стратегия низкоуглеродного развития российской экономики // *Вопросы экономики*. 2020. № 7. С. 51–74.
- Башмаков И.А. Масштаб необходимых усилий по декарбонизации мировой промышленности // *Вопросы экономики*. 2022. Т. 8. № 2. С. 151–174.
- Безверхний В.А. 100 000-летняя ритмичность в ледниковых циклах и колебаниях уровня Мирового океана // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 4. С. 37–44.
- Безверхний В.А. О 100 тысячелетней ритмичности в геодинамике и палеоклимате // *Физика Земли*. 2019. № 3. С. 117–125.
- Бондур В.Г. и др. Космический мониторинг сибирских пожаров и их последствий: особенности аномалий 2019 года и тенденции 20-летних изменений // *ДАН*. 2020. Т. 492. № 1. С. 99–106.
- Ваганов Е.А., Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Пыжжев А.И. Оценка вклада российских лесов в снижение рисков климатических изменений // *Экономика региона*. 2021. Т. 17. № 4. С. 1096–1109.
- Володин Е.М. Оценка вклада различных механизмов в эволюцию фазы квазидвухлетнего колебания по результатам климатического моделирования // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 1. С. 35–40.
- Володин Е.М. О механизме колебания климата в Арктике с периодом около 15 лет по данным модели климата ИВМ РАН // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2020. Т. 56. № 2. С. 139–149.
- Володин Е.М. Равновесная чувствительность модели климата к увеличению концентрации CO₂ в атмосфере при различных методах учета облачности // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 57. № 2. С. 139–145.
- Володин Е.М. Связь естественной изменчивости климата и чувствительности модели климата ИВМ РАН к увеличению концентрации CO₂ // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 57. № 5. С. 509–513.
- Володин Е.М., Грицун А.С. Воспроизведение возможных будущих изменений климата в XXI веке с помощью модели климата INM-CM5 // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2020. Т. 56. № 3. С. 255–266.
- Гельфан А.Н., Гусев Е.М., Калугин А.С. и др. Сток рек России при происходящих и прогнозируемых изменениях климата: Обзор публикаций. 2. Влияние изменения климата на водный режим рек России в XXI веке // *Водные ресурсы*. 2022. Т. 49. № 3. С. 270–285.
- Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. Т. 2. Под ред. Р.С.-Х. Эдельгериева и др. М.: “Издательство МБА”. 2019. 476 с. ISBN 978-5-6043225-6-7 37
- Григорьева Е.А., Ревич Б.А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в 2010–2020 гг. Часть 2. Наводнения, тайфуны, ледяной дождь, засухи // *Проблемы анализа риска*. 2021. Т. 18. № 3. С. 10–31.
- Денисов С.Н. и др. Вклад естественных и антропогенных эмиссий CO₂ и CH₄ в атмосферу с территории России в глобальные изменения климата в XXI веке // *Доклады АН*. 2019. Т. 488. № 1. С. 74–80.
- Денисов С.Н. и др. Модельные оценки вклада естественных и антропогенных эмиссий CO₂ и CH₄ в атмосферу с территории России, Китая США и Канады в глобальные изменения климата в XXI веке // *Метеорология и гидрология*. 2022. № 10. С. 18–32.
- Дианский Н.А., Багатинский В.А. Термохалинная структура вод Северной Атлантики в различные фазы Атлантической мультideкадной осцилляции // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 6. С. 157–170.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2018 год. М.: Росгидромет. 2019. 79 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М.: Росгидромет. 2020. 97 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М.: Росгидромет. 2021. 104 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М.: Росгидромет. 2022. 104 с.
- Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2022 год. М.: Росгидромет. 2023. 108 с.
- Дымников В.П., Кулямин Д.В., Останин П.А. Совместная модель глобальной динамики термосферы и ионосферы Земли // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2020. Т. 56. № 3. С. 280–292.
- Екайкин А.А., Липенков В.Я., Чихачев К.Б. Сохранность климатического сигнала в слоях древнего льда в районе Купола В (Антарктида) // *Лед и снег*. 2021. Т. 61. № 1. С. 5–13.
- Елисеев А.В., Чжан М., Гизатуллин Р.Д. и др. Влияние сернистого газа в атмосфере на наземный углерод-

- ный цикл // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 1. С. 41–53.
- Изменение климата и экономика России: тенденции, сценарии, прогнозы. Под ред. Порфирьева Б.Н., Данилова–Данильяна В.И. М.: Научный консультант, 2022. 514 с.
- Катцов В.М., Школьник И.М., Павлова В.Н. и др. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Ч. 2: Оценки климатических воздействий // Труды ГГО. 2019. № 593. С. 6–52.
- Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л. Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа Разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 46–58.
- Катцов В.М., Павлова Т.В., Говоркова В.А. и др. Сценарные прогнозы изменений климата на территории России в XXI веке на основе ансамблевых расчетов с моделями CMIP6 // Труды ГГО. 2022. № 604. С. 5–54.
- Климат Арктики: процессы и изменения. Под ред. И.И. Мохова, В.А. Семенова. М.: Физматкнига, 2022. 360 с.
- Клименко В.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Динамика биотических потоков углерода при различных сценариях изменения площади лесов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 4. С. 462–472.
- Клименко В.В., Терешин А.Г., Микушина О.В. Влияние изменений атмосферы и климата на энергетический потенциал лесов России // ДАН. 2019. Т. 488. № 6. С. 612–618.
- Кузнецова Д.А., Башмачников И.Л. О механизмах изменчивости Атлантической меридиональной океанической циркуляции (АМОЦ) // Океанология. 2021. Т. 61. № 6. С. 843–855.
- Куликова И.А., Круглова Е.Н., Хан В.М. Оценка практической предсказуемости блокирующих антициклонов с использованием современных гидродинамических моделей // Метеорология и гидрология. 2022. № 1. С. 5–23.
- Липавский А.С. и др. Байесовы оценки изменения стока Амура и Селенги в XXI веке по результатам ансамблевых модельных расчетов CMIP6 // Метеорология и гидрология. 2022. № 5. С. 64–82.
- Лукина Н.В. Глобальные вызовы и лесные экосистемы // Вестник РАН. 2020. Т. 90. № 6. С. 528–532.
- Малахова В.В., Елисеев А.В. Влияние диффузии солей на состояние и распространение многолетнемерзлых пород и зоны стабильности метан-гидратов шельфа моря Лаптевых // Лед и снег. 2020. Т. 60. № 4. С. 533–546.
- Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты. Под ред. В.Г. Бондура, И.И. Мохова, А.А. Макоско. М.: РАН, 2022. 388 с.
- Мохов И.И. Российские исследования в области атмосферных наук и метеорологии в 2015–2018 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 6. С. 3–5.
- Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2015–2018 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 4. С. 1–21.
- Мохов И.И. Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // Вестник РАН. 2022. Т. 92. № 1. С. 3–14.
- Мохов И.И., Елисеев А.В., Гурьянов В.В. Модельные оценки глобальных и региональных изменений климата в голоцене // ДАН. 2020. Т. 490. № 1. С. 27–32.
- Мохов И.И. Аналитические условия формирования Арктического усиления в Земной климатической системе // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 505. № 1. С. 102–107.
- Мохов И.И. Российские исследования в области атмосферных наук и метеорологии в 2019–2022 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59. № 7. С. 827–829.
- Мохов И.И., Порошенко А.Г. Статистические и модельные оценки связи размеров и времени жизни полярных мезоциклонов // Вестник Московского университета. 3. Физика. Астрономия. 2021. № 6. С. 53–57.
- Мохов И.И., Порошенко А.Г. Статистические и модельные оценки связи интенсивности и времени существования тропических циклонов // Метеорология и гидрология. 2021. № 5. С. 25–30.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Атмосферные блокирование и изменения их повторяемости в XXI веке по расчетам с ансамблем климатических моделей // Метеорология и гидрология. 2019. № 6. С. 5–16.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Повторяемость летних атмосферных блокирований в Северном полушарии в разных фазах явлений Эль-Ниньо, Тихоокеанской десятилетней и Атлантической мультисекулярной осцилляций // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 3. С. 239–249.
- Мохов И.И., Тимажев А.В. Интегральный индекс активности атмосферных блокирований в Северном полушарии в последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 6. С. 638–647.
- Мурышев К.Е., Елисеев А.В., Денисов С.Н. и др. Фазовый сдвиг между изменениями глобальной температуры и содержания CO₂ в атмосфере при внешних эмиссиях парниковых газов в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 3. С. 11–19.
- Мурышев К.Е. и др. Влияние нелинейных процессов на временной лаг между изменениями глобальной температуры и содержания углекислого газа в атмосфере // Доклады РАН. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 1. С. 52–58.
- Мухин Д.Н., Селезнев А.Ф., Гаврилов А.С., Фейгин А.М. Оптимальные эмпирические модели динамических систем с внешними воздействиями: общий подход и примеры из климата // Изв. ВУЗов. Прикладная нелинейная динамика. 2021. Т. 29. № 4. С. 571–602.
- Парфенова М.Р. и др. Изменения периода навигации на Северном морском пути в XXI веке: Байесовы оценки по расчетам с ансамблем климатических моделей // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 1. С. 118–125.

- Пекарникова М.Е., Полонский А.Б. Антропогенные изменения климата и международно-правовая деятельность по смягчению их последствий. Часть 2. Реализация климатических правовых актов на современном этапе и их перспективы // Государство и право. 2021. № 5. С. 118–124.
- Петров Д.А. Свойства частотных спектров аномалий температур поверхности океана и приповерхностного воздуха в простой стохастической модели климата с флуктуирующими параметрами // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 4. С. 27–36.
- Полонский А.Б., Пекарникова М.Е. Антропогенные изменения климата и международно-правовая деятельность по смягчению их последствий. Часть 1. От Рамочной конвенции ООН до Парижского соглашения // Государство и право. 2021. № 4. С. 104–113.
- Постникова Т.Н., Рыбак О.О. Глобальные гляциологические модели: новый этап в развитии методов прогнозирования эволюции ледников. Часть 2. Постановка экспериментов и практические приложения // Лед и снег. 2022. Т. 62. № 2. С. 287–304.
- Ревич Б.А. Новые и старые риски здоровью в меняющемся климате // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 8–11.
- Ревич Б.А., Григорьева Е.А. Риски здоровью российского населения от погодных экстремумов в начале XXI в. Часть 1. Волны жары и холода // Проблемы анализа риска. 2021. Т. 18. № 2. С. 12–33.
- Ревич Б.А., Малеев В.В., Смирнова М.Д. Изменение климата и здоровье: оценки, индикаторы, прогнозы. М.: ИНП РАН. 2019. 196 с.
- Солдатенко С.А., Юсупов Р.М., Колман Р. Кибернетический подход к проблеме взаимодействия общества и природы в условиях беспрецедентно меняющегося климата // Труды СПИИРАН. 2020. Т. 19. № 1. С. 5–42.
- Солдатенко С.А., Юсупов Р.М. Модель оценки неравновесного отклика среднеглобальной приповерхностной температуры на изменение концентраций атмосферных аэрозолей и радиационно-активных газов // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 4. С. 309–316.
- Торжсков И.О., Кушир Е.А., Константинов А.В. и др. Оценка изменений климата на лесное хозяйство // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 40–49.
- Третий оценочный отчет об изменении климата и его последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб: Научное издание. 2022. 676 с.
- Чернокульский А.В., Елисеев А.В., Козлов Ф.А. и др. Опасные атмосферные явления конвективного характера в России: наблюдаемые изменения по различным данным // Метеорология и гидрология. 2022. № 5. С. 27–41.
- Эдельгериев Р.С.Х., Романовская А.А. Новые подходы к адаптации к изменению климата на примере Арктической зоны Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 12–28.
- Яковлев А.Р., Смышляев С.П. Влияние Южной Осцилляции на стратосферу и озоновый слой Арктики // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 1. С. 98–113.
- Akaev A.A., Davydova O.I. A Mathematical description of selected energy transition scenarios in the 21st century, intended to realize the main goals of the Paris Climate Agreement. *Energies*, 2021, 14, 2558. <https://doi.org/10.3390/en14092558>
- Alexandrov D.V., Bashkirtseva I.A., Ryashko L.B. Anomalous climate dynamics induced by multiplicative and additive noises // *Phys. Rev. E*. 2020. V. 102 (1). P. 012217.
- Alexandrov D.V., Bashkirtseva I.A., Ryashko L.B. Variability in the noise-induced modes of climate dynamics // *Phys. Lett. A*. 2020. V. 384 (19). P. 126411. <https://doi.org/10.1016/j.physleta.2020.126411>
- Alexandrov D.V., Bashkirtseva I.A., Ryashko L.B. How random noise induces large-amplitude oscillations in an El Niño model // *Physica D: Nonlin. Phenom.* 2022. V. 440. P. 133468.
- Alexandrov D.V., Bashkirtseva I.A., Crucifix M., Ryashko L.B. Nonlinear climate dynamics: From deterministic behaviour to stochastic excitability and chaos // *Phys. Rep.* 2021. V. 902. P. 1–60.
- Alexandrov G.A., Brovkin V.A., Kleinen T., Yu Z. The capacity of northern peatlands for long-term carbon sequestration // *Biogeosci.* 2020. V. 17 (1). P. 47–54.
- Alexandrov G.A., Brovkin V.A., Kleinen T., Yu Z. The capacity Of Northern peatlands for long-term carbon sequestration // *Biogeosci.* 2020. V. 17 (1). P. 47–54.
- Anisimov O., Zimov S. Thawing permafrost and methane emission in Siberia: Synthesis of observations, reanalysis, and predictive modeling // *Ambio*. 2021. V. 50. P. 2050–2059.
- Arzhanov M.M. et al. Modeling thermal regime and evolution of the methane hydrates stability zone of the Yamal Peninsula permafrost // *Permafrost Periglac. Proc.* 2020. V. 31 (4). P. 487–496.
- Bekryaev R.V. Interrelationships of the North Atlantic multidecadal climate variability characteristics // *Russ. J. Earth Sci.* 2019. V. 19 (3). <https://doi.org/10.2205/2018ES000653>
- Chernokulsky A., Kozlov F., Zolina O. et al. Observed changes in convective and stratiform precipitation in Northern Eurasia over the last five decades // *Environ. Res. Lett.* 2019. V. 14. P. 045001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aafb82>
- Colman R., Soldatenko S. Understanding the links between climate feedbacks, variability and change using a two-layer energy balance model // *Cli. Dyn.* 2020. V. 54 (7–8). P. 3441–3459.
- Cooper A. et al. A global environmental crisis 42,000 years ago // *Science*. 2021. V. 371. P. 811–818.
- Dalín P., Perminov V., Pertsev N., Romejko V. Updated long-term trends in mesopause temperature, airglow emissions, and noctilucent clouds // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2020 V. 125. e2019JD030814. <https://doi.org/10.1029/2019JD030814>
- Geraskina A.P. et al. Wildfires as a factor of loss of biodiversity and forest ecosystem functions. *Forest Sci. Iss.*, 2022, 5 (1), 1–70.
- Grigorieva E.A., Revich B.A. Health risks to the Russian population from temperature extremes at the beginning of the XXI century // *Atmosphere*. 2021. V. 12 (10). P. 1331.
- Karagodin A., Mironova I., Golubenko K. et al. The representation of ionospheric potential in the global chemis-

- try-climate model SOCOL // *The Sci. Total Environ.* 2019. V. 697. P. 134172.
- Loskutov E., Vdovin V., Klinshov V. et al. Applying interval stability concept to empirical model of Middle Pleistocene transition // *Chaos*. 2022. V. 32 (2). P. 021103.
- Lukina N. et al. Linking forest vegetation and soil carbon stock in northwestern Russia. *Forests*. 2020. V. 11 (9). P. 979–980.
- Malakhova V.V. The response of the Arctic Ocean gas hydrate associated with subsea permafrost to natural and anthropogenic climate changes // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 2020. V. 606. P. 012035.
- Malakhova V.V., Eliseev A.V. Uncertainty in temperature and sea level datasets for the Pleistocene glacial cycles: Implications for thermal state of the subsea sediments // *Glob. Planet. Change*. 2020. V. 192. P. 103249.
- Malakhova V., Golubeva E. Model study of the effects of climate change on the methane emissions on the Arctic shelves // *Atmosphere*. 2022. V. 13 (2). P. 274. <https://doi.org/10.3390/atmos13020274>
- Mukhin D., Gavrilov A., Loskutov E. et al. Bayesian data analysis for revealing causes of the middle Pleistocene transition // *Sci. Rep.* 2019. V. 9 (1). P. 7328. <https://www.nature.com/articles/s41598-019-43867-3>
- Polonsky A.B. *The Ocean's Role in Climate Change*. Cambridge Scholars Publ., Newcastle upon Tyne. 2019. 276 pp.
- Revich B.A., Eliseev D.O., Shaposhnikov D.A. Risks for public health and social infrastructure in Russian Arctic under climate change and permafrost degradation // *Atmosphere*. 2022. V. 13 (4). P. 532.
- Romanovskaya A.A., Korotkov V.N., Polumieva P.D. et al. Greenhouse gas fluxes and mitigation potential for managed lands in the Russian Federation. *Mitigat. Adapt. Strateg. Glob. Change*. 2020. V. 25 (4). P. 661–687.
- Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences (2015–2018). Ed. by I.I. Mokhov, A.A. Krivolutsky. Moscow, MAKS Press, 2019, 332 pp.
- Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences. 2019–2022. Ed. by I.I. Mokhov, A.A. Krivolutsky. Moscow, MAKS Press, 2023, 440 pp.
- Ryashko L., Alexandrov D.V., Bashkirtseva I. Analysis of stochastic generation and shifts of phantom attractors in a climate–vegetation dynamical model // *Mathematics*. 2021. V. 9. P. 1329.
- Schepaschenko D. et al. Russian forest sequesters substantially more carbon than previously reported // *Sci. Rep.* 2021. V. 11 (1). P. 252.
- Shakhova N., Semiletov I., Chuvilin E. Understanding the permafrost–hydrate system and associated methane releases in the East Siberian Arctic shelf // *Geosci.* 2019. V. 9. P. 251.
- Soldatenko S.A. Estimated impacts of climate change on eddy meridional moisture transport in the atmosphere // *Appl. Sci.* 2019. V. 9 (23). P. 4992.
- Soldatenko S.A. Estimating the effect of radiative effect uncertainties on climate response to changes in the concentration of stratospheric aerosols // *Atmosphere*. 2020. V. 11 (6). P. 654.
- Soldatenko S.A. Effects of global warming on the poleward heat transport by non-stationary large-scale atmospheric eddies, and feedbacks affecting the formation of the Arctic climate // *J. Marine Sci. Engin.* 2021. V. 9 (8). P. 867.
- Soldatenko S.A., Colman R. Climate variability from annual to multi-decadal timescales in a two-layer stochastic energy balance model: Analytic solutions and applications for general circulation models // *Tellus A*. 2019. V. 71 (1). P. 1–15.
- Studholme J., Fedorov A.V., Gulev S.K., Emanuel K., Hodges K. Poleward expansion of tropical cyclone latitudes in warming climates // *Nature Geosci.* 2021. <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00859-1>
- Volodin E. The mechanisms of cloudiness evolution responsible for equilibrium climate sensitivity in climate model INM-CM4-8 // *Geophys. Res. Lett.* 2021. V. 48 (24), e2021GL096204.
- Winkler A.J., Myneni R.B., Brovkin V., Alexandrov G.A. Earth system models underestimate carbon fixation by plants in the high latitudes // *Nature Comm.* 2019. V. 10 (1). P. 885.

Дополнительный список литературы к разделу 2.

Акперов М.Г. и др. Особенности температурной стратификации и ее изменений в тропосфере арктических широт по данным реанализа и модельным расчетам // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 2. С. 19–27.

Алексеев Г.В., Глок Н.И., Вязилова А.Е. и др. Влияние температуры поверхности океана в тропиках на антарктический морской лед в период глобального потепления // *Лед и снег*. 2019. Т. 59. № 2. С. 213–221.

Бабина Е.Д., Семенов В.А. Внутримесячная изменчивость среднесуточной приземной температуры воздуха на территории России в период 1970–2015 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 8. С. 21–33.

Багатинский В.А., Дианский Н.А. Изменчивость термохалинной циркуляции Северной Атлантики в различные фазы Атлантической мультideкадной осцилляции по данным океанских объективных анализов и реанализов // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 57. № 2. С. 231–244.

Багатинский В.А., Дианский Н.А. Вклады климатических изменений температуры и солености в формирование трендов термохалинной циркуляции Северной Атлантики // *Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия*. 2022. № 3. С. 73–88.

Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В. и др. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 5. С. 29–45.

Бокучава Д.Д., Семенов В.А. Роль естественных колебаний и факторов внешнего воздействия на климат в потеплении середины XX века в Северном // *Лед и снег*. 2022. Т. 62. № 3. С. 455–474.

Бондур В.Г., Воронова О.С., Черепанова Е.В., Цидилина М.Н., Зима А.Л. Пространственно-временной анализ многолетних природных пожаров и эмиссий вредных газов и аэрозолей в России по космическим данным // *Исследование Земли из космоса*. 2020. № 4. С. 3–17.

Бондур В.Г., Воронова О.С., Гордо К.А., Зима А.Л. Космический мониторинг изменчивости площадей природных пожаров и эмиссий вредных примесей в атмосферу на территории различных регионов России за 20-летний период // *ДАН. Науки о Земле*. 2021. Т. 500. № 2. С. 216–222.

Борзенкова И.И., Ершова А.А., Жильцова Е.Л., Шаповалова К.О. Морской лед Арктического бассейна в

- свете современных и прошлых климатических изменений // Лед и снег. 2021. Т. 61. № 4. С. 533–546.
- Вакуленко Н.В., Даценко Н.М., Сонечкин Д.М. Изменение общей циркуляции атмосферы Северного полушария за 1998–2018 гг. // Метеорология и гидрология. 2020. № 10. С. 5–13.
- Варгин П.Н., Кострыкин С.В., Ракушина Е.В., Володин Е.М., Погорельцев А.И. Исследование изменчивости дат весенних перестроек циркуляции стратосферы и параметров стратосферного полярного вихря в Арктике по данным моделирования и реанализа // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 5. С. 526–539.
- Васильев А.А., Гравис А.Г., Губарьков А.А., Дроздов Д.С., Коростелев Ю.В., Малкова Г.В., Облогов Г.Е., Пономарева О.Е., Садуртдинов М.Р., Стрелецкая И.Д., Стрелецкий Д.А., Устинова Е.В., Широков Р.С. Деградация мерзлоты: результаты многолетнего геокриологического мониторинга в западном секторе российской Арктики // Криосфера Земли. 2020. Т. XXIV. № 2. С. 15–30.
- Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А., Фомин В.В. Эволюция уровня Каспийского моря под влиянием климатических изменений поля ветра // Труды ГОИИ. 2019. № 220. С. 135–147.
- Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А., Фомин В.В. Влияние на эволюцию уровня Каспийского моря многолетних изменений режима ветра над его регионом в 1948–2017 гг. // Водные ресурсы. 2020. Т. 47. № 2. С. 230–240.
- Гочаков А.В., Антохина О.Ю., Крупчатников В.Н., Мартынова Ю.В. Долговременная изменчивость опрокидывания волн Россби в районе субтропического течения // Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 5–19.
- Гущина Д.Ю., Калиновская М.В., Матвеева Т.А. Влияние Тихоокеанского десятилетнего колебания на характеристики Эль-Ниньо двух типов при возможных изменениях климата // Метеорология и гидрология. 2020. № 10. С. 14–28.
- Даценко Н.М., Сонечкин Д.М., Янг Б. и др. Сравнительный анализ спектров 2000-летних реконструкций средней приземной температуры воздуха Северного полушария // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 5–13.
- Зуев В.В., Савельева Е.С. Динамика стратосферных полярных вихрей. Новосибирск: “Гео”. 2020. 115 с.
- Кислов А.В., Морозова П.А. Вариации уровня Каспийского моря в различных климатических условиях по данным моделирования в рамках проекта SMIP6 // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 622–632.
- Макаров А.С., Миронов Е.У., Иванов В.В., Юлин А.В. Ледовые условия морей Российской Арктики в связи с происходящими климатическими изменениями и особенностями эволюции ледяного покрова в 2021 году // Океанология. 2022. Т. 62. № 6. С. 845–856.
- Матвеева Т.А., Семенов В.А., Астафьева Е.С. Ледовитость арктических морей и ее связь с приземной температурой воздуха в Северном полушарии // Лед и снег. 2020. Т. 60. № 1. С. 134–148.
- Мелешко В.П., Мирвис В.М., Говоркова В.А. и др. Потепление климата Арктики и аномально холодная погода зимой в 1979–2017 гг. в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2019. № 4. С. 15–25.
- Мохов И.И. Российские климатические исследования в 2015–2018 гг. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 4. С. 1–21.
- Мохов И.И. Особенности современных изменений в Арктике и их последствий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 4. С. 446–462.
- Мохов И.И. Аномальные зимы в регионах Северной Евразии в разных фазах явлений Эль-Ниньо // ДАН. 2020. Т. 493. № 2. С. 93–98.
- Мохов И.И. Экстремальные атмосферные и гидрологические явления в российских регионах: связь с Тихоокеанской десятилетней осцилляцией // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 500. № 2. С. 183–188.
- Мохов И.И. Изменения частот фазовых переходов разных типов явлений Эль-Ниньо в последние десятилетия // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 1. С. 3–9.
- Мохов И.И., Бондур В.Г., Ситнов С.А., Воронова О.С. Космический мониторинг природных пожаров и эмиссий в атмосферу продуктов горения на территории России: связь с атмосферными блокировками // ДАН. 2020. Т. 495. № 2. С. 61–66.
- Мохов И.И., Макарова М.Е., Порошенко А.Г. Тропические циклоны и их трансформирование во внетропические: оценки полувексовых тенденций изменения // ДАН. 2020. Т. 493. № 1. С. 83–88.
- Мохов И.И., Медведев Н.Н. Амплитудно-частотные особенности явлений Эль-Ниньо разного типа и их изменения в последние десятилетия // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика и астрономия. 2022. № 3. С. 51–57.
- Мохов И.И., Парфенова М.Р. Особенности изменчивости антарктических и арктических морских льдов в последние десятилетия на фоне глобальных и региональных климатических изменений // Вопросы географии. 2020. Сб. 150. С. 304–319.
- Мохов И.И., Парфенова М.Р. Связь протяженности антарктических и арктических морских льдов с температурными изменениями в 1979–2020 гг. // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 1. С. 71–77.
- Мохов И.И., Парфенова М.Р. Изменения протяженности снежного покрова в Евразии по спутниковым данным в связи с полушарными и региональными температурными изменениями // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 501. № 1. С. 63–70.
- Мохов И.И., Парфенова М.Р. Связь площади снежного покрова и морских льдов с температурными изменениями в Северном полушарии по данным для последних десятилетий // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 4. С. 411–423.
- Мохов И.И., Парфенова М.Р. Взаимосвязь площади снежного покрова в Северном полушарии по спутниковым данным с приповерхностной температурой // Метеорология и гидрология. 2022. № 2. С. 32–44.
- Мохов И.И., Порошенко А.Г. Действие как интегральная характеристика атмосферных (климатических) структур: оценки для тропических циклонов // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 6. С. 619–625.
- Мохов И.И., Смирнов Д.А. Эмпирические оценки вклада парниковых газов и естественной климатической изменчивости в тренды приповерхностной температуры для различных широт // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 503. № 1. С. 48–54.

- Мохов И.И., Смирнов Д.А. Оценки вклада мод естественной изменчивости и парниковых газов в тренды приповерхностной температуры в Южном полушарии на основе данных наблюдений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2022. Т. 58. № 2. С. 149–159.
- Мохов И.И., Чернокульский А.В., Осипов А.М. Центры действия атмосферы Северного и Южного полушарий: особенности и изменчивость // Метеорология и гидрология. 2020. № 11. С. 5–23.
- Мохов И.И., Юшков В.П., Тимажеев А.В., Бабанов Б.А. Шквалы с ураганым ветром в Москве // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика и астрономия. 2020. № 6. С. 168–172.
- Нерушев А.Ф., Вишератин К.Н., Ивангородский Р.В. Статистическая модель временной изменчивости характеристик высотных струйных течений Северного полушария на основе спутниковых измерений // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 4. С. 401–413.
- Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М. Климатические изменения на территории России в конце XX–начале XXI века // Метеорология и гидрология. 2021. № 10. С. 14–26.
- Полонский А.Б., Серебренников А.Н. Интенсификация восточных пограничных апвеллинговых систем в Атлантическом и Тихом океанах // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 86–95.
- Полонский А.Б., Сухонос П.А. О влиянии Североатлантического колебания на тепловой баланс верхнего слоя Северной Атлантики // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 86–95.
- Семенов В.А. Современные исследования климата Арктики: прогресс, смена концепций, актуальные задачи // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 1. С. 21–33.
- Семенов В.А., Матвеева Т.А. Изменения арктических морских льдов в первой половине XX века: пространственно-временная реконструкция на основе температурных данных // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 5. С. 611–616.
- Семенов С.М., Попов И.О., Ясюкевич В.В. Статистическая модель для оценки формирования климатогенных угроз по данным мониторинга климата // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 59–65.
- Сухонос П.А., Дианский Н.А. Связи долгопериодных мод изменчивости температуры и толщины верхнего квазиоднородного слоя Северной Атлантики с индексами климатической изменчивости // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 3. С. 347–359.
- Чернокульский А.В. и др. Смерчи в российских регионах // Метеорология и гидрология. 2021. № 2. С. 17–34.
- Чилингаров А.Н., Михеев В.Л., Сычев Ю.Ф. К инициативе проведения Пятого международного полярного года // Гидрометеорология и экология. 2022. № 66. С. 104–109.
- Abida A. et al. Regional climates // BAMS. 2020. V. 101 (8). P. S321–S420.
- Abram N. et al. Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 3–35.
- Aleshina M.A., Semenov V.A., Chernokulsky A.V. A link between surface air temperature and extreme precipitation over Russia from station and reanalysis data // Environ. Res. Lett. 2021. V. 16. 105004. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac1c1ba>
- Allan R.P. et al. Advances in understanding large-scale responses of the water cycle to climate change // Ann. N.Y. Acad. Sci. 2020. V. 1472 (1). P. 49–75.
- Allan R.P. et al. Summary for Policymakers / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 3–32.
- Anisimov O., Zimov S. Thawing permafrost and methane emission in Siberia: Synthesis of observations, reanalysis, and predictive modeling // Ambio, 2021. V. 50. P. 2050–2059.
- Biskaborn B.K. et al. Permafrost is warming at a global scale // Nat. Comm. 2019. V. 10. P. 264. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-08240-4>
- Canadell J.G. et al. Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 673–816.
- Chen J. et al. Sustainability challenges for the social-environmental systems across the Asian drylands belt // Environ. Res. Lett. 2022. V. 17(2). P. 023001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac472f>
- Chernokulsky A. et al. Tornadoes in Northern Eurasia: from the Middle Age to the Information Era // Mon. Wea. Rev. 2020. <https://doi.org/10.1175/MWR-D-19-0251.1>
- Douville H. et al. Water cycle changes / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 1055–1210.
- Gavrilov A., Seleznev A., Mukhin D. et al. Linear dynamical modes as new variables for data-driven ENSO forecast // Cli. Dyn. 2019. V. 52 (3–4). P. 2199–2216.
- Georgiadi A.G., Groisman P.Y. Long-term changes of water flow, water temperature and heat flux of two largest arctic rivers of European Russia, Northern Dvina and Pechora. Environ. Res. Lett. 2022. V. (8). P. 085002, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac82c1>
- Grigorieva V., Gulev S.K. Wave climate in Subarctic seas from voluntary observing ships. Russ. J. Earth Sci. 2020, 20 (6), ES6015.
- Gruzdev A.N., Bezverkhny V.A. Analysis of solar cycle-like signal in the North Atlantic Oscillation index // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2019. V. 187. P. 53–62.
- Gulev S.K. et al. Changing State of the Climate System / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 287–422.
- Gushchina D., Kolennikova M., Dewitte B., Yeh S.W. On the relationship between ENSO diversity and the ENSO

- atmospheric teleconnection to high-latitudes // Intern. J. Climatol., 2022. V. 42 (2). P. 1303–1325.
- Hock R. et al. High Mountain Areas / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 131–202. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.004>
- Izhitskiy A.S. et al. The world's largest heliothermal lake newly formed in the Aral Sea basin // Environ. Res. Lett. 2021. V. 16. P. 115009.
- Jia G. et al. Land–climate interactions / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla et al. (eds.). 2019. P. 131–247. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.004>
- Lappalainen H.K. et al. Overview: Recent advances in the understanding of the Northern Eurasian environments and of the urban air quality in China – A pan-Eurasian experiment (PEEX) programme perspective // Atmos. Chem. Phys. 2022. V. 22 (7). P. 4413–4469.
- Lupo A.R. et al. Changes in global blocking character during recent decades // Atmosphere. 2019. V. 10 (2). P. 92. <https://doi.org/10.3390/atmos10020092>
- Meredith M. et al. Polar Regions / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 203–320. <https://doi.org/10.1017/9781009157964.005>
- Mokhov I.I., Smirnov D.A. Contributions to surface air temperature trends estimated from climate time series: Medium-term causalities // Chaos. 2022. V. 32. P. 063128, <https://doi.org/10.1063/5.0088042>
- Mokhov I.I., Timazhev A.V. Seasonal hydrometeorological extremes in the Northern Eurasian regions depending on ENSO phase transitions // Atmosphere. 2022. V. 13 (2). P. 249, <https://doi.org/10.3390/atmos13020249>
- Overland J., Wang M., Dunlea E. et al. The urgency of Arctic change. Polar Sci., 2019, 21, 6–13. Polonsky A.B. The ocean's role in climate change. Cambridge Scholars Publ., Newcastle upon Tyne. 2019. 276 pp.
- Polonsky A.B. The IOD-ENSO interaction: The role of the Indian Ocean current's system // Atmosphere. 2021. V. 12 (12). P. 1662. <https://doi.org/10.3390/atmos12121662>
- Serykh I.V., Sonechkin D.M. Nonchaotic and globally synchronized short-term climatic variations and their origin // Theor. Appl. Climatol. 2019. V. 137. P. 2639–2656.
- Slyunyaev N.N., Ilin N.V., Mareev E.A., Price C.G. The global electric circuit land-ocean response to the El Niño – Southern Oscillation // Atmos. Res. 2021. V. 260. P. 105626.
- Slyunyaev N.N., Ilin N.V., Mareev E.A., Price C.G. A new link between El Niño – Southern Oscillation and atmospheric electricity // Environ. Res. Lett. 2021. V. 16 (4). P. 044025.
- Smith P. et al. Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: Synergies, trade-offs and integrated response options. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems P.R. Shukla et al. (eds.). 2019. P. 551–672. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.008>
- Sonechkin D.M., Vakulenko N.V., Volodin E.M. Sun-induced synchronizations of the interannual to interdecadal hemispheric mean (land and sea) temperature variations // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2020. 105450.
- Steidinger B.S. et al. Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses // Nature. 2019. V. 569 (7756). P. 404–408.
- Surkova G., Krylov A. Extremely strong winds and weather patterns over arctic seas // Geogr. Environ., Sustain. 2019. V. 12 (3). P. 34–42.
- Vanderkelen I. et al. Global heat uptake by inland waters // Geophys. Res. Lett. 2020. V. 47 (12), e2020GL087867. <https://doi.org/10.1029/2020GL087867>
- Zherebtsov G.A., Kovalenko V.A., Molodykh S.I., Kirichenko K.E. Solar variability manifestations in weather and climate characteristics // J. Atmos. Solar-Terr. Phys. 2019. V. 182. P. 217–222.
- Zveryaev I.I., Arkhipkin A.V. Leading modes of interannual soil moisture variability in European Russia and their relation to regional climate during the summer season // Cli. Dyn. 2019. V. 53. P. 3007–3022.
- Дополнительный список литературы к разделу 3.
- Акперов М.Г. и др. Особенности температурной стратификации и ее изменений в тропосфере арктических широт по данным реанализа и модельным расчетам // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 19–27.
- Багатинский В.А., Дианский Н.А. Вклады климатических изменений температуры и солёности в формирование трендов термохалинной циркуляции Северной Атлантики // Вестник Московского университета. Сер. 3: Физика. Астрономия. 2022. № 3. С. 73–88.
- Варгин П.Н., Кострыкин С.В., Ракушина Е.В. и др. Исследование изменчивости дат весенних перестроек циркуляции стратосферы и параметров стратосферного полярного вихря в Арктике по данным моделирования и реанализа // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 5. С. 526–539.
- Выручалкина Т.Ю., Дианский Н.А., Фомин В.В. Эволюция уровня Каспийского моря под влиянием климатических изменений поля ветра // Труды ГОИИ. 2019. № 220. С. 135–147.
- Галин В.Я., Дымников В.П. Динамико-стохастическая параметризация облачности в модели общей циркуляции атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 5. С. 3–8.
- Гинзбург А.С., Демченко П.Ф. Антропогенные мезо-метеорологические обратные связи: обзор современных исследований // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 6. С. 94–113.
- Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В. Прогностические оценки климатических изменений в Арктике на основе комбинированного сценария // Российская Арктика. 2019. № 4. С. 24–33.
- Елисеев А.В. и др. Связь частоты молний со статистическими характеристиками конвективной активности в атмосфере // Доклады АН. 2019. Т. 485. № 1. С. 76–82.
- Кислов А.В., Морозова П.А. Вариации уровня Каспийского моря в различных климатических условиях по данным моделирования в рамках проекта CMIP6 // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 622–632.

- Клименко В.В., Клименко М.В., Бессараб Ф.С. и др. Глобальная модель EAGLE как инструмент исследования влияния атмосферы на электрическое поле в приэкваториальной ионосфере // Химическая физика. 2019. Т. 38. № 7. С. 86–92.
- Корнева И.А., Рыбак О.О., Володин Е.М. Использование энергетического баланса модели для включения криосферного компонента в климатическую модель. Часть III. моделирование баланса массы на поверхности антарктического ледникового щита // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 5–18.
- Кривоуцкий А.А., Вьюшкова Т.Ю., Черепанова Л.А. и др. Численные глобальные модели ионосферы, озоносферы, температурного режима и циркуляции для высот 0–130 км. Результаты и перспективы // Метеорология и гидрология. 2021. № 9. С. 59–69.
- Ларин И.К. О влиянии глобального потепления на озоновый слой и УФ-В излучение // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2021. Т. 57. № 1. С. 120–125.
- Молодых С.И., Жеребцов Г.А., Караханян А.А. Оценка влияния солнечной активности на уходящий поток инфракрасного излучения // Геомагнетизм и аэрономия. 2020. Т. 60. № 2. С. 208–215.
- Морозова П.А., Ушаков К.В., Семенов В.А., Володин Е.М. Водный баланс Каспийского моря в эпоху последнего ледникового максимума по данным экспериментов с математическими моделями // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 601–608.
- Мохов И.И. Особенности современных изменений в Арктике и их последствий // Проблемы Арктики и Антарктики. 2020. Т. 66. № 4. С. 446–462.
- Мохов И.И. Геофизическая термодинамика: особенности температурной стратификации атмосферы в годовом ходе // Вестник Московского университета. Сер. 3. Физика и астрономия. 2022. № 3. С. 58–63.
- Мохов И.И., Малахова В.В., Аржанов М.М. Модельные оценки внутри- и межвековой деградации “вечной мерзлоты” в регионе полуострова Ямал при потеплении // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506. № 2. С. 219–226.
- Мохов И.И., Погарский Ф.А. Изменения режимов морского волнения в арктическом бассейне по ансамблевым модельным расчетам для 21 века // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 2. С. 189–193.
- Мохов И.И., Тимажеев А.В. Вертикальная температурная стратификация атмосферы в зависимости от продолжительности годового цикла инсоляции по расчетам с климатической моделью общей циркуляции // ДАН. 2020. Т. 494. № 2. С. 48–52.
- Осипов А.М., Гущина Д.Ю. Механизм формирования двух типов Эль-Ниньо в современном климате // Вестник Московского университета. Сер. 5: Геогр. 2021. № 1. С. 128–135.
- Пастухова А.С., Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю. и др. Численное моделирование изменения содержания озона, эритемной радиации и УФ ресурсов над территорией Северной Евразии в XXI веке // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 1. С. 20–28.
- Рубинштейн К.Г., Зароченцев Г.А., Игнатов Р.Ю. и др. Региональная модель динамики атмосферы для системы численного моделирования климата Арктики // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2019. № 3 (373). С. 60–72.
- Солдатенко С.А., Юсупов Р.М. Оценка влияния тепловой инерции и обратных связей в системе “атмосфера–океан” на изменчивость глобальной приповерхностной температуры воздуха // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 6. С. 114–126.
- Степаненко В.М., Репина И.А., Федосов В.Э. и др. Обзор методов параметризации теплообмена в моховом покрове для моделей земной системы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 2. С. 127–138.
- Сухонос П.А., Дианский Н.А. Связи долгопериодных мод изменчивости температуры и толщины верхнего квазиоднородного слоя Северной Атлантики с индексами климатической изменчивости // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2020. Т. 56. № 3. С. 347–359.
- Фадеев Р.Ю., Толстых М.А., Володин Е.М. Климатическая версия модели атмосферы ПЛАВ: разработка и первые результаты // Метеорология и гидрология. 2019. № 1. С. 22–35.
- Фролов А.В. Динамико-стохастическое моделирование многолетних колебаний уровня Каспия в палеовремени (14–4 тыс. лет до н.э.) // Водные ресурсы. 2021. Т. 48. № 6. С. 633–642.
- Фролов И.Е., Кулаков М.Ю., Фильчук К.В. Баланс льда в Северном Ледовитом океане в 1979–2019 гг. (по данным моделирования) // Лед и снег. 2022. Т. 62. № 1. С. 113–124.
- Чилингаров А.Н., Михеев В.Л., Сычев Ю.Ф. К инициативе проведения Пятого международного полярного года // Гидрометеорология и экология. 2022. № 66. С. 104–109.
- Шестакова А.А., Володин Е.М. Воспроизведение вертикальной структуры тропосферы климатической моделью ИВМРАН // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 28–40.
- Abram N. et al. Summary for Policymakers / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 3–35.
- Akperov M. et al. Impact of Atlantic water inflow on winter cyclone activity in the Barents Sea: insights from coupled regional climate model simulations // Environ. Res. Lett. 2020. V. 15. P. 024009.
- Allan R.P. et al. Summary for Policymakers / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 3–32.
- Anisimov O., Zimov S. Thawing permafrost and methane emission in Siberia: Synthesis of observations, reanalysis, and predictive modeling // Ambio. 2021. V. 50. P. 2050–2059.
- Brierley C.M. et al. Large-scale features and evaluation of the PMIP4-CMIP6 midHolocene simulations // Clim. Past. 2020. V. 16 (5). P. 1847–1872.
- Brodowsky C. et al. Modeling the sulfate aerosol evolution after recent moderate volcanic activity, 2008–2012 // J. Geophys. Res.: Atmos. 2021. V. 126. e2021JD035472. <https://doi.org/10.1029/2021JD035472>
- Canadell J.G. et al. Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working

- Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 673–816.
- Douville H. et al. Water cycle changes / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 1055–1210.
- Golubenkov K., Usoskin I., Mironova I., Karagodin A., Rozanov E. Natural sources of ionization and their impact on atmospheric electricity // *Geophys. Res. Lett.* 2020. V. 47 (12). e2020GL088619.
- Grant L. et al. Attribution of global lake systems change to anthropogenic forcing // *Nature Geosci.* 2021. V. 14 (11). P. 849–854.
- Gulev S.K. et al. Changing State of the Climate System / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 287–422.
- Hock R. et al. High Mountain Areas / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 131–202.
- Ilin N.V., Slyunyaev N.N., Mareev E.A. Toward a realistic representation of global electric circuit generators in models of atmospheric dynamics // *J. Geophys. Res.: Atmos.* 2020. V. 125 (6), e2019JD032130.
- Jia G. et al. Land–climate interactions / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla (eds.). 2019. P. 131–247.
- Kageyama M. et al. A multi-model CMIP6-PMIP4 study of Arctic sea ice at 127 ka: Sea ice data compilation and model differences // *Clim. Past.* 2021. V. 17 (1). P. 37–62.
- Kageyama M. et al. The PMIP4 Last Glacial Maximum experiments: Preliminary results and comparison with the PMIP3 simulations // *Clim. Past.* 2021. V. 17 (3). P. 1065–1089.
- Karagodin-Doyennel A., Rozanov E., Sukhodolov T. Iodine chemistry in the chemistry-climate model SOCOL-AERV2-I // *Geosci. Mod. Dev.* 2021. V. 14 (10). P. 6623–6645.
- Kulyamin D.V., Ostanin P.A. Modelling of equatorial ionospheric anomaly in INM RAS coupled thermosphere–ionosphere model // *Russ. J. Numer. An. Math. Model.* 2020. V. 35 (1). P. 1–9.
- Loskutov E., Vdovin V., Klinshov V. et al. Applying interval stability concept to empirical model of Middle Pleistocene transition // *Chaos.* 2022. V. 32 (2). P. 021103.
- Lunt D.J., Bragg F., Steinig S. et al. DEEPMIP: Model intercomparison of Early Eocene Climatic Optimum (EECO) large-scale climate features and comparison with proxy data // *Clim. Past.* 2021. V. 17 (1). P. 203–227.
- MacDougall A.H., Frölicher T.L., Jones C.D. et al. Is there warming in the pipeline? A multi-model analysis of the zeroemission commitment from CO₂ // *Biogeosci.* 2020. V. 17. P. 2987–3016.
- Meredith M. et al. Polar Regions / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 203–320.
- Otto-Bliesner B.L. et al. Large-scale features of Last Interglacial climate: Results from evaluating the lig127k simulations for the Coupled Model Intercomparison Project (CMIP6)-Paleoclimate Modeling Intercomparison Project (PMIP4) // *Cli. Past.* 2021. V. 17 (1). P. 63–94.
- Smith P. et al. Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: Synergies, trade-offs and integrated response options / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla (eds.). 2019. P. 551–672.
- Smyshlyaev S., Galin V., Blakitnaya P., Jakovlev A. Numerical modelling of the natural and manmade factors influencing past and current changes in polar, mid-latitude and tropical ozone // *Atmosphere.* 2020. V. 11. P. 76.
- Sonechkin D.M., Vakulenko N.V., Volodin E.M. Sun-induced synchronizations of the interannual to interdecadal hemispheric mean (land and sea) temperature variations // *J. Atmos. Solar-Terr. Phys.* 2020, 105450.
- Sukhodolov T. et al. Atmosphere–ocean–aerosol–chemistry–climate model SOCOLv4.0: description and evaluation // *Geosci. Model Dev.* 2021. V. 14. P. 5525–5560.
- Vanderkelen I. et al. Global heat uptake by inland waters // *Geophys. Res. Lett.* 2020. V. 47 (12), e2020GL087867. <https://doi.org/10.1029/2020GL087867>
- Xu L.Y. et al. The effect of super volcanic eruptions on ozone depletion in a chemistry–climate model // *Adv. Atmos. Sci.* 2019. V. 36. P. 823–836.

Дополнительный список литературы к разделу 4.

- Володин Е.М. Вероятные изменения климата в XXI веке на территории России по данным модели климата INM-CV5-0 // *Метеорология и гидрология.* 2022. № 5. С. 5–13.
- Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В. Прогностические оценки климатических изменений в Арктике на основе комбинированного сценария // *Российская Арктика.* 2019. № 4. С. 24–33.
- Елисеев А.В., Васильева А.В. Природные пожары: данные наблюдений и моделирование // *Фундаментальная и прикладная климатология.* 2020. Т. 3. С. 73–119.
- Мартинова Ю.В., Варгин П.Н., Володин Е.М. Изменение шторм–треков Северного полушария в зимний период в условиях будущего климата по расчетам климатической модели ИВМ РАН CM5 // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2022. Т. 58. № 3. С. 250–262.
- Мирвис В.М., Мелешко В.П., Говоркова В.А., Байдин А.В. Аномальные режимы погоды зимой и летом на территории России в XXI веке по данным модельных расчетов CMIP6 // *Метеорология и гидрология.* 2022. № 5. С. 14–23.
- Мохов И.И. Особенности современных изменений в Арктике и их последствий // *Проблемы Арктики и Антарктики.* 2020. Т. 66. № 4. С. 446–462.
- Мохов И.И., Малахова В.В., Аржанов М.М. Модельные оценки внутри- и межвековой деградации “вечной мерзлоты” в регионе полуострова Ямал при потеп-

- лении // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 506. № 2. С. 219–226.
- Мохов И.И., Осипов А.М., Чернокульский А.В. Центры действия атмосферы в Северном полушарии: современные особенности и ожидаемые изменения в 21 веке по расчетам с ансамблями климатических моделей CMIP5 и CMIP6 // ДАН. Науки о Земле. 2022. Т. 507. № 2. С. 174–182.
- Мохов И.И., Погарский Ф.А. Изменения режимов морского волнения в арктическом бассейне по ансамблевым модельным расчетам для 21 века // ДАН. Науки о Земле. 2021. Т. 496. № 2. С. 189–193.
- Пикалева А.А., Школьник И.М., Стернзат А.В., Егоров Б.Н., Надежина Е.Д. Сценарный ансамблевый прогноз изменений дефицита влаги в аридных регионах в середине XXI века // Метеорология и гидрология. 2020. № 12. С. 52–60.
- Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Салль И.А. и др. Изменение показателей экстремальности термического режима в XXI в.: ансамблевые оценки для территории России // Метеорология и гидрология. 2019. № 3. С. 11–23.
- Хлебникова Е.И., Рудакова Ю.Л., Школьник И.М. Изменение режима атмосферных осадков на территории России: результаты регионального климатического моделирования и данные наблюдений // Метеорология и гидрология. 2019. № 7. С. 5–16.
- Школьник И.М., Надежина Е.Д., Стернзат А.В., Пикалева А.А., Егоров Б.Н. Моделирование эволюции засушливых условий в XXI веке для обоснования мер адаптации агросектора России к климатическим воздействиям // Метеорология и гидрология. 2022. № 5. С. 107–122.
- Abram N. et al. Summary for Policymakers / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 3–35.
- Akperov M. et al. Future projections of cyclone activity in the Arctic for the 21st century from regional climate models (Arctic-CORDEX) // . V. 182. P. 103005.
- Akperov M., Zhang W., Miller P.A. et al. Responses of Arctic cyclones to biogeophysical feedbacks under future warming scenarios in a regional Earth system model // Environ. Res. Lett. 2021. V. 16. P. 064076. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac0566>
- Alexandrov G.A., Ginzburg V.A., Romanovskaya A.A., Inarov G.E. CMIP6 model projections leave no room for permafrost to persist in Western Siberia under the SSP5-8.5 scenario // Cli. Change. 2021. V. 169 (3–4), <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03292-w>
- Allan R.P. et al. Summary for Policymakers / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 3–32. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>
- Brown J.R. et al. Comparison of past and future simulations of ENSO in CMIP5/PMIP3 and CMIP6/PMIP4 models // Clim. Past. 2020. V. 16 (5). P. 1777–1805.
- Canadell J.G. et al. Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 673–816.
- Caretta M.A. et al. Water / In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 551–712.
- Douville H. et al. Water cycle changes. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 1055–1210.
- Golub M. et al. A framework for ensemble modelling of climate change impacts on lakes worldwide: the ISIMIP Lake Sector // Geosci. Model Dev. 2022. V. 15. P. 4597–4623.
- Grant L. et al. Attribution of global lake systems change to anthropogenic forcing // Nature Geosci. 2021. V. 14 (11). P. 849–854.
- Gulev S.K. et al. Changing State of the Climate System / In Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 287–422.
- Hock R. et al. High Mountain Areas / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 131–202.
- Jia G. et al. Land–climate interactions. In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla (eds.). 2019. P. 131–247.
- Meredith M. et al. Polar Regions / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 203–320.
- Pavlova V., Shkolnik I., Pikaleva A. et al. Future changes in spring wheat yield in the European Russia as inferred from a large ensemble of high-resolution climate projections // Environ. Res. Lett. 2019. V. 14. P. 034010. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf8be>
- Santolaria-Otin M., Zolina O. Evaluation of snow cover and snow water equivalent in the continental Arctic in CMIP5 models. Cli. Dyn., 2020, 55. 2993–3016.
- Smith P. et al. Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: Synergies, trade-offs and integrated response options / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems P.R. Shukla et al. J (eds.). 2019. P. 551–672.
- Smyshlyaev S., Galin V., Blakitnaya P., Jakovlev A. Numerical modelling of the natural and manmade factors influencing past and current changes in polar, mid-latitude and tropical ozone // Atmosphere. 2020. V. 11. P. 76.
- Tebaldi C. et al. Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP)

- of CMIP6 // *Earth System Dyn.* 2021. V. 12 (1). P. 253–293.
- Дополнительный список литературы к разделу 5.
- Гинзбург А.С., Александров Г.А., Чернокульский А.В. Климатические критерии необходимости превентивной адаптации // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2022. Т. 58. № 6. С. 626–637.
- Гинзбург В.А., Кострыкин С.В., Рябошапка А.Г. и др. Условия стабилизации средней глобальной приповерхностной температуры на уровнях +2 и +1.5°C при использовании геоинженерного метода на основе стратосферных аэрозолей // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 5. С. 66–76.
- Гурлев И.В., Макоско А.А., Малыгин И.Г. Анализ состояния и развития транспортной системы Северного морского пути // *Арктика: экология и экономика*. 2022. Т. 12. № 2. С. 258–270.
- Данилов–Данильян В.И., Катицов В.М., Порфирьев Б.Н. Проблема климатических изменений – поле сближения и взаимодействия естественных и социогуманитарных наук // *Вестник РАН*. 2020. Т. 90. № 10. С. 914–925.
- Иванов А.Л. и др. Землепользование России в условиях изменения глобального климата и беспрецедентных социально-экономических вызовов: состояние почвенного (зонального) покрова, тенденции изменения, деградация, методология учета, прогнозы. М.: “Издательство МБА”. 2022. 100 с.
- Инсаров Г.Э., Мендес К.Л., Семенов С.М., Янда П.З. Концепция риска и визуализация его изменений в докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020. Т. 2. С. 6–34.
- Катицов В.М., Школьник И.М., Павлова В.Н. и др. Развитие технологии вероятностного прогнозирования регионального климата на территории России и построение на ее основе сценарных прогнозов изменения климатических воздействий на секторы экономики. Ч. 2: Оценки климатических воздействий // *Труды ГГО*. 2019. № 593. С. 6–52.
- Кислов А.В., Суркова Г.В. Влияние глобального потепления на климатические ресурсы России // *Экономика. Налоги. Право*. 2021. Т. 14. № 4. С. 6–14.
- Клименко В.В., Гинзбург А.С., Федотова Е.В., Терешин А.Г. Волны тепла – новая опасность для энергосистемы России // *ДАН. Физика, технические науки*. 2020. Т. 494. № 1. С. 82–88.
- Клименко В.В., Клименко А.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Энергетика, демография, климат – есть ли альтернатива отказу от ископаемого органического топлива? // *ДАН. Физика, технические науки*. 2022. Т. 506. № 2. С. 66–72.
- Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. От Рио до Парижа через Киото: как усилия по охране глобального климата влияют на развитие мировой энергетики // *Теплоэнергетика*. 2019. № 11. С. 5–15.
- Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г., Федотова Е.В. Климатические экстремумы – новый вызов для российских энергосистем // *Теплоэнергетика*. 2021. № 3. С. 3–17.
- Клименко В.В., Федотова Е.В. Гидроэнергетика России в условиях глобальных изменений климата // *ДАН*. 2019. Т. 484. № 2. С. 156–160.
- Клюева М.В., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л., Павлова Т.В., Катицов В.М. Летний туризм в контексте будущих изменений климата России: оценки по большому ансамблю условных прогнозов высокого разрешения // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 6. С. 47–59.
- Ларин И.К. О влиянии глобального потепления на озоновый слой и УФ-В излучение // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2021. Т. 57. № 1. С. 120–125.
- Липка О.Н., Романовская А.А., Семенов С.М. Прикладные аспекты адаптации к изменениям климата в России // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2020. Т. 1. С. 65–90.
- Макоско А.А. и др. Транспортный комплекс России / В: *Стратегическое планирование устойчивого функционирования экономического комплекса Российской Федерации*. Под. Ред. В.Г. Бондура, А.А. Макоско, Б.М. Наконечного. М.: РАН. 2021. С. 77–124.
- Макоско А.А., Матешева А.В. Оценка тенденций дальнего загрязнения атмосферы арктической зоны России в 1980–2050 гг. с учетом сценариев изменения климата // *Арктика: экология и экономика*. 2020. № 1 (37). С. 45–52.
- Макоско А.А., Матешева А.В. К оценке экологических рисков от загрязнения атмосферы арктической зоны в условиях изменяющегося климата в XXI в. // *Арктика: экология и экономика*. 2022. Т. 12. № 1. С. 34–45.
- Мельников В.П., Осипов В.И., Брушков А.В., Бадина С.В., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Железняк М.Н., Садуртдинов М.Р., Сергеев Д.О., Окунев С.Н., Остарков Н.А., Осокин А.Б., Федоров Р.Ю. Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов // *Криосфера Земли*. 2021. Т. 25. № 6. С. 3–15.
- Мохов И.И. Особенности современных изменений в Арктике и их последствий // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2020. Т. 66. № 4. С. 446–462.
- Оганесян В.В., Стерин А.М. Расчет потенциального финансового ущерба от опасных и неблагоприятных метеорологических явлений на территории Российской Федерации в 1987–2017 гг. // *Метеорология и гидрология*. 2019. № 12. С. 97–108.
- Пастухова А.С., Чубарова Н.Е., Жданова Е.Ю., Галин В.Я., Смышляев С.П. Численное моделирование изменения содержания озона, эритемной радиации и УФ ресурсов над территорией Северной Евразии в XXI веке // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2019. Т. 55. № 1. С. 20–28.
- Павлова В.Н., Богданович А.Ю., Семенов С.М. Об оценке благоприятности климата для культивирования зерновых исходя из частоты сильных засух // *Метеорология и гидрология*. 2020. № 12. С. 95–101.
- Пекарникова М.Е., Полонский А.Б. Анализ реалистичности достижения основной цели Парижского соглашения при существующей системе правового регулирования и контроля за антропогенными выбросами парниковых газов // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 8. № 2. С. 190–208.
- Порфирьев Б.Н. Экономическое измерение климатического вызова устойчивому развитию России // *Вестник Российской академии наук*. 2019. Т. 89. № 4. С. 400–407.
- Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты под влиянием изменений климата для

- устойчивости дорожной инфраструктуры в российской Арктике // Вестник РАН. 2019. Т. 89. № 12. С. 1228–1239.
- Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации вечной мерзлоты для жилищного сектора российской Арктики // Вестник РАН. 2021. Т. 91. № 2. С. 105–114.
- Порфирьев Б.Н., Елисеев Д.О., Стрелецкий Д.А. Экономическая оценка последствий деградации многолетней мерзлоты для объектов системы здравоохранения российской Арктики // Вестник РАН. 2021. Т. 91. № 12. С. 1125–1136.
- Порфирьев Б.Н. Парадигма низкоуглеродного развития и стратегия снижения рисков климатических изменений для экономики // Проблемы прогнозирования. 2019. № 2 (173). С. 3–13.
- Порфирьев Б.Н. Эффективная стратегия действий в отношении изменений климата и их последствий для экономики России // Проблемы прогнозирования. 2019. № 3 (174). С. 3–16.
- Порфирьев Б.Н. Декарбонизация versus адаптация экономики к климатическим изменениям в стратегии устойчивого развития // Проблемы прогнозирования. 2022. № 4 (193). С. 45–54.
- Порфирьев Б.Н., Широков А.А., Колпаков А.Ю., Единак Е.А. Возможности и риски политики климатического регулирования в России // Вопросы экономики. 2022. № 1. С. 72–89.
- Пустовалов К.Н., Харюткина Е.В., Корольков В.А., Нагорский П.М. Изменчивость ресурсов солнечной и ветровой энергии в российском секторе Арктики // Оптика атмосферы и океана. 2019. Т. 32. № 11. С. 908–914.
- Фалеев М.И., Цыбилов Н.А., Сидорович Т.И. Глобальные климатические изменения – фактор активизации природных и антропогенных вызовов населению и окружающей среде // Технологии гражданской безопасности. 2022. Т. 19. № 2 (72). С. 4–10.
- Школьник И.М., Пигольцина Г.Б., Ефимов С.В. Влияние глобального потепления на сельское хозяйство в засушливых регионах Евразии: ансамблевый прогноз на базе региональной климатической модели на середину XXI века // Метеорология и гидрология. 2019. № 8. С. 57–68.
- Эдельгериев Р.С.-Х. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство). Национальный доклад. Т. 3. М.: Издательство МБА. 2021. 700 с.
- Abram N. et al. Summary for Policymakers / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 3–35.
- Adler C. et al. Mountains / In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 2273–2318.
- Aleksandrovskii A., Klimenko V., Fedotova E. et al. Estimation of hydropower plants energy characteristics change under the influence of climate factors // Adv. Engineer. Res. 2020. V. 191. P. 7–13.
- Allan R.P. et al. Summary for Policymakers / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 3–32.
- Babiker M. et al. Cross-sectoral perspectives / In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P.R. Shukla et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 1245–1354.
- Bashmakov I.A. et al. Industry / In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P.R. Shukla et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 1161–1244.
- Bednar-Friedl B. et al. Europe / In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 1817–1927.
- Cabeza L.F. et al. Buildings / In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P.R. Shukla et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 953–1048.
- Callaghan T.V. et al. Improving dialogue among researchers? Local and indigenous peoples and decision-makers to address issues of climate change in the north // Ambio. 2020. V. 49 (6). P. 1161–1178.
- Canadell J.G. et al. Global carbon and other biogeochemical cycles and feedbacks / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 673–816.
- Caretta M.A. et al. Water / In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 551–712.
- Dhakal S. et al. Emissions trends and drivers supplementary material / In: IPCC, 2022: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P.R. Shukla et al. (eds.). Cambridge University Press, Cambridge / New York, NY. 2020. P. 215–294.
- Douville H. et al. Water cycle changes / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 1055–1210.
- Gulev S.K. et al. Changing State of the Climate System / In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assess-

- ment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson–Delmotte V. et al. (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2021. P. 287–422.
- Hock R. et al. High Mountain Area / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 131–202.
- Jia G. et al. Land–climate interactions / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. P.R. Shukla (eds.). 2019. P. 131–247.
- Kostianoi E.A., Kostianoy A.G. Regional climate change impact on coastal tourism: A case study for the Black Sea coast of Russia // *Hydrol.*, 2021, 8 (3), 133. <https://doi.org/10.3390/hydrology8030133>
- Meredith M. et al. Polar Regions / In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2019. P. 203–320.
- Pathak M. et al. Technical Summary. In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. P.R. Shukla (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.002>
- Pavlova V., Karachenkova A., Shkolnik I. et al. Future changes in spring wheat yield in the European Russia as inferred from a large ensemble of high-resolution climate projections // *Environ. Res. Lett.* 2019. V. 14 (3). P. 034010.
- Romanovskaya A.A., Federici S. How much greenhouse gas can each global inhabitant emit while attaining the Paris Agreement temperature limit goal? The equity dilemma in sharing the global climate budget to 2100 // *Carb. Manag.* 2019. V. 10 (4). P. 361–377.
- Shaw R. et al. Asia / In: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. H.-O. Pörtner (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. P. 1457–1579.
- Skea J. et al. Summary for Policymakers / In: Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, P.R. Shukla (eds.). Cambridge Univ. Press, Cambridge / New York, NY. 2022. <https://doi.org/10.1017/9781009157926.001>
- Smith P. et al. Interlinkages between desertification, land degradation, food security and greenhouse gas fluxes: Synergies, trade-offs and integrated response options / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems, P.R. Shukla (eds.). 2019. P. 551–672.
- Smyshlyaev S., Galin V., Blakitnaya P., Jakovlev A. Numerical modelling of the natural and manmade factors influencing past and current changes in polar, mid-latitude and tropical ozone // *Atmosphere*. 2020. V. 11. P. 76.
- Soldatenko S.A., Bogomolov A., Ronzhin A. Mathematical modelling of climate change and variability in the context of outdoor ergonomics // *Matematika* // 2021. V. 9 (22). P. 2920.
- Soldatenko S.A., Yusupov R.M. Optimal control for the process of using artificial sulfate aerosols for mitigating global warming // *Atmos. Oceanic Optics*. 2019. V. 32 (1). P. 55–63.
- Soldatenko S.A., Yusupov R.M. Optimal control perspective on weather and climate modification // *Matematika*. 2021. V. 9 (4). P. 1–16.
- Steidinger B.S. et al. Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses // *Nature*. 2019. V. 569 (7756). P. 404–408.
- Streletsky D.A., Suter L.J., Shiklomanov N.I. et al. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // *Environ. Res. Lett.* 2019. V. 14 (2). P. 025003.

Russian Climate Research in 2019–2022

I. I. Mokhov^{1, 2, *}

¹Obukhov Institute of Atmospheric Physics, Russian Academy of Sciences, Pyzhevskii per., 3, Moscow, 119017 Russia

²Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119992 Russia

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

The results of Russian studies of climate and its changes (published in 2019–2022) are presented based on a review prepared for the National Report on Meteorology and Atmospheric Sciences for the XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Berlin, Germany, July 11–20, 2023).

Keywords: global and regional climate changes, modeling, natural and anthropogenic factors, adaptation, regulation