

УДК 551.58

РОССИЙСКИЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В 2015–2018 гг.

© 2020 г. И. И. Мохов^{a, b, *}

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

^bМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, ГСП-1, Москва, 119991 Россия

*E-mail: mokhov@ifaran.ru

Поступила в редакцию 24.03.2020 г.

После доработки 27.03.2020 г.

Принята к публикации 01.04.2020 г.

Представлены результаты российских исследований климата и его изменений (опубликованных в 2015–2018 гг.) на основе обзора, подготовленного для Национального отчета по метеорологии и атмосферным наукам к XXVII Генеральной ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Монреаль, Канада, 8–18 июля 2019 г.).

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

DOI: 10.31857/S0002351520040069

ВВЕДЕНИЕ

В данном обзоре представлена информация о результатах российских исследований климата и его изменений (опубликованных в 2015–2018 гг.), подготовленная для Национального отчета России по метеорологии и атмосферным наукам за 2015–2018 гг. к XXVII Генеральной ассамблее Международного союза геодезии и геофизики (г. Монреаль, Канада, 8–18 июля 2019 г.) [1, 2]. Значительная часть ключевых результатов исследований изменений климата с анализом воздействий для России за последние годы представлена в [3–276]. Предыдущий аналогичный обзор был опубликован в [3, 4]. Росгидромет ежегодно публикует доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации (<http://meteorf.ru>), в 2017 г. был опубликован доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации [5], регулярно информация об исследованиях климата публикуется в бюллетене “Изменение климата”. Широкий спектр исследований проведен в рамках принятой в 2017 г. Программы Президиума РАН “Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования”.

После принятия в 2009 г. Климатической доктрины Российской Федерации (<http://kremlin.ru/events/president/news/6365>) был сформирован в 2010 г. Комплексный план научных исследований погоды и климата, а в 2011 г. – утвержден Комплексный план реализации Климатической доктрины Российской Федерации. В соответствии с этим на федеральном уровне осуществляется ежегодный сбор, анализ и синтез результатов по

ключевым направлениям проводимых в России климатических исследований с оценкой и прогнозированием связанных с изменением климата угроз национальной безопасности, оценкой рисков и выгод для экономики страны и ее регионов, способности адаптации к изменениям климата. Особое значение имеет принятие Национального плана по адаптации к изменениям климата.

Ключевое значение имело принятое в конце 2015 г. на 21 сессии Конференции сторон Рамочной конвенции ООН об изменении климата (СОР21) Парижское соглашение по климату – взамен Киотского протокола. Цель этого соглашения, поддержанного в том числе и Россией, – ограничить рост глобальной температуры у поверхности величиной 2°C относительно доиндустриального уровня, а желательно и более сильное ограничение – не более, чем на 1.5°C. В связи с этим от стран-участников требуется существенное уменьшение в ближайшие десятилетия антропогенных эмиссий в атмосферу парниковых газов, прежде всего CO₂. При этом Парижским соглашением не устанавливается для стран-участников конкретных планов-обязательств, как в Киотском протоколе. Страны-участники сами формируют свои соответствующие планы (INDC – Intended Nationally Determined Contributions). В связи с необходимостью реализации условий Парижского соглашения по климату необходима разработка соответствующих планов действий и стратегий долгосрочного развития с низким уровнем выбросов парниковых газов. В настоящее время

проблема климатических изменений — одна из ключевых глобальных проблем.

Цель данной работы — представить результаты российских исследований климатической системы и ее изменений в последние годы на основе краткого обзора, подготовленного в Комиссии по климату Национального геофизического комитета.

КЛИМАТ И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ, РЕАНАЛИЗА И ПАЛЕОРЕКОНСТРУКЦИЙ

Многие ключевые результаты исследований климата на основе наблюдений, данных реанализа и палеореконструкций представлены, в частности, в [1–127]. Значительные изменения климата, связанные с сильными погодно-климатическими аномалиями, были отмечены в последние годы во многих регионах. В России, как северной стране, потепление происходит намного быстрее, чем для Земли в целом. В последние десятилетия скорость приповерхностного потепления в российских регионах в целом была в два с половиной раза выше, чем глобальная. В некоторых регионах она была в несколько раз больше. По данным Росгидромета (<http://www.meteorf.ru>) среднегодовая приповерхностная температура для России в целом в 1976–2018 гг. росла со скоростью около $0.5^{\circ}\text{C}/(10 \text{ лет})$. Такое быстрое потепление в России сопровождается значительной межгодовой изменчивостью. Полученным линейным трендом объясняется половина дисперсии межгодовых вариаций приповерхностной температуры для России в целом.

В [25] анализируются региональные и сезонные особенности современного глобального потепления по данным инструментальных наблюдений для периода 1850–2015 гг. Особенности изменений снежного покрова на территории России на фоне современного потепления оцениваются в [26] по данным ВНИИГМИ-МЦД (<http://www.meteo.ru>) для периода 1950–2013 гг. на основе наблюдений на 600 российских метеостанциях. Отмечается, что резкий рост приповерхностной температуры зимой в 1970–1995 гг. отражается в соответствующих изменениях снегонакопления. При этом проявляются существенные региональные различия с сезонными особенностями тенденций изменений снежного покрова.

Важная область исследований связана с экстремальными климатическими явлениями и их изменениями [5–127]. Последние десятилетия характеризуются значительными изменениями климата, которые заметно проявляются в частоте и интенсивности экстремальных региональных явлений. На фоне общего потепления проявляется увеличение изменчивости климата. Количество опасных метеорологических явлений в реги-

онах России с конца XX века увеличивается в среднем примерно на 6–7% в год. В 2018 г. их было более чем в 4 раза больше, чем в 2000 г. (<http://www.meteorf.ru/>). Наибольшая частота экстремальных явлений (особенно связанных с гидрологическими процессами) отмечается в теплые месяцы года. В соответствии с соотношением Клапейрона–Клаузиуса это связано с увеличением влагоемкости атмосферы при потеплении, что увеличивает вероятность выпадения экстремального количества осадков. Изменение циркуляции атмосферы, в частности при ослаблении меридионального градиента температуры и геострофической скорости зонального ветра в средних широтах при общем тропосферном потеплении, способствует увеличению пространственной неоднородности климатических переменных, в том числе выпадения осадков, в пределах одной широтной зоны. Формирование температурных аномалий связано с изменением интенсивности струйных течений в атмосфере. Увеличение их извилистости способствует увеличению роли меридиональных процессов относительно зональных. При этом возрастает вероятность меридиональных прорывов холодного воздуха из полярных широт и теплого воздуха из более низких широт.

Проявляется ослабление статической устойчивости тропосферы, в частности над сушей в средних широтах Северного полушария. Это способствует интенсификации конвективных процессов. Изменяется вихревая активность в атмосфере [16]. В [22], например, анализируются режимы экстремальных циклонов в атмосфере в атлантико-европейских регионах. Рассмотрены возможные механизмы их формирования и изменений. Отмечены региональные особенности взрывного циклогенеза, связь условий формирования взрывных циклонов с режимами общей циркуляции атмосферы, в том числе взаимодействие циклонов со струйными течениями.

Сильные региональные климатические аномалии связаны с длительными (до месяца и более) блокированиями (блокинками) в тропосфере средних широт [40, 41, 57]. Аномальная летняя жара 2010 г. в европейской части России, рекордное амурское наводнение 2013 г. и холодные зимы в последние десятилетия в Евразии и Северной Америке связаны с атмосферными блокинками. С атмосферными блокированиями связано также формирование озоновых мини-дыр, аномально-го атмосферного переноса, они существенно увеличивают риск природных пожаров со значительными последствиями [100–104, 107–109].

Наиболее сильные климатические аномалии и изменения отмечаются в арктических и субарктических регионах, которые характеризуются высокой изменчивостью и чувствительностью к различным природным и антропогенным воздей-

ствиям [23–39, 50, 61, 65–67, 86–90, 94–96, 99, 111, 125, 127–131].

В последние десятилетия на фоне быстрых климатических изменений в Арктике. проявляется резкое уменьшение общей протяженности арктических морских льдов [5, 27, 29, 125]. При этом одна из ключевых климатических проблем последних лет была связана с различными тенденциями протяженности арктических и антарктических морских льдов. Общая протяженность (распространение) и площадь антарктических морских льдов по спутниковым данным с конца 1970-х гг. росла, хотя и неравномерно и статистически незначимо. В результате к 2014 г. ее среднегодовая площадь достигла рекордного высокого уровня – почти 13 млн км². После этого последовало резкое уменьшение (с 2016 г.) с достижением рекордно низких значений с конца 1970-х гг. На фоне быстрого уменьшения общей протяженности арктических морских льдов в связи сильным арктическим потеплением вариации протяженности морских льдов в субантарктических и антарктических акваториях с относительно слабыми температурными изменениями связаны со значимым влиянием естественной климатической изменчивости. При этом в последние два десятилетия проявляется более значимая когерентность долгопериодных вариаций общей протяженности и площади антарктических морских льдов с температурным режимом в Антарктике и для Южного полушария в целом. Отмеченное в последние резкое уменьшение общей протяженности морских льдов в Антарктике – индикатор возможного начала проявления ожидаемой на основе прогностических модельных оценок долгопериодной тенденции ослабления ледовитости в Южном полушарии при глобальном потеплении.

В арктических регионах особую важность имеют изменения в круговороте углерода, включая цикл метана, связанный с изменениями климата [11, 12, 24, 86, 87, 95]. Активно обсуждается в последние годы степень устойчивости метангидратов при современных изменениях климата. В [24, 86, 87, 95] оценивается потенциальная опасность влияния на климат проявляющейся на арктическом шельфе эмиссии в атмосферу метана по данным экспедиционных исследований. Согласно [137] эмиссию в атмосферу метана, отмечаемую по данным экспедиционных исследований на арктическом шельфе, можно связать с адаптацией термического режима донных отложений шельфа к началу голоцена из-за большого времени отклика этой региональной системы на внешние воздействия – до 15 тыс. лет (см. также [164]).

Климатические аномалии последних лет свидетельствуют не только об увеличении риска экстремальных региональных явлений, но и о проявлении новых явлений, характеризующих

достижение определенного критического уровня происходящих изменений. Например, в последние годы было выявлено образование кратеров на Ямале (впервые в 2014 г.) и прилегающих регионах. Новые геофизические особенности (кратеры в вечной мерзлоте) были отмечены в течение последних лет как реакция на значительное потепление северных регионов в криолитозоне [36, 65, 66] (см. также [128–131]). Такие особенности могут быть индикаторами критических изменений региональной устойчивости современных вечной мерзлоты и гидратов метана [128–131].

Значительный вклад в региональные и глобальные климатические вариации связан с различными циклическими и квазициклическими процессами в климатической системе Земли на разных временных масштабах. Заметный вклад связан с такими квазициклическими процессами и явлениями, как квазидвухлетнее колебание (КДК), Эль-Ниньо/Южное колебание (ЭНЮК), Атлантическая экваториальная мода (АЭМ), Североатлантическое колебание (САК), Арктическая осцилляция (АО), Атлантическое мультидесятилетняя осцилляция (АМО), Тихоокеанское десятилетнее колебание (ТДК) и другие [4, 9, 13, 16, 22, 42, 46, 47, 49, 57, 58, 77–79, 81, 82, 88, 114, 121–123].

В [39] по разным данным реанализа (NCEP-NCAR, ERA 40 и ERA-Interim) для периода 1958–2015 гг. выявлена зависимость количества больших внезапных стратосферных потеплений (ВСП) со смещением циркумполярного стратосферного вихря и количества малых ВСП от фазы КДК экваториального стратосферного ветра и от уровня солнечной активности в 11-летнем солнечном цикле. Большие ВСП, сопровождающиеся смещением полярного вихря, происходят чаще при высоком уровне солнечной активности и при восточной фазе КДК экваториального ветра в слое 50–40 гПа, а малые ВСП – наоборот, при низком уровне солнечной активности и при западной фазе КДК.

Возможные механизмы влияния на климат внеземных факторов, в частности изменчивости потока солнечной радиации (включая 11-летний солнечный цикл), и связанные с ними климатические эффекты обсуждаются в [53, 59, 124].

Активно развиваются в последние годы различные методы эмпирического моделирования. В [174, 175] предложен подход, в рамках которого на основе эмпирических данных возможно, например, получение прогностических оценок для процессов Эль-Ниньо (см. также [147]).

В [81, 82] сделаны количественные оценки вклада естественных и антропогенных факторов, в частности вклада радиационного воздействия парниковых газов и Атлантической мультидесятилетней осцилляции (АМО), в тренды глобаль-

ной приповерхностной температуры и в разных широтных зонах для различных временных интервалов. На основе данных инструментальных наблюдений с середины 19 века получены характеристики воздействий разных факторов на температурные изменения (“причинность по Вину—Грейнджеру”) с использованием трехкомпонентных авторегрессионных моделей. На сравнительно коротких интервалах времени длительностью 15–30 лет вклад АМО сопоставим по абсолютной величине с вкладом парниковых газов и мог даже превышать его, а на интервалах около шести десятилетий и более вклад АМО в тренд глобальной приповерхностной температуры уже незначим. При этом для последних десятилетий относительный вклад парниковых газов больше в тренды глобальной приповерхностной температуры и приповерхностной температуры в тропиках, а в тренды приповерхностной температуры средних и высоких широт — меньше.

Анализ исторических данных и палеорекоконструкций способствует более адекватному пониманию роли различных климатических механизмов [43, 44, 61–64, 74, 112, 113, 116, 119, 132]. В [116] оценивается климатическая предсказуемость на геологических масштаба времени порядка десятков и сотен тысяч лет с использованием, в частности, данных палеорекоконструкций для антарктических станций Восток и Dome C, EPICA. В том числе сделана оценка предсказуемости климата в диапазоне от примерно 20 до 120 тыс. лет. В [126] обсуждается проблема изменения режима климатической системы Земли в середине плейстоцена. Согласно результатам анализа морских донных осадков на временах порядка 1 млн лет назад изменился характерный период климатических колебаний, связанных с чередованием ледниковых и межледниковых эпох: циклы в 40 тыс. лет сменились циклами в 100 тыс. лет. В [132] анализируются изменения приповерхностной температуры Северного полушария за последние 2000 лет с использованием данных реконструкций по кольцам деревьев. С использованием вейвлетного анализа выделены характерные циклы, предложены аппроксимации и возможные экстраполяции изменений климата до конца XXI века.

Следует отметить особую важность сравнительного анализа изменений в разных слоях атмосферы, что существенно для диагностики сравнительной роли естественных и антропогенных факторов в происходящих изменениях климата [4, 173]. В [85] наряду с результатами анализа изменений приповерхностной температуры на глобальных масштабах представлены оценки изменений температуры и скорости ветра в разных слоях тропосферы и стратосферы на основе данных реанализа для периода 1948–2013 гг.

ТЕОРИЯ КЛИМАТА И МОДЕЛИРОВАНИЕ КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Различные аспекты теории климата и моделирования климатической системы рассматриваются в [8, 9, 13, 16, 125, 128–131, 133–211]. Для моделирования глобальной климатической системы и ее изменений используются модели различной сложности от концептуальных моделей до наиболее детальных моделей общей циркуляции (глобальной и региональной). Разработка и развитие климатических моделей связаны с более детальным пространственно-временным разрешением с учетом новых подсистем, дополнительных явлений и климатических процессов, более адекватного моделирования взаимодействия между различными компонентами климатической системы. Новые оценки климатических эффектов были получены с использованием новых параметризаций и специально разработанных алгоритмов для описания комплексных климатических процессов. Значительное развитие связано с моделями земной системы как расширением концепции климатических моделей [3, 4, 9]. Модели системы Земли включают, в частности, взаимодействие с естественным круговоротом углерода.

В [9] представлены результаты развития модели Земной системы в ИВМ РАН и ее компонентов. Описываются различные версии модели общей циркуляции атмосферы, в том числе совместной модели циркуляции нейтральной атмосферы и D-слоя ионосферы, модели общей циркуляции термосферы, и модели Мирового океана. Характеризуются особенности параметризаций атмосферных процессов, включая описание радиационных потоков, облачности, процессов конденсации и подстилающей поверхности. Особое значение при оценке роли естественных и антропогенных имеет адекватное модельное описание биогеохимических процессов в земной системе, в том числе углеродного цикла, включая цикл метана, и биохимических процессов в океане. Описание криосферных процессов включает модельные блоки для морских льдов и материковых ледовых щитов. Представлены результаты воспроизведения современного климата с использованием версии INMCM5 модели климатической системы. Приведено также описание модулей перспективной модели климата. В [211] представлены результаты расчетов для современного климата с версией INM-CM48 климатической модели ИВМ РАН, используемой в рамках международного проекта CMIP6 [<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip6>].

Разработка моделей климата и Земной системы требует адекватного моделирования процессов в различных слоях атмосферы, включая верхние слои атмосферы и их взаимодействие с про-

цессами в нижних слоях атмосферы. В частности, необходимо адекватно моделировать процессы в ионосфере [160–162]. Новая модель общей циркуляции атмосферы ИВМ РАН, которая включает тропосферу, стратосферу, мезосферу и нижнюю термосферу, а также нижнюю ионосферную область (INMAIM), представлена в [162]. Новая модель общей циркуляции основана на атмосферной части климатической модели INMCM с дополнением описания средней атмосферы и нижней ионосферы до высот 130 км. Используется новый алгоритм моделирования радиационных процессов. Для нижней ионосферы была разработана плазмохимическая модель.

В [147] представлены результаты расширения схемы природных пожаров в климатической модели промежуточной сложности КМ ИФА РАН учетом влияния молниевой активности и плотности населения на частоту возгораний и подавление пожаров. С КМ ИФА РАН проведены численные расчеты в соответствии с условиями международного проекта сравнения климатических моделей CMIP5 (Coupled Models Intercomparison Project, phase 5). Частота молниевых вспышек учитывалась в соответствии со спутниковыми данными LIS/OTD. Согласно полученным результатам доминирующую роль в возникновении природных пожаров играют антропогенные возгорания, за исключением регионов субполярных широт и в меньшей степени тропических и субтропических регионов. Учет связи числа пожаров с молниевой активностью и плотностью населения в модели усиливает влияние характеристик природных пожаров на изменения климата в тропиках и субтропиках по сравнению с версией КМ ИФА РАН без учета влияния источников возгорания на крупномасштабные характеристики природных пожаров.

В [192] представлены результаты численных расчетов, выполненных с использованием развиваемой в ГГО региональной климатической модели (с горизонтальным разрешением 25 км), для расширенного региона, включающего значительную часть Северной Евразии и часть Арктики. Эта версия модели может использоваться для ансамблевого моделирования изменений климата с использованием различных сценариев.

Результаты моделирования с использованием трехмерной химической транспортной модели в [157] для ситуации в европейской части России во время российской жары 2010 года с лесными пожарами показывают, что интенсивность образования вторичных органических аэрозолей в дымовых шлейфах, вызванных растительными и торфяными пожарами в реальных условиях, может существенно зависеть на аэрозольную оптическую толщину. Оптическая толщина аэрозоля определяет скорость фотодиссоциации и концен-

трацию гидроксильных радикалов, что, в свою очередь, определяет скорость образования вторичных органических аэрозолей в результате окисления полувolatile органических соединений. Эти результаты показывают, что важно учитывать этот эффект в исследованиях. Основное внимание уделялось анализу и прогнозированию загрязнения воздуха вследствие пожаров, а также исследованиям климата и погоды, результаты которых могут зависеть от предположений о содержании и свойствах углеродсодержащего аэрозоля в атмосфере (см. также [158]).

Причинно-следственные связи обсуждаются в [177, 178] (см. также [81, 82, 117]). В [177, 178] с использованием климатических моделей различной сложности, в том числе климатической модели промежуточной сложности КМ ИФА РАН, а также климатической модели общей циркуляции и концептуальной модели климата с углеродным циклом показано, что временной сдвиг между изменениями глобальной температуры поверхности воздуха и содержания CO_2 в атмосфере в целом не характеризует причинно-следственные связи в земной системе. В частности, знак этого сдвига зависит от масштаба времени непарникового радиационного воздействия. Полученные результаты важны для адекватного понимания различий взаимных вариаций температуры и содержания в атмосфере парниковых газов при современных изменениях климата и на временах, характерных для ледниковых циклов (порядка десятков и сотен тысяч лет).

Новый этап в развитии климатических моделей и моделей земной системы связан с подключением к ним моделей ледовых щитов. Для адекватной интерпретации палеореконструкций с использованием долговременного моделирования климата необходимо разработать соответствующие модели ледового покрова [4, 9, 182–185, 198]. Сравнительно простая модель глобальной климатической системы с учетом взаимодействия ледового щита с климатическим режимом предложена в [198]. При этом модель способна воспроизводить особенности палеоклиматической динамики раннего и позднего плейстоцена.

Важное направление связано с моделированием потенциальных эффектов гидратов метана, связанных с потеплением климата и деградацией вечной мерзлоты [128–131, 146]. В [128–131] образование кратеров на Ямале и в прилегающих районах было связано с разложением метаногидратов неглубокого залегания с выбросами газа в атмосферу в районах вечной мерзлоты при потеплении. Согласно результатам моделирования [128–131], образование мелких гидратов метана было возможно под высоким давлением ледяного покрова, существовавшего в отмеченных областях десятки тысяч лет назад. Тот факт, что в настоящее время

формируются кратеры, подобные тому, что на Ямале, свидетельствует о том, что современное потепление климата может быть не только сопоставимым с потеплением голоценового оптимума около 6 тысяч лет назад, но и превосходить его, по крайней мере, в региональном масштабе. В [128] были также сделаны оценки образования кратеров в регионах Северной Америки.

В [212] на основе расчетов с использованием глобальной химико-климатической модели нижней и средней атмосферы сделан вывод, что вклад выбросов метана из арктических газовых гидратов может недооцениваться. Увеличение выбросов метана в результате потепления Арктики может привести к уменьшению концентрации гидроксила и возникновению положительной обратной связи с содержанием метана в районе выбросов. Зоны изменения содержания озона при этом не совпадают с зонами увеличения содержания метана, а увеличение концентрации озона с ростом содержания метана носит нелинейный характер, замедляясь при больших значениях потоков метана. Это можно связать с уменьшением содержания гидроксила при увеличении выбросов метана и возникающими обратными связями, компенсирующими дополнительную продукцию озона.

Расчеты с российскими климатическими моделями, параметризациями и алгоритмами используются в различных международных программах, инициативах и проектах, включая международные сопоставления климатических моделей и их блоков: CMIP6, CORDEX (ArcCORDEX), NEFI (NEESPI), FAMOS, IMILAST, ISIMIP, PEECH и других.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГЛОБАЛЬНЫХ И РЕГИОНАЛЬНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ

В [121, 170, 173, 201–231] представлены результаты моделирования глобальных и региональных изменений климата с оценкой естественных и антропогенных факторов, в частности для российских регионов.

Очень быстрые изменения климата, особенно изменения площади морских льдов, отмечаются и моделируются в арктических и субарктических регионах. В частности, в [218] анализируются прогностические оценки изменений приповерхностной температуры в Арктике в XXI веке с использованием ансамбля климатических моделей CMIP5 при трех сценариях антропогенных воздействий: RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Проведено сравнение с прогностическими оценками с использованием ансамбля климатических моделей CMIP3. Это сравнение затрудняется из-за различия сценариев внешних воздействий. Тем не ме-

нее отмечено общее согласие региональных особенностей для изменений приповерхностной температуры по расчетам с двумя модельными ансамблями – CMIP5 и CMIP3. Отмеченное общее согласие новых оценок возможных температурных изменений в Арктике с полученными ранее с использованием других модельных версий и различающихся сценариев антропогенных воздействий свидетельствует об устойчивости полученных оценок возможных изменений климата, связанных с антропогенными воздействиями.

Аналогичный анализ проведен в [229] для возможных изменений в XXI веке осадков и испарения в Арктике и на водосборах крупнейших рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, по расчетам с ансамблем климатических моделей CMIP5 при разных сценариях (RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5). С сопоставлением с соответствующими более ранними прогностическими оценками с ансамблем климатических моделей CMIP3. Отмечено, в частности, что общее увеличение осадков в высоких широтах при глобальном потеплении — устойчивая тенденция при разных модельных расчетах изменений, связанных с увеличением в атмосфере содержания парниковых газов.

По расчетам с климатическими моделями предполагается дальнейшее общее уменьшение площади арктического морского льда в XXI веке. По модельным прогностическим оценкам навигация в Северном Ледовитом океане должна стать более доступной. При этом влияние изменений климата в Арктике проявляется и в средних широтах. В частности, полученные в [187] модельные оценки указывают на важную роль Баренцева моря как бассейна с сильнейшей изменчивостью теплообмена между океаном и атмосферой в Арктике, в формировании аномальных погодно-климатических режимов на территории России.

Лучшие модели способны адекватно воспроизводить не только региональные особенности климатических режимов, но и их изменчивость и тенденции [172]. Об этом свидетельствуют, в частности, результаты модельных оценок изменений периода навигации для Северного морского пути, полученные в [219, 220, 222, 223], в сравнении со спутниковыми данными для последних десятилетий. При этом, как отмечено в [215], результаты модельных оценок зависят от способа построения ансамблевой статистики.

В [221] с использованием результатов численных расчетов с глобальными климатическими моделями при разных сценариях антропогенных воздействий для XXI века получены, в частности, оценки изменений продолжительности навигационного периода на Северном морском пути с использованием байесовских оценок. Согласно полученным результатам, современные модели климата характеризуются значительной неопреде-

ленностью оценок чувствительности режима арктических морских льдов к изменениям климата. На основе ансамблевых модельных расчетов при различных сценариях антропогенных воздействий получено, что ожидаемая продолжительность навигационного периода на Северном морском пути оценивается около 2–3 мес. к середине XXI века и 3–6 мес. к его концу. При этом отмечены большие различия моделей в воспроизведении естественной межгодовой и более долгопериодной естественной климатической изменчивости, в частности изменчивости ледовитости морей на Северном морском пути.

В [210] проведен анализ сезонных характеристик циклонов (частоты, интенсивности и размера) и их изменений в Арктике в более теплом климате по расчетам с региональной климатической моделью HIRHAM при сценарии умеренных антропогенных воздействий для XXI века. Получено, что частота циклонов увеличивается в теплое время года и уменьшается в холодное время года для более теплого климата в XXI веке, но эти изменения статистически незначимы. Заметные изменения были отмечены для интенсивности и размеров циклонов и зимой и летом. Значительное увеличение частоты слабых циклонов проявляется в холодное время года. Согласно модельным оценкам частота небольших циклонов в холодные сезоны увеличивается, а в теплые уменьшается.

В [5] представлены оценки климатических рисков на территории Российской Федерации. Отмечено, что согласно прогностическим оценкам с современными климатическими моделями потепление в России в XXI веке существенно превышает среднее глобальное потепление с наибольшим ростом приповерхностной температуры зимой, особенно в высоких широтах в согласии с ранее полученными оценками (см. также [221]). В российских регионах в XXI веке вероятно увеличение “резкости” выпадения осадков в виде отдельных ливней или снегопадов, увеличение частоты сильных паводков и наводнений, штормовых ветров, погодных колебаний в виде волн тепла и холода. На большей части европейской части России ожидается увеличение повторяемости аномально больших осадков зимой и уменьшение летом. На фоне общего потепления в связи с естественной климатической изменчивостью проявляются периоды с региональным понижением приповерхностной температуры.

Модельные оценки изменений характеристик блокирования (включая количество, продолжительность и частоту) в различных регионах Северного полушария на основе численных расчетов возможных изменений климата представлены в [224]. Представлены результаты анализа функций распределения и их вариаций для характеристик атмосферных блокирований в европейско-атлан-

тических регионах, в том числе в европейской части России. Анализ основан на ансамблевых расчетах с глобальными климатическими моделями при разных RCP-сценариях антропогенных воздействий для XXI века. Согласно полученным модельным оценкам при потеплении ожидается, в частности, увеличение вероятности продолжительных блокирований.

Оценки региональной гидрологической изменчивости и тенденций изменений в условиях глобального потепления представлены в [214, 216, 217, 225–227, 229, 230]. Согласно [214] глобальные климатические модели в рамках ансамбля из 37 модельных версий международного проекта CMIP5 в целом адекватно воспроизводят многолетний годовой сток шести крупнейших российских рек — Амура, Волги, Енисея, Лены, Оби и Северной Двины. При этом выявлены значительные межмодельные различия. Отмечена необходимость адекватного воспроизведения в климатических моделях стохастической структуры рядов стока, степени коррелированности стока смежных лет. В целом лучшее соответствие модельных расчетов с данными наблюдений отмечено для Волги и Оби.

В [230] получены детальные оценки возможных изменений экстремальных гидрологических явлений в северной Евразии в XXI веке с использованием ансамбля 30 численных расчетов с региональной климатической моделью ГГО и гидрологической моделью CaMa-Flood [230]. Получено, в частности, что годовой максимальный сток рек к середине XXI века может почти удвоиться в устьях крупных сибирских рек.

В связи с интенсификацией конвективных процессов отмечается тенденция к росту конвективных облаков, в частности для Северной Евразии, а также частоты осадков. Высокая температура поверхности моря [171] способствует формированию мощных конвективных процессов с экстремальными осадками. Рекордное наводнение в бассейне Амура в 2013 году было связано в том числе и с рекордно высокой температурой поверхности тихоокеанских акваторий в Северном полушарии [4].

При общем потеплении можно ожидать также увеличение риска смерчегенеза (торнадогенеза). В [213] были получены оценки роста риска смерчей в регионах Северной Евразии по данным реанализа для последних десятилетий. Соответствующие оценки были получены и для возможных изменений климата в XXI веке по расчетам с ансамблем глобальных моделей климата [213]. Выявлено увеличение частоты условий, способствующих смерчегенезу в регионах северной Евразии. Наиболее значительное увеличение было получено для Дальнего Востока и Черноморского региона.

В [231] проведен анализ причин замедления глобального потепления в начале XXI века на основе

семи ансамблевых численных расчетов с климатической моделью INM-CM5 для периода 1850–2014 гг. при сценариях внешних воздействий, предложенных для международного проекта сравнения климатических моделей CMIP6. Во всех расчетах отмечен общий рост средней глобальной температуры у поверхности на 0.8°C с адекватным воспроизведением периодов ускоренного потепления (1920–1940 гг. и 1980–2000 гг.) и его некоторой стабилизации (1950–1975 гг. и 2000–2014 гг.). Замедление глобального потепления в 2000–2014 гг., недостаточно хорошо модельно воспроизводимое по расчетам в рамках протокола CMIP5, удалось воспроизвести благодаря более точному заданию сценария изменения солнечной постоянной в рамках протокола CMIP6. Пространственная структура наблюдаемого в последние три десятилетия потепления также адекватно воспроизведена в модельных расчетах.

Сильнейшая межгодовая изменчивость глобального климата связана с процессами Эль-Ниньо. В [121] проведен анализ изменений интенсивности и пространственной структуры взаимосвязи разных типов Эль-Ниньо с глобальной и региональной атмосферной циркуляцией при климатических изменениях в XXI веке с использованием результатов расчетов с ансамблем климатических моделей в рамках CMIP5. Одно из выявленных при этом существенных изменений связано с ослаблением корреляционных связей между явлениями Эль-Ниньо и глобальной и региональной циркуляцией атмосферы.

На основе анализа различных модельных расчетов в сопоставлении с данными наблюдений в [170] сделан вывод, что для адекватного понимания механизмов взаимодействия арктических и среднеширотных процессов, с формированием, в том числе, режимов типа “теплая Арктика – холодные континенты”, необходимы дальнейшие скоординированные исследования с ансамблями атмосферных и климатических моделей. Это связано, в частности, с тем, что связь аномальных зимних режимов на континентах в средних широтах с сокращением протяженности морских льдов в Арктике по расчетам с моделями общей циркуляции атмосферы, на фоне естественной изменчивости проявляется слабо и неустойчиво. Новые возможности для этих исследований связаны с Международным проектом по сравнению Арктического усиления в моделях (Polar Amplification Model Intercomparison Project – PAMIP) в рамках международной программы CMIP6.

Для определения сравнительной роли естественных и антропогенных факторов ключевое значение имеет анализ температурных и других изменений в зависимости от высоты в атмосфере. Модельные расчеты свидетельствуют о принципиальных различиях температурных изменений в

стратосфере и мезосфере из-за разных причин естественных (в том числе из-за вариаций солнечного излучения) и антропогенных изменений климата. Глобальное потепление, ассоциируемое с увеличением содержания в атмосфере парниковых газов, в том числе CO_2 , проявляется у поверхности и в тропосфере, в более высоких слоях атмосферы – стратосфере и мезосфере – отмечается выхолаживание. Выявленное по результатам различных измерений общее выхолаживание страто- и мезосферы при глобальном приповерхностном потеплении в последние десятилетия свидетельствует о потенциальной роли антропогенных механизмов глобальных изменений климата. Наиболее сильное выхолаживание за последние полвека отмечено в верхней атмосфере на высотах мезопаузы (около 90 км). При этом выявлены нелинейные изменения температурного режима в области мезопаузы с резким понижением температуры в 1970-х гг. (синхронным со сдвигом в климатических особенностях у поверхности, связываемым с явлениями Эль-Ниньо) с последующим замедлением скорости охлаждения. При значимой отрицательной корреляции вариаций температуры в области мезопаузы с приповерхностным температурным режимом для последних 6 десятилетий кросс-вейветный анализ не выявил значимой когерентности соответствующих наиболее долгопериодных температурных вариаций. Согласно расчетам с глобальной климатической моделью для XX–XXI веков с учетом антропогенных воздействий для получения их значимой когерентности необходимы существенно более продолжительные наблюдения температуры в области мезопаузы – около столетия и более [173].

ПОСЛЕДСТВИЯ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА И ПРОБЛЕМЫ АДАПТАЦИИ И КЛИМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ

Различные проблемы, связанные с последствиями изменения климата, а также с проблемами адаптации и смягчения последствий с учетом современных тенденций в мировой экономике и энергетике анализируются, в частности, в [1–8, 12, 14, 16, 17, 19, 232–276]. В том числе обсуждаются проблемы, связанные с оптимальной адаптацией российской экономики к опасным последствиям изменения климата и гидрометеорологической безопасности.

В России основы для адаптации природных и социально-экономических систем формируются и развиваются как в рамках международных соглашений и протоколов (в частности, в контексте Рамочной конвенции ООН об изменении климата, Парижского соглашения, Конвенции ООН о борьбе с опустыниванием, Конвенции ООН о биологическом разнообразии, Целей устойчивого развития на период до 2030 года), так и в рамках

национальных стратегических программ (в частности, в рамках Климатической доктрины Российской Федерации и Комплексного плана по ее реализации, Комплексного плана действий по борьбе с опустыниванием и др.) [5, 10, 247, 264]).

В [264] обсуждаются система мониторинга климата и загрязнения окружающей среды в России и конкретные показатели для оценки эффективности мер адаптации. В [10] анализируются прогнозируемые сценарии изменения климата и их влияние на сельское и лесное хозяйство. Дана оценка современных тенденций и рисков деградации почвенных и земельных ресурсов России, возможных механизмов и средств регулирования углеродного баланса в сельском и лесном хозяйстве, а также мер по адаптации систем и технологий земледелия и лесопользования к изменениям климата.

Междисциплинарные исследования социально-экономических, демографических и эколого-климатических проблем мегаполисов обсуждаются в [17]. Особое внимание уделяется климату мегаполисов, биоклиматическим показателям, волнам тепла и холода, минимизации рисков и адаптации (см. также [14]). Выраженное негативное влияние на здоровье человека оказывают тепловые волны [5]. Проблемы здоровья населения России в условиях изменяющегося климата рассматриваются также в [262, 263, 265, 266].

Степень экономической уязвимости России с точки зрения природных катастроф в [276] оценивается около 0.5% ВВП. Отмечено, что в группе факторов, влияющих на уязвимость экономики к природным катастрофам, определяющую роль играет структура, характер размещения и технологический уровень производства. Специфика размещения обусловлена географическими причинами (огромной территорией, богатством и разнообразием природных ресурсов и самым холодным среди стран мира климатом) и социально-экономическими особенностями развития страны. Почти четверть населения России проживает в районах повышенной природной опасности. В структуре ВВП и занятости виды деятельности, наиболее чувствительные к природным опасностям, особенно погодно-климатического характера (сельское, лесное, водное хозяйство, энергетика и т.д.), составляют не более 1/4. При этом совокупный объем государственных затрат на предупреждение и противодействие природным катастрофам согласно [276] менее 0.1% ВВП.

Ключевым моментом широко обсуждаемой проблемы глобального потепления является вопрос о максимально допустимых изменениях. Необходимо разработать объективные критерии для оценки как глобальных, так и региональных изменений климата и допустимых рисков [4–7]. Цели ограничения глобального потепления 2 и

1.5°C выше доиндустриального уровня в связи с соответствующим отчетом МГЭИК [6] рассматриваются в [7]. Согласно [6] превышение температуры на 1.5°C приводит к значительным негативным последствиям для природных и социально-экономических систем. Соответствующие ограничения связаны со значительными инвестициями. Оценки предельно допустимых рисков, в частности для России, обсуждаются в [5].

Различные аспекты проблемы смягчения последствий изменения климата обсуждаются в [233–235, 270–273]. В частности, долгосрочные прогнозы затрат и эффектов, связанных с реализацией дополнительных мер по улучшению энергоэффективности российских зданий, рассматриваются в [235]. Согласно [235], более трети общего потребления первичной энергии связано со зданиями в России, и с этим связан значительный потенциал для энергосбережения. Десять различных сценариев политики повышения энергоэффективности рассматриваются с выводом о том, что можно снизить потребление ископаемого топлива в зданиях более чем вдвое, удвоив их площадь и размер к 2050 году. Рассматриваются дополнительные преимущества, такие как сокращение выбросов парниковых газов и загрязнения воздуха, рост занятости, улучшение условий жизни и снижение затрат как для жителей, так и для государственного сектора. Оценены затраты и экономические последствия мер и политики в области энергоэффективности, и показано, что новая модель роста в России должна быть направлена на повышение эффективности экономики, в том числе повышение энергоэффективности.

В [232] обсуждается система оценки влияния изменения климатических условий на работу тепловых и атомных электростанций в разных регионах России. Сделан вывод, что полученные результаты в рамках предложенного подхода могут быть использованы в контексте управления климатическими рисками в энергетическом секторе (см. также [258]).

В [258] в связи с заключением Парижского соглашения по климату анализируются риски для российской экономики. С использованием модельных оценок сделан вывод, что это может привести к заметному снижению темпов среднегодового прироста валового внутреннего продукта (ВВП) к 2030 г. по сравнению с базовым сценарием. С более жесткой климатической политикой в дальнейшем связано дополнительное сокращение прироста ВВП. В случае нератификации Россией Парижского соглашения потери оценены более значимыми. При этом для снижения рисков необходима диверсификация национальной экономики.

В [257] описывается модификация модели РОБУЛ (“Региональная оценка бюджета углерода лесов”), используемой для оценки способности

российских лесов поглощать углекислый газ и влиять на углеродный баланс. Отмечено, что предложенные усовершенствования алгоритма РОБУЛ позволяют уточнить оценку углеродного баланса лесов России и при этом региональные значения нетто-поглощения углерода лесами на единицу площади сопоставимы с соответствующими оценками для стран со сходными природно-климатическими условиями. Адекватное рассмотрение углеродного баланса российских бореальных лесов, водно-болотных угодий и других наземных экосистем необходимо для более детального и всестороннего анализа с количественными оценками влияния углеродного цикла на климатическую систему Земли (см. также [256]). Такие количественные оценки для разных временных горизонтов необходимы для адекватных прогностических оценок в отношении Парижского соглашения как соглашения в рамках Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата, касающегося ограничения выбросов в атмосферу парниковых газов и регулирования связанных с ними климатических изменений и их последствий. Согласно имеющимся оценкам роль естественных экосистем, как источников и стоков парниковых газов, в частности в российских регионах, существенно меняется при климатических изменениях. В связи с Парижским соглашением важным шагом в исследованиях климатических изменений и их последствий является разработка Национальной программы по адаптации к изменениям климата с учетом региональных особенностей на разных временных горизонтах.

Проблемы стабилизации климата с использованием геоинженерных методов рассматриваются, в частности, в [270–272] с анализом модельных расчетов с аэрозольным инжектированием в стратосфере.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Согласно результатам анализа современных изменений климата с использованием модельных оценок в результате быстрого потепления у поверхности в последние десятилетия земная климатическая система достигла режима, сопоставимого с режимом оптимума голоцена. Особенно сильные изменения отмечены в арктических широтах. Полученные результаты свидетельствуют, что современные климатические модели способны адекватно воспроизводить не только средние глобальные и региональные режимы и тенденции их изменений, но и особенности их изменчивости, связанные с особенностями региональной естественной изменчивости. При этом ключевые особенности ожидаемых глобальных и региональных изменений климата достаточно устойчиво воспроизводятся в разных ансамблевых модельных расчетах с учетом возможных сценариев

естественных и антропогенных воздействий. В целом назрела необходимость изменения многих критериев оценки рисков и потенциальных выгод, связанных с изменениями климата, и стратегически оценить возможные изменения и их последствия, в том числе с учетом изменения вероятности экстремальных региональных условий. И в связи с этим необходимо совершенствовать стратегические программы по решению соответствующих проблем адаптации к изменениям климата и регулирования климатических изменений и их последствий.

Представленный обзорный материал подготовлен при поддержке РНФ (проект 19-17-00240). Председатель Комиссии по климату Национального геофизического комитета выражает благодарность членам комиссии за помощь в подготовке информационных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences (2015–2018). Ed. by I.I. Mokhov, A.A. Krivolutsky. Moscow, MAKS Press. 2019. 332 p.
2. *Мохов И.И.* Российские исследования в области атмосферных наук и метеорологии в 2015–2018 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55. № 6. С. 3–5.
3. Russian National Report: Meteorology and Atmospheric Sciences (2011–2014). Ed. by I.I. Mokhov, A.A. Krivolutsky. Moscow, MAKS Press, 2015. 272 p.
4. *Мохов И.И.* Российские климатические исследования в 2011–2014 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 5. С. 624–640.
5. Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Санкт-Петербург. 2017. 106 с.
6. IPCC, 2018. Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pörtner H.O., et al. (eds.). (<http://report.ipcc.ch/sr15/>)
7. *Гладильщикова А.А., Дмитриева Т.М., Семенов С.М.* Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата “Глобальное потепление на 1.5°C” // Фунд. прикл. климатол. 2018. № 4. С. 5–18.
8. Турбулентность, динамика атмосферы и климата. Под ред. Голицына Г.С., Мохова И.И., Куличкова С.Н., Курганского М.В., Репиной И.А., Чхетиани О.Г. М.: Физматкнига. 2018. 586 с.
9. Математическое моделирование Земной системы / Володин Е.М., Галин В.Я., Грицун А.С. и др. Под ред. Яковлева Н.Г. М.: МАКС Пресс, 2016. 328 с.
10. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования

- (сельское и лесное хозяйство). (под ред. Бедрицкого А.И.) М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, ГЕОС – 2018. 357 с.
11. Семенов С.М., Говор И.Л., Уварова Н.Е. Роль метана в современном изменении климата. Москва, 2018, 106 с.
 12. Мониторинг потоков парниковых газов в природных экосистемах. Под ред. Замолодчикова Д.Г., Карелина Д.В., Гитарского М.Л., Блинова В.Г. Саратов: Амирит. 2017. 279 с.
 13. Polonsky A.B. Oceans, Global Warming Hiatus and Regional Climate Change. Lambert Acad. Publ., Saarbrücken. 2015. 192 p.
 14. Климат Москвы в условиях глобального потепления. Под ред. Кислова А.В. М.: Изд. Моск. Ун-та. 2017. 288 с.
 15. Groisman P.Ya., Shugart H.H., Kicklighter D., Henebry G., Tchebakova N., Maksyutov Sh., Monier E., Gutman G., Gulev S., Qi J., Prishchepov A., Kukavskaya E., Porfiriev B., Shiklomanov A., Loboda T., Shiklomanov N., Nghiem S., Bergen K., J. Albrechtová J., Chen J., Shahgedanova M., Shvidenko A., Speranskaya N., Soja A., deBeurs K., Bulygina O., McCarty J., Zhuang Q., Zolina O. and the NEFI Science Plan Preparation Team. Northern Eurasia Future Initiative (NEFI): facing the challenges and pathways of global change in the twenty-first century // Progr. Earth Planet. Sci. 2017. V. 4. № 41, <https://doi.org/10.1186/s40645-017-0154-5>
 16. Интенсивные атмосферные вихри и их динамика. Под ред. Мохова И.И., Курганского М.В., Чхетиани О.Г. М.: ГЕОС, 2018. 484 с.
 17. Человек в мегаполисе: Опыт междисциплинарного исследования. Под ред. Ревича Б.А., Кузнецовой О.В. М.: ЛЕНАНД, 2018, 640 с.
 18. Алдухов О.А., Черных И.В. Методы анализа и интерпретации данных радиозондирования атмосферы. Т. 3. Влажность и температура в атмосфере: статистические характеристики. Обнинск: ВНИИГМИ-МЦД. 2015. 494 с.
 19. Brasseur G., Lynch A., Cazenave A., Mata M.M., Visbeck M., Belcher S., Hesselbjerg Christensen J., Cleugh H., Güingla R.M., Kang I.-S., Kattsov V., Kimoto M., Hong Liao, Nobre C., Peter T., Renwick J., Sorooshian S., Yanda P. World Climate Research Programme Strategic Plan 2019–2028. WCRP Publ. No. 1/2019. 2018. 17 pp.
 20. Groisman P.Y., Gutman G., Shugart H.H., Gulev S.K., Qi J., Maksyutov Sh. 10 years of NEESPI accomplishments and future plans highlighted at synthesis workshop // GEWEX News. 2015. V. 25. № 3. P. 10–12.
 21. Kulmala M., Lappalainen H.K., Petaja T., Kerminen V.-M., Viisanen Y., Matvienko G., Melnikov V., Baklanov A., Bondur V., Kasimov N., Zilitinkevich S. Pan-Eurasian Experiment (PEEX) Program: Grand challenges in the Arctic-boreal context // Geogr. Environ. Sustainability. 2016. V. 9. № 2. P. 5–18.
 22. Нестеров Е.С. Экстремальные циклоны в атлантико-европейском регионе. М.: Гидрометцентр России, 2018. 104 с.
 23. Overland J., Walsh J., Kattsov V., Barber D., Box J.E., Brown R., Mård J., Olsen M.S., Romanovsky V. SWIPA 2017 Synthesis: summary and implications of findings // In: Snow, Water, Ice and Permafrost in the Arctic (SWIPA). AMAP. Oslo, Norway. 2017. P. 257–268.
 24. Шахова Н.Е., Сергиенко В.И., Семилетов И.П. Цикл углерода в морях Восточной Арктики на рубеже XX–XXI веков. Книга 2. Метан: Результаты первых исследований (1994–2010 гг.). Владивосток: Дальнаука. 2018. 240 с.
 25. Груза Г.В., Ранькова Э.Я., Рочева Э.В., Смирнов В.Д. Географические и сезонные особенности современного глобального потепления // Фунд. прикл. климатол. 2015. Т. 2. С. 41–62.
 26. Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А. Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // Криосфера Земли. 2018. Т. XXII. № 4. С. 65–75.
 27. Alekseev G.V., Aleksandrov E.I., Glok N.I., Ivanov N.E., Smolyanitsky V.M., Kharlanenkova N.E., Yulin A.V. Arctic sea ice cover in connection with climate change // Izvestiya, Atmos. Oceanic Phys. 2015. V. 51. № 9. P. 889–902.
 28. Алексеев Г.В., Большинов Д.Ю., Радионов В.Ф., Фролов С.В. 95 лет исследований климата и криосферы Арктики в ААНИИ // Лед и снег. 2015. Т. 55. № 4. С. 127–140.
 29. Alekseev G., Glok N., Smirnov A. On assessment of the relationship between changes of sea ice extent and climate in the Arctic // Intern. J. Climatol. 2015. <https://doi.org/10.1002/joc.4550>
 30. Алексеев Г.В., Глок Н.И., Смирнов А.В., Вязилова А.Е. Влияние Северной Атлантики на колебания климата в районе Баренцева моря и их предсказуемость // Метеорология и гидрология. 2016. № 8. С. 38–56.
 31. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Глок Н.И., Вязилова А.Е., Иванов Н.Е., Смирнов А.В. Влияние Атлантики на потепление и сокращение морского ледяного покрова в Арктике // Лед и снег. 2017. Т. 57. № 3. С. 381–390.
 32. Алексеев Г.В., Кузмина С.И., Уразильдеева А.В., Бобылев Л.П. Влияние атмосферных переносов тепла и влаги на потепление в Арктике в зимний период // Фунд. прикл. климатол. 2016. Т. 1. С. 43–63.
 33. Алексеев Г.В., Радионов В.Ф., Смоляницкий В.М., Фильчук К.В. Результаты и перспективы исследований климата и климатического обслуживания в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 3. С. 262–269.
 34. Alexeev V.A., Walsh J.E., Ivanov V.V., Semenov V.A., Smirnov A.V. Warming in the Nordic Seas, North Atlantic storms and thinning Arctic sea ice // Env. Res. Lett. 2017. V. 12. 084011, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa7a1d>
 35. Anisimov O.A., Kokorev V.A. Comparative analysis of land, marine, and satellite observations of methane in the lower atmosphere in the Russian Arctic under conditions of climate change // Izvestiya, Atmos. Oceanic Phys., 2015. V. 51. № 9. P. 979–991.
 36. Богдавленский В.И. Газогидродинамика в кратерах выброса газа в Арктике // Арктика: экология и экономика. 2018. № 1(29). С. 48–55.

37. Борзенкова И.И. История оледенения Арктического бассейна: взгляд из прошлого для оценки возможных изменений в будущем // Лед и снег. 2016. Т. 56. № 2. С. 221–234.
38. Бокучава Д.Д., Семенов В.А. Анализ аномалий приземной температуры воздуха в Северном полушарии в течение XX века по данным наблюдений и реанализов // Фунд. прикл. климатол. 2018. Т. 1. С. 28–51.
39. Агеева В.Ю., Груздев А.Н., Елохов А.С., Мохов И.И., Зуева Н.Е. Внезапные стратосферные потепления: статистические характеристики и влияние на общее содержание NO₂ и O₃ // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 5. С. 545–555.
40. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Зоркальцева О.С., Девятова Е.В. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть 1. Особенности обнаружения, объективные критерии и их сравнение // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 34–45.
41. Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Девятова Е.В., Мартынова Ю.В. Атмосферные блокинги в Западной Сибири. Часть 2. Долговременные вариации повторяемости ситуаций блокирования и их связь с изменением климата в Азии // Метеорология и гидрология. 2018. № 3. С. 16–28.
42. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. 2015. Особенности изменчивости циклонической активности в умеренных широтах Северного полушария, связанные с ведущими модами атмосферной циркуляции в Атлантико-Европейском секторе // Фунд. прикл. климатол. 2015. № 2. С. 14–40.
43. Borzenkova I., Zorito E., Borisova O., Kalnina L., Kisieliene D., Koff T., Kuznetsov D., Lemdahl G., Sapelko T., Stancikaite M., Subetto D. Climate change during the Holocene (past 12,000 years) / In: Second Assessment of Climate Change for the Baltic Sea basin. Regional Climate Studies. 2015. P. 25–49.
44. Борзенкова И.И., Борисова О.К., Жильцова Е.Л., Сапелько Т.В. Холодный эпизод около 8200 лет назад в Северной Европе: анализ эмпирических данных и возможных причин // Лед и снег. 2017. Т. 57. № 1. С. 117–132.
45. Bulygina O.N., Arzhanova N.M., Groisman P.Ya. Icing conditions over Northern Eurasia in changing climate // Environ. Res. Lett. 2015. V. 10. P. 025003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/025003>
46. Byshev V.I., Neiman V.G., Anisimov M.V., Gusev A.V., Serykh I.V., Sidorova A.N., Figurkin A.L., Anisimov I.M., Anisimov I.M. Multi-Decadal Oscillations of the ocean active upper-layer heat content // Pure Appl. Geophys. 2017. V. 174. № 7. P. 2863–2878.
47. Бышев В.И., Нейман В.Г., Романов Ю.А., Серых И.В., Сонечкин Д.М. О статистической значимости и климатической роли глобальной атмосферной циркуляции // Океанология. 2016. Т. 56. № 2. С. 179–185.
48. Chen J.L., Pekker T., Wilson C.R., Tapley B.D., Kostianoy A.G., Cretaux J.F., Safarov E.S. Long-term Caspian Sea level change // Geophys. Res. Lett. 2017. V. 44. № 13. P. 6993–7001.
49. Черенкова Е.А., Бардин М.Ю., Золотокрылин А.Н. Статистика осадков и засух в противоположные фазы квазидвухлетней цикличности атмосферных процессов и ее связь с урожайностью на европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2015. № 3. С. 23–35.
50. Chernokulsky A.V., Esau I., Bulygina O.N., Davy R., Mokhov I.I., Outten S., Semenov A.V. Climatology and interannual variability of cloudiness in the Atlantic Arctic from surface observations since the late nineteenth century // J. Climate. 2017. V. 30. P. 2103–2120.
51. Чернокульский А.В., Козлов Ф.А., Золина О.Г., Булыгина О.Н., Семенов В.А. Климатология осадков разного генезиса в Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2018. № 7. С. 5–18.
52. Чернокульский А.В., Курганский М.В., Захарченко Д.И., Мохов И.И. Условия формирования и характеристики сильного смерча на Южном Урале 29 августа 2014 г. // Метеорология и гидрология. 2015. № 11. С. 46–54.
53. Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние внеземных факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования // Фунд. прикл. климатол. 2015. № 1. С. 119–132.
54. Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Изменения водных ресурсов в условиях потепления климата и их влияние на приток к крупным водохранилищам России // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 67–76.
55. Gang C., Zhou W., Wang Z., Chen Y., Li J., Chen J., Qi J., Odeh I., Groisman P.Y. Comparative assessment of grassland NPP dynamics in response to climate change in China, North America, Europe and Australia from 1981 to 2010 // J. Agron. Crop Sci. 2015. V. 201. № 1. P. 57–68.
56. Groisman P.Ya., Bulygina O.N., Yin X., Vose R.S., Gulev S.K., Hanssen-Bauer I., Førland E. Recent changes in the frequency of freezing precipitation in North America and Northern Eurasia // Environ. Res. Lett. 2016. V. 11. P. 045007.
57. Мохов И.И., Тимажев А.В. Оценки предсказуемости климатических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // Докл. АН. 2015. Т. 464. № 6. С. 722–726.
58. Мохов И.И., Тимажев А.В. Оценки риска погодноклиматических аномалий в российских регионах в связи с явлениями Эль-Ниньо // Метеорология и гидрология. 2017. № 10. С. 22–33.
59. Груздев А.Н. Изменения температуры и циркуляции атмосферы в 11-летнем цикле солнечной активности по данным реанализа ERA-INTERIM // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 4. С. 502–511.
60. Гурьянов В.В., Елисеев А.В., Мохов И.И., Переведенцев Ю.П. Волновая активность и ее изменения в тропосфере и стратосфере Северного полушария зимой в 1979–2016 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 2. С. 133–146.
61. Jakobsson M., Nilsson J., Anderson L., Backman J., Bjork G., Cronin T.M., Kirchner N., Koshurnikov A., Mayer L., Noormets R., O'Regan M., Stranne C., Ananiev R., Barrientos Macho N., Cherniykh D., Coxall H., Eriksson B., Flodén T., Gemery L., Gustafsson Ö., Jerram K., Johansson C., Khortov A., Mohammad R.,

- Semiletov I.* Evidence for an ice shelf covering the central Arctic Ocean during the penultimate glaciations // *Nature Comm.* 2016. V. 7. P. 10365. 1–10.
62. *Kislov A.* On the interpretation of century-millennium-scale variations of the Black Sea level during the first quarter of the Holocene // *Quatern. Intern.* 2016. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2016.09.008>
63. *Кислов А.В.* Вековая изменчивость уровня Каспийского моря // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 10. С. 71–80.
64. *Kislov A.V.* The interpretation of secular Caspian Sea level records during the Holocene // *Quatern, Intern.* 2016. V. 409 A. P. 39–43.
65. *Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О., Зимин М.В., Хомутов А.В.* Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на центральном Ямале // *Криосфера Земли.* 2015. Т. XIX. № 2. С. 15–25.
66. *Kizyakov A., Zimin M., Sonyushkin A., Dvornikov Yu., Khomutov A., Leibman M.* Comparison of gas emission crater geomorphodynamics on Yamal and Gydan peninsulas (Russia), based on repeat very-high-resolution stereopairs // *Remote Sens.* 2017. V. 9. P. 1023. <https://doi.org/10.3390/rs9101023>
67. *Котляков В.М., Величко А.А., Глазовский А.Ф.* Прошлое и современность криосферы Арктики // *Вестник РАН.* 2015. Т. 85. № 5–6. С. 463–471.
68. *Котляков В.М., Глазовский А.Ф., Москалевский М.Ю.* Динамика массы льда в Антарктиде в эпоху потепления // *Лед и снег.* 2017. Т. 57. № 2. С. 149–169.
69. *Котляков В.М., Муравьев А.А., Никитин С.А., Носенко Г.А., Ротомалева О.В., Хромова Т.Е., Чернова Л.П.* Возрождение и наступания ледников в период потепления // *ДАН.* 2018. Т. 481. № 6. С. 680–685.
70. *Крохин В.В., Филь А.Ю., Верятин В.Ю.* Многолетние изменения повторяемости тропических циклонов в северо-западной части Тихого океана и их связь с разными факторами формирования // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 12. С. 35–46.
71. *Liu X., Tang Q., Zhang X., Groisman P.* et al. Spatially distinct effects of preceding precipitation on heat stress over eastern China // *Environ. Res. Lett.* 2017. V. 12. P. 103780. doi: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa88f8/meta>
72. *Логинов С.В., Елисеев А.В., Мохов И.И.* Влияние негауссовой статистики атмосферных переменных на экстремальные внутримесячные аномалии // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 3. С. 307–317.
73. *Локощенко М.А., Корнева И.А., Кочин А.В., Дубовецкий А.З., Новицкий М.А., Разин П.Е.* О высотной протяженности городского “острова тепла” над Москвой // *ДАН.* 2016. Т. 466. № 2. С. 213–217.
74. *Luterbacher J., Werner J.P., Smerdon J.E., Fernandez-Donado L., Gonzalez-Rouco F.J., Barriopedro D., Ljungqvist F.C., Buntgen U., Zorita E., Wagner S., Esper J., McCarroll D., Toreti A., Frank D., Jungclaus J.H., Barriendos M., Bertolin C., Bothe O., Brazdil R., Camuffo D., Dobrovolny P., Gagen M., Garcia-Bustamante E., Ge Q., Gomez-Navarro J.J., Guiot J., Hao Z., Hegerl G.C., Holmgren K., Klimenko V.V., Martin-Chivelet J., Pfister, C., Roberts N., Schindler A., Schurer, A., Solomina O., von Gunten L., Wahl E., Wanner H., Wetter O., Xoplaki E., Yuan N., Zanchettin, D., Zhang H., Zerefos C.* European summer temperatures since Roman times // *Environ. Res. Lett.* 2016. V. 11. № 2. P. 024001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024001>
75. *Махоткина Е.Л., Плахина И.Н., Махоткин А.Н.* Прозрачность атмосферы на территории России: изменения в последние 40 лет // *Тр. ГГО.* 2015. Вып. 579. С. 162–177.
76. *Мещерская А.В., Голод М.П.* Каталоги аномальности зим на территории России // *Тр. ГГО.* 2015. Вып. 579. С. 129–161.
77. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Оценки связи вариаций атлантической долгопериодной осцилляции и Эль-Ниньо – Южного колебания // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 5. С. 533–542.
78. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Взаимосвязь вариаций глобальной приповерхностной температуры с процессами Эль-Ниньо/Ла-Нинья и Атлантическим долгопериодным колебанием // *Докл. АН.* 2016. Т. 467. № 5. С. 580–584.
79. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Трехкомпонентный анализ сезонных особенностей взаимосвязи между явлениями Эль-Ниньо, Северо-Атлантическим колебанием и индийским муссоном // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 12. С. 18–32.
80. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Оценки взаимного влияния вариаций температуры поверхности в тропических широтах Тихого, Атлантического и Индийского океанов по долгопериодным рядам данных // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 6. С. 699–709.
81. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Оценки вклада Атлантической мультидесятилетней осцилляции и изменений атмосферного содержания парниковых газов в тренды приповерхностной температуры по данным наблюдений // *ДАН.* 2018. Т. 480. № 1. С. 97–102.
82. *Мохов И.И., Смирнов Д.А.* Вклад радиационного воздействия парниковых газов и атлантической мультидесятилетней осцилляции в тренды приповерхностной температуры // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 9. С. 5–13.
83. *Monier E., Kicklighter D., Sokolov A., Zhuang Q., Sokolik I., Lawford R., Kappas M., Paltsev S., Groisman P.* A review of and perspectives on global change modeling for Northern Eurasia // *Environ. Res. Lett.* 2017. V. 12. P. 083001. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa7aee/meta>.
84. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // *Уч. зап. Каз. университета. Сер. Естеств. науки.* 2015. Т. 157. № 3. С. 8–19.
85. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Динамика тропо- и стратосферы и изменения современного климата // *Фунд. прикл. климатол.* 2015. № 1. С. 21–231.

86. *Пунко И.И., Пугач С.П., Семилетов И.П.* Оценка потоков CO₂ между океаном и атмосферой в восточной части моря Лаптевых в безледный период // ДАН. 2016. Т. 467. № 5. С. 594–597.
87. *Pipko I.I., Pugach S.P., Semiletov I.P., Anderson L.G., Shakhova N.E., Gustafsson Ö., Repina I.A., Spivak E.A., Charkin A.N., Salyuk A.N., Shcherbakova K.P., Panova E.V., Dudarev O.V.* The spatial and interannual dynamics of the surface water carbonate system and air–sea CO₂ fluxes in the outer shelf and slope of the Eurasian Arctic Ocean // *Ocean Sci.* 2017. V. 13. P. 997–1016.
88. *Попова В.В.* Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции // *Фунд. прикл. климатол.* 2018. № 1. С. 84–111.
89. *Попова В.В., Ширяева А.В., Морозова П.А.* Изменения характеристик снежного покрова на территории России в 1950–2013 годах: региональные особенности и связь с глобальным потеплением // *Криосфера Земли.* 2018. Т. 22. № 4. С. 65–75.
90. *Попова В.В., Мацковский В.В., Михайлов А.Ю.* Современные изменения климата суши внетропической зоны Северного полушария // *Вестник Моск. университета. Сер. геогр.* 2018. № 1. С. 3–13.
91. *Privalsky V., Yushkov V.* Getting it right matters: Climate spectra and their estimation // *Pure Appl. Geophys.* 2018. V. 175. № 8. P. 3085–3096.
92. *Reid Ph.C., Hari R.E., Beaugrand G., Livingstone D.M., Marty C., Straile D., Barichivich J., Goberville E., Adrian R., Aono Y., Brown R., Foster J., Groisman P., Heclaouet P., Hsu H.-H., Kirby R., Knight J., Kraberg A., Li J., Lo T.-T., Myneni R.B., North R.P., Pounds J.A., Sparks T., Stubi R., Tian Y., Wiltshire K.H., Xiao D., Zhu Z.* Global impacts of the 1980s regime shift // *Glob. Change Biol.* 2016. V. 22. P. 682–703.
93. *Семенов Е.К., Соколихина Н.Н., Тудрий К.О., Шенин М.В.* Синоптические механизмы зимнего потепления в Арктике // *Метеорология и гидрология.* 2015. № 9. С. 20–30.
94. *Shakhova N., Semiletov I., Sergienko V., Lobkovsky L., Yusupov V., Salyuk A., Salomatin A., Chernykh D., Kosmach D., Pantelev G., Nicolovsky D., Samarkin V., Joye S., Charkin A., Dudarev O., Meluzov A., Gustafsson O.* The East Siberian Arctic Shelf: towards further assessment of permafrost-related methane fluxes and role of sea ice // *Phil Trans. Roy. Soc. A – Math. Phys. Engin. Sci.* 2015. V. 373 (2052). P. 20140451.
95. *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O., Sergienko V., Lobkovsky L., Dudarev O., Tumskoy V., Grigoriev M., Maruzov A., Salyuk A., Ananiev R., Koshurnikov A., Kosmach D., Charkin A., Dmitrievsky N., Karnauch V., Gunar A., Meluzov A., Chernykh D.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic shelf // *Nature Comm.* 2017. V. 8. P. 15872.
96. *Шерстюков А.Б., Шерстюков Б.Г.* Пространственные особенности и новые тенденции в изменениях термического состояния почвогрунтов и глубины их сезонного протаивания в зоне многолетней мерзлоты // *Метеорология и гидрология.* 2015. № 2. С. 5–12.
97. *Ширяева А.В., Ширяев М.В., Семенов В.А.* Изменения продолжительности устойчивых теплого и холодного сезонов на территории России в начале XXI века // *ДАН.* 2018. 481 № 2. С. 207–210.
98. *Сидоренков Н.С.* Многолетние колебания приземной температуры: роль фактора облачности // *Фунд. прикл. климатол.* 2015. № 2. С. 93–102.
99. *Шукуров К.А., Семенов В.А.* Характеристики зимних аномалий приземной температуры в Москве в 1970–2016 гг. при сокращении площади морских льдов в Баренцевом море // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2018. Т. 54. № 1. С. 13–27.
100. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Формирование озоновой “мини-дыры” в условиях продолжительного блокирующего антициклона в атмосфере над европейской территорией России летом 2010 года // *Докл. АН.* 2015. Т. 460. № 1. С. 74–78.
101. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Особенности поля общего содержания озона при атмосферном блокировании над европейской территорией России летом 2010 г. (по спутниковым данным) // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 1. С. 74–78.
102. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Аномальный трансграничный перенос продуктов горения от североамериканских лесных пожаров в Северную Европу // *Докл. АН.* 2017. Т. 475. № 3. С. 320–324.
103. *Sitnov S.A., Mokhov I.I.* Formaldehyde and nitrogen dioxide in the atmosphere during summer weather extremes and wildfires in European Russia in 2010 and Western Siberia in 2012 // *Intern. J. Remote Sensing.* 2017. V. 38. № 14. P. 4086–4106.
104. *Ситнов С.А., Мохов И.И.* Аномалии содержания метана в атмосфере над севером Евразии летом 2016 года // *ДАН.* 2018. Т. 480. № 2. С. 223–228.
105. *Sitnov S.A., Mokhov I.I., Bezverkhny V.A.* Connections of precipitable water vapor and total ozone anomalies over European Russia with the North Atlantic Oscillation: Specific features of summer 2010 // *Izvestiya, Atmos. Oceanic Phys.* 2017. 53(9). 885–893.
106. *Ситнов С.А., Мохов И.И., Джола А.В.* Общее содержание оксида углерода в атмосфере над российскими регионами по спутниковым данным // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 1. С. 38–55.
107. *Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И.* Связь задымления атмосферы европейской территории России летом 2016 года с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // *Докл. АН.* 2017. Т. 472. № 4. С. 456–461.
108. *Ситнов С.А., Мохов И.И., Горчаков Г.И., Джола А.В.* Дымная мгла на европейской части России летом 2016 г.: связь с лесными пожарами в Сибири и аномалиями атмосферной циркуляции // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 8. С. 50–63.
109. *Sitnov S.A., Mokhov I.I., Lupo A.R.* Ozone, water vapor, and temperature anomalies associated with atmospheric blocking events over Eastern Europe in spring–summer 2010 // *Atmos. Environ.* 2017. V. 164. P. 180–194.
110. *Smirnov D.A., Mokhov I.I.* Relating Granger causality to long-term causal effects // *Phys. Rev. E.* 2015. V. 92. № 4. P. 042138.
111. *Smith D.M., Screen J.C., Deser C., Cohen J., Fyfe J.C., García-Serrano J., Jung T., Kattsov V., Matei D.,*

- Msadek R., Peings Y., Sigmond M., Ukita J., Yoon J.-H., Zhang X.* The Polar Amplification Model Intercomparison Project (PAMIP) contribution to CMIP6: investigating the causes and consequences of polar amplification // *Geosci. Model Dev. Discuss.* 2018. <https://doi.org/10.5194/gmd-2018-82>.
112. *Solomina O.N., Bradley R.S., Hodgson D.A., Ivy-Ochs S., Jomelli V., Mackintosh A.N., Nesje A., Owen L.A., Wanner H., Wiles G., Young N.E.* Holocene glacier fluctuations // *Quatern. Sci. Rev.* 2015. V. 111. P. 9–34.
113. *Solomina O.N., Bradley R.S., Jomelli V., Geirsdottir A., Kaufman D.S., Koch J., McKay N.P., Masiokas M., Miller G., Nesje A., Nicolussi K., Owen L.A., Putnam A.E., Wanner H., Wiles G., Yang B.* Glacier fluctuations during the past 2000 years // *Quatern. Sci. Rev.* 2016. V. 149. P. 61–90.
114. *Степанов В.Н.* О вероятной причине изменения характеристик Эль-Ниньо в 2000-е годы // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 11. С. 22–40.
115. *Туткова Т.Б., Черенкова Е.А., Семенов В.А.* Региональные особенности изменения зимних экстремальных температур и осадков на территории России в 1970–2015 гг. // *Лед и снег.* 2018, Т. 58. № 4. С. 486–497.
116. *Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Сонечкин Д.М.* Предскажем ли климат в геологическом масштабе времени? // *ДАН.* 2015. Т. 460. № 2. С. 215–219.
117. *Вакуленко Н.В., Котляков В.М., Сонечкин Д.М.* О связи антропогенного роста концентрации углекислого газа в атмосфере и современного потепления // *ДАН.* 2017. Т. 477. № 1. С. 87–91.
118. *Voskresenskaya E., Bardin M., Kovalenko O.* Climate variability of winter anticyclones in the Mediterranean-Black Sea region // *Quatern. Intern.* 2016. V. 409 A. P. 70–74.
119. *Yanko-Hombach V., Kislov A.* Late Pleistocene - Holocene sea-level dynamics in the Caspian and Black Seas: Data synthesis and Paradoxical interpretations // *Quatern. Intern.* 2017, <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.11.030>
120. *Zahn M., Akperov M., Rinke A., Feser F., Mokhov I.I.* Trends of cyclone characteristics in the Arctic and their patterns from different re-analysis data // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2018. V. 123. № 5. P. 2537–2551.
121. *Железнова И.В.* Изменение удаленного отклика атмосферной циркуляции на восточно-тихоокеанское Эль-Ниньо в условиях потепления климата (по результатам экспериментов проекта CMIP5 со сценариями группы RCP) // *Фунд. прикл. климатол.* 2018. № 2. С. 31–51.
122. *Железнова И.В., Гущина Д.Ю.* Аномалии циркуляции в ячейках Уокера и Хэдли в период развития двух типов Эль-Ниньо // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 10. С. 8–21.
123. *Железнова И.В., Гущина Д.Ю.* Аномалии циркуляции в центрах действия атмосферы в период восточно-тихоокеанского и центрально-тихоокеанского Эль-Ниньо // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 11. С. 41–55.
124. *Жеребцов Г.А., Коваленко В.А., Кириченко К.Е.* Роль солнечной активности в наблюдаемых изменениях климата в XX веке // *Геомагн. Аэрон.* 2017. Т. 57. № 6. С. 687–695.
125. *Мохов И.И.* Современные изменения климата Арктики // *Вестник РАН.* 2015. Т. 85. № 5–6. С. 478–484.
126. *Липенков В.Я., Райно Д.* Климатическая перестройка в середине плейстоцена и проблема исследования древнейшего антарктического льда со станции Восток // *Лед и снег.* 2015. Т. 55. № 4. С. 95–106.
127. *Попова В.В., Морозова П.А., Туткова Т.Б., Семенов В.А., Черенкова Е.А., Ширяева А.В., Китаев Л.М.* Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений // *Лед и снег.* 2015. Т. 55. № 4. С. 73–86.
128. *Аржанов М.М., Мохов И.И.* Оценки степени устойчивости континентальных реликтовых метангидратов в оптимуме голоцена и при современных климатических условиях // *ДАН.* 2017. Т. 476. № 4. С. 456–460.
129. *Аржанов М.М., Мохов И.И., Денисов С.Н.* Влияние региональных климатических изменений на устойчивость реликтовых газовых гидратов // *Докл. АН.* 2016. Т. 468. № 5. С. 572–574.
130. *Аржанов М.М., Мохов И.И., Денисов С.Н.* Дестабилизация реликтовых газовых гидратов при наблюдаемых региональных изменениях климата // *Арктика: экология и экономика.* 2016. № 4. С. 46–51.
131. *Аржанов М.М., Малахова В.В., Мохов И.И.* Условия формирования и диссоциации метангидратов в течение последних 130 тыс. лет по модельным расчетам // *ДАН.* 2018. Т. 480. № 6. С. 725–729.
132. *Вайновский П.А., Малинин В.Н., Митина Ю.В.* Статистический анализ температуры воздуха Северного полушария за последние две тысячи лет // *Уч. зап. РГГУ.* 2016. № 45. С. 169–179.
133. *Akperov M., Rinke A., Mokhov I., Matthes H., Semenov V. and the Arctic Cordex Team.* Cyclone activity in the Arctic from an ensemble of regional climate models (Arctic CORDEX) // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2018. V. 123. № 5. P. 2537–2554.
134. *Anisimov O.A., Kokorev V., Zhiltcova Y.* Arctic ecosystems and their services under changing climate: Predictive-modeling assessment // *Geogr. Rev.* 2016. V. 107(1). P. 108–124.
135. *Bohn T.J., Melton J.R., Ito A., Kleinen T., Spahni R., Stocker B.D., Zhang B., Zhu X., Schroeder R., Glagolev M.V., Maksyutov S., Brovkin V., Chen G., Denisov S.N., Eliseev A.V., Gallego-Sala A., McDonald K.C., Rawlins M.A., Riley W.J., Subin Z.M., Tian H., Zhuang Q., Kaplan J.O.* WETCHIMP-WSL: intercomparison of wetland methane emissions models over West Siberia // *Biogeosci.* 2015. V. 12. № 11. P. 3321–3349.
136. *Dallmeyer A., Claussen M., Fischer N., Haberkorn K., Wagner S., Pfeiffer M., Jin L., Khon V., Wang Y., Herzschuh U.* The evolution of sub-monsoon systems in the Afro-Asian monsoon region during the Holocene – comparison of different transient climate model simulations // *Clim. Past.* 2015. V. 11. P. 305–326.

137. *Dallmeyer A., Claussen M., Ni J., Cao X., Wang Y., Fischer N., Pfeiffer M., Jin L., Khon V., Wagner S., Haberkorn K., Herzschuh U.* Biome changes in Asia since the mid-Holocene – an analysis of different transient Earth system model simulations // *Clim. Past.* 2017. V. 13. P. 107–134.
138. *Демченко П.Ф., Гинзбург А.С.* Влияние обратных связей в системе “климат-энергетика” на интенсивность // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2018. Т. 54. № 4. С. 371–380.
139. *Демченко П.Ф., Семенов В.А.* Оценка неопределенности климатических трендов приповерхностной температуры, связанной с внутренней динамикой атмосферы // *ДАН.* 2017. Т. 476. № 3. С. 339–342.
140. *Денисов С.Н., Елисеев А.В., Мохов И.И., Аржанов М.М.* Модельные оценки глобальных и региональных эмиссий метана в атмосферу влажными экосистемами // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 5. С. 543–549.
141. *Дымников В.П., Лыкосов В.Н., Володин Е.М.* Математическое моделирование динамики Земной системы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 3. С. 260–275.
142. *Елисеев А.В.* Влияние соединений серы в тропосфере на наземный углеродный цикл // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 6. С. 673–683.
143. *Eliseev A.V.* Impact of tropospheric sulphate aerosols on the terrestrial carbon cycle // *Glob. Planet. Change.* 2015. V. 124. P. 30–40.
144. *Елисеев А.В.* Глобальный цикл CO₂: основные процессы и взаимодействие с климатом // *Фунд. приклад. климатол.* 2017. № 4. С. 9–31.
145. *Елисеев А.В.* Глобальный цикл метана: обзор // *Фунд. приклад. климатол.* 2018. № 1. С. 52–70.
146. *Елисеев А.В., Малахова В.В., Аржанов М.М., Голубева Е.Н., Денисов С.Н., Мохов И.И.* Изменение границ многолетнемерзлого слоя и зоны стабильности гидратов метана на арктическом шельфе Евразии в 1950–2100 гг. // *Докл. АН.* 2015. Т. 465. № 5. С. 598–603.
147. *Елисеев А.В., Мохов И.И., Чернокульский А.В.* Влияние молниевой активности и антропогенных факторов на крупномасштабные характеристики природных пожаров // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 1. С. 3–14.
148. *Gavrilov A., Mukhin D., Loskutov E., Feigin A., Kurths J., Volodin E.* Method for reconstruction nonlinear modes with adaptive structure from multidimensional data // *Chaos.* 2016. V. 26. № 12. 123101, <https://doi.org/10.1063/1.4968852>
149. *Gulev S.K., Latif M.* Ocean science: The origins of a climate oscillation // *Nature.* 2015. V. 521. № 7553. P. 428–430.
150. *Jennings R.P., Singarayer J., Stone E.J., Krebs-Kanzow U., Khon V., Nisancioglu K.H., Pfeiffer M., Zhang X., Parker A., Parton A., Groucutt H.S., White T.S., Drake N.A., Petraglia M.D.* The greening of Arabia: Multiple opportunities for human occupation of the Arabian Peninsula during the Late Pleistocene inferred from an ensemble of climate model simulations // *Quatern. Intern.* 2015. V. 382. P. 181–199.
151. *Jin L., Schneider B., Park W., Latif M., Khon V., Zhang X.* The spatial-temporal patterns of Asian summer monsoon precipitation in response to Holocene insolation change: a model-data synthesis // *Quatern. Sci. Rev.* 2014. V. 85. P. 47–62.
152. *Кароль И.Л., Куселев А.А.* Радиационные и температурные индексы (метрики) современных антропогенных изменений климата // *Тр. ГГО.* 2017. Вып. 587. С. 79–97.
153. *Катцов В.М., Павлова Т.В.* Арктика в контексте “гранд-вызовов” климатической науке // *Тр. ГГО.* 2015. Вып. 579. С. 66–78.
154. *Khon V.C., Schneider B., Latif M., Park W., Wengel C.* Evolution of eastern equatorial Pacific seasonal and interannual variability in response to orbital forcing during the Holocene and Eemian from model simulations // *Geophys. Res. Lett.* 2018. V. 45. P. 9843–9851.
155. *Klimenko M.V., Bessarab F.S., Sukhodolov T.V., Klimenko V.V., Koren'kov Yu.N., Zakharenkova I.E., Chirik N.V., Vasil'ev P.A., Kulyamin D.V., Shmidt Kh., Funke B., Rozanov E.V.* Ionospheric effects of the sudden stratospheric warming in 2009: Results of simulation with the first version of the EAGLE model // *Russ. J. Phys. Chem. B.* 2018. V. 12. № 4. P. 760–770.
156. *Koenigk T., Gao Y., Gastineau G., Keenlyside N., Nakamura T., Ogawa F., Orsolini Y., Semenov V., Suo L., Tian T., Wang T., Wettstein J.J., Yang S.* Impact of Arctic sea ice variations on winter temperature anomalies in northern hemispheric land areas // *Clim. Dyn.* 2018, <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4305-1>
157. *Konovalov I. B., Beekmann M., Berezin E.V., Petetin H., Mielonen T., Kuznetsova I.N., Andreae M.O.* The role of semi-volatile organic compounds in the mesoscale evolution of biomass burning aerosol: a modeling case study of the 2010 mega-fire event in Russia // *Atmos. Chem. Phys.* 2015. V. 15. P. 13269–13297.
158. *Коновалов И.Б., Березин Е.В., Бекманн М.* Эффект фотохимического самовоздействия углеродсодержащего аэрозоля: природные пожары // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2016. Т. 52. № 3. С. 300–308.
159. *Крупчатников В.Н., Платов Г.А., Голубева Е.Н., Фоменко А.А., Клевцова Ю.Ю., Лыкосов В.Н.* О некоторых результатах исследований в области численного прогноза погоды и теории климата в Сибири // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 11. С. 7–19.
160. *Кулямин Д.В., Дымников В.П.* Моделирование климата нижней ионосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 3. С. 317–337.
161. *Kulyamin D.V., Dymnikov V.P.* Numerical modelling of coupled neutral atmospheric general circulation and ionosphere D region // *Russ. J. Numer. An. Math. Modell.* 2016. V. 31. № 3. P. 159–171.
162. *Kulyamin D.V., Volodin E.M.* INM RAS coupled atmosphere-ionosphere general circulation model INMAIM (0–130 km) // *Russ. J. Numer. An. Math. Modell.* 2018. V. 33. № 6. P. 351–357.

163. Курганский М.В. Об одной оценке границы зоны режима Россби в атмосфере // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 3. С. 301–309.
164. Latif M., Semenov V.A., Park W. Super El Niños in response to global warming in the Kiel climate model // Clim. Change. 2015. V. 132. № 4. P. 489–500.
165. Malakhova V.V., Eliseev A.V. The role of heat transfer time scale in the evolution of the subsea permafrost and associated methane hydrates stability zone during glacial cycles // Glob. Planet. Change. 2017. V. 157. P. 18–25.
166. Малахова В.В., Елисеев А.В. Влияние рифтовых зон и термокарстовых озер на формирование субаквальной мерзлоты и зоны стабильности метаногидратов шельфа моря Лаптевых // Лед и снег. 2018. Т. 58. № 2. С. 231–242.
167. Matveeva T., Gushchina D., Dewitte B. The seasonal relationship between intraseasonal tropical variability and ENSO in CMIP5 // Geosci. Model Develop. 2018. V. 11. № 6. P. 2373–2392.
168. Meleshko V.P., Johannessen O.M., Baidin A.V., Pavlova T.V., Govorkova V.A. Arctic amplification: does it impact the polar jet stream? // Tellus A – Dyn. Meteorol. Oceanogr. 2016. V. 68. P. 32330. <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.32330>
169. Мелешко В.П., Катцов В.М., Байдин А.В., Павлова Т.В., Говоркова В.А. Ожидаемые изменения гидрологического режима в Северной Евразии в результате исчезновения многолетнего морского льда в Арктике // Метеорология и гидрология. 2016. № 11. С. 5–21.
170. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Байдин А.В., Павлова Т.В., Говоркова В.А. Существует ли связь между сокращением морского льда в Арктике и ростом повторяемости аномально холодных зим в Евразии и Северной Америке? Синтез современных исследований // Метеорология и гидрология. 2018. № 11. С. 49–67.
171. Meredith E.P., Semenov V.A., Maraun D., Park W., Chernokulsky A.V. Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme // Nature Geosci. 2015. V. 8. P. 615–620.
172. Мохов И.И. Оценка способности современных климатических моделей адекватно оценивать риск возможных региональных аномалий и тенденций изменения // ДАН. 2018. Т. 479(4). С. 452–455.
173. Мохов И.И., Семенов А.И., Володин Е.М., Дембицкая М.А. Изменения выхолаживания в области мезопаузы при глобальном потеплении по данным измерений и модельным расчетам // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 4. С. 435–444.
174. Мохов И.И., Семенов В.А. Погодно-климатические аномалии в российских регионах в связи с глобальными изменениями климата // Метеорология и гидрология. 2016. № 2. С. 16–28.
175. Mukhin D., Loskutov E., Mukhina A., Feigin A., Zalapin I., Ghil M. Predicting critical transitions in ENSO models. Part I: Methodology and simple models with memory // J. Clim. 2015. 28. 1940–1961.
176. Mukhin D., Kondrashov D., Loskutov E., Gavrilov A., Feigin A., Ghil M. Predicting critical transitions in ENSO models. Part II: Methodology and simple models with memory // J. Clim. 2015. V. 28. P. 1962–1976.
177. Мурышев К.Е., Елисеев А.В., Мохов И.И., Тимазhev А.В. Взаимное запаздывание между изменениями температуры и содержания углекислого газа в атмосфере в простой совместной модели климата и углеродного цикла // Докл. АН. 2015. Т. 463. № 6. С. 708–712.
178. Muryshev K.E., Eliseev A.V., Mokhov I.I., Timazhev A.V. Lead-lag relationships between global mean temperature and the atmospheric CO2 content in dependence of the type and time scale of the forcing // Glob. Planet. Change. 2017. V. 148. P. 29–41.
179. Nasonova O.N., Gusev Ye.M., Volodin E.M. et al. Application of the land surface model SWAP and global climate model INMCM4.0 for projecting runoff of Northern Russian rivers. 1. Historical simulations // Water Res. 2018. V. 45(2). P. S73–S84.
180. Privalsky V., Yushkov V. ENSO influence upon global temperature in nature and in CMIP5 simulations // Atmos. Sci. Lett. 2015. V. 16. № 3. P. 240–245.
181. Петров Д.А. Влияние флуктуаций коэффициента линейной обратной связи на частотный спектр осредненной температуры в простой энергобалансовой модели климата // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2017. Т. 53. № 5. С. 565–574.
182. Рыбак О.О., Володин Е.М., Морозова П.А. Реконструкция климата земского межледниковья с помощью модели земной системы. Часть 1. Постановка численных экспериментов и модельные поля приземной температуры воздуха и сумм осадков // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 20–32.
183. Рыбак О.О., Володин Е.М., Морозова П.А. Реконструкция климата земского межледниковья с помощью модели земной системы. Часть 2. Реакция Гренландского ледникового щита на климатические изменения // Метеорология и гидрология. 2018. № 6. С. 33–40.
184. Рыбак О.О., Володин Е.М., Морозова П.А., Хебрехтс Ф. Равновесное состояние Гренландского ледникового щита в модели земной системы // Метеорология и гидрология. 2018. № 2. С. 5–16.
185. Segsneider J., Schneider B., Khon V. Climate and marine biogeochemistry during the Holocene from transient model simulations // Biogeosci. 2018. V. 15. P. 3243–3266.
186. Семенов В.А. Колебания современного климата, вызванные обратными связями в системе атмосфера–арктические льды–океан // Фунд. приклад. климатол. 2015. № 1. С. 232–248.
187. Семенов В.А. Связь аномально холодных зимних режимов на территории России с уменьшением площади морских льдов в Баренцевом море // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2016. Т. 52. № 3. С. 257–266.
188. Семенов В.А., Чернокульский А.В., Соломина О.Н. Влияние Атлантического долгопериодного колебания на формирование засух в Северной Евразии // Докл. АН. 2016. Т. 471. № 3. С. 354–357.

189. *Semenov V.A., Latif M.* Nonlinear winter atmospheric circulation response to Arctic sea ice concentration anomalies for different periods during 1966–2012 // *Environ. Res. Lett.* 2015. V. 10. P. 054020, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/5/054020>
190. *Семенов В.А., Мартин Т., Беренс Л.К., Латиф М., Астафьева Е.С.* Изменения площади арктических морских льдов в ансамблях климатических моделей CMIP3 и CMIP5 // *Лед и снег.* 2017. Т. 57. № 1. С. 77–107.
191. *Semmler T., Stulic L., Jung T., Tilinina N., Campos C., Gulev S., Koracin D.* Seasonal atmospheric responses to reduced Arctic sea ice in an ensemble of coupled model simulations // *J. Clim.* 2016. V. 29. № 16. P. 5893–5913.
192. *Школьник И.М., Ефимов С.В.* Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии // *Тр. ГГО.* 2015. Вып. 576. С. 201–211.
193. *Alexandrov G.A., Brovkin V.A., Kleinen T.* The influence of climate on peatland extent in Western Siberia since the Last Glacial Maximum // *Sci. Rep.* 2016. V. 6. P. 24784, <https://doi.org/10.1038/srep24784>
194. *Спорышев П.В., Катцов В.М., Гулев С.К.* Изменения приземной температуры в Арктике: достоверность модельного воспроизведения и вероятностный прогноз на близкую перспективу // *ДАН.* 2018. Т. 479. № 5. С. 569–573.
195. *Varentsov M., Konstantinov P., Baklanov A., Esau I., Miles V., Davy R.* Anthropogenic and natural drivers of a strong winter urban heat island in a typical Arctic city // *Atmos. Chem. Phys.* 2018. V. 18. P. 17573–17587.
196. *Варгин П.Н., Кострыкин С.В., Володин Е.М.* Анализ воспроизведения динамического взаимодействия стратосферы и тропосферы в расчетах климатической модели ИВМ РАН // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 11. С. 100–109.
197. *Варгин П.Н., Володин Е.М.* Анализ воспроизведения динамических процессов в стратосфере климатической моделью ИВМ РАН // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2016. Т. 52. № 1. С. 3–18.
198. *Verbitsky M.Y., Crucifix M., Volobuev D.M.* A theory of Pleistocene glacial rhythmicity // *Earth Syst. Dyn.* 2018. V. 9. № 3. P. 1025–1043.
199. *Вигасин А.А., Мохов И.И.* Парниковый эффект планетных атмосфер, связанный с нарушением симметрии молекул при молекулярных взаимодействиях // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 2. С. 188–199.
200. *Володин Е.М.* Влияние источников метана в высоких широтах Северного полушария на межполушарную асимметрию его концентрации и на климат // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 3. С. 287–294.
201. *Volodin E.* The nature of 60-year oscillations of the Arctic climate according to the data of the INM RAS climate model // *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modell.* 2018. V. 33. № 6. P. 359–366.
202. *Volodin E., Gritsoun A.* Simulation of observed climate changes in 1850–2014 with climate model INM-CM5 // *Earth Syst. Dyn.* 2018. V. 9. P. 1235–1242.
203. *Володин Е.М., Кострыкин С.В.* Аэрозольный блок в климатической модели ИВМ РАН // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 8. С. 5–17.
204. *Володин Е.М., Мортиков Е.В., Кострыкин С.В., Галин В.Я., Лыков В.Н., Грицун А.С., Дианский Н.А., Гусев А.В., Яковлев Н.Г.* Воспроизведение современного климата в новой версии модели климатической системы ИВМ РАН // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2017. Т. 53. № 2. С. 164–178.
205. *Volodin E.M., Mortikov E.V., Kostrykin S.V., Galin V.Y., Lykosov V.N., Gritsun A.S., Diansky N.A., Gusev A.V., Yakovlev N.G.* Simulation of the present-day climate with the climate model INMCM5 // *Clim. Dyn.* 2017. V. 49. № 11–12. P. 3715–3734.
206. *Volodin E.M., Mortikov E.V., Kostrykin S.V., Galin V.Y., Lykosov V.N., Gritsun A.S., Diansky N.A., Gusev A.V., Yakovlev N.G.* Simulation of the modern climate using the INM-CM climate model // *Russ. J. Numer. Anal. Math. Modell.* 2018. V. 33. № 6. P. 367–374.
207. *Володин Е.М., Тарасевич М.А.* Воспроизведение индексов погодно-климатической экстремальности климатической моделью ИВМ РАН // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 11. С. 68–76.
208. *Volosciuk C., Maraun D., Semenov V.A., Tilinina N., Gulev S.K., Latif M.* Rising Mediterranean sea surface temperatures amplify extreme summer precipitation in Central Europe // *Nature Sci. Rep.*, 2016. V. 6. P. 32450, <https://doi.org/10.1038/srep32450>
209. *Воробьева В.В., Володин Е.М.* Исследование структуры и предсказуемости первой моды изменчивости в стратосфере на основе климатической модели ИВМ РАН // *Метеорология и гидрология.* 2018. № 11. С. 41–48.
210. *Akperov M., Mokhov I., Rinke A., Dethloff K., Matthes H.* Cyclones and their possible changes in the Arctic by the end of the twenty first century from regional climate model simulations // *Theor. Appl. Climatol.* 2015. V. 122(1–2). С. 85–96.
211. *Volodin E.M., Mortikov E.V., Kostrykin S.V., Galin V.Ya., Lykosov V.N., Gritsun A.S., Diansky N.A., Gusev A.V., Yakovlev N.G., Shestakova A.A., Emelina S.V.* Simulation of the modern climate using the INM-CM48 climate model // *Rus. J. Num. Anal. Math. Model.* 2018. V. 33. № 6. P. 367–374.
212. *Смышляев С.П., Мареев Е.А., Галин В.Я., Блаkitная П.А.* Моделирование влияния выбросов метана из арктических газовых гидратов на региональные изменения состава нижней атмосферы // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана.* 2015. Т. 51. № 4. С. 472–483.
213. *Чернокульский А.В., Курганский М.В., Мохов И.И.* Анализ изменений условий смерчегенеза в Северной Евразии на основе использования простого индекса конвективной неустойчивости // *ДАН.* 2017. Т. 477. № 6. С. 722–727.
214. *Добровольский С.Г., Татаринич Е.В., Юшков В.П.* Сток важнейших рек России и его изменчивость по данным климатических моделей проекта CMIP5 // *Метеорология и гидрология.* 2016. № 12. С. 44–62.

215. *Елисеев А.В., Семенов В.А.* Изменения климата Арктики в XXI веке: ансамблевые модельные оценки с учетом реалистичности воспроизведения современного климата // ДАН. 2016. Т. 471. № 2. С. 214–218.
216. *Добровольский С.Г.* Об учете естественных изменений глобального климата при сверхдолгосрочном прогнозировании речного стока // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 4. С. 321–331.
217. *Гельфан А.Н., Калугин А.С., Мотовилов Ю.Г.* Оценка изменений водного режима реки Амур в XXI веке при двух способах задания климатических проекций в модели формирования речного стока // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 3. С. 223–234.
218. *Катцов В.М., Павлова Т.В.* Ожидаемые изменения приземной температуры воздуха в Арктике в 21-м веке: результаты расчетов с помощью ансамблей глобальных климатических моделей (CMIP5 и CMIP3) // Тр. ГГО. 2015. Вып. 579. С. 7–21.
219. *Khon V.C., Mokhov I.I., Semenov V.A.* Transit navigation through Northern Sea Route from satellite data and CMIP5 simulations // Environ. Res. Lett. 2017. V. 12. № 2. 024010.
220. *Кибанова О.В., Елисеев А.В., Мохов И.И., Хон В.Ч.* Изменения продолжительности навигационного периода Северного морского пути в XXI веке по расчетам с ансамблем климатических моделей: байесовские оценки // ДАН. 2018. Т. 481. № 1. С. 88–92.
221. *Катцов В.М., Школьник И.М., Ефимов С.В.* Перспективные оценки изменений климата в российских регионах: детализация в физическом и вероятностном пространствах // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 68–80.
222. *Мохов И.И., Хон В.Ч.* Продолжительность навигационного периода и ее изменения для Северного морского пути: модельные оценки // Арктика: экология и экономика 2015. № 2(18). С. 88–95.
223. *Мохов И.И., Хон В.Ч., Прокофьева М.А.* Новые модельные оценки изменений продолжительности навигационного периода для Северного морского пути в XXI веке // Доклады АН. 2016. Т. 468. № 6. С. 699–704.
224. *Мохов И.И., Тимажеев А.В.* Модельные оценки возможных изменений атмосферных блокированных в Северном полушарии при RCP-сценариях антропогенных воздействий // Докл. АН. 2015. Т. 460. № 2. С. 210–214.
225. *Морейдо В.М., Калугин А.С.* Оценка возможных изменений водного режима реки Селенги в XXI в. на основе модели формирования стока // Водные ресурсы. 2017. Т. 44. № 3. С. 275–284.
226. *Nasonova O.N., Gusev Ye.M., Volodin E.M. et al.* Application of the land surface model SWAP and global climate model INMCM4.0 for projecting runoff of Northern Russian rivers. 2. Projections and their uncertainties // Water Res. 2018. V. 45(2). P. S85–S92.
227. *Nasonova O.N., Gusev Y.M., Kovalev E.E., Ayzel G.V.* Climate change impact on streamflow in large-scale river basins: projections and their uncertainties sourced from GCMs and RCP scenarios // Proc. IAHS. 2018. V. 379. P. 139–144.
228. *Панин Г.Н., Дианский Н.А., Соломонова И.В., Гусев А.В., Выручалкина Т.Ю.* Оценка климатических изменений в Арктике в XXI столетии на основе комбинированного прогностического сценария // Арктика: экология и экономика. 2017. № 2(26). С. 35–52.
229. *Павлова Т.В., Катцов В.М.* Ожидаемые изменения осадков и испарения в Арктике в 21-м веке: результаты расчетов с помощью ансамбля глобальных климатических моделей (CMIP5) // Тр. ГГО. 2015. Вып. 579. С. 22–36.
230. *Shkolnik I., Pavlova T., Efimov S., Zhuravlev S.* Future changes in peak river flows across northern Eurasia as inferred from an ensemble of regional climate projections under the IPCC RCP8.5 scenario // Climate Dyn. 2018. V. 50(1–2). P. 215–230.
231. *Володин Е.М., Грицун А.С.* О природе замедления глобального потепления в начале XXI века // ДАН. 2018. Т. 482. № 3. С. 315–318.
232. *Акентьева Е.М., Тюсов Г.А.* Использование программного продукта ClimPACT для оценок воздействия климатических факторов на производство электроэнергии (на примере функционирования ТЭС и АЭС) // Тр. ГГО. 2015. Вып. 578. С. 86–100.
233. *Башмаков И.А.* Энергетика мира: мифы прошлого и уроки будущего // Вопросы экономики. 2018. № 4. С. 49–75.
234. *Башмаков И.А.* “Экономика постоянных” и длинные циклы динамики цен на энергию // Вопросы экономики. 2016. № 7. С. 36–63.
235. *Bashmakov I.* Improving the energy efficiency of Russian buildings // Probl. Econ. Trans. 2016. V. 58. № 11–12. P. 1096–1128.
236. *Бедрицкий А.И., Коршунов А.А., Шаймарданов М.З.* Влияние опасных гидрометеорологических явлений на устойчивое развитие экономики России // Метеорология и гидрология. 2017. № 7. С. 59–67.
237. *Chen Y.Z., Mu S.J., Sun Zh.G., Gang C.C., Li J.L., Podarian J., Groisman P.Y., Chen J., Li S.W.* Grassland carbon sequestration ability in China: A new perspective from terrestrial aridity zones // Rangeland Ecol. Manag. 2016. V. 69. P. 84–94.
238. *Bukvareva E., Grunewald K., Bobylev S., Zamolodchikov D., Zimenko A., Bastian O.* The current state of knowledge of ecosystems and ecosystem services in Russia: A status report // AMBIO. 2015. V. 44. № 6. P. 491–507.
239. *Bukvareva E., Zamolodchikov D., Kraev G., Grunewald K., Narykov A.* Supplied, demanded and consumed ecosystem services: prospects for national assessment in Russia // Ecological Indicators. 2017. V. 78. P. 351–360.
240. *Fan P., Chen J., Ouyang Z., Groisman P., Loboda T., Gutman G., Prishchepov A., Kvashnina Anna., Messina J., Moore N., Myint S., Qi J.* Urbanization and sustainability under transitional economies: A synthesis for Asian Russia // Environ. Res. Lett. 2018. V. 13. 095007, <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aadb8>

241. Flato G., Ananicheva M., Antonov E., Atkinson D., Brown R., Hamilton L., Harwood L., Jia G., Kattsov V., Kivva K., Muir M., Outridge P., Overland J., Rong R., Steiner N., Stier G., Walsh J., Wang X. Regional drivers and projections of regional change / In: *Adaptation Actions for a Changing Arctic: Perspectives from the Bering-Chukchi-Beaufort Region*. AMAP. Oslo, Norway. 2017. P. 89–124.
242. Groisman P., Bulygina O., Henebry G, Speranskaya N., Shiklomanov A., Chen Y., Tchepakova N., Parfenova E., Tilina N., Zolina O., Dufour A., Chen J., John R., Fan P., Mátyás C., Yesserkepova I., Kaipov I. Dry land belt of Northern Eurasia: Contemporary environmental changes and their consequences // *Environ. Res. Lett.* 2018. V. 13. 115008.
243. Gang C., Wang Z., Zhou W., Chen Y., Li J., Chen J., Qi J., Odeh I., Groisman P.Y. Assessing the spatiotemporal dynamic of global grassland water use efficiency in response to climate change from 2000 to 2013 // *J. Agron. Crop Sci.* 2016. V. 202. № 5. P. 343–354.
244. Генихович Е.Л., Грачева И.Г., Румянцев Д.Ю., Яковлева Е.А., Катцов В.М., Школьник И.М., Ефимов С.В. Модельная оценка чувствительности к изменениям климата экологической нагрузки на территории России // *Тр. ГГО*. 2016. Вып. 583. С. 85–98.
245. Гинзбург А.С., Демченко П.Ф. Обратные связи температурного режима и энергопотребления урбанизированных территорий // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2017. Т. 53. № 5. С. 556–564.
246. Готье Г., Бернье П., Куулувайнен Т., Швиденко А., Шепашенко Д. Бореальные леса и глобальные изменения // *Устойч. лесопользование*. 2016. № 2(48). С. 2–7.
247. Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана // *Тр. ГГО*. 2017. Вып. 586. С. 7–20.
248. Хлебникова Е.И., Катцов В.М., Пикалева А.А., Школьник И.М. Оценка изменения климатических воздействий на экономическое развитие территории российской Арктики в XXI веке // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 6. С. 5–19.
249. Хлебникова Е.И., Салль И.А. Экстремально низкие значения температуры воздуха на территории России и риски критических температурных воздействий на объекты инфраструктуры // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 6. С. 41–51.
250. Клименко В.В., Клименко А.В., Терешин А.Г. Опыт построения дальних прогнозов воздействия мировой энергетики на атмосферу Земли // *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*. 2015. Т. 51. № 2. С. 158–168.
251. Klivenko V.V., Fedotova E.V., Tereshin A.G. Vulnerability of the Russian power industry to the climate change // *Energy*. 2018. V. 142. P. 1010–1022.
252. Клименко В.В., Терешин А.Г., Касилова Е.В. Москва: естественный тестовый полигон для оценки сильного потепления // *ДАН*. 2017. Т. 477. № 1. С. 30–34.
253. Клименко В.В., Гинзбург А.С., Демченко П.Ф., Терешин А.Г., Белова И.Н., Касилова Е.В. Влияние урбанизации и потепления климата на энергопотребление больших городов // *ДАН*. 2016. Т. 470. № 5. С. 519–524.
254. Клименко В.В., Микушина О.В., Терешин А.Г. Парижская конференция по климату – поворотный пункт в истории мировой энергетики // *ДАН*. 2016. Т. 468. № 5. С. 521–524.
255. Кобышева Н.В., Акентьева Е.М., Галюк Л.П. Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере. СПб: “Издательство Кириллица”. 2015. 214 с.
256. Королева Т.С., Константинов А.В., Шунькина Е.А. Угрозы и социально-экономические последствия изменения климата для лесного сектора // *Труды Санкт-Петербургского НИИ лесного хозяйства*. 2015. № 3. С. 55–71.
257. Корзухин М.Д., Коротков В.Н. Модификация модели РОБУЛ для расчета углеродного баланса лесов России // *Фунд. прикл. климатол.* 2018. Т. 3. С. 30–53.
258. Макаров И.А., Чен Х., Пальцев С.В. Последствия Парижского климатического соглашения для экономики России // *Вопросы экономики*. 2018. № 4. С. 76–94.
259. Павлова В.Н., Варчева С.Е., Оценки степени уязвимости территории и климатического риска крупных неурожаев зерновых культур в зерносеющих регионах России // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 8. С. 39–49.
260. Воронина С.А., Порфирьев Б.Н., Семикашев В.В., Терентьев Н.Е., Елисеев Д.О., Наумова Ю.В. Последствия изменений климата для экономического роста и развития отдельных секторов экономики российской Арктики // *Арктика: экология и экономика*. 2018. № 4(28). С. 4–17.
261. Qi J., Xin X., John R., Groisman P., Chen J. Understanding livestock production and sustainability of grassland ecosystems in the Asian dryland belt // *Ecol. Proc.* 2017. V. 6(22). 10 p., <https://doi.org/10.1186/s13717-017-0087-3>
262. Revich B.A., Shaposhnikov D.A., Podolnaya M.A., Khorkova T.L., Kvasha E.A. Heat waves in southern cities of European Russia as a risk factor for premature mortality // *Stud. Russ. Econ. Develop.* 2015. V. 26. № 2. P. 142–150.
263. Ревич Б.А., Шапошников Д.А. Волны холода в южных городах европейской части России и преждевременная смертность населения // *Пробл. прогнозирования*. 2016. № 2. С. 125–131.
264. Романовская А.А. Потребности и пути развития мониторинга адаптации // *ПЭММЭ*. 2018. Т. XXIX. № 1. С. 107–126.
265. Shaposhnikov D., Revich B. Toward meta-analysis of impacts of heat and cold waves on mortality in Russian North // *Urban Clim.* 2016. V. 15. P. 16–24.
266. Shartova N., Shaposhnikov D., Konstantinov P., Revich B. Cardiovascular mortality during heat waves in temperate climate: an association with bioclimatic indices // *Intern. J. Environ. Health Res.* 2018. V. 28(5). P. 522–534.
267. Тюсов Г.А., Акентьева Е.М., Павлова Т.В., Школьник И.М. Оценки возможного влияния изменений климата на функционирование объектов

- энергетики в России // Метеорология и гидрология. 2017. № 12. С. 47–57.
268. *Синяк Ю.В.* Влияние климатических рисков на темпы и структуру развития российского ТЭК в первой половине XXI века // Энергетическая политика. 2016. Вып. 3. С. 31–42.
269. *Soja A., Groisman P.Y.* Earth science and the integral climatic and socio-economic drivers of change across northern Eurasia: The NEESPI legacy and future direction // *Environ. Res. Lett.* 2018. V. 13. 040401, <https://doi.org/10.1088/1748-9932/13/4/040401>
270. *Soldatenko S.A.* Weather and climate manipulation as an optimal control for adaptive dynamical systems // *Complexity*. 2017. 4615072, <https://doi.org/10.1155/2017/4615072>
271. *Солдатенко С.А., Юсупов Р.М.* Оптимальное управление аэрозольными эмиссиями в стратосферу для стабилизации климата Земли // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54. № 5. С. 566–574.
272. *Soldatenko S.A.* Estimating the impact of artificially injected stratospheric aerosols on the global mean surface temperature in the 21th century // *Clim.* 2018. V. 6. № 4. P. 85. <https://doi.org/10.3390/cli6040085>
273. *Солдатенко С.А., Алексеев Г.В., Иванов Н.Е., Вязилова А.Е., Харланенкова Н.Е.* Об оценке климатических рисков и уязвимости природных и хозяйственных систем в морской арктической зоне РФ // Проблемы Арктики и Антарктики. 2018. Т. 64. № 1. С. 55–70.
274. *Суркова Г.В., Крылов А.А.* Изменение гидротермических климатических ресурсов Арктики на фоне потепления XXI века // Арктика и Антарктика. 2017. № 1. С. 47–61.
275. *Трунов А.А.* Обезлесение на территории России и его влияние на антропогенную эмиссию диоксида углерода в 1990–2013 гг. // Метеорология и гидрология. 2017. № 8. С. 64–75.
276. *Порфирьев Б.Н.* Экономика природных катастроф // Вестник РАН 2016. Т. 86. № 1. С. 3–17.

Russian Climate Research in 2015-2018

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

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

²*Moscow State University, Moscow, 119991 Russia*

*e-mail: mokhov@ifaran.ru

The results of Russian studies of climate and its changes (published in 2015–2018) are presented based on a review prepared for the National Report on Meteorology and Atmospheric Sciences for the XXVII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (Montreal, Canada, July 8–18, 2019).

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