

СОБЫТИЯ И ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ

DOI:10.21513/2410-8758-2024-1-05-55

УДК 551.58

Российская наука и современная климатология: к 300-летию Российской академии наук

С.М. Семенов^{1,7)}, И.И. Мохов^{2,3)}, В.А. Семенов^{2,7)}, Г.А. Жеребцов⁴⁾,
С.К. Гулев⁵⁾, А.Б. Полонский⁶⁾, О.Н. Соломина⁷⁾, Е.М. Володин⁸⁾,
А.С. Гинзбург²⁾, А.В. Елисеев^{2,3)}, М.Ю. Бардин^{1,2,7)}, И.И. Борзенкова⁹⁾,
О.К. Борисова⁷⁾*

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

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

³⁾Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Физический факультет, кафедра физики атмосферы,
Россия, 119991, Москва, Ленинские горы, д. 1

⁴⁾Институт солнечно-земной физики СО РАН,
Россия, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, д. 126а

⁵⁾Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН,
Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

⁶⁾Институт природно-технических систем РАН,
Россия, 299011, Севастополь, ул. Ленина, д. 28

⁷⁾Институт географии РАН,
Россия, 119017, Москва, Старомонетный переулок, д. 29, стр. 4

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

⁹⁾Государственный гидрологический институт,
Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23

*Адрес для переписки: SergeySemenov1@yandex.ru

Реферат. Представлены достижения российской климатологии в области исследований климатической системы Земли, естественной изменчивости этой системы и ее антропогенных изменений. Многие из этих достижений были результатами масштабных проектов, в которых участвовали академические ученые, специалисты из научно-исследовательских институтов Гидрометеорологической службы и высших учебных заведений страны. Отмечены достижения в фундаментальной и прикладной областях климатологии, в которых существенная роль принадлежала ученым Российской академии наук (РАН). Публикация подготовлена в связи с 300-летием РАН.

Ключевые слова. Российская академия наук, Гидрометеорологическая служба, высшие учебные заведения, климатология, климатическая система, исследования, достижения.

**Russian science and modern climatology:
to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences**

S.M. Semenov^{1,7)}, I.I. Mokhov^{2,3)}, V.A. Semenov^{2,7)}, G.A. Zherebtsov⁴⁾,
S.K. Gulev⁵⁾, A.B. Polonsky⁶⁾, O.N. Solomina⁷⁾, E.M. Volodin⁸⁾, A.S. Ginzburg²⁾,
A.V. Eliseev^{2,3)}, M.Yu. Bardin^{1,2,7)}, I.I. Borzenkova⁹⁾, O.K. Borisova⁷⁾*

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

²⁾A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics of the Russian Academy of Sciences,
3, Pyzhevsky lane, 119017, Moscow, Russian Federation

³⁾M.V. Lomonosov Moscow State University, Faculty of Physics,
Department of Atmospheric Physics,
1, Leninskie Gory, 119991, Moscow, Russian Federation

⁴⁾Institute of Solar-Earth Physics of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
126a, Lermontova str., 664033, Irkutsk, Russian Federation

⁵⁾P.P. Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences,
36, Nakhimovsky prospect, 117997, Moscow, Russian Federation

⁶⁾Institute of Natural-Technical Systems of the Russian Academy of Sciences,
28, Lenina str., 299011, Sevastopol, Russian Federation

⁷⁾Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetny lane, build. 4, 119017, Moscow, Russian Federation

⁸⁾G.I. Marchuk Institute of Numerical Mathematics of the Russian Academy of Sciences,
8, Gubkina str., 119333, Moscow, Russian Federation

⁹⁾State Hydrological Institute,
23, 2nd line V.O., 199053, St. Petersburg, Russian Federation

*Correspondence address: SergeySemenov1@yandex.ru

Abstract. The achievements of Russian climatology in the field of studies of the Earth's climate system, natural variability of this system and its anthropogenic changes are presented. Many of these achievements resulted from the large-scale projects involving academic scientists, specialists from research institutes of Hydrometeorological Service and higher education institutions of the country. Achievements in the fundamental and applied fields of climatology are noted, in which a significant role belongs to scientists from the Russian Academy of Sciences. The publication was prepared in connection with the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences.

Keywords. Russian Academy of Sciences, Hydrometeorological Service, higher educational institutions, climatology, climate system, studies, achievements.

Введение

Эта статья подготовлена авторами в связи со знаменательным событием. В 2024 г. научное сообщество отмечает 300-летие образования Российской академии наук. Датой ее образования считается 1724 г., когда был составлен Проект Положения об учреждении «Академии наук и художеств в Санкт-Петербурге». Ее название в период Российской империи несколько раз немного менялось. С 1917 г. она стала называться «Российская академия наук», а с 1925 г. – «Академия наук СССР». В 1991 г. было восстановлено название «Российская академия наук» (РАН).

Отечественная климатология всегда была очень сильна. Ее современные достижения базируются на результатах развития в XX веке отечественной физики атмосферы и географии, прежде всего, на основополагающих работах членов АН СССР и РАН, таких выдающихся ученых, как академики А.М. Обухов, М.И. Будыко, Г.С. Голицын, В.П. Дымников, Ю.А. Израэль, К.Я. Кондратьев, В.М. Котляков, Г.И. Марчук, А.С. Монин. Их дело развивается сегодня в трудах академиков РАН И.И. Мохова, В.А. Семенова, Г.А. Жеребцова, В.П. Мельникова и других ученых.

Для интенсивного развития отечественной климатологии в 1970-х годах и далее весьма существенным фактором было тесное сотрудничество климатологов АН СССР и РАН с Гидрометеорологической службой страны. Именно в системе Гидрометеорологической службы профессором Г.В. Груза с сотрудниками был выполнен первый эмпирический анализ данных гидрометеорологической сети страны с целью оценки изменчивости климата (Груза, Ранькова, 1980; Груза и др., 1990).

Начало исследований антропогенных воздействий на климатическую систему Земли связано с именем академика РАН М.И. Будыко, а развитие прикладных аспектов этого направления – с именем академика РАН Ю.А. Израэля и его школой.

Благодаря сотрудничеству с Гидрометеорологической службой стало возможно реализовать многие масштабные проекты. Это – палеоклиматический анализ ледового керна с антарктической станции «Восток», выполненный совместно учеными Арктического и Антарктического научно-исследовательского института Росгидромета (Н.И. Барков, В.Я. Липенков, В.Н. Петров), академиком РАН В.М. Котляковым и французскими учеными. Это – система мониторинга климата в стране, действующая в Федеральной службе по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Она была научно обоснована профессором Г.В. Груза (Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН) и академиком РАН Ю.А. Израэлем. Можно привести и другие примеры.

В XX веке наука о климате в мире и у нас в стране все более становилась частью физической науки. Основополагающий вклад в развитие физики атмосферы как методологической базы для исследования климатической системы Земли, в том числе ее моделирования, внесли труды акаде-

мика АН СССР А.М. Обухова (Обухов, 1971, 1988, 1989; Обухов и др., 1981, 1984 и др.).

А.М. Обухов оказал также большое организационное влияние на развитие отечественной климатологии. В Институте физики атмосферы АН СССР им была создана школа ученых, которым принадлежат значительные результаты в теории климата Земли и других планет, а также во многих направлениях современной прикладной климатологии.

Формирование климата – результат поглощения солнечной энергии климатической системой Земли (океан-атмосфера-педосфера-криосфера-биосфера), ее преобразования внутри этих компонент, переноса между этими компонентами и излучения в космос в инфракрасном диапазоне.

Как это было предложено в трудах академика РАН А.С. Монина, собственно наблюдаемый климат стал пониматься как «статистический ансамбль состояний, проходимых земной климатической системой за периоды времени в несколько десятилетий» (Монин, Шишков, 2000).

А.С. Монин – автор фундаментальных работ по теории климата, численному моделированию атмосферы и океана, общей циркуляции океана.

Академик РАН
Андрей Сергеевич Монин



Академик АН СССР
Александр Михайлович Обухов



Отечественные климатологи внесли значительный вклад в создание и развитие математических моделей климатической системы Земли. Такие модели различного уровня сложности сейчас поддерживаются и совершенствуются в ИВМ РАН – Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН (Е.М. Володин, А.С. Грицун, Н.А. Дианский и др.), в ИФА РАН – Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (А.В. Елисеев, И.И. Мохов, В.А. Семенов и др.), в ГГО – Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова Росгидромета (В.П. Мелешко, И.М. Школьник и др.). Модель ИВМ РАН входит в международный пул моделей земной системы международного проекта CMIP (Coupled Models Intercomparison Project).



Академик РАН
Игорь Иванович Мохов



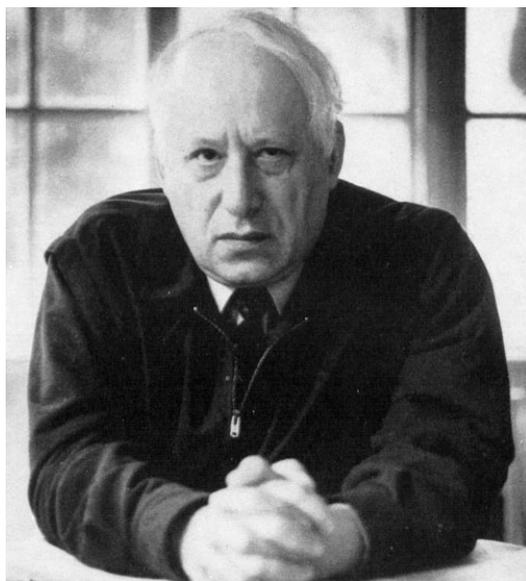
Академик РАН
Валерий Григорьевич Бондур

В Российской академии наук проблеме климата уделяется серьезное внимание. Сформирован и успешно работает Научный совет РАН по проблемам климата Земли. Его сопредседатели – академики РАН В.Г. Бондур и И.И. Мохов, почетный председатель – академик АН СССР, академик РАН Г.С. Голицын.

Конечно, формат журнальной статьи не позволяет сделать исчерпывающий обзор роли отечественной науки в современном развитии климатологии. Мы лишь коснемся некоторых достижений, связанных с именами известных ученых-климатологов и их школами.

Поток солнечного излучения и перенос энергии и массы в климатической системе – естественные факторы формирования климата

Климат Земли в целом и его пространственно-временные характеристики определяются в первую очередь потоками приходящего к Земле солнечного излучения и теплового (инфракрасного) излучения компонентов самой климатической системы. Еще Александр Иванович Воейков и Александр Александрович Фридман положили начало исследованию в России бюджетов коротковолновой и длинноволновой (инфракрасной) составляющих лучистой энергии и их роли в формировании и динамике климата Земли.



Академик РАН
Михаил Иванович Будыко

В нашей стране впервые была построена серия глобальных карт теплового баланса земной поверхности (Будыко, 1956). Огромный фактический материал, полученный при построении мировых карт радиационного баланса, послужил основой для разработки периодического закона географической зональности.

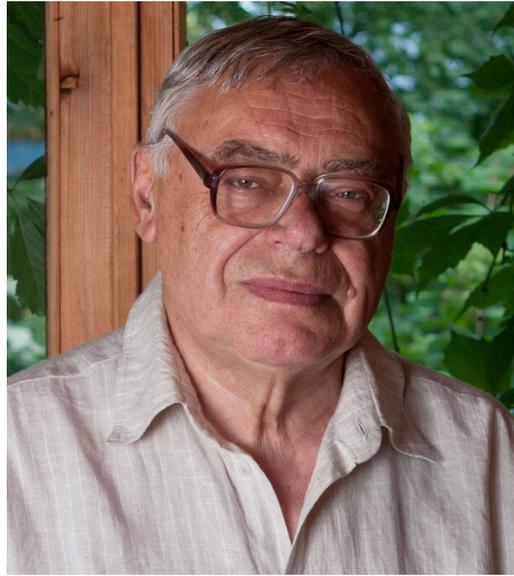
Во второй половине XX века под руководством академика АН СССР, академика РАН К.Я. Кондратьева были выполнены обширные актинометрические исследования (Кондратьев, 1965, 1992; Kondratyev, 1999).

К.Я. Кондратьев – автор основополагающих работ о дистанционном исследовании Земли из космоса, в том числе о дистанционном зондировании атмосферы и подстилающей поверхности и об оценке радиационного бюджета нашей планеты.

Академик АН СССР, академик РАН
Кирилл Яковлевич Кондратьев

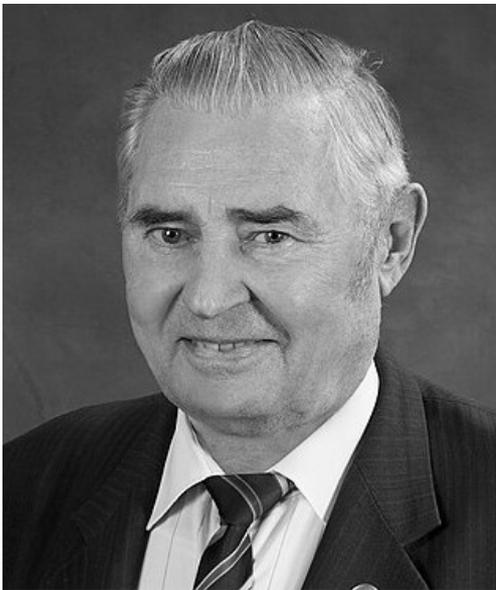


Были выполнены концептуальные разработки в области математического описания бюджетов лучистой энергии в атмосфере – создана двухслойная (подстилающая поверхность+атмосфера) модель климата (Гинзбург, Фейгельсон, 1971). Она не только позволяла анализировать поведение температуры поверхности Земли при изменении содержания парниковых газов в атмосфере, но и «антипарниковый эффект» таких климатических катастроф, как гипотетическая «ядерная зима» (Golitsyn, Ginzburg, 1985; Будыко и др., 1986).



Академик АН СССР, академик РАН
Георгий Сергеевич Голицын

Академиком АН СССР, академиком РАН Г.С. Голицыным создана теория подобия для планетных атмосфер, определяющая ключевые особенности динамики атмосфер планет Солнечной системы. Им был описан механизм глобальных пылевых бурь на Марсе. Г.С. Голицын развил основы теории климата, в том числе получил оценки чувствительности, устойчивости и экстремальных свойств климатической системы. В ходе исследования природных процессов и явлений им были изучены взаимодействия атмосферы и океана и



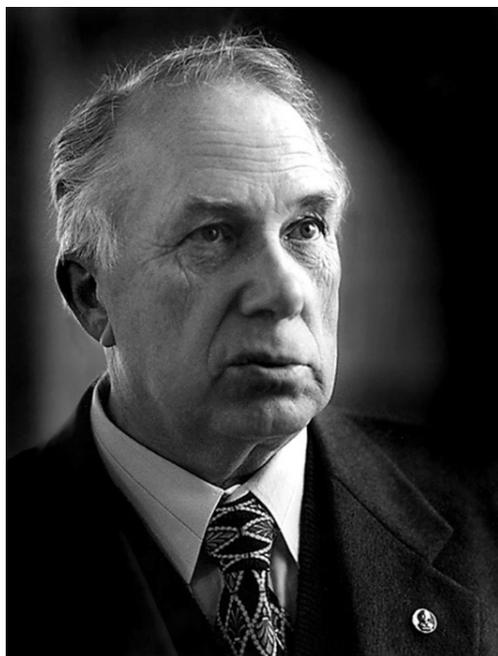
Академик АН СССР, академик РАН
Гурий Иванович Марчук

установлены механизмы формирования и статистики тропических циклонов и полярных мезоциклонов (Голицын, 1973, 2004 и др.). Применяя вероятностный подход на основе теории академика АН СССР А.Н. Колмогорова, Г.С. Голицын обосновал закономерности многих природных явлений, в том числе ураганов, смерчей, наводнений (Голицын, 2022).

В 1970-1980-е годы была сформулирована концепция энергоактивных зон, связанная с именем академика АН СССР, академика РАН Г.И. Марчука и развитая в трудах ученых его школы. Предложенная Г.И. Марчуком концепция стала основой программы «Раз-

резы», направленной на исследования взаимодействия атмосферы и океана в энергоактивных зонах (Исследование..., 1987). В рамках выполнения этой программы было получено множество уникальных научных результатов.

Отечественными учеными была выявлена весьма существенная роль океанических течений в распределении тепла в климатической системе Земли. В 1984 г. членом-корреспондентом РАН С.С. Лаппо впервые определены особенности глобальной меж океанской циркуляции (Лаппо, 1984), играющей ключевую роль в климатических процессах. Впоследствии учениками С.С. Лаппо были установлены механизмы влияния Атлантического звена глобальной меж океанской циркуляции на потоки тепла между океаном и атмосферой и на динамику атмосферной циркуляции (Gulev et al., 2013; Gulev, Latif, 2015). Эти изменения были увязаны с долгопериодными сигналами в циклонической активности (Gulev et al., 2001; Tilinina et al., 2013, 2014) и ветровом волнении (Gulev, Grigorieva, 2004, 2006; Sharmar et al., 2021).



Член-корреспондент РАН
Сергей Сергеевич Лаппо

В продолжение исследований, начатых иностранным членом РАН Г. Стоммелом и членом-корреспондентом РАН С.С. Лаппо (Stommel, 1961; Лаппо, 1984), был изучен один из важнейших механизмов, отвечающих за генерацию интенсивных климатических аномалий в различные климатические эпохи – смена режимов термохалинной циркуляции вод Мирового океана. Термохалинная циркуляция не только способствует смягчению термических контрастов между экватором и полюсами и регулирует квазипериодическую климатическую изменчивость на масштабах от десятилетий до тысячелетий, но и обуславливает некоторые резкие изменения климата. К наиболее интенсивным климатическим аномалиям в Атлантико-Европейском регионе приводит «термохалинная катастрофа», связанная с блокировкой глубокой конвекции в северной части Атлантики вследствие распреснения и повышения температуры верхнего слоя вод. Для современной климатической эпохи вероятность реализации термохалинной катастрофы оценена как очень незначительная (в отличие от переходных периодов от ледникового к межледниковью, см. (Аверьянова и др., 2017; Аверьянова, Полонский, 2017, 2023)).

В процессах переноса массы и энергии в климатической системе Земли значительную роль играют случайные, хаотические составляющие. Они ока-

зывают существенное влияние на вариации климата и состояния отдельных составляющих климатической системы. Эти вопросы были рассмотрены в монографии (Демченко, Кислов, 2010).

Математическое моделирование климатической системы

В последней трети XX века в мировой науке о климате ясно обозначилась тенденция построения глобальных климатических моделей. Это определялось, в основном, нарастающими запросами прикладных исследований влияния человека на глобальный климат. Отечественная наука ответила на этот вызов.

Академиком РАН М.И. Будыко, с использованием данных по энергетическому балансу, была предложена полуэмпирическая модель климата Земли. В ходе модельного анализа был получен важный вывод о существовании обратной положительной связи между площадью оледенения в высоких широтах и термическим режимом, основанной на различии в величинах альбедо поверхности без льда и снега и со снежно-ледовым покровом (Будыко, 1962). На основе этой зависимости были впервые получены условия устойчивости глобального климата.

Кроме того, М.И. Будыко впервые в мире показал возможность существования множества состояний равновесия земной климатической системы (ЗКС). При значении солнечной постоянной чуть меньше современного одним из таких положений равновесия является близкий к современному климат, а другим – полное оледенение Земли. При этом последнее гипотетическое состояние является абсолютно устойчивым.

Энергобалансовая модель (ЭБМ), созданная М.И. Будыко, нашла широкое применение в теоретической климатологии. В частности, по инициативе Г.С. Голицына в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН И.И. Моховым на основе этой модели был проведен анализ чувствительности ЗКС к внешним воздействиям и устойчивости состояний ЗКС (Мохов, 1993). Один из важных полученных при этом результатов состоял в выявлении необходимости положительной чувствительности состояния ЗКС к внешнему воздействию для устойчивости этой системы. Наряду с этим Г.С. Голицыным и И.И. Моховым с использованием понятий производства энтропии в ЗКС и обмена энтропией с внешним для ЗКС пространством был проведен анализ термодинамических свойств системы с выявлением необратимых процессов в ней. Стохастическая версия ЭБМ М.И. Будыко (Демченко, Кислов, 2010) позволила провести анализ влияния погодных процессов на климатическую изменчивость. Наконец, расширение ЭБМ уравнениями углеродного цикла и состояния экосистем позволяет проанализировать динамику ЗКС с учетом биогеохимических обратных связей (Muryshev et al., 2017).



Профессор
Игорь Леонидович Кароль

Профессор И.Л. Кароль с группой сотрудников Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова построил радиационно-фотохимическую модель атмосферы (Радиационно-фотохимические модели, 1986).

С ее помощью возможно было оценивать потоки лучистой энергии в атмосфере Земли и получать количественные оценки парникового эффекта с использованием спектроскопических данных и констант фотохимических реакций, доступных в то время.

В 1973 г. в Академии наук СССР было принято решение о создании совместных моделей общей циркуляции атмосферы и океана. В результате под руководством академика АН СССР и РАН Г.И. Марчука и академика РАН В.П. Дымникова в Институте вычислительной математики РАН (сейчас – имени Г.И. Марчука) была создана климатическая модель, включающая модель общей циркуляции атмосферы (Марчук и др., 1979) и модель общей циркуляции атмосферы и океана (Марчук и др., 1984). Построенная модель была полностью оригинальна. Это касается и численных методов решения уравнений, и параме-



Академик РАН
Валентин Павлович Дымников

тризации подсеточных процессов. Сейчас модель совершенствуется и развивается профессорами РАН Е.М. Володиным, А.С. Грицуном, Н.А. Дианским и другими сотрудниками ИВМ РАН (Volodin et al., 2017; Volodin, Gritsun, 2018).

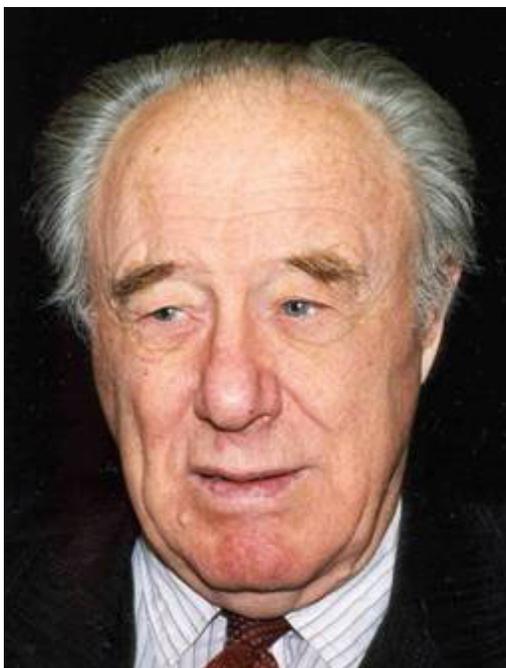
В Институте вычислительной математики им. Г.И. Марчука РАН был разработан подход к исследованию чувствительности статистических характеристик климатических моделей к малым внешним воздействиям, основанный на использовании флуктуационно-диссипационных соотношений статистической механики (Грицун, Дымников, 1999). Применение данной методологии к анализу моделей общей циркуляции атмосферы и климата позволило решить ряд важных физических задач (Грицун, 2010).

В Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН и на кафедре физики атмосферы физического факультета МГУ под руководством академика РАН И.И. Мохова и профессора РАН А.В. Елисеева развиваются разные версии глобальной модели Земной системы промежуточной сложности (с учетом, в том числе, углеродного цикла). Результаты расчетов с моделью, участвующей в международных сравнениях, представлены также в Оценочных докладах Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). В ее основе – климатическая модель, предложенная в Институте физики атмосферы АН СССР и развивавшаяся под руководством профессора В.К. Петухова. Результаты расчетов с моделью используются для разностороннего анализа климатической системы и ее глобальных реакций на антропогенные и естественные воздействия (на масштабах времени до многих тысячелетий) – см., например, (Мохов и др., 2005; Мохов, Елисеев, 2012).

В Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова создана региональная климатическая модель (Школьник, Ефимов, 2015). Она широко используется для прикладных региональных оценок ответных реакций региональных климатов на антропогенное воздействие и для оценки их последствий для природных и хозяйственных систем.

Одна из первых отечественных климатических моделей была также разработана под руководством академика АН СССР, академика РАН Никиты Николаевича Моисеева в Вычислительном центре АН СССР (Моисеев и др., 1985).

Особенностью этой модели был учет взаимодействия между «физическими» компонентами ЗКС и их взаимодействия с биосферой,



Академик АН СССР, академик РАН
Никита Николаевич Моисеев

включая динамику растительности и биогеохимические циклы. Одним из важнейших результатов, полученных с использованием этой модели, является оценка катастрофических последствий ядерной войны. Они во многом согласуются с более ранними результатами, полученными во второй половине 1970-х гг. Г.С. Голицыным с использованием энергобалансовой модели.

В РАН также развивается еще один подход к моделированию климата – построение статистических моделей для климатических вариаций на масштабах от месяцев до миллионов лет. Так, в Институте прикладной физики РАН такой подход показал свою эффективность в различных приложениях – от оперативного прогноза климатических индексов до идентификации и исследования механизмов возникновения различных режимов эволюции климата. Для построения таких моделей используются оригинальные методы реконструкции фазовых переменных. К наиболее значимым результатам относится, во-первых, эмпирическая модель Эль-Ниньо Южного колебания (ЭНЮК), построенная по пространственно-распределенным данным температуры океана в тропическом поясе (Gavrilov et al., 2019). Используя ее, удалось понизить весенний барьер предсказуемости ЭНЮК. Во-вторых, еще один важный результат состоит в построении, по данным климатических прокси из донных отложений, оптимальной динамической модели изменчивости климата в плейстоцене, анализ которой проливает свет на причины так называемого перехода среднего плейстоцена (существенного увеличения периода ледниковых циклов от 41 тыс. лет до 80-120 тыс. лет), произошедшего около миллиона лет назад. Показано, что ключевым фактором, без которого это было бы невозможно, являлась тысячелетняя изменчивость климата, игравшая роль стохастического внешнего воздействия на систему на фоне медленного уменьшения устойчивости состояния климатической системы (Loskutov et al., 2022).

Естественные факторы изменения климата

Современные естественные изменения приповерхностной температуры на Земле могут быть обусловлены как внешними причинами, так и внутренними. Внешние факторы могут действовать как на сравнительно коротких временах (изменения солнечной активности), так и на продолжительных (орбитальные факторы).

Отечественная наука уделяет исследованиям влияния солнечной активности на климат серьезное внимание (Изменение..., 2008; Метеорологические и геофизические исследования, 2011). В Институте солнечно-земной физики СО РАН эти работы возглавляет академик РАН Г.А. Жеребцов. Во время активных процессов на Солнце происходит увеличение интенсивности коротковолновой радиации (рентгеновский и ультрафиолетовый диапазоны длин волн) и корпускулярного излучения (вариации солнечного ветра и межпланетного магнитного поля, изменение потоков космических лучей).



Академик РАН
Гелий Александрович Жеребцов

Проведенные исследования показали, что изменения многих характеристик тропосферы (в том числе температуры, влажности) модулируются геофизическими возмущениями солярного происхождения. Предложен концептуальный механизм этого нелинейного эффекта, объясняющий многие наблюдаемые явления.

Естественную изменчивость земного климата на значительных временах определяют внешние, орбитальные

факторы (концепция Миланковича). Параметры орбиты Земли – наклон земной оси (угол между плоскостями эклиптики и экватора), долгота перигелия и эксцентриситет орбиты – циклически меняются. Эти изменения приводят к тому, что поток солнечной энергии, поглощаемый климатической системой Земли, также циклически меняется.

Уникальные возможности для исследования продолжительных естественных изменений климата предоставила гляциология. Бурение ледников, изучение полученных кернов и восстановление расчетными методами температуры атмосферы и ее состава прошлых эпох позволили получить земные «отпечатки» прошлых циклов Миланковича. Пионерским проектом в этом отношении являлся проект бурения льда на антарктической станции «Восток» и



Академик РАН
Владимир Михайлович Котляков

исследования полученного ледового керна международным коллективом ученых, в числе которых были и российские – академик РАН В.М. Котляков, Н.И. Барков, В.Я. Липенков, В.Н. Петров (Petit et al., 1999).

Под руководством академика РАН И.И. Мохова был выполнен кросс-вейвлетный анализ палеоклиматических рядов значений температуры воздуха и концентраций аэрозолей и парниковых газов в атмосфере. Наряду с общим запаздыванием изменений с периодами около 100 000 лет концентраций относительно температурных изменений для менее продолжительных периодов выявлены и противоположно направленные фазовые сдвиги (Мохов и др., 2005; Мохов, 2023).



Профессор
Андрей Алексеевич Величко

Изучены географические закономерности в проявлении глобальных потеплений/похолоданий разного ранга для крупных регионов. Картографические реконструкции температур и атмосферных осадков были выполнены для наиболее показательных этапов («временных срезов») в пределах последнего завершеного межледниково-ледникового макроцикла и голоцена, а также для некоторых более древних теплых эпох (Atlas of paleoclimates..., 1992; Палеоклиматы и палеоландшафты..., 2009). Исследования этого направления проводились в Институте географии РАН под руководством профессора А.А. Величко.

Отметим, что Институт географии РАН всегда был центром отечественной географической климатологии, где были получены многие выдающиеся научные результаты. Упомянем здесь лишь некоторых представителей этого научного направления и их вклады в науку о климате.

Профессор Борис Львович Дзердзеевский разработал типизацию атмосферных процессов внетропических широт Северного полушария на основе выделенных элементарных циркуляционных механизмов. Этот подход составил основу его важнейших публикаций (Дзердзеевский, 1956, 1968).

Доктор географических наук Юрий Львович Раунер исследовал радиационный баланс леса равнинных территорий в Европейской части СССР, Западной Сибири и Казахстане и выполнил важное картографическое обобщение результатов этих исследований. Он уделял также значительное внима-

ние проблемам агроклиматологии. Его вклад в развитие этих научных направлений отражен в суммирующих публикациях (Раунер, 1972, 1981).

Профессор Александр Николаевич Кренке работал на стыке климатологии, гляциологии и гидрологии. В науке о климате он был одним из инициаторов работ по исторической климатологии, анализировал структуру экстремальных и постепенных изменений климата России в историческом прошлом и в настоящем. Он также был инициатором и ключевым участником работ по исследованию многолетней изменчивости снежного покрова на территории Северной Евразии в эпоху потепления климата. Ему принадлежит целый ряд глубоких научных публикаций по этим вопросам, в том числе (Климат Земли..., 1985; Оледенение..., 2006).

Член-корреспондент РАН Андрей Борисович Шмакин развил новое направление в географии климата. Он исследовал пространственно-временную организацию теплообмена суши с атмосферой и разработал новую схему параметризации этого процесса. Ее реализация в численной модели взаимодействия суши и атмосферы для различных ландшафтов и реальных типов погоды позволила получить количественные оценки упорядоченности энерго- и влагообмена в различных временных и пространственных масштабах (Шмакин, 2006а, 2006б). В совместной работе с Валерией Васильевной Поповой исследована связь изменений климата Северной Евразии с колебаниями основных циркуляционных систем атлантико-европейского сектора (Попова, Шмакин, 2006). Обнаружено, что относительный вклад разных циркуляционных механизмов в изменения температуры может меняться во времени в масштабе десятилетий.

Профессор Александр Николаевич Золотокрылин – автор основополагающих трудов в области климатического опустынивания. Он широко известен и у нас в стране, и за рубежом как исследователь процессов аридизации и деградации земель в ключевых аридных регионах мира в прошлом, настоящем и будущем. Одним из направлений его работ является изучение взаимодействия атмосферы и ландшафтов суши. Им получены фундаментальные результаты по влиянию изменений климата на природные зоны, а также их обратному воздействию на атмосферу. В ряде последних работ А.Н. Золотокрылина – исследования динамики положения высотного полярного и арктического фронтов и ее влияние на границы природных зон в условиях меняющегося климата (Золотокрылин, 2003; Золотокрылин и др., 2011).

Под руководством члена-корреспондента РАН Ольги Николаевны Соломиной в Институте географии РАН выполняется целый комплекс палеоклиматических исследований. Он включает изучение изменений климата Земли в прошлом путем датирования морен горных ледников, анализа озерных отложений, ледниковых кернов и рядов радиального прироста древесных растений (1999, 2012, 2017). Этого направления мы еще коснемся далее в разделе «Мониторинг состояния климатической системы».

Весьма важно, что и в институтах Академии наук СССР и Российской академии наук, и в научно-исследовательских учреждениях Гидрометеорологической службы климатологические исследования развивались и развива-

ются сейчас в тесном контакте с университетами и учебными институтами. Это прежде всего относится к Московскому государственному университету им. М.В. Ломоносова (МГУ), в котором климатологические исследования выполняются разными подразделениями (географический и физический факультеты, научно-исследовательский вычислительный центр). Профильной является кафедра метеорологии и климатологии географического факультета, которую возглавляли классики метеорологии и климатологии, профессора Борис Павлович Алисов, Сергей Петрович Хромов и Михаил Арамаисович Петросянц. В наше время руководитель кафедры – профессор Александр Викторович Кислов, один из лидеров современной отечественной климатологии. В его статьях и книгах анализируется структура климатической системы, исследуются причины колебаний ее состояния, устанавливается значение случайных факторов в формировании ее состояний (Кислов, 2001, 2023; Демченко, Кислов, 2010). Профессора кафедры – известные ученые. Это – И.А. Шульгин, исследователь процессов влияния радиационных факторов на фотосинтез и морфогенез растений (Шульгин, 2009; Шульгин и др., 2015), специалисты в области естественной климатической изменчивости Д.Ю. Гущина (Петросянц и др., 2005) и Г.В. Суркова (Кислов, Суркова, 2020), исследователи климатов городов и специалисты по моделированию и радиационным процессам Г.С. Ривин и Н.Е. Чубарова (Chubarova et al., 2024), специалист в области моделирования и измерений потоков парниковых газов в естественных экосистемах А.В. Ольчев (Ольчев и др., 2017).

Эффективная научная работа в области науки о климате и атмосфере характерна также и для профессоров и преподавателей профильных кафедр других университетов и учебных институтов. В их числе – профильные кафедры Санкт-Петербургского государственного университета (там преподавали такие выдающиеся климатологи как Олег Алексеевич Дроздов, который многие десятилетия руководил кафедрой, Михаил Иванович Будыко, Нина Владимировна Кобышева и Игорь Леонидович Кароль), Томского государственного университета (руководитель – профессор Валентина Петровна Горбатенко) и Казанского (Приволжского) федерального университета, в котором профильной кафедрой долгие годы руководил профессор Юрий Петрович Переведенцев.

Российские ученые исследовали также ряд внутренних естественных факторов современной циклической изменчивости земного климата (Полонский и др., 2004; Bardin, Korshunova, 2019; Polonsky, 2019). Влияние квазипериодических климатических мод с временными масштабами от нескольких лет до нескольких десятков лет сказывается на пространственно-временной структуре гидрометеорологических полей. Это проявляется в Атлантико-Европейском и Евразийском регионах, включая Арктический бассейн, в акватории Балтийского, Черного и Каспийского морей. Для анализа привлекались данные стандартных гидрометеорологических наблюдений, результаты различных реанализов за период от нескольких десятков до 150 лет, палеоклиматические данные, а также результаты специализированных численных экспериментов, выполненных с помощью глобальных климатических моделей.



Академик РАН
Владимир Анатольевич Семенов

Ряд взаимосвязей современной изменчивости глобального климата и климатов некоторых регионов, в том числе Северной Атлантики, Арктики и региона Черного моря, исследован академиком РАН В.А. Семеновым с соавторами (Petoukhov, Semenov, 2010; Semenov et al., 2009; Semenov et al., 2010; Meredith et al., 2015; Bokuchava, Semenov, 2021). В том числе был обнаружен и объяснен нелинейный отклик атмосферной циркуляции на сокращение площади морских льдов в Арктике. Получены количественные оценки вклада естественной изменчивости климата

Северной Атлантики в глобальное потепление и потепление середины XX века в Арктике. Выявлена новая положительная обратная связь в Арктической климатической системе, объясняющая усиленные колебания климата в Арктике. Выявлены основные тенденции изменений характеристик суточных осадков при глобальном потеплении. Установлена роль потепления Черного моря в формировании экстремального явления – катастрофического наводнения в Крымске в 2012 году.

Весьма важными естественными факторами внутренней изменчивости земного климата являются извержения вулканов. Эмиссии веществ в атмосферу, сопровождающие эти явления, могут оказывать заметное влияние на состояние глобального климата. Особо мощные извержения, аэрозольные выбросы которых преодолевают тропопаузу, способны удерживаться там несколько лет и вызывать некоторое похолодание за счет большего отражения коротковолнового солнечного излучения в космос. Этим процессам посвящены основополагающие работы (Будыко, 1974; Израэль и др., 2007; Мохов и др., 2008).

Антропогенные факторы изменения климата

В отечественной климатологии была впервые сформулирована концепция антропогенного влияния на климатическую систему. Уже в начале 1970-х годов академиком РАН М.И. Будыко был сделан первый прогноз на начало

XXI столетия изменения глобальной температуры вследствие антропогенного обогащения атмосферы углекислым газом (Будыко, 1972). Этот прогноз полностью оправдался.

По результатам модельных расчетов с участием академика РАН В.А. Семенова выявлены сезонные особенности изменений интенсивности и вероятности осадков при глобальном потеплении (Semenov, Bengtsson, 2002).

Важное значение имеют результаты анализа причинно-следственных связей в земной климатической системе и сравнительного влияния естественных и антропогенных факторов, представленные в работах (Мурышев и др., 2015; Muryshev et al., 2017).

В научном сообществе часто дискутируется вопрос о парниковой эффективности различных климатически активных веществ и о самой их роли в современных изменениях климата. Уточнение современной концепции парникового эффекта и его антропогенного усиления, используемой Межправительственной группой экспертов по изменению климата (IPCC, 2021), было выполнено членом-корреспондентом РАН Сергеем Михайловичем Семеновым в работе (Семенов, 2022). Сравнительная парниковая эффективность водяного пара, углекислого газа, метана и закиси азота была исследована в работе (Семенов, Попов, 2011) с помощью радиационной спектральной модели земной атмосферы, основанной на современных спектроскопических данных. Была подтверждена способность наблюдаемых увеличенных глобальных концентраций этих газов приводить к наблюдаемым уровням глобального потепления.

В серии работ (Мохов, Смирнов, 2009, 2018; Mokhov, Smirnov, 2022) получены количественные оценки вклада различных естественных и антропогенных факторов в современные изменения глобальной и зональной температуры. Сделан важный вывод о том, что на сравнительно коротких временных отрезках – до двух-трех десятилетий – вклад естественных колебаний может быть сравним и даже превосходить вклад антропогенных факторов, однако в вековом масштабе времени вклад современных антропогенных факторов доминирует.

В связи с увеличением средней глобальной температуры в приповерхностном слое вследствие антропогенного обогащения атмосферы парниковыми газами академиком РАН Ю.А. Израэлем и членом-корреспондентом РАН С.М. Семеновым была впервые предложена концепция предельно-допустимого (критического) увеличения уровней их содержания в атмосфере (Izrael, Semenov, 2006). Предложен и исследован ряд сценариев глобальных антропогенных эмиссий парниковых газов в отношении превышения этих уровней (Izrael, Semenov, 2006; Мохов, Малышкин, 2011). Были систематически проанализированы основные процессы в климатической системе Земли, приводящие к антропогенному усилению парникового эффекта вследствие обогащения атмосферы парниковыми газами в ходе хозяйственной деятельности (Семенов, 2004).



Академик РАН|
Владимир Павлович Мельников

Под руководством академика РАН Владимира Павловича Мельникова проведены работы, указывающие на криогенную составляющую эмиссии метана. В высоких широтах метан может накапливаться в криогенных ловушках в литосфере и выделяется при деградации мерзлоты в результате потепления или механических антропогенных воздействий (Васильев и др., 2019).

Уникальные термоинерционные свойства воды и льда в сочетании с их пространственностью на поверхности Земли позволя-

ют криосфере, в том числе полярным ледяным покровам и континентальной многолетней мерзлоте, выполнять функцию стабилизатора климата (Melnikov et al., 2018).

Выполнена оценка опасности увеличения температуры многолетне-мерзлых грунтов и других элементов криосферы для арктической инфраструктуры. Рассмотрены различные возможности ее адаптации к изменению климата (Мельников и др., 2021а; Мельников и др., 2021б; Мельников и др., 2022).

Продвижения в фундаментальных основах климатологии, в том числе в понимании реакции климатической системы Земли на антропогенное воздействие, обеспечили возможность развития многих прикладных методов выявления и оценки климатогенных изменений (Семенов и др., 2006, 2020; Добролюбов и др., 2023). Эти разработки и обобщение (Методы оценки последствий..., 2012) выполнены под руководством члена-корреспондента РАН С.М. Семенова.

В Государственном гидрологическом институте Росгидромета под руководством профессора Олега Александровича Анисимова выполнен ряд прикладных исследований, в том числе по оценке влияния современного изменения климата на состояние многолетней мерзлоты и обратного влияния, связанного с дополнительными эмиссиями парниковых газов из деградирующей мерзлоты в атмосферу (Ortung et al., 2020; Анисимов, Володин, 2022).

В последние десятилетия становилось все более ясным, что в климатической системе Земли действует множество обратных связей. Этим объясня-

ется и арктическое усиление антропогенного потепления, и потенциальная возможность наземных систем превращаться из поглотителя углекислого газа в их эмитентов (Денисов и др., 2019). Особенную важность и международное звучание приобрела проблема антропогенных нарушений глобальных потоков метана и обогащения им атмосферы Земли. Поэтому потоки парниковых газов в наземных системах требовали тщательного исследования. Откликом на эту потребность стали монография члена-корреспондента РАН С.М. Семенова с соавт. (Семенов и др., 2018), книга (Метан и климатические изменения..., 2022) под редакцией академиков РАН В.Г. Бондура и И.И. Мохова и члена-корреспондента РАН А.А. Макоско, а также коллективная монография (Оценка потоков..., 2023) под редакцией члена-корреспондента РАН А.А. Романовской.

С 1970-х годов в международных научных кругах, а затем и в политических кругах, стала все более обсуждаться идея регулирования антропогенного воздействия на глобальный климат. Прямолинейный подход к этой проблеме, основанный на ограничении антропогенной глобальной эмиссии парниковых газов, подчас вызывал и вызывает критическое к себе отношение, поскольку связан с определенными ограничениями темпов роста мирового хозяйства. Академиком РАН М.И. Будыко была предложена инновационная идея метода регулирования глобального климата с помощью изменения концентрации аэрозоля в верхних слоях атмосферы (Будыко, 1974). Эта идея зародилась в процессе исследования влияния вулканической деятельности в прошлом на климат Земли. Впоследствии были развиты и прикладные аспекты этого метода, позволяющего отразить в космос дополнительную часть солнечного излучения, что приводит к охлаждению климата (Израэль и др., 2007). Однако существенно, что согласно ансамблевым модельным расчетам с климатической моделью ИФА РАН в случае начала искусственного инжектирования аэрозоля в стратосферу его прекращение чревато большими климатическими проблемами, чем стратегия «без инжектирования» (Елисеев, Мохов, 2009). Последствия искусственного инжектирования серосодержащих веществ в стратосферу для стабилизации климата, а также последствия прекращения такого воздействия рассмотрены в работе (Израэль и др., 2013).

Мониторинг состояния климатической системы

Осознание важности проблем климата и его изменений для человечества привело к разработке методологий мониторинга климата и их внедрению в практику. Уникальный вклад в это внесла отечественная наука. Это касается как исследований естественных изменений климата Земли в прошлом (палеоклиматические методы мониторинга), так и современных изменений климата путем анализа массивов данных, получаемых на сети станций мониторинга.

Была изучена эффективность различных способов извлечения палеокли-

матической информации при помощи исследований разных ландшафтных компонентов (Методы реконструкции палеоклиматов, 1985; Климаты и ландшафты..., 2010), в том числе основанных на результатах анализа состава пыльцы в отложениях. Проведены реконструкции изменений основных климатических показателей на различных отрезках геологического и исторического времени, исследования структуры, амплитуд и скоростей климатических колебаний, что важно для оценки естественных составляющих предстоящих изменений климата и выявления на их фоне сигнала антропогенного изменения климата.

Значителен вклад российской науки и в развитие дендроклиматологии. Это – эффективный метод, который позволяет использовать показатели годовых колец деревьев – ширину, плотность, изотопный состав – для реконструкции изменений климата в прошлом на временах до 10 000 лет (Шиятов и др., 2000). С использованием этого метода были выполнены реконструкции летних температур на Полярном Урале (Шиятов, 1986) и для нескольких районов на северной границе леса (Ваганов и др., 1996). Реконструкция климата, построенная для Ямала, показала, что антропогенное потепление прервало многотысячелетнюю тенденцию к похолоданию (Nantemirov et al., 2022).

В ходе построения палеоклиматических реконструкций на Кавказе было обнаружено, что ширина колец хвойных в этом районе регулируется сложным сочетанием значений показателей тепла и влаги. Успешная реконструкция была проведена с использованием не ширины, а максимальной плотности годовых колец сосны (Соломина и др., 2012).

Для Европейской части России было выполнено подробное и систематическое исследование отклика ширины годовых колец хвойных на климатические колебания (Мацковский, 2013). Показано, что южнее 55-60° с.ш. по годовым кольцам можно восстановить изменения засушливости климата, а севернее – температуры теплого периода. Созданы реконструкции влагообеспеченности на Европейской части России (Засухи..., 2017; Cook et al., 2020).

Для реконструкции региональных палеоклиматов на значительных временах (миллион(ы) лет)) отечественными учеными был развит метод изотопного анализа донных отложений (Williams et al., 1997; Prokopenko et al., 2001). Были успешно восстановлены палеоклиматы Центральной Азии, Антарктиды и Арктической зоны.

Начало созданию глобальной системы мониторинга климата на сети станций наблюдений было положено в 1979 г. в Женеве на Всемирной конференции по климату. Была сформулирована задача глобального мониторинга климата с целью обобщения данных о текущем состоянии климатической системы и вероятностной оценки степени аномальности этого состояния. В нашей стране этой проблеме также стали уделять самое серьезное внимание (Израэль, Будыко, 1987).

Под общим руководством академика РАН Ю.А. Израэля учеными институтов Гидрометеорологической службы и Академии наук СССР (с 1991 г. – Российской академии наук) была разработана и обоснована система мониторинга природной среды.

Мониторинг климата как ее важная составляющая развивался под руководством профессора Г.В. Груза.

Академик РАН
Юрий Антонинович Израэль



Профессор
Георгий Вадимович Груза

Были сформулированы принципы, задачи и цели мониторинга климата как подсистемы в общей системе мониторинга природной среды. Предложена иерархия различных компонент земной климатической системы в развитии системы мониторинга климата (Груза, Ранькова, 1989), а также разработаны способы обобщения данных мониторинга климата (Груза, Ранькова, 2012).

Система мониторинга климата первоначально включала лишь приземный климат. В дальнейшем она расширилась за счет ряда других элементов (свободная атмосфера, криосфера, солнечная радиация, состав атмосферы).

Свободная атмосфера является одной из важнейших составных частей климатической системы. В конце 1990-х годов во Всероссийском научно-исследовательском институте гидрометеорологической информации – Мировом центре данных (ВНИИГМИ-МЦД) профессором Александром Марковичем Стериным с сотрудниками были начаты работы по анализу структуры и изменчивости климатических полей температуры в свободной атмосфере. С использованием различных статистических методов были получены оценки климатических трендов температуры. Широкий перечень получаемых во ВНИИГМИ-МЦД статистических характеристик температуры свободной атмосферы, включая тренды, сопоставляется с аналогичными оценками статистик, независимо получаемыми в других научных центрах на основе радиозондовых и спутниковых данных – см., например, (Лавров, Стерин, 2017; Стерин, 2004а, 2004б). В настоящее время на основе регулярно пополняемых рядов оценок температуры в тропосфере и нижней стратосфере Северного полушария и скорости ветра над территорией Российской Федерации во ВНИИГМИ-МЦД осуществляется климатический мониторинг, результаты которого в качестве отдельных разделов ежегодно включаются в публикуемые Росгидрометом Доклады об особенностях климата на территории Российской Федерации (2005-2022).

Заключение

Вторая половина XX века и начало XXI века стали временем интенсивного прогресса в климатологии. Это коснулось не только ее фундаментальных разделов, но и прикладных. Обширная суммирующая работа, характеризующая климат России, вышла под редакцией профессора Нины Владимировны Кобышевой (2001). Глобальным и региональным изменениям климата была посвящена книга иностранного члена РАН, академика Национальной академии наук Беларуси Владимира Федоровича Логинова (2008). Региональные климатические исследования и обобщения (см., например, (Кужевская и др., 2023; Климат Арктики ..., 2022; Матишов, 2023; Горбатенко и др., 2021; Павлова и др., 2023; Переведенцев и др., 2022; Переведенцев, Васильев, 2023)), регулярно поступающие данные системы мониторинга климата Росгидромета (см. (Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации, 2005-2022)), результаты моделирования будущих климатов – все это стало доступным при выработке климатической политики на национальном и международном уровнях. Современные достижения фундаментальной и прикладной климатологии позволили российским ученым подготовить Оценочные доклады об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (Оценочный доклад..., 2008а; Оценочный доклад..., 2008б; Второй оценочный доклад..., 2014; Третий оценочный доклад..., 2022). Эти издания содержат информацию, которая непосредственно используется при разработке перспективных планов устойчивого развития страны. В России работает Климатический центр Росгидромета (<https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>),

организованный на базе Главной геофизической обсерватории Росгидромета. Руководитель центра – доктор физико-математических наук Владимир Михайлович Катцов.

Успешно развивается и международное сотрудничество в области климатологии и сопряженных разделов других наук.

Александр Иванович Бедрицкий в те годы, когда он возглавлял Гидрометеорологическую службу страны, был избран президентом Всемирной метеорологической организации. Сейчас он является ее Почетным президентом.

В Москве функционирует Северо-Евразийский климатический центр (СЕАКЦ) Всемирной метеорологической организации (<https://seakc.meteo.info.ru/ru/>). Исполнительный директор – доктор физико-математических наук Валентина Моисеевна Хан.

Ученые из научно-исследовательских учреждений Российской академии наук и Росгидромета, а также ведущих высших учебных заведений страны традиционно участвуют в работе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) – наиболее авторитетной профильной международной научной неполитической организации. Доклады этой группы – основной источник научной информации для международного переговорного процесса по климату, и многие известные российские ученые были авторами и редакторами-рецензентами в этих докладах. С самого начала функционирования МГЭИК (1988 г.) в ее высшее руководство входил академик РАН Ю.А. Израэль, который представлял нашу страну в МГЭИК. С 2014 г. представителем России в МГЭИК является член-корреспондент РАН С.М. Семенов. В 2008-2023 гг. он был членом Бюро МГЭИК, вице-председателем Рабочей группы II.

Выше охарактеризованы несомненно успешные продвижения в развитии отечественной климатологии и наращивании ее потенциала в решении практических задач оценки наблюдаемых и ожидаемых изменений климата, их последствий для природных и хозяйственных систем и обоснования возможности ограничить антропогенное воздействие на глобальный климат. Однако это не означает отсутствия проблем в дальнейшем развитии отечественной климатологии. Они связаны, в основном, со следующим:

– заметный дефицит специалистов в области фундаментальной и прикладной климатологии, что как ограничивает объем необходимых исследований собственно климата, так и затрудняет междисциплинарные взаимодействия с сопряженными разделами других наук; для устранения этого негативного фактора требуется расширить совместную работу с университетами и другими высшими учебными заведениями страны;

– необходимость в расширении отечественной Системы мониторинга климата, в том числе в укреплении ее традиционной наблюдательной базы – сети гидрометеорологических станций, в обширных регулярных экспедиционных исследованиях океана и в развертывании дистанционных спутниковых наблюдений за состоянием климатической системы Земли, в частности в наращивании отечественной группировки метеорологических спутников;

– заметный недостаток в мощных вычислительных комплексах, которые позволят создавать, поддерживать и совершенствовать математические модели климатической системы Земли и более общие – модели земной системы, что совершенно необходимо для оценок будущих климатов и соответствующих рисков в условиях различных сценариев антропогенного воздействия на климат; для решения этой проблемы необходима государственная поддержка.

Без решения этих вопросов будут затруднены дальнейшие продвижения в таких приоритетных направлениях, как следующие:

- увеличение эффективности и разрешающей способности системы мониторинга климата;
- разработка прогностических сценариев изменений климата с высокой детальностью и оценкой неопределенностей на временных горизонтах 20-50 лет;
- осуществление региональных прогностических расчетов климатических изменений с учетом внутренней изменчивости климата на ближайшие 10-20 лет;
- оценка последствий изменений климатических средних значений гидрометеорологических величин для окружающей среды и человека;
- оценка рисков, связанных с изменением частоты и выраженности экстремальных и опасных погодно-климатических явлений;
- увеличение сезонной и межгодовой предсказуемости погодно-климатических аномалий;
- разработка научно обоснованных мер митигации изменений климата и адаптации к ним.

Список литературы

Аверьянова, Е.А., Полонский, А.Б. (2017) Резкие климатические изменения в прошлом и их связь с режимами меридиональной циркуляции в Атлантическом океане, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 1, с. 20-53, doi: 10.21513/2410-8758-2017-1-20-53.

Аверьянова, Е.А., Полонский, А.Б. (2023) *Термохалинная циркуляция в Атлантическом океане и изменения климата*, Севастополь, ИК ИПТС, 240 с.

Аверьянова, Е.А., Полонский, А.Б., Санников, В.Ф. (2017) Моделирование особенностей современной термохалинной циркуляции Северной Атлантики с использованием боксовой модели, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 53, № 3, с. 406-414, doi: 10.7868/S0002351517030038.

Анисимов, О.А., Володин, Е.М. (2022) Климатообразующая роль эмиссии метана на шельфе морей восточной Арктики, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 46-58.

Будыко, М.И. (1956) *Тепловой баланс земной поверхности*, Л., Гидрометеоиздат, 255 с.

Будыко, М.И. (1962) Полярные льды и климат, *Известия АН СССР. Серия географическая*, № 6, с. 3-10.

- Будыко, М.И. (1972) *Влияние человека на климат*, Л., Гидрометеиздат, 46 с.
- Будыко, М.И. (1974) Метод воздействия на климат, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 91-97.
- Будыко, М.И., Голицын, Г.С., Израэль, Ю.А. (1986) *Глобальные климатические катастрофы*, М., Гидрометеиздат, 159 с.
- Ваганов, Е.А., Шиятов, С.Г., Мазепа, В.С. (1996) *Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике*, Новосибирск, СО РАН, 246 с.
- Васильев, А.А., Мельников, В.П., Семенов, П.Б., Облогов, Г.Е., Стрелецкая, И.Д. (2019) Содержание и эмиссия метана в доминантных ландшафтах типичной тундры Западного Ямала, *Доклады Академии наук*, т. 485, № 1, с. 88-92.
- Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации* (2014) Под ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова, М., Росгидромет, 1009 с.
- Гинзбург, А.С., Фейгельсон, Е.М. (1971) Некоторые закономерности лучистого теплообмена в планетных атмосферах, *Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана*, т. 7, № 4, с. 377-384.
- Голицын, Г.С. (1973) *Введение в динамику планетных атмосфер*, М., Гидрометеиздат, 104 с.
- Голицын, Г.С. (2004) *Природные процессы и явления: волны, планеты, конвекция, климат, статистика*, М., Физматлит, 344 с.
- Голицын, Г.С. (2022) *Вероятностные структуры макромира: землетрясения, ураганы, наводнения*, М., Физматлит, 176 с.
- Горбатенко, В.П., Волкова, М.А., Носырева, О.В., Кужевская, И.В. (2021) Современные тенденции климатических характеристик, влияющих на развитие транспортной системы Томской области, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 7, № 4, с. 71-95, doi: 10.21513/2410-8758-2021-4-71-95.
- Грицун, А.С., Дымников, В.П. (1999) Отклик баротропной атмосферы на малые внешние воздействия. Теория и численные эксперименты, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 35, № 5, с. 511-525.
- Грицун, А.С. (2010) Построение операторов отклика на малые внешние воздействия для моделей общей циркуляции атмосферы с периодическими по времени правыми частями, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 46, № 6, с. 748-756.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1980) *Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха над Северным полушарием*, Л., Гидрометеиздат, 72 с.
- Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1989) *Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата, 60 лет Центру гидрометеорологических прогнозов*, Л., Гидрометеиздат, с. 148-170.
-

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (1990) *Данные о структуре и изменчивости климата. Температура воздуха на уровне моря. Северное полушарие*, Обнинск, 247 с.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (2012) *Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России*, Обнинск, Изд. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 198 с.

Дзердзеевский, Б.Л. (1968) *Циркуляционные механизмы в атмосфере Северного полушария в XX столетии*, Москва, 240 с.

Дзердзеевский, Б.Л. (1956) Значение анализа общей циркуляции атмосферы при установлении границ сухих и влажных областей, *Вопросы географии*, М.-Л., Издательство АН СССР, с. 109-122.

Демченко, П.Ф., Кислов, А.В. (2010) *Стохастическая динамика эволюции природных объектов: броуновское движение и геофизические приложения*, М., ГЕОС, 190 с.

Денисов, С.Н., Елисеев, А.В., Мохов, И.И. (2019) Вклад естественных и антропогенных эмиссий CO₂ и CH₄ в атмосферу с территории России в глобальные изменения климата в XXI веке, *Доклады АН*, т. 488, № 1, с. 74-80.

Добролюбов, Н.Ю., Семенов, С.М., Володин, Е.М., Богданович, А.Ю. (2023) Алгебраический алгоритм статистической оценки параметра биномиального распределения и пример его применения в одной глобальной геоинформационной задаче прикладной климатологии, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 16-24.

Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации (2005-2022) М., Росгидромет.

Елисеев, А.В., Мохов, И.И. (2009) Модельные оценки эффективности ослабления и предотвращения глобального потепления климата в зависимости от сценариев контролируемых аэрозольных эмиссий в стратосферу, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 45, № 2, с. 232-244.

Засухи Восточно-Европейской равнины по гидрометеорологическим и дендрохронологическим данным (2017) Под ред. Соломиной О.Н., М., СПб., Нестор-История, 360 с.

Золотокрылин, А.Н. (2003) *Климатическое опустынивание*, М., Наука, 246 с.

Золотокрылин, А.Н., Михайлов, А.Ю., Титкова, Т.Б. (2011) Полярный фронт и контрастность степной растительности Европейской России, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. 24, с. 295-306.

Изменение окружающей среды и климата: природные и связанные с ними техногенные катастрофы. Т. 8: Солнечная активность и физические процессы в системе Солнце-Земля (2008) Под ред. Г.А. Жеребцова, М., ИСЗФ СО РАН, ИФЗ РАН, 280 с.

Израэль, Ю.А., Будыко, М.И. (1987) *Антропогенные изменения климата*, Л., Гидрометеиздат, 406 с.

Израэль, Ю.А., Борзенкова, И.И., Северов, Д.А. (2007) Роль стратосферных аэрозолей в сохранении современного климата, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 5-14.

Израэль, Ю.А., Володин, Е.М., Кострыкин, С.В., Ревокатова, А.П., Рябошапко, А.Г. (2013) Возможность геоинженерной стабилизации глобальной температуры в XXI веке с использованием стратосферных аэрозолей и оценка возможных негативных последствий, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 9-23.

Исследование роли энергоактивных зон океана в короткопериодных колебаниях климата (1987) Итоги науки и техники, серия «Атмосфера, Океан, Космос» – программа «Разрезы», под ред. Г.И. Марчука, М., ВИНТИ, т. 8, 431 с.

Кислов, А.В. (2001) *Климат в прошлом, настоящем и будущем*, М., МАИК «Наука/Интерпериодика», 349 с.

Кислов, А.В. (2004) Климатическая система и изменения климата, *География, общество, окружающая среда. Том 6. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы*, с. 21-97.

Кислов, А.В. (2005) Климат Земли и его изменения, *Современные глобальные изменения природной среды*, с. 88-209.

Кислов, А.В., Суркова, Г.В. (2020) *Климатология*, М., ИНФРА-М, 324 с.

Кислов, А.В. (2023) *Климатология с основами метеорологии*, М., Изд. Московского университета, 255 с.

Климат Земли: прошлое, настоящее, будущее (1985) Под ред. В.М. Котлякова, М.Г. Гросвальда, А.Н. Кренке, М., Знание, 47 с.

Климат Арктики: процессы и изменения (2022) Под ред. И.И. Мохова, В.А. Семенова, М., Физматкнига, 360 с.

Климаты и ландшафты Северной Евразии в условиях глобального потепления. Ретроспективный анализ и сценарии. Атлас-монография «Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Поздний плейстоцен – голоцен – элементы прогноза. Вып. III (2010) Под ред. А.А. Величко, М., ГЕОС, 220 с.

Климат России (2001) Под ред. Н.В. Кобышевой, СПб., Гидрометеиздат, 656 с.

Кондратьев, К.Я. (1965) *Актинометрия*, Л., Гидрометеиздат, 692 с.

Кондратьев, К.Я. (1992) *Глобальный климат*, СПб., Наука, 356 с.

Кужевская, И.В., Горбатенко, В.П., Носырева, О.В., Волкова, М.А., Нечепуренко, О.Е., Чурсин, В.В., Чередыко, Н.Н. (2023) Агроклиматические характеристики земель сельскохозяйственного назначения на территории

Сибирского федерального округа в условиях изменения климата, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 77-87, doi: 10.52002/0130-2906-2023-10-77-87.

Лавров, А.С., Стерин, А.М. (2017) Результаты сопоставления рядов температуры свободной атмосферы по данным радиозондовых и спутниковых наблюдений, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 30-44.

Лапко, С.С. (1984) К вопросу о причинах адвекции тепла на север через экватор в Атлантическом океане, *Исследование процессов взаимодействия океана и атмосферы*, с. 125-129.

Логинов, В.Ф. (2008) *Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия*, Минск, ТетраСистемс, 495 с.

Марчук, Г.И., Дымников, В.П., Лыкосов, В.Н., Галин, В.Я., Перов, В.Л., Бобылева, И.М. (1979) Глобальная модель общей циркуляции атмосферы, *Известия АН СССР. Физика атмосферы и океана*, т. 16, № 5, с. 467-483.

Марчук, Г.И., Дымников, В.П., Залесный, В.Б., Лыкосов, В.Н., Галин, В.Я. (1984) *Математическое моделирование общей циркуляции атмосферы и океана*, Л., Гидрометеиздат, 320 с.

Матишов, Г.Г. (2023) *Исследование арктической зоны Заполярья России*, М., РНАН, 230 с.

Мацковский, В.В. (2013) *Климатический сигнал в ширине годичных колец хвойных деревьев на севере и в центре Европейской территории России*, М., ГЕОС, 148 с.

Мельников, В.П., Осипов, В.И., Брушков, А.В., Бадина, С.В., Дроздов, Д.С., Дубровин, В.А., Железняк, М.Н., Садуртдинов, М.Р., Сергеев, Д.О., Остарков, Н.А., Фалалеева, А.А., Шелков, Я.Ю. (2021а) Оценка ущерба жилым и промышленным зданиям и сооружениям при изменении температур и оттаивании многолетнемерзлых грунтов в арктической зоне Российской Федерации к середине XXI века, *Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология*, № 1, с. 14-31.

Мельников, В.П., Осипов, В.И., Брушков, А.В., Бадина, С.В., Дроздов, Д.С., Дубровин, В.А., Железняк, М.Н., Садуртдинов, М.Р., Сергеев, Д.О., Окунев, С.Н., Остарков, Н.А., Осокин, А.Б., Федоров, Р.Ю. (2021б) Адаптация инфраструктуры Арктики и Субарктики к изменениям температуры мерзлых грунтов, *Криосфера Земли*, т. 25, № 6, с. 3-15.

Мельников, В.П., Осипов, В.И., Брушков, А.В., Бадина, С.В., Великин, С.А., Дроздов, Д.С., Дубровин, В.А., Жданеев, О.В., Железняк, М.Н., Кузнецов, М.Е., Осокин, А.Б., Остарков, Н.А., Садуртдинова, М.Р., Сергеев, Д.О., Устинова, Е.В., Федоров, Р.Ю., Фролов, К.Н., Чжан, Р.В. (2022) Снижение устойчивости инфраструктуры ТЭК России в Арктике как следствие повышения среднегодовой температуры приповерхностного слоя криолитозоны, *Вестник РАН*, т. 92, № 4, с. 303-314.

Метан и климатические изменения: научные проблемы и технологические аспекты (2022) Под ред. В.Г. Бондура, И.И. Мохова, А.А. Макоско, М., РАН, 388 с.

Метеорологические и геофизические исследования (2011) Под ред. Г.В. Алексеева, М., Паулсен, 352 с.

Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем (2012) Под ред. Семенова С.М., М., Росгидромет, Планета, 510 с.

Методы реконструкции палеоклиматов (1985) Под ред. А.А. Величко, Е.Е. Гуртовой, Л.Р. Серебрянного, М., Наука, 188 с.

Моисеев, Н.Н., Александров, В.В., Тарко, А.М. (1985) *Человек и биосфера. Опыт системного анализа и эксперименты с моделями*, М., Наука, 270 с.

Монин, А.С., Шишков, Ю.А. (2000) Климат как проблема физики, *УФН*, т. 170, № 4, с. 419-445.

Мохов, И.И. (1993) *Диагностика структуры климатической системы*, СПб., Гидрометеиздат, 271 с.

Мохов, И.И. (2023) Взаимные изменения температуры и содержания аэрозоля в атмосфере по данным антарктических ледовых кернов для последних 800 тысяч лет, *Вестник Московского университета. Серия 3. Физика и астрономия*, т. 78, № 3, 2330903.

Мохов, И.И., Безверхний, В.А., Елисеев, А.В., Карпенко, А.А. (2008) Модельные оценки возможных климатических изменений в XXI веке при различных сценариях солнечной и вулканической активности и антропогенных воздействий, *Космические исследования*, т. 46, № 4, с. 363-367.

Мохов, И.И., Безверхний, В.А., Карпенко, А.А. (2005) Диагностика взаимных изменений содержания парниковых газов в атмосфере и температурного режима по палеореконструкциям для антарктической станции Восток, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 41, № 5, с. 579-592.

Мохов, И.И., Елисеев, А.В. (2012) Моделирование глобальных климатических изменений в XX-XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP, *Доклады АН*, т. 443, № 6, с. 732-736.

Мохов, И.И., Елисеев, А.В., Демченко, П.Ф., Хон, В.Ч., Акперов, М.Г., Аржанов, М.М., Карпенко, А.А., Тихонов, В.А., Чернокульский, А.В., Сигаева, Е.В. (2005) Климатические изменения и их оценки с использованием глобальной модели ИФА РАН, *Доклады АН*, т. 402, № 2, с. 243-247.

Мохов, И.И., Малышкин, А.В. (2011) Аналитическая оценка критического уровня глобального потепления для перехода от роста к уменьшению массы Антарктического ледового щита, *Доклады АН*, т. 436, № 3, с. 397-400.

Мохов, И.И., Смирнов, Д.А. (2009) Эмпирические оценки воздействия антропогенных и естественных факторов на глобальную приповерхностную температуру, *Доклады АН*, т. 426, с. 679-684.

Мохов, И.И., Смирнов, Д.А. (2018) Вклад радиационного воздействия парниковых газов и атлантической мультидесятилетней осцилляции в тренды приповерхностной температуры, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 5-13.

Мурышев, К.Е., Елисеев, А.В., Мохов, И.И., Тимажев, А.В. (2015) Взаимное запаздывание между изменениями температуры и содержания углекислого газа в атмосфере в простой совместной модели климата и углеродного цикла, *Доклады АН*, т. 463, № 6, с. 708-712.

Обухов, А.М. (1971) О некоторых общих характеристиках уравнений динамики атмосферы, *Известия АН СССР. ФАО*, т. 7, № 7, с. 695-704.

Обухов, А.М., Голицын, Г.С., Должанский, Ф.В. (1981) Вопросы геофизической гидродинамики, *Некоторые проблемы современной физики атмосферы*, М., Наука, с. 94-118.

Обухов, А.М., Курганский, М.В., Татарская, М.С. (1984) Динамические условия возникновения засух и других крупномасштабных погодных аномалий, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5-13.

Обухов, А.М. (1988) *Турбулентность и динамика атмосферы*, Л., Гидрометеоиздат, 413 с.

Обухов, А.М. (1989) *Вихри и погода*, Наука и человечество, М., Знание, с. 96-112.

Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху (2006) Под ред. В.М. Котлякова, М., Наука, 482 с.

Ольчев, А.В., Авилов, В.К., Байбар, А.С., Белотелов, Н.В., Болондинский, В.К., Иванов, Д.Г., Кузьмина, Е.В., Курбатова, Ю.А., Левашова, Н.Т., Мамкин, В.В., Мангура, П.А., Молчанов, А.Г., Мухартова, Ю.В., Никитин, М.А., Новенко, Е.Ю., Придача, В.Б., Ривин, Г.С., Розинкина, И.А., Сазонова, Т.А., Сандлерский, Р.Б., Суркова, Г.В., Холопцева, Е.С. (2017) *Леса европейской территории России в условиях меняющегося климата*, М., Товарищество научных изданий КМК, 276 с.

Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации (2023) Под ред. А.А. Романовской, М., ИГКЭ, ООО «Принт», 343 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. I. Изменения климата (2008а) Под ред. В.П. Мелешко, М., 227 с.

Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. II. Последствия изменений климата (2008б) Под ред. С.М. Семенова, М., 288 с.

Павлова, В.Н., Переведенцев, Ю.П., Караченкова, А.А., Тагирова, М.Ш., Мирсаева, Н.А. (2023) Оценка агроклиматических ресурсов и урожайности яровой пшеницы в Республике Татарстан, *Метеорология и гидрология*, № 1, с. 90-102.

Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария, Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография (2009) Под ред. А.А. Величко, М., ГЕОС, 120 с.

Переведенцев, Ю.П., Павлова, В.Н., Шанталинский, К.М., Мирсаева, Н.А., Николаев, А.А., Тагиров, М.Ш. (2022) Агроклиматические условия на территории Республики Татарстан в период 1966-2021 гг., *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 4 (386), с. 96-113, doi: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113.

Переведенцев, Ю.П., Васильев, А.А. (2023) Изменение климата и его влияние на сельское хозяйство, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 5-13, doi: 10.52002/0130-2906-2023-9-5-13.

Петросянц, М.А., Семенов, Е.К., Гущина, Д.Ю., Соколихина, Е.В., Соколихина, Н.Н. (2005) *Циркуляция атмосферы в тропиках: климат и изменчивость*, М., МаксПресс, 670 с.

Полонский, А.Б., Башарин, Д.В., Воскресенская, Е.Н., Ворли, С. (2004) Североатлантическое колебание: описание, механизмы и влияние на климат Евразии, *Морской гидрофизический журнал*, 2004, № 2, с. 42-59.

Попова, В.В., Шмакин, А.Б. (2006) Циркуляционные механизмы крупномасштабных аномалий температуры воздуха зимой в Северной Евразии в конце XX столетия, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 15-25.

Радиационно-фотохимические модели (1986) Под ред. И.Л. Кароля, Л., Гидрометеоиздат, 192 с.

Раунер, Ю.Л. (1972) *Тепловой баланс растительного покрова*, Л., Гидрометеоиздат, 212 с.

Раунер, Ю.Л. (1981) *Климат и урожайность зерновых культур*, М., Наука, 164 с.

Семенов, С.М. (2004) *Парниковые газы и современный климат Земли*, М., Метеорология и гидрология, 175 с.

Семенов, С.М., Ясюкевич, В.В., Гельвер, Е.С. (2006) *Выявление климатогенных изменений*, М., Метеорология и гидрология, 325 с.

Семенов, С.М., Попов, И.О. (2011) Сравнительные оценки влияния изменения концентраций диоксида углерода, метана, закиси азота и водяного пара на радиационно-равновесную температуру земной поверхности, *Метеорология и гидрология*, № 8, с. 34-43.

Семенов, С.М., Говор, И.Л., Уварова, Н.Е. (2018) *Роль метана в современном изменении климата*, М., ИГКЭ, 106 с.

Семенов, С.М., Попов, И.О., Ясюкевич, В.В. (2020) Статистическая модель для оценки формирования климатических угроз по данным мониторинга климата, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 59-65.

Семенов, С.М. (2022) Парниковый эффект и современный климат, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5-17.

Соломина, О.Н. (1999) *Горные ледники Северной Евразии в голоцене*, М., Научный мир, 264 с.

Соломина, О.Н., Долгова, Е.А., Максимова, О.Е. (2012) *Реконструкция гидрометеорологических условий последних столетий на Северном Кавказе, в Крыму и на Тянь-Шане по дендрохронологическим данным*, СПб., Нестор-История, 232 с.

Стерин, А.М. (2004а) О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 1: Выбор массива данных, периода рядов и техники их анализа, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 21-36.

Стерин, А.М. (2004б) О чувствительности оценок трендов температуры тропосферы и нижней стратосферы по данным радиозондирования. 2: Обнаружение неоднородностей в рядах месячного разрешения, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 5-22.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2022) Под ред. В.М. Катцова, СПб., Научно-технологические технологии, 676 с.

Шиятов, С.Г. (1986) *Дендрохронология верхней границы леса на Урале*, М., Наука, 136 с.

Шиятов, С.Г., Ваганов, Е.А., Кирдянов, А.В., Круглов, В.Б., Мазепа, В.С., Наурзбаев, М.М., Хантемиров, Р.М. (2000) *Методы дендрохронологии. Часть I. Основы дендрохронологии. Сбор и получение древесно-кольцевой информации*, Екатеринбург, КрасГАУ, 81 с.

Школьник, И.М., Ефимов, С.В. (2015) Региональная модель нового поколения для территории северной Евразии, *Труды ГГО*, № 576, с. 201-211.

Шмакин, А.Б. (2006а) Сезонная организация регионального энергообмена суши с атмосферой, *Известия РАН. Серия географическая*, № 5, с. 22-29.

Шмакин, А.Б. (2006б) *Пространственно-временная организация энергообмена на суше*, дис. ... д-ра наук, М., 139 с.

Шульгин, И.А. (2009) *Солнечные лучи в зеленом растении. Физиолого-метеорологические аспекты*, М., Альтекс, 217 с.

Шульгин, И.А., Вильфанд, Р.М., Страшная, А.И., Береза, О.В. (2015) Солнечная радиация в оценках максимальной урожайности яровых культур, *Биосфера*, т. 7, № 4, с. 371-383.

Atlas of paleoclimates and paleoenvironments of the Northern Hemisphere (Late Pleistocene – Holocene) (1992) In B. Frenzel, M. Pecsí, A.A. Velichko (eds.), Geographical Research Institute, Budapest, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 153 p.

Bardin, M.Yu., Korsuhunova, N.N. (2019) State of the Climate in 2018, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100, no. 9, pp. 232-235.

Bokuchava, D.D., Semenov, V.A. (2021) Mechanisms of the Early 20th Century Warming in the Arctic, *Earth Science Reviews*, vol. 222, p. 103820, doi: 10.1016/j.earscirev.2021.103820.

Chubarova, N., Androsova, E., Kirsanov, A., Varentsov, M., Rivin, G. (2024) Urban aerosol, its radiative and temperature response in comparison with urban canopy effects in megacity based on COSMO-ART modeling, *Urban Climate*, vol. 53, no. 1, p. 101762.

Cook, E.R., Solomina, O., Matskovsky, V., Dolgova, E., Kuznetsova, V., Maximova, O., Cook, B.I., Agafonov, L., Berdnikova, A., Karpukhin, A., Knysh, N., Yermokhin, M., Kulakova, M., Kyncl, T., Kyncl, J., Panyushkina, I., Ważny, T., Seim, A., Tishin, D. (2020) The European Russia Drought Atlas (1400-2016 CE), *Climate Dynamics*, vol. 54, no. 3-4, pp. 2317-2335.

Gavrilov, A., Seleznev, A., Mukhin, D., Loskutov, E., Feigin, A., Kurths, J. (2019) Linear dynamical modes as new variables for data-driven ENSO forecast, *Climate Dynamics*, vol. 52, no. 3-4, pp. 2199-2216.

Golitsyn, G.S., Ginzburg, A.S. (1985) Comparative estimates of climatic consequences of Martian dust storms and a possible nuclear war, *Tellus*, vol. 37B, no. 3, pp. 173-181, doi: 10.3402/tellusb.v37i3.15015.

Gulev, S.K., Zolina, O., Grigoriev, S. (2001) Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR Reanalysis data, *Climate Dynamics*, vol. 17, pp. 795-809.

Gulev, S.K., Grigorieva, V. (2004) Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data, *Geophysical Research Letters*, vol. 31, p. L24302, doi:10.1029/2004GL021040.

Gulev, S.K., Grigorieva, V. (2006) Variability of the winter wind waves and swell in the North Atlantic and North Pacific as revealed by the Voluntary Observing Ship data, *Journal of Climate*, vol. 19, pp. 5667-5785.

Gulev, S.K., Latif, M., Keenlyside, N., Park, W., Koltermann, K.P. (2013) North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales, *Nature*, vol. 499, pp. 464-467, doi:10.1038/nature12268.

Gulev, S.K., Latif, M. (2015) The origins of a climate oscillation, *Nature*, vol. 521, pp. 428-430, doi:10.1038/521428a.

Hantemirov, R.M., Corona, C., Guillet, S., Shiyatov, S.G., Stoffel, M., Osborn, T.J., Melvin, T.M., Gorlanova, L.A., Kukarskih, V.V., Surkov, A.Y., von Arx, G., Fonti, P. (2022) Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia, *Nature communications*, vol. 13, no. 1, p. 4968, doi: 10.1038/s41467-022-32629-x.

IPCC (2021) Annex VII: Glossary, *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of*

the Intergovernmental Panel on Climate Change, in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. J.B.R. Matthews, V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.), Cambridge University Press, pp. 2215-2256.

Izrael, Yu.A., Semenov, S.M. (2006) Critical Levels of Greenhouse Gases, Stabilization Scenarios, and Implications for the Global Decisions, *Avoiding Dangerous Climate Change*, in H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley, G. Yohe (eds.), Cambridge University Press, pp. 73-79.

Kondratyev, K.Ya. (1999) *Climatic Effects of Aerosols and Clouds*, Chichester, Springer London Publisher, U.K., 264 p.

Loskutov, E., Vdovin, V., Klinshov, V., Gavrilov, A., Mukhin, D., Feigin, A. (2022) Applying interval stability concept to empirical model of middle Pleistocene transition, *Chaos*, vol. 32, no. 2, p. 021103.

Melnikov, V., Gennadinik, V., Kulmala, M., Lappalainen, H.K., Tuukka, P., Zilitinkevich, S. (2018) Cryosphere: a kingdom of anomalies and diversity, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 18, no. 9, pp. 6535-6542, doi: 10.5194/acp-18-6535-2018.

Meredith, E.P., Semenov, V.A., Maraun, D., Park, W., Chernokulsky, A.V. (2015) Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme, *Nature Geoscience*, vol. 8, pp. 615-620, doi: 10.1038/NNGEO2483.

Mokhov, I.I., Smirnov, D.A. (2022) Contributions to surface air temperature trends estimated from climate time series: Medium-term causalities, *Chaos*, vol. 32, p. 063128, doi: 10.1063/5.0088042.

Muryshev, K.E., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I., Timazhev, A.V. (2017) Lead-lag relationships between global mean temperature and the atmospheric CO₂ content in dependence of the type and time scale of the forcing, *Global and Planetary Change*, vol. 148, p. 29-41.

Ortting, R.W., Anisimov, O., Badina, S., Burns, C., Cho, L., DiNapoli, B., Jull, M., Shaiman, M., Shapovalova, K., Silinsky, L., Zhang, E., Zhiltcova, Y. (2020) Measuring the sustainability of Russia's Arctic cities, *Ambio*, vol. 50, pp. 2090-2103, doi: 10.1007/s13280-020-01395-9.

Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delayque, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica, *Nature*, vol. 399, no. 6735, pp. 429-436.

Petoukhov, V., Semenov, V.A. (2010) A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, no. 115, p. D21111, doi:10.1029/2009JD013568.

Polonsky, A. (2019) *The Ocean's Role in Climate Change*, UK, Cambridge Scholars Publishing, 294 p.

Polonsky, A., Basharin, D., Voskresenskaya, E., Worley, S., Yurovsky, A. (2004) Relationship between North Atlantic Oscillation, Euro-Asian climate anomalies and Pacific variability, *Pacific Oceanography*, vol. 2, no. 1-2, pp. 52-66.

Prokopenko, A.A., Karabanov, E.B., Williams, D.F., Kuzmin, M.I., Shackleton, N.J., Crowhurst, S.J., Peck, J.A., Gvozdkov, A.N., King, J.W. (2001) Biogenic silica record of the Lake Baikal response to climatic forcing during the Brunhes, *Quaternary research*, vol. 55, no. 2, pp. 123-132.

Semenov, V., Bengtsson, L. (2002) Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM, *Climate Dynamics*, vol. 19, pp. 123-140.

Semenov, V.A., Park, W., Latif, M. (2009) Barents Sea inflow shutdown: A new mechanism for rapid climate changes, *Geophysical Research Letters*, vol. 36, no. 14, p. L14709, doi: 10.1029/2009GL038911.

Semenov, V.A., Latif, M., Dommenges, D., Keenlyside, N.S., Strehz, A., Martin, T., Park, W. (2010) The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature, *Journal of Climate*, vol. 23, no. 21, pp. 5668-5677, doi: 10.1175/2010JCLI3347.1.

Sharmar, V.D., Markina, M.Y., Gulev, S.K. (2021) Global ocean wind-wave model hindcasts forced by different reanalyses: A comparative assessment, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 126, no. 1, doi:10.1029/2020JC016710.

Stommel, H. (1961) Thermohaline convection with two stable regimes of flow, *Tellus*, vol. 13, pp. 224-230.

Tilinina, N., Gulev, S.K., Rudeva, I., Koltermann, K.P. (2013) Comparing cyclone life cycle characteristics and their interannual variability in different reanalyses, *Journal of Climate*, vol. 26, no. 17, pp. 6419-6438, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00777.1.

Tilinina, N., Gulev, S.K., Bromwich, D. (2014) New view of Arctic cyclone activity from the Arctic System reanalysis, *Geophysical Research Letters*, vol. 41, no. 5, doi: 10.1002/2013GL058924.

Volodin, E.M., Mortikov, E.V., Kostykin, S.V., Galin, V.Ya., Lykossov, V.N., Gritsun, A.S., Diansky, N.A., Gusev, A.V., Iakovlev, N.G. (2017) Simulation of the present-day climate with the climate model INMCM5, *Climate Dynamics*, vol. 49, no. 11-12, pp. 3715-3734, doi: 10.1007/s00382-017-3539-7.

Volodin, E., Gritsun, A. (2018) Simulation of observed climate changes in 1850-2014 with climate model INM-CM5, *Earth System Dynamics*, vol. 9, no. 4, pp.1235-1242, doi: 10.5194/esd-9-1235-2018.

Williams, D.F., Peck, J., Karabanov, E.B., Prokopenko, A.A., Kravchinsky, V., King, J., Kuzmin, M.I. (1997) Lake Baikal record of continental climate

response to orbital insolation during the past 5 million years, *Science*, vol. 278, no. 5340, pp. 1114-1117.

References

Averyanova, E.A., Polonsky, A.B. (2017) Rezkie klimaticheskie izmeneniya v proshlom i ih svyaz' s rezhimami meridional'noj cirkulyacii v Atlanticheskom okeane [Abrupt climatic changes in the past and their relationship with meridional circulation regimes in the Atlantic Ocean], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 1, pp. 20-53, doi: 10.21513/2410-8758-2017-1-20-53.

Averyanova, E.A., Polonsky, A.B. (2023) *Temohalinnaya cirkulyaciya v Atlanticheskom okeane i izmeneniya klimata* [Temohaline circulation in the Atlantic Ocean and climate change], IC IPTS, Sevastopol, Russia, 240 p.

Averyanova, E.A., Polonsky, A.B., Sannikov, V.F. (2017) Modelirovanie osobennostej sovremennoj termohalinnoy cirkulyacii Severnoj Atlantiki s ispol'zovaniem boksovoj modeli [Modeling the features of the modern thermohaline circulation of the North Atlantic using a box model], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 53, no. 3, pp. 406-414, doi: 10.7868/S0002351517030038.

Anisimov, O.A., Volodin, E.M. (2022) Klimatoobrazuyushchaya rol' emissii metana na shel'fe morej vostochnoj Arktiki [The climate-forming role of methane emissions on the shelf of the seas of the eastern Arctic], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 46-58.

Budyko, M.I. (1956) *Teplovoj balans zemnoj poverhnosti* [Thermal balance of the earth's surface], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 255 p.

Budyko, M.I. (1962) Polyarnye l'dy i klimat [Polar ice and climate], *Izvestiya AN SSSR. Seriya geograficheskaya*, no. 6, pp. 3-10.

Budyko, M.I. (1972) *Vliyanie cheloveka na klimat* [Human influence on climate], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 46 p.

Budyko, M.I. (1974) Metod vozdejstviya na klimat [Method of influencing climate], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 91-97.

Budyko, M.I., Golitsyn, G.S., Israel, Yu.A. (1986) *Global'nye klimaticheskie katastrofy* [Global climate catastrophes], Gidrometeoizdat, Moscow, Russia, 159 p.

Vaganov, E.A., Shiyatov, S.G., Mazepa, V.S. (1996) *Dendroklimaticheskie issledovaniya v Uralo-Sibirskoj Subarktike* [Dendroclimatic studies in the Ural-Siberian Subarctic], SB RAS, Novosibirsk, Russia, 246 p.

Vasiliev, A.A., Melnikov, V.P., Semenov, P.B., Oblogov, G.E., Streletskaia, I.D. (2019) Soderzhanie i emissiya metana v dominantnykh landshaftah tipichnoj tundry Zapadnogo Yamala [Content and emission of methane in dominant landscapes of typical tundra of Western Yamal], *Doklady Akademii nauk*, vol. 485, no. 1, pp. 88-92.

Vtoroj ocenochnyj doklad Rosgidrometa ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2014) In V.M. Kattsov, S.M. Semenov (eds.), Roshydromet, Moscow, Russia, 1009 p.

Ginzburg, A.S., Feigelson, E.M. (1971) Nekotorye zakonomernosti luchistogo teploobmena v planetnyh atmosferah [Some patterns of radiative heat transfer in planetary atmospheres], *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 7, no. 4, pp. 377-384.

Golitsyn, G.S. (1973) *Vvedenie v dinamiku planetnyh atmosfer* [Introduction to the dynamics of planetary atmospheres], Gidrometeoizdat, Moscow, Russia, 104 p.

Golitsyn, G.S. (2004) *Prirodnye processy i yavleniya: volny, planety, konvekciya, klimat, statistika* [Natural processes and phenomena: waves, planets, convection, climate, statistics], Fizmatlit, Moscow, Russia, 344 p.

Golitsyn, G.S. (2022) *Veroyatnostnye struktury makromira: zemletryaseniya, uragany, navodneniya* [Probabilistic structures of the macrocosm: earthquakes, hurricanes, floods], Fizmatlit, Moscow, Russia, 176 p.

Gorbatenko, V.P., Volkova, M.A., Nosyreva, O.V., Kuzhevskaya, I.V. (2021) Sovremennye tendencii klimaticheskikh harakteristik, vliyayushchih na razvitie transportnoj sistemy Tomskoj oblasti [Current trends in climatic characteristics influencing the development of the transport system of the Tomsk region], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, vol. 7, no. 4, pp. 71-95, doi: 10.21513/2410-8758-2021-4-71-95.

Gritsun, A.S., Dymnikov, V.P. (1999) Otklik barotropnoj atmosfery na malye vneshnie vozdeystviya. Teoriya i chislennye eksperimenty [Response of the barotropic atmosphere to small external forcings. Theory and numerical experiments], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 35, no. 5, pp. 511-525.

Gritsun, A.S. (2010) Postroenie operatorov otklika na malye vneshnie vozdeystviya dlya modelej obshchej cirkulyacii atmosfery s periodicheskimi po vremeni pravymi chastyami [Construction of response operators to small external influences for general atmospheric circulation models with time-periodic right-hand sides], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 46, no. 6, pp. 748-756.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (1980) *Struktura i izmenchivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozduha nad Severnym polushariem* [Structure and variability of observed climate. Air temperature over the Northern Hemisphere], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 72 p.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (1989) *Monitoring i veroyatnostnyj prognoz korotkoperiodnyh kolebanij klimata* [Monitoring and probabilistic forecast of short-term climate fluctuations], 60 let Centru gidrometeorologicheskikh prognozov – 60 years of the Center for Hydrometeorological Forecasts, Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, pp. 148-170.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya., Rocheva, E.V. (1990) *Dannye o strukture i izmenchivosti klimata. Temperatura vozduha na urovne morya. Severnoe polusharie* [Evidence for climate structure and variability. Air temperature at sea level. Northern Hemisphere], Obninsk, Russia, 247 p.

Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (2012) *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii* [Observed and expected climate changes in Russia], Publishing house RIHMI-WDC, Obninsk, Russia, 198 p.

Dzrdzeevsky, B.L. (1968) *Cirkulyacionnye mekhanizmy v atmosfere severnogo polushariya v XX stoletii* [Circulation mechanisms in the atmosphere of the northern hemisphere in the twentieth century], Moscow, Russia, 240 p.

Dzrdzeevsky, B.L. (1956) *Znachenie analiza obshchej cirkulyacii atmosfery pri ustanovlenii granic suhikh i vlazhnykh oblastej* [The importance of analyzing the general circulation of the atmosphere in establishing the boundaries of dry and humid regions], Voprosy geografii, Publishing House of the USSR Academy of Sciences, Moscow-Leningrad, Russia, pp. 109-122.

Demchenko, P.F., Kislov, A.V. (2010) *Stokhasticheskaya dinamika evolyucii prirodnykh ob"ektov: brounovskoe dvizhenie i geofizicheskie prilozheniya* [Stochastic dynamics of the evolution of natural objects: Brownian motion and geophysical applications], GEOS, Moscow, Russia, 190 p.

Denisov, S.N., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I. (2019) Vklad estestvennykh i antropogennykh emissij CO₂ i CH₄ v atmosferu s territorii Rossii v global'nye izmeneniya klimata v XXI veke [The contribution of natural and anthropogenic emissions of CO₂ and CH₄ into the atmosphere from the territory of Russia to global climate change in the 21st century], *Doklady AN*, vol. 488, no. 1, pp. 74-80.

Dobrolyubov, N.Yu., Semenov, S.M., Volodin, E.M., Bogdanovich, A.Yu. (2023) Algebraicheskiy algoritm statisticheskoy ocenki parametra binomial'nogo raspredeleniya i primer ego primeneniya v odnoj global'noj geoinformacionnoj zadache prikladnoj klimatologii [Algebraic algorithm for statistical estimation of the binomial distribution parameter and an example of its application in one global geoinformation problem of applied climatology], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 16-24.

Doklad ob osobennostyah klimata na territorii Rossijskoj Federacii [Report on climate features on the territory of the Russian Federation] (2005-2022) Roshydromet, Moscow, Russia.

Eliseev, A.V., Mokhov, I.I. (2009) Model'nye ocenki effektivnosti oslableniya i predotvrashcheniya global'nogo potepleniya klimata v zavisimosti ot scenarijev kontroliruemykh aeropol'nykh emissij v stratosferu [Model estimates of the effectiveness of mitigation and prevention of global warming depending on scenarios of controlled aerosol emissions into the stratosphere], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 45, no. 2, p. 2321244.

Zasuhi Vostochno-Evropejskoj ravniny po gidrometeorologicheskim i dendrohronologicheskim dannym [Droughts of the East European Plain according to hydrometeorological and dendrochronological data] (2017) In O.N. Solomina (ed.), Nestor-History, Moscow, St. Petersburg, Russia, 360 p.

Zolotokrylin, A.N. (2003) *Klimaticheskoe opustynivanie* [Climatic desertification], Nauka, Moscow, Russia, 246 p.

Zolotokrylin, A.N., Mikhailov, A.Yu., Titkova, T.B. (2011) Polyarnyj front i kontrastnost' stepnoj rastitel'nosti Evropejskoj Rossii [Polar front and contrast of steppe vegetation of European Russia], *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*, vol. 24, pp. 295-306.

Izmenenie okruzhayushchej sredy i klimata: Prirodnye i svyazannye s nimi tekhnogennye katastrofy. T. 8: Solnechnaya aktivnost' i fizicheskie processy v sisteme Solnce-Zemlya [Environmental and climate change: Natural and related man-made disasters. T. 8: Solar activity and physical processes in the Sun-Earth system] (2008) In G.A. Zherebtsov (ed.), ISTP SB RAS, IPE RAS, Moscow, Russia, 280 p.

Israel, Yu.A., Budyko, M.I. (1987) *Antropogennye izmeneniya klimata* [Anthropogenic climate changes], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 406 p.

Israel, Yu.A., Borzenkova, I.I., Severov, D.A. (2007) Rol' stratosfernyh aerolej v sohranении sovremennogo klimata [The role of stratospheric aerosols in maintaining the modern climate], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 5-14.

Israel, Yu.A., Volodin, E.M., Kostykin, S.V., Revokatova, A.P., Ryaboshapko, A.G. (2013) Vozmozhnost' geoinzhenernoj stabilizacii global'noj temperatury v XXI veke s ispol'zovaniem stratosfernyh aerolej i ocnka vozmozhnyh negativnyh posledstvij [Possibility of geoengineering stabilization of global temperature in the 21st century using stratospheric aerosols and assessment of possible negative consequences], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 9-23.

Issledovanie roli energoaktivnyh zon okeana v korotkoperiodnyh kolebaniyah klimata [Study of the role of energetically active zones of the ocean in short-period climate fluctuations] (1987) Results of Science and Technology, series "Atmosphere, Ocean, Space" – "Sections" program, in G.I. Marchuk (ed.), vol. 8, Moscow, Russia, 431 p.

Kislov, A.V. (2001) *Klimat v proshlom, nastoyashchem i budushchem* [Climate in the past, present and future], MAIK "Nauka/Interperiodika", Moscow, Russia, 349 p.

Kislov, A.V. (2004) Klimaticheskaya sistema i izmeneniya klimata [Climate system and climate change], *Geografiya, obshchestvo, okruzhayushchaya sreda. Tom 6. Dinamika i vzaimodejstvie atmosfery i gidrosfery*, pp. 21-97.

Kislov, A.V. (2005) Klimat Zemli i ego izmeneniya [Earth's climate and its changes], *Sovremennye global'nye izmeneniya prirodnoj sredy*, pp. 88-209.

Kislov, A.V., Surkova, G.V. (2020) *Klimatologiya* [Climatology], INFRA-M, Moscow, Russia, 324 p.

Kislov, A.V. (2023) *Klimatologiya s osnovami meteorologii* [Climatology with fundamentals of meteorology], MSU, Moscow, Russia, 255 p.

Klimat Zemli: proshloe, nastoyashchee, budushchee [Earth's Climate: Past, Present, Future] (1985) In V.M. Kotlyakov, M.G. Grosvald, A.N. Krenke (eds.), Znanie, Moscow, Russia, 47 p.

Klimat Arktiki: processy i izmeneniya [Arctic climate: processes and changes] (2022) In I.I. Mokhov, V.A. Semenov (eds.), Fizmatkniga, Moscow, Russia, 360 p.

Klimaty i landshafty Severnoj Evrazii v usloviyah global'nogo potepeniya. Retrospektivnyj analiz i scenarii. Atlas-monografiya «Razvitie landshaftov i klimata Severnoj Evrazii. Pozdnij plejstocen – golocen – elementy prognoza. V. III [Climates and landscapes of Northern Eurasia in conditions of global warming. Retrospective analysis and scenarios. Atlas-monograph “Development of landscapes and climate of Northern Eurasia. Late Pleistocene – Holocene – elements of the forecast. Vol. III] (2010) In A.A. Velichko (ed.), GEOS, Moscow, Russia, 220 p.

Klimat Rossii [Climate of Russia] (2001) in N.V. Kobysheva (ed.), Gidrometeoizdat, St. Petersburg, Russia, 656 p.

Kondratyev, K.Ya. (1965) *Aktinometriya* [Actinometry], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 692 p.

Kondratyev, K.Ya. (1992) *Global'nyj klimat* [Global climate], Nauka, St. Petersburg, Russia, 356 p.

Kuzhevskaya, I.V., Gorbatenko, V.P., Nosyreva, O.V., Volkova, M.A., Nechepurenko, O.E., Chursin, V.V., Cheredko, N.N. (2023) Agroklimaticheskie harakteristiki zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya na territorii Sibirskogo Federal'nogo okruga v usloviyah izmeneniya klimata [Agroclimatic characteristics of agricultural lands in the Siberian Federal District under climate change conditions], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 77-87, doi: 10.52002/0130-2906-2023-10-77-87.

Lavrov, A.S., Sterin, A.M. (2017) Rezul'taty sopostavleniya ryadov temperatury svobodnoj atmosfery po dannym radiozondovyh i sputnikovyh nablyudenij [Results of comparison of free atmosphere temperature series based on radiosonde and satellite observations], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 30-44.

Lappo, S.S. (1984) K voprosu o prichinah advekcii tepla na sever cherez ekvator v Atlanticheskom okeane [On the question of the causes of heat advection northward across the equator in the Atlantic Ocean], *Issledovanie processov vzaimodejstviya okeana i atmosfery* [Study of the processes of interaction between the ocean and the atmosphere], pp. 125-129.

Loginov, V.F. (2008) *Global'nye i regional'nye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate changes: causes and consequences], TetraSystems, Minsk, Belarus, 495 p.

Marchuk, G.I., Dymnikov, V.P., Lykosov, V.N., Galin, V.Ya., Perov, V.L., Bobyleva, I.M. (1979) Global'naya model' obshchej cirkulyacii atmosfery [Global model of general atmospheric circulation], *Izvestiya AN SSSR. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 16, no. 5, pp. 467-483.

Marchuk, G.I., Dymnikov, V.P., Zalesny, V.B., Lykosov, V.N., Galin, V.Ya. (1984) *Matematicheskoe modelirovanie obshchej cirkulyacii atmosfery i okeana* [Mathematical modeling of the general circulation of the atmosphere and ocean], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 320 p.

Matishov, G.G. (2023) *Issledovanie Arkticheskoy zony Zapolyar'ya Rossii* [Study of the Arctic zone of the Russian Arctic], RNAS, Moscow, Russia, 230 p.

Matskovsky, V.V. (2013) *Klimaticheskij signal v shirine godichnyh kolec hvoyjnyh derev'ev na severe i v centre Evropejskoj territorii Rossii* [Climatic signal in the width of tree rings of coniferous trees in the north and center of the European territory of Russia], GEOS, Moscow, Russia, 148 p.

Melnikov, V.P., Osipov, V.I., Brushkov, A.V., Badina, S.V., Drozdov, D.S., Dubrovin, V.A., Zheleznyak, M.N., Sadurtdinov, M.R., Sergeev, D.O., Ostarkov, N.A., Falaleeva, A.A., Shelkov, Ya.Yu. (2021a) Ocenka ushcherba zhilym i promyshlennym zdaniyam i sooruzheniyam pri izmenenii temperatur i ottaivanii mnogoletnemerzlyh gruntov v arkticheskoy zone Rossijskoj Federacii k seredine XXI veka [Assessment of damage to residential and industrial buildings and structures due to temperature changes and thawing of permafrost soils in the Arctic zone of the Russian Federation by the middle of the 21st century], *Geoekologiya. Inzhenernaya geologiya. Gidrogeologiya. Geokriologiya*, no. 1, pp. 14-31.

Melnikov, V.P., Osipov, V.I., Brushkov, A.V., Badina, S.V., Drozdov, D.S., Dubrovin, V.A., Zheleznyak, M.N., Sadurtdinov, M.R., Sergeev, D.O., Okunev, S.N., Ostarkov, N.A., Osokin, A.B., Fedorov, R.Yu. (2021b) Adaptaciya infrastruktury Arktiki i Subarktiki k izmeneniyam temperatury merzlyh gruntov [Adaptation of Arctic and Subarctic infrastructure to changes in the temperature of frozen soils], *Kriosfera Zemli*, vol. 25, no. 6, pp. 3-15.

Melnikov, V.P., Osipov, V.I., Brushkov, A.V., Badina, S.V., Velikin, S.A., Drozdov, D.S., Dubrovin, V.A., Zhdaneev, O.V., Zheleznyak, M.N., Kuznetsov, M.E., Osokin, A.B., Ostarkov, N.A., Sadurtdinova, M.R., Sergeev, D.O., Ustinova, E.V., Fedorov, R.Yu., Frolov, K.N., Zhang, R.V. (2022) Snizhenie ustojchivosti infrastruktury TEK Rossii v Arktike kak sledstvie povysheniya srednegodovoj temperatury pripoverhnostnogo sloya kriolitozony [Reduced stability of the Russian fuel and energy complex infrastructure in the Arctic as a consequence of an increase in the average annual temperature of the near-surface layer of the permafrost zone], *Vestnik RAN*, vol. 92, no. 4, pp. 303-314.

Metan i klimaticheskie izmeneniya: nauchnye problemy i tekhnologicheskie aspekty [Methane and climate change: scientific problems and technological aspects] (2022) In V.G. Bondur, I.I. Mokhov, A.A. Makosko (eds.), RAS, Moscow, Russia, 388 p.

Meteorologicheskie i geofizicheskie issledovaniya [Meteorological and Geophysical Research] (2011) In G.V. Alekseev (ed.), Paulsen, Moscow, Russia, 352 p.

Metody ocenki posledstvij izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem [Methods for assessing the effects of climate change on physical and biological systems] (2012) In S.M. Semenov (ed.), Roshydromet, Planeta, Moscow, Russia, 510 p.

Metody rekonstrukcii paleoklimatov [Methods for reconstructing paleoclimates] (1985) In A.A. Velichko, E.E. Gurtova, L.R. Serebryanny (eds.), Nauka, Moscow, Russia, 188 p.

Moiseev, N.N., Alexandrov, V.V., Tarko, A.M. (1985) *Chelovek i biosfera. Opyt sistemnogo analiza i eksperimenty s modelyami* [Man and the biosphere. Experience in system analysis and experiments with models], Nauka, Moscow, Russia, 270 p.

Monin, A.S., Shishkov, Yu.A. (2000) *Klimat kak problema fiziki* [Climate as a problem of physics], *Uspekhi fizicheskikh nauk*, vol. 170, no. 4, pp. 419-445.

Mokhov, I.I. (1993) *Diagnostika struktury klimaticheskoj sistemy* [Diagnostics of the structure of the climate system], *Gidrometeoizdat*, St. Petersburg, Russia, 271 p.

Mokhov, I.I. (2023) *Vzaimnye izmeneniya temperatury i sodержaniya aerolya v atmosfere po dannym antarkticheskikh ledovykh kernov dlya poslednih 800 tysyach let* [Mutual changes in temperature and aerosol content in the atmosphere according to data from Antarctic ice cores for the last 800 thousand years], *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 3. Fizika i astronomiya*, vol. 78, no. 3, p. 2330903.

Mokhov, I.I., Bezverkhniy, V.A., Eliseev, A.V., Karpenko, A.A. (2008) *Model'nye ocenki vozmozhnykh klimaticheskikh izmenenij v XXI veke pri razlichnykh scenariyah solnechnoj i vulkanicheskoy aktivnosti i antropogennykh vozdeystvij* [Model estimates of possible climate changes in the 21st century under various scenarios of solar and volcanic activity and anthropogenic impacts], *Kosmicheskije issledovaniya*, vol. 46, no. 4, pp. 363-367.

Mokhov, I.I., Bezverkhniy, V.A., Karpenko, A.A. (2005) *Diagnostika vzaimnykh izmenenij sodержaniya parnikovyh gazov v atmosfere i temperaturnogo rezhima po paleorekonstrukciyam dlya antarkticheskoy stancii Vostok* [Diagnostics of mutual changes in the content of greenhouse gases in the atmosphere and temperature regime based on paleo-reconstructions for the Antarctic Vostok station], *Izvestiya RAN. Fizika atmocfepy i okeana*, vol. 41, no. 5, pp. 579-592.

Mokhov, I.I., Eliseev, A.V. (2012) Modelirovanie global'nyh klimaticeskikh izmenenij v XX-XXIII vekah pri novyh scenariyah antropogennyh vozdeystvij RCP [Modeling of global climate changes in the XX-XXIII centuries under new scenarios of anthropogenic impacts RCP], *Doklady AN*, vol. 443, no. 6, pp. 732-736.

Mokhov, I.I., Eliseev, A.B., Demchenko, P.F., Khon, V.Ch., Akperov, M.G., Arzhanov, M.M., Karpenko, A.A., Tikhonov, B. A., Chernokulsky, A.V., Sigaeva, E.V. (2005) Klimaticheskie izmeneniya i ih ocenki s ispol'zovaniem global'noj modeli IFA RAN [Climatic changes and their assessments using the global model of the IAP RAS], *Doklady AN*, vol. 402, no. 2, pp. 243-247.

Mokhov, I.I., Malyshkin, A.V. (2011) Analiticheskaya ocenka kriticheskogo urovnya global'nogo potepneniya dlya perekhoda ot rosta k umen'sheniyu massy Antarkticheskogo ledovogo shchita [Analytical assessment of the critical level of global warming for the transition from growth to reduction of the mass of the Antarctic ice sheet], *Doklady AN*, vol. 436, no. 3, pp. 397-400.

Mokhov, I.I., Smirnov, D.A. (2009) Empiricheskie ocenki vozdeystviya antropogennyh i estestvennyh faktorov na global'nuyu pripoverhnostnuyu temperaturu [Empirical assessments of the impact of anthropogenic and natural factors on global surface temperature], *Doklady AN*, vol. 426, pp. 679-684.

Mokhov, I.I., Smirnov, D.A. (2018) Vklad radiacionnogo vozdeystviya parnikovyyh gazov i atlanticheskoy mul'tidesyatiletnej oscillyacii v trendy pripoverhnostnoj temperatury [Contribution of radiative forcing of greenhouse gases and the Atlantic multidecadal oscillation to surface temperature trends], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 5-13.

Muryshv, K.E., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I., Timazhev, A.V. (2015) Vzaimnoe zapazdyvanie mezhdru izmeneniyami temperatury i sodержaniya uglekislogo gaza v atmosfere v prostoј sovместnoј modeli klimata i uglерodnogo cikla [Mutual lag between changes in temperature and carbon dioxide content in the atmosphere in a simple coupled model of climate and carbon cycle], *Doklady AN*, vol. 463, no. 6, pp. 708-712.

Obukhov, A.M. (1971) O nekotoryh obshchih harakteristikah uravnenij dinamiki atmosfery [On some general characteristics of the equations of atmospheric dynamics], *Izvestiya AN SSSR. FAO*, vol. 7, no. 7, pp. 695-704.

Obukhov, A.M., Golitsyn, G.S., Dolzhansky, F.V. (1981) *Voprosy geofizicheskoy gidrodinamiki* [Questions of geophysical hydrodynamics], *Nekotorye problemy sovremennoj fiziki atmosfery*, Nauka, Moscow, Russia, pp. 94-118.

Obukhov, A.M., Kurgansky, M.V., Tatarskaya, M.S. (1984) Dinamicheskie usloviya vozniknoveniya zasuh i drugih krupnomasshtabnyh pogodnyh anomalij [Dynamic conditions for the occurrence of droughts and other large-scale weather anomalies], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 5-13.

Obukhov, A.M. (1988) *Turbulentnost' i dinamika atmosfery* [Turbulence and atmospheric dynamics], Gidrometioizdat, Leningrad, Russia, 413 p.

Obukhov, A.M. (1989) Vihri i pogoda [Whirlwinds and weather], *Nauka i chelovechestvo – Science and humanity, Znanie*, Moscow, Russia, pp. 96-112.

Oledenenie Severnoj i Central'noj Evrazii v sovremennuyu epohu [Glaciation of Northern and Central Eurasia in the modern era] (2006) In V.M. Kotlyakov (ed.), Moscow, Nauka, 482 p.

Olchev, A.V., Avilov, V.K., Baibar, A.S., Belotelov, N.V., Bolondinsky, V.K., Ivanov, D.G., Kuzmina, E.V., Kurbatova, Yu.A., Levashova, N.T., Mamkin, V.V., Mangura, P.A., Molchanov, A.G., Mukhartova, Yu.V., Nikitin, M.A., Novenko, E.Yu., Pridacha, V.B., Rivin, G.S., Rozinkina, I.A., Sazonova, T.A., Sandler, R.B., Surkova, G.V., Kholoptseva, E., WITH. (2017) *Lesy evropejskoj territorii Rossii v usloviyah menyayushchegosya klimata* [Forests of the European territory of Russia in a changing climate], KMK Association of Scientific Publications, Moscow, Russia, 276 p.

Ocenka potokov parnikovyh gazov v ekosistemah regionov Rossijskoj Federacii [Assessment of greenhouse gas flows in ecosystems of regions of the Russian Federation] (2023) In A.A. Romanovskaya (ed.), IGCE, Moscow, Russia, 343 p.

Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. T. I. Izmeneniya klimata [Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Vol. I. Climate Change] (2008a) In V.P. Meleshko (ed.), Moscow, Russia, 227 p.

Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii. T. II. Posledstviya izmenenij klimata [Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Vol. II. Consequences of climate change] (2008b) In S.M. Semenov (ed.), Moscow, Russia, 288 p.

Pavlova, V.N., Perevedentsev, Yu.P., Karachenkova, A.A., Tagirova, M.Sh., Mirsaeva, N.A. (2023) Ocenka agroklimaticheskikh resursov i urozhajnosti yarovoj pshenicy v Respublike Tatarstan [Assessment of agroclimatic resources and spring wheat yield in the Republic of Tatarstan], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 90-102.

Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya, Pozdnij plejstocen – golocen. Atlas-monografiya [Paleoclimates and paleolandscapes of the extratropical space of the Northern Hemisphere, Late Pleistocene – Holocene. Atlas-monograph] (2009) In A.A. Velichko (ed.), GEOS, Moscow, Russia, 120 p.

Perevedentsev, Yu.P., Pavlova, V.N., Shantalinsky, K.M., Mirsaeva, N.A., Nikolaev, A.A., Tagirov, M.Sh. (2022) Agroklimaticheskie usloviya na territorii Respubliki Tatarstan v period 1966-2021 gg. [Agroclimatic conditions on the territory of the Republic of Tatarstan in the period 1966-2021], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, no. 4 (386), pp. 96-113, doi: 10.37162/2618-9631-2022-4-96-113.

Perevedentsev, Yu.P., Vasiliev, A.A. (2023) *Izmenenie klimata i ego vliyanie na sel'skoe hozyajstvo* [Climate change and its impact on agriculture], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 5-13, doi: 10.52002/0130-2906-2023-9-5-13.

Petrosyants, M.A., Semenov, E.K., Gushchina, D.Yu., Sokolikhina, E.V., Sokolikhina, N.N. (2005) *Cirkulyaciya atmosfery v tropikah: klimat i izmenchivost'* [Atmospheric circulation in the tropics: climate and variability], MaxPress, Moscow, Russia, 670 p.

Polonsky, A.B., Basharin, D.V., Voskresenskaya, E.N., Worley, S. (2004) Severoatlanticheskoe kolebanie: opisanie, mekhanizmy i vliyanie na klimat Evrazii [North Atlantic Oscillation: description, mechanisms and impact on the climate of Eurasia], *Morskoj gidrofizicheskij zhurnal*, no. 2, pp. 42-59.

Popova, V.V., Shmakin, A.B. (2006) Cirkulyacionnye mekhanizmy krupnomasshtabnyh anomalij temperatury vozduha zimoy v Severnoj Evrazii v konce XX stoletiya [Circulation mechanisms of large-scale winter air temperature anomalies in Northern Eurasia at the end of the twentieth century], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 12, pp. 15-25.

Radiacionno-fotohimicheskie modeli [Radiation-photochemical models] (1986) In I.L. Karol' (ed.), Leningrad, Gidrometeoizdat, Russia, 192 p.

Rauner, Yu.L. (1972) *Teplovoj balans rastitel'nogo pokrova* [Thermal balance of vegetation cover], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 212 p.

Rauner, Yu.L. (1981) *Klimat i urozhajnost' zernovyh kul'tur* [Climate and grain yield], Nauka, Moscow, Russia, 164 p.

Semenov, S.M. (2004) *Parnikovye gazy i sovremennyy klimat Zemli* [Greenhouse gases and the modern climate of the Earth], Meteorology and Hydrology, Moscow, Russia, 175 p.

Semenov, S.M., Yasyukevich, V.V., Gelfer, E.S. (2006) *Vyyavlenie klimatogennyh izmenenij* [Identification of climatogenic changes], Meteorology and Hydrology, Moscow, Russia, 325 p.

Semenov, S.M., Popov, I.O. (2011) Sravnitel'nye ocenki vliyaniya izmeneniya koncentracij dioksida ugleroda, metana, zakisi azota i vodyanogo para na radiacionno-ravnovesnuyu temperaturu zemnoj poverhnosti [Comparative assessments of the influence of changes in the concentrations of carbon dioxide, methane, nitrous oxide and water vapor on the radiation-equilibrium temperature of the earth's surface], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 8, pp. 34-43.

Semenov, S.M., Govor, I.L., Uvarova, N.E. (2018) *Rol' metana v sovremennom izmenenii klimata* [The role of methane in modern climate change], IGCE, Moscow, Russia, 106 p.

Semenov, S.M., Popov, I.O., Yasyukevich, V.V. (2020) Statisticheskaya model' dlya ocenki formirovaniya klimaticheskikh ugroz po dannym monitoringa klimata [Statistical model for assessing the formation of climate hazards based on climate monitoring data], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 59-65.

Semenov, S.M. (2022) Parnikovyj effekt i sovremennyj klimat [The greenhouse effect and modern climate], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 5-17.

Solomina, O.N. (1999) *Gornye ledniki Severnoj Evrazii v golocene* [Mountain glaciers of Northern Eurasia in the Holocene], Nauchnyj Mir, Moscow, Russia, 264 p.

Solomina, O.N., Dolgova, E.A., Maksimova, O.E. (2012) *Rekonstrukciya gidrometeorologicheskikh uslovij poslednih stoletij na Severnom Kavkaze, v Krymu i na Tyan'-Shane po dendrohronologicheskim dannym* [Reconstruction of hydrometeorological conditions of recent centuries in the North Caucasus, Crimea and Tien Shan based on dendrochronological data], Nestor-Istoriya, St. Petersburg, Russia, 232 p.

Sterin, A.M. (2004a) O chuvstvitel'nosti ocenok trendov temperatury troposfery i nizhnej stratosfery po dannym radiozondovaniya. 1: Vybore massiva dannyh, perioda ryadov i tekhniki ih analiza [On the sensitivity of estimates of tropospheric and lower stratosphere temperature trends from radiosonde data. 1: Selection of a data array, period of series and techniques for their analysis], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 21-36.

Sterin, A.M. (2004b) O chuvstvitel'nosti ocenok trendov temperatury troposfery i nizhnej stratosfery po dannym radiozondovaniya. 2: Obnaruzhenie neodnorodnostej v ryadah mesyachnogo razresheniya [On the sensitivity of estimates of tropospheric and lower stratosphere temperature trends from radiosonde data. 2: Detection of inhomogeneities in monthly resolution series], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 5-22.

Tretij ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossijskoj Federacii [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation] (2022) In V.M. Kattsov (ed.), Naukoemkie tekhnologii, St. Petersburg, Russia, 676 p.

Shiyatov, S.G. (1986) *Dendrohronologiya verhnej granicy lesa na Urale* [Dendrochronology of the upper forest limit in the Urals], Nauka, Moscow, Russia, 136 p.

Shiyatov, S.G., Vaganov, E.A., Kirilyanov, A.V., Kruglov, V.B., Mazepa, V.S., Naurzbaev, M.M., Khantemirov, R.M. (2000) *Metody dendrohronologii. Chast' I. Osnovy dendrohronologii. Sbor i poluchenie drevesno-kol'cevoj informacii* [Methods of dendrochronology. Part I. Fundamentals of dendrochronology. Collection and receipt of tree-ring information], KrasGAU, Ekaterinburg, Russia, 81 p.

Shkolnik, I.M., Efimov, S.V. (2015) Regional'naya model' novogo pokoleniya dlya territorii severnoj Evrazii [A new generation regional model for the territory of northern Eurasia], *Trudy GGO*, no. 576, pp. 201-211.

Shmakin, A.B. (2006a) Sezonnaya organizaciya regional'nogo energo-vлагообмена sushi s atmosferoj [Seasonal organization of regional energy and moisture exchange between land and the atmosphere], *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, no. 5, pp. 22-29.

Shmakin, A.B. (2006b) *Prostranstvenno-vremennaya organizaciya energovlagoobmena na sushe* [Spatiotemporal organization of energy and moisture exchange on land], Doctor's thesis, Moscow, Russia, 139 p.

Shulgin, I.A. (2009) *Solnechnye luchi v zelenom rastenii. Fiziologo-meteorologicheskie aspekty* [Sun rays in a green plant. Physiological and meteorological aspects], Altex, Moscow, Russia, 217 p.

Shulgin, I.A., Vilfand, R.M., Strashnaya, A.I., Bereza, O.V. (2015) Solnechnaya radiaciya v ocenkah maksimal'noj urozhajnosti yarovyh kul'tur [Solar radiation in estimates of maximum yield of spring crops], *Biosfera*, vol. 7, no. 4, pp. 371-383.

Atlas of paleoclimates and paleoenvironments of the Northern Hemisphere (Late Pleistocene – Holocene) (1992) In B. Frenzel, M. Pecsí, A.A. Velichko (eds.), Geographical Research Institute, Budapest, Gustav Fisher Verlag, Stuttgart, 153 p.

Bardin, M.Yu., Korsuhunova, N.N. (2019) State of the Climate in 2018, *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 100, no. 9, pp. 232-235.

Bokuchava, D.D., Semenov, V.A. (2021) Mechanisms of the Early 20th Century Warming in the Arctic, *Earth Science Reviews*, vol. 222, p. 103820, doi: 10.1016/j.earscirev.2021.103820.

Chubarova, N., Androsova, E., Kirsanov, A., Varentsov, M., Rivin, G. (2024) Urban aerosol, its radiative and temperature response in comparison with urban canopy effects in megacity based on COSMO-ART modeling, *Urban Climate*, vol. 53, no. 1, p. 101762.

Cook, E.R., Solomina, O., Matskovsky, V., Dolgova, E., Kuznetsova, V., Maximova, O., Cook, B.I., Agafonov, L., Berdnikova, A., Karpukhin, A., Knysh, N., Yermokhin, M., Kulakova, M., Kyncl, T., Kyncl, J., Panyushkina, I., Ważny, T., Seim, A., Tishin, D. (2020) The European Russia Drought Atlas (1400-2016 CE), *Climate Dynamics*, vol. 54, no. 3-4, pp. 2317-2335.

Gavrilov, A., Seleznev, A., Mukhin, D., Loskutov, E., Feigin, A., Kurths, J. (2019) Linear dynamical modes as new variables for data-driven ENSO forecast, *Climate Dynamics*, vol. 52, no. 3-4, pp. 2199-2216.

Golitsyn, G.S., Ginzburg, A.S. (1985) *Comparative estimates of climatic consequences of Martian dust storms and a possible nuclear war*, *Tellus*, vol. 37B, no. 3, pp. 173-181, doi: 10.3402/tellusb.v37i3.15015.

Gulev, S.K., Zolina, O., Grigoriev, S. (2001) Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR Reanalysis data, *Climate Dynamics*, vol. 17, pp. 795-809.

Gulev, S.K., Grigorieva, V. (2004) Last century changes in ocean wind wave height from global visual wave data, *Geophysical Research Letters*, vol. 31, p. L24302, doi:10.1029/2004GL021040.

Gulev, S.K., Grigorieva, V. (2006) Variability of the winter wind waves and swell in the North Atlantic and North Pacific as revealed by the Voluntary Observing Ship data, *Journal of Climate*, vol. 19, pp. 5667-5785.

Gulev, S.K., Latif, M., Keenlyside, N., Park, W., Koltermann, K.P. (2013) North Atlantic Ocean control on surface heat flux on multidecadal timescales, *Nature*, vol. 499, pp. 464-467, doi:10.1038/nature12268.

Gulev, S.K., Latif, M. (2015) The origins of a climate oscillation, *Nature*, vol. 521, pp. 428-430, doi:10.1038/521428a.

Hantemirov, R.M., Corona, C., Guillet, S., Shiyatov, S.G., Stoffel, M., Osborn, T.J., Melvin, T.M., Gorlanova, L.A., Kukarskih, V.V., Surkov, A.Y., von Arx, G., Fonti, P. (2022) Current Siberian heating is unprecedented during the past seven millennia, *Nature communications*, vol. 13, no. 1., p. 4968, doi: 10.1038/s41467-022-32629-x.

IPCC (2021) Annex VII: Glossary, Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, in V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. J.B.R. Matthews, V. Möller, R. van Diemen, J.S. Fuglestedt, V. Masson-Delmotte, C. Méndez, S. Semenov, A. Reisinger (eds.), *Cambridge University Press*, pp. 2215-2256.

Izrael, Yu.A., Semenov, S.M. (2006) Critical Levels of Greenhouse Gases, Stabilization Scenarios, and Implications for the Global Decisions, Avoiding Dangerous Climate Change, in H.J. Schellnhuber, W. Cramer, N. Nakicenovic, T. Wigley, G. Yohe (eds.), *Cambridge University Press*, pp. 73-79.

Kondratyev, K.Ya. (1999) Climatic Effects of Aerosols and Clouds, Chichester, Springer London Publisher, U.K., 264 p.

Loskutov, E., Vdovin, V., Klinshov, V., Gavrilov, A., Mukhin, D., Feigin, A. (2022) Applying interval stability concept to empirical model of middle Pleistocene transition, *Chaos*, vol. 32, no. 2, p. 021103.

Melnikov, V., Gennadinik, V., Kulmala, M., Lappalainen, H.K., Tuukka, P., Zilitinkevich, S. (2018) Cryosphere: a kingdom of anomalies and diversity, *Atmospheric Chemistry and Physics*, vol. 18, no. 9, pp. 6535-6542, doi: 10.5194/acp-18-6535-2018.

Meredith, E.P., Semenov, V.A., Maraun, D., Park, W., Chernokulsky, A.V. (2015) Crucial role of Black Sea warming in amplifying the 2012 Krymsk precipitation extreme, *Nature Geoscience*, vol. 8, pp. 615-620, doi: 10.1038/NNGEO2483.

Mokhov, I.I., Smirnov, D.A. (2022) Contributions to surface air temperature trends estimated from climate time series: Medium-term causalities, *Chaos*, vol. 32, p. 063128, doi: 10.1063/5.0088042.

Muryshv, K.E., Eliseev, A.V., Mokhov, I.I., Timazhev, A.V. (2017) Lead-lag relationships between global mean temperature and the atmospheric CO₂ content in

dependence of the type and time scale of the forcing, *Global and Planetary Change*, vol. 148, p. 29-41.

Orttung, R.W., Anisimov, O., Badina, S., Burns, C., Cho, L., DiNapoli, B., Jull, M., Shaiman, M., Shapovalova, K., Silinsky, L., Zhang, E., Zhiltcova, Y. (2020) Measuring the sustainability of Russia's Arctic cities, *Ambio*, vol. 50, pp. 2090-2103, doi: 10.1007/s13280-020-01395-9.

Petit, J.R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delayque, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V.Y., Lorius, C., Pepin, L., Ritz, C., Saltzman, E., Stievenard, M. (1999) Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, *Antarctica, Nature*, vol. 399, no. 6735, pp. 429-436.

Petoukhov, V., Semenov, V.A. (2010) A link between reduced Barents-Kara sea ice and cold winter extremes over northern continents, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, no. 115, p. D21111, doi:10.1029/2009JD013568.

Polonsky, A. (2019) *The Ocean's Role in Climate Change*, UK, Cambridge Scholars Publishing, 294 p.

Polonsky, A., Basharin, D., Voskresenskaya, E., Worley, S., Yurovsky, A. (2004) Relationship between North Atlantic Oscillation, Euro-Asian climate anomalies and Pacific variability, *Pacific Oceanography*, vol. 2, no. 1-2, pp. 52-66.

Prokopenko, A.A., Karabanov, E.B., Williams, D.F., Kuzmin, M.I., Shackleton, N.J., Crowhurst, S.J., Peck, J.A., Gvozdkov, A.N., King, J.W. (2001) Biogenic silica record of the Lake Baikal response to climatic forcing during the Brunhes, *Quaternary research*, vol. 55, no. 2, pp. 123-132.

Semenov, V., Bengtsson, L. (2002) Secular trends in daily precipitation characteristics: greenhouse gas simulation with a coupled AOGCM, *Climate Dynamics*, vol. 19, pp. 123-140.

Semenov, V.A., Park, W., Latif, M. (2009) Barents Sea inflow shutdown: A new mechanism for rapid climate changes, *Geophysical Research Letters*, vol. 36, no. 14, p. L14709, doi: 10.1029/2009GL038911.

Semenov, V.A., Latif, M., Dommenges, D., Keenlyside, N.S., Strehz, A., Martin, T., Park, W. (2010) The Impact of North Atlantic-Arctic Multidecadal Variability on Northern Hemisphere Surface Air Temperature, *Journal of Climate*, vol. 23, no. 21, pp. 5668-5677, doi: 10.1175/2010JCLI3347.1.

Sharmar, V.D., Markina, M.Y., Gulev, S.K. (2021) Global ocean wind-wave model hindcasts forced by different reanalyzes: A comparative assessment, *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 126, no. 1, doi:10.1029/2020JC016710.

Stommel, H. (1961) Thermohaline convection with two stable regimes of flow, *Tellus*, vol. 13, pp. 224-230.

Tilinina, N., Gulev, S.K., Rudeva, I., Koltermann, K.P. (2013) Comparing cyclone life cycle characteristics and their interannual variability in different

reanalyses, *Journal of Climate*, vol. 26, no. 17, pp. 6419-6438, doi: 10.1175/JCLI-D-12-00777.1.

Tilinina, N., Gulev, S.K., Bromwich, D. (2014) New view of Arctic cyclone activity from the Arctic System reanalysis, *Geophysical Research Letters*, vol. 41, no. 5, doi: 10.1002/2013GL058924.

Volodin, E.M., Mortikov, E.V., Kostykin, S.V., Galin, V.Ya., Lykossov, V.N., Gritsun, A.S., Diansky, N.A., Gusev, A.V., Iakovlev, N.G. (2017) Simulation of the present-day climate with the climate model INMCM5, *Climate Dynamics*, vol. 49, no. 11-12, pp. 3715-3734, doi: 10.1007/s00382-017-3539-7.

Volodin, E., Gritsun, A. (2018) Simulation of observed climate changes in 1850-2014 with climate model INM-CM5, *Earth System Dynamics*, vol. 9, no. 4, pp.1235-1242, doi: 10.5194/esd-9-1235-2018.

Williams, D.F., Peck, J., Karabanov, E.B., Prokopenko, A.A., Kravchinsky, V., King, J., Kuzmin, M.I. (1997) Lake Baikal record of continental climate response to orbital insolation during the past 5 million years, *Science*, vol. 278, no. 5340, pp. 1114-1117.

Статья поступила в редакцию (Received): 06.01.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 18.01.2024.

Принята к публикации (Accepted): 20.01.2024.

Для цитирования / For citation:

Семенов, С.М., Мохов, И.И., Семенов, В.А., Жеребцов, Г.А., Гулев, С.К., Полонский, А.Б., Соломина, О.Н., Володин, Е.М., Гинзбург, А.С., Елисеев, А.В., Бардин, М.Ю., Борзенкова, И.И., Борисова, О.К. (2024) Российская наука и современная климатология: к 300-летию Российской академии наук, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 1, с. 5-55, doi: 10.21513/2410-8758-2024-1-5-55.

Semenov, S.M., Mokhov, I.I., Semenov, V.A., Zherebtsov, G.A., Gulev, S.K., Polonsky, A.B., Solomina, O.N., Volodin, E.M., Ginzburg, A.S., Eliseev, A.V., Bardin, M.Yu., Borzenkova, I.I., Borisova, O.K. (2024) Russian science and modern climatology: to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 1, pp. 5-55, doi:10.21513/2410-8758-2024-1-5-55.