

Развитие и становление современной климатологии в трудах ученых гидрометеорологической службы России

И.И. Борзенкова^{1)}, Г.В. Алексеев²⁾, М.Ю. Бардин³⁾, Н.А. Зайцева⁴⁾,
А.В. Клепиков²⁾, Е.Н. Русина⁵⁾, А.М. Стерин⁶⁾, В.М. Хан⁷⁾*

¹⁾Государственный гидрологический институт,
Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-я линия В.О., д. 23

²⁾Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт,
Россия, 199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, д. 38

³⁾Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля,
Россия, 107258, Москва, ул. Глебовская, д. 20

⁴⁾Центральная аэрологическая обсерватория
Россия, 141700, Московская обл., Долгопрудный, ул. Первомайская, д.3

⁵⁾Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова,
Россия, 199053, Санкт-Петербург, ул. Карбышева, д. 7

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

⁷⁾Гидрометеорологический научно-исследовательский центр Российской Федерации,
Россия, 123376, Москва, Большой Предтеченский пер., 13, строение 1

Адрес для переписки: *irena_borzen@mail.ru

Реферат. Климатология в течение почти 200 лет прошла сложный путь от описательной науки до науки, изучающей процессы формирования климата Земли, состояние климатической системы и тенденции ее изменения, реакцию на антропогенное воздействие, возникающие риски и возможности их уменьшения в ходе реализации различных программ действий. В данной статье кратко описывается вклад специалистов отечественной Гидрометеорологической службы в развитие климатологии и основные достижения в области фундаментальных исследований, мониторинга климатической системы и прикладных разработок. Статья подготовлена к 190-летию Гидрометеорологической службы страны.

Ключевые слова. Гидрометеорологическая служба, климатология, фундаментальные исследования, мониторинг климата, прикладные исследования.

The development and formation of the present-day climatology in works of scientists of the Russian hydrometeorological service

I.I. Borzenkova^{1)}, G.V. Alekseev²⁾, M.Yu. Bardin³⁾, N.A. Zaytseva⁴⁾,
A.V. Klepikov²⁾, E.N. Rusina⁵⁾, A.M. Sterin⁶⁾, V.M. Khan⁷⁾,*

¹⁾State Hydrological Institute,
23, Second Line, Vasil Island, St. Petersburg, Russian Federation

²⁾Arctic and Antarctic Research Institute,
38, Bering Str., 199397, St. Petersburg, Russian Federation

³⁾Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya Str., 107258, Moscow, Russian Federation

⁴⁾Central Aerological Observatory,
3, Pervomayskaya str., Dolgoprudny, Moscow Region, 141700, Russian Federation

⁵⁾A.I. Voeikov Main Geophysical Observatory,
7, Karbycheva Str., 194021, St. Petersburg, Russian Federation

⁶⁾All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center
6, Korolyov Str., 249035, Kaluga region, Obninsk, Russian Federation

⁷⁾Hydrometeorological Research Center of the Russian Federation,
13, build. 1, Bolschoi Predtechensky lane, 123376, Moscow, Russian Federation

Correspondence address: **irena_borzen@mail.ru*

Abstract. The way of climatology over past 200 years was rather complex. It has evolved from a descriptive science to the up-to-date one studying the processes of the Earth's climate formation, the state of the climate system and its trends, responses to anthropogenic impacts, emerging risks and possibilities to reduce them through the implementation of various measures/practices. This article briefly describes the contribution of specialists from the Russian Hydrometeorological Service to the development of climatology and the main achievements in the field of fundamental research, monitoring of the climate system and applied developments. The article is prepared in connection with the 190th anniversary of the Russian Hydrometeorological Service.

Keywords. Hydrometeorological service, climatology, fundamental studies, climate monitoring, applied studies.

Введение

Отечественная климатология начала развиваться еще в XIX веке. Ее фактической основой всегда были данные наблюдений, осуществляемых Гидрометеорологической службой страны. Это ведомство многократно меняло свое официальное название. Сейчас это – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). В

систему Росгидромета входят наблюдательные сети метеорологических, аэрологических и актинометрических станций, на которых ведутся регулярные наблюдения, а также научно-исследовательские учреждения, в которых работают коллективы ученых, в том числе – климатологи.

Климатологи всегда занимались систематизацией данных гидрометеорологических наблюдений, их анализом и обобщением. Прежде всего, это касалось температуры воздуха в приповерхностном слое, суммы осадков, направления и скорости ветра, атмосферного давления. В результате была подготовлена серия Справочников по климату СССР, а также карты распределения температуры, осадков и других показателей (Климатический справочник..., 1932; Климатический атлас..., 1958, 1960, 1962).

По мере накопления данных гидрометеорологических наблюдений, расширения номенклатуры измеряемых переменных и постепенного образования обширной сети гидрометеорологических станций в стране возникли предпосылки для анализа и обобщения данных с помощью современных аналитических методов. Это, прежде всего, статистический анализ временных рядов и полей гидрометеорологических величин/характеристик, концепции типов погоды и атмосферной циркуляции, понимание земных сфер как элементов единой климатической системы Земли и климатообразующей роли солнечной радиации. В отношении оценки радиационных потоков в климатической системе Земли существенную роль сыграли данные отечественной сети актинометрических станций Росгидромета.

На протяжении значительной части XX века, условно – в его первую половину, климатология изучала земной климат как нечто неизменное, во всяком случае, со времени начала регулярных гидрометеорологических наблюдений. Исследовалась ненаправленная изменчивость полей аномалий гидрометеорологических переменных, их статистические свойства и связь с синоптическими процессами и атмосферной циркуляцией. Но когда данные наблюдений второй половины XX века стали указывать на то, что климат меняется, и были выявлены долговременные тренды, возникли важные вопросы:

– Каковы причины наблюдаемых изменений климата – естественные или антропогенные?

– Каковы долговременные тренды и насколько они устойчивы?

Ответы на эти вопросы потребовали разработки инновационных методологических подходов, кооперации научных коллективов страны и международного научного сотрудничества. Научные учреждения Гидрометеорологической службы страны всегда работали в тесном творческом контакте с институтами Российской академии наук (ранее – Академии наук СССР), с научными коллективами высших учебных заведений и с зарубежными коллегами.

Всемирно известный советский/российский ученый академик РАН Михаил Иванович Будыко работал в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова и в Государственном гидрологическом институте. Развивая модельные исследования своего американского коллеги профессора Сюкуро

Манабэ (США), он выполнил анализ влияния углекислого газа на среднюю температуру воздуха в приповерхностном слое и первым высказал идею повышения глобальной температуры воздуха вследствие влияния CO₂. Его прогноз впоследствии полностью оправдался.

М.И. Будыко совместно с доктором географических наук Ирэнной Ивановной Борзенковой была изучена роль вулканических выбросов в изменениях климата Земли за счет повышения содержания сульфатных аэрозолей в стратосфере. Это стало основой современных концепций SRM – Solar Radiation Management, «управления» солнечной радиацией.

Ученые из Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ Росгидромета), кандидаты географических наук Владимир Яковлевич Липенков, Нарцисс Иринархович Барков и Владимир Николаевич Петров совместно с академиком РАН Владимиром Михайловичем Котляковым в составе международного коллектива ученых исследовали ледовый керн со станции «Восток» в Антарктиде, что позволило восстановить температуру и содержание углекислого газа и метана в атмосфере за последние 420 000 лет и тем самым получить экспериментальное подтверждение орбитальной теории М. Миланковича о долгопериодных изменениях климата земного шара.

Академик РАН Юрий Антониевич Израэль, долгие годы возглавлявший Гидрометеорологическую службу страны, заложил концептуальные основы мониторинга состояния окружающей среды, включая мониторинг климата. Научное обоснование и внедрение системы мониторинга климата проведено под руководством профессора Георгия Вадимовича Груза (Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (сейчас – Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля). Данные этой системы позволили выявить долговременные тренды многих гидрометеорологических величин и наиболее яркие их аномалии. Эта информация представляется в ежегодных «Докладах об особенностях климата на территории Российской Федерации» (<http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/>) и других информационных продуктах.

С целью оперативного сбора, контроля и последующей обработки данных наблюдательной сети в 1971 году в системе Гидрометеорологической службы был создан Всесоюзный (ныне – Всероссийский) научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных (ВНИИГМИ-МЦД). У этого учреждения было несколько предшественников, организацию которых поддержал академик АН СССР Евгений Константинович Федоров, в те годы – руководитель Гидрометеорологической службы страны. Используя современные научные достижения и компьютерные технологии, ВНИИГМИ-МЦД аккумулирует данные гидрометеорологических наблюдений, осуществляет обмен данными с другими центрами Всемирной метеорологической организации (ВМО), создает специализированные базы данных, которые используются, в том числе и в климатических исследованиях. Профессор Георгий Вадимович Груза, который в то время работал во ВНИИГМИ-МЦД, сформулировал и обосновал основы «компью-

терной инфраструктуры» для метеорологических и климатических исследований, а также впервые выполнил ряд исследований структуры и изменчивости климата. Сейчас это направление во ВНИИГМИ-МЦД возглавляет доктор физико-математических наук Александр Маркович Стерин.

Таким образом, в ответах на сформулированные выше два вопроса решающую роль сыграли ученые, работавшие в научно-исследовательских институтах Гидрометеорологической службы страны. Однако возникали и последующие вопросы:

– Как будет меняться климат Земли при различных путях развития мировой экономики, что определит дальнейшие глобальные антропогенные выбросы парниковых газов (углекислого газа, метана, закиси азота) и других климатически активных веществ, и их концентрации в атмосфере, и, в значительной мере, будущий климат?

– Какие существуют научно обоснованные меры митигации, т.е. смягчения этих изменений?

– Каковы возможности адаптации, т.е. внедрения таких мер, которые, не влияя на причины, ослабляют негативные последствия изменения глобального климата и усиливают позитивные?

Ответы на эти вопросы уже невозможно было получать на основе традиционных климатологических подходов. Настало время разработки и внедрения в климатологию математических моделей земной системы. Это системы разностных уравнений, описывающие потоки массы и энергии в климатической системе Земли, в том числе учитывающие естественные и антропогенные потоки парниковых газов. Три таких модели, созданные в России и реализованные в виде компьютерных программ, сейчас широко используются: полная глобальная модель (Институт вычислительной математики РАН им. Г.И. Марчука), модель промежуточной сложности (Институт физики атмосферы РАН им. А.М. Обухова) и региональная климатическая модель (Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова). Коллективы ученых, разработавшие эти модели и их поддерживающие, работают в тесном творческом взаимодействии. Осуществляется и соответствующее международное сотрудничество. Именно эти модели применяются для расчетов будущих изменений глобального и регионального климата при различных сценариях антропогенного воздействия.

Эта информация весьма востребована, в том числе в связи с актуальными вопросами разработки климатической внешней политики нашей страны. Россия является одной из сторон основных международных климатических соглашений – Рамочной конвенции ООН об изменении климата (1992 г.), Киотского протокола и Парижского соглашения (Киотский протокол, 1997; Парижское соглашение, 2015). Росгидромет по поручению Правительства Российской Федерации выполняет важные функции в связи с участием страны в этих соглашениях.

Эксперты из научно-исследовательских институтов Росгидромета – Института глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ) и Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ГГО) –

осуществляют научную поддержку участия российских делегаций в международном переговорном процессе по климату.

ИГКЭ (директор – член-корреспондент РАН Анна Анатольевна Романовская) подготавливает проекты основных отчетных документов, которые представляются Россией в органы РКИК ООН. Это «Национальное сообщение Российской Федерации», представляемое в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола», «Двухгодичный доклад Российской Федерации, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» и «Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом». Эти отчетные документы весьма важны для анализа и планирования процесса митигации.

В связи с участием России в Парижском соглашении в стране были активизированы разработки стратегии и мер адаптации. Директор ГГО, доктор физико-математических наук Владимир Михайлович Катцов является членом Комитета по адаптации РКИК ООН. Эти вопросы весьма связаны с задачами прикладной климатологии, а именно с оценкой последствий изменения климата для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения. Оценки воздействий на эти системы, их подверженность и уязвимость, т.е. компоненты риска, были достаточно детально рассмотрены в трех «Оценочных докладах об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации». Эти доклады были подготовлены экспертами из институтов Росгидромета и РАН, а также ведущих ВУЗов страны под руководством ГГО и ИГКЭ (Первый и Второй доклады (Росгидромет, 2008, 2014)) и ГГО (Третий доклад (Росгидромет, 2022)).

Росгидромет сыграл центральную роль в подготовке основополагающего концептуального документа – «Климатической доктрины Российской Федерации» (Климатическая доктрина..., 2009). В нем четко изложено отношение нашей страны к проблеме современного изменения глобального климата и представлены основные наработки ответных стратегий. Основной вклад в разработку проектов Климатической доктрины – ее исходного и актуализированного текстов (2009 г. и 2023 г. соответственно) внес директор ГГО, доктор физико-математических наук Владимир Михайлович Катцов.

В системе Росгидромета действуют два климатических центра: Климатический центр Росгидромета (директор – доктор физико-математических наук В.М. Катцов) и Северо-Евразийский климатический центр ВМО (директор – доктор географических наук Валентина Моисеевна Хан).

Завершая введение, авторы хотели бы призвать читателя не ожидать найти в этой журнальной статье описание всех аспектов вклада ученых отечественной Гидрометеорологической службы в развитие и становление климатологии. Это может быть предметом отдельной монографии. Здесь же мы в трех разделах – «Фундаментальные исследования», «Мониторинг климатической системы» и «Прикладные исследования и информационные продукты» –

коснемся лишь некоторых тематических граней этого вопроса, а также предложим краткое заключение. Настоящая рукопись выражает взгляды авторов на вклады ученых, работавших и работающих в научно-исследовательских учреждениях Гидрометеорологической службы страны, в становление и развитие климатологии.

Фундаментальные исследования

Полуэмпирическая модель климатической системы Земли

В послевоенные годы группой исследователей (М.И. Будыко, К.Я. Кондратьев, Т.Г. Берлянд, М.И. Юдин и др.) была сформулирована новая парадигма климатологии как науки, опирающейся на физические законы, определяющие процессы переноса массы и энергии в атмосфере, включая перенос солнечной радиации. Это оказало существенное влияние на последующие достижения ученых из Гидрометеорологической службы в области исследования радиационных процессов и их роли в формировании климата (Берлянд, 1961; Русин, 1961; Кондратьев, 1965; Кондратьев и др., 1973; Ефимова, 1977; Пивоварова, 1977; Кароль, Пивоварова, 1978; Пивоварова, Стадник, 1988).

Примерно в это же время под руководством М.И. Будыко с использованием архивов климатических данных были начаты исследования радиационного и теплового баланса земной поверхности. В результате был создан Атлас теплового баланса земной поверхности (Атлас теплового баланса..., 1955, 1963). Эта работа позволила впервые установить ряд уникальных закономерностей глобальной климатической системы. В том числе было установлено, что перенос тепла воздушными потоками в атмосфере практически вдвое превышает перенос тепла морскими течениями.

Серия глобальных карт по радиационному и тепловому балансу земной поверхности стала основой для созданной М.И. Будыко полуэмпирической модели климатической системы Земли. На ее основе в 1972 году М.И. Будыко дал прогноз изменения глобальной температуры на 2000 год (Будыко, 1972, 1974), т.е. практически на 30-летний период. Этот прогноз в целом оправдался.

Позднее результаты по тепловому балансу были положены в основу фундаментальных исследований по водному балансу земного шара. Они сыграли решающую роль в создании теории влагооборота (Будыко, Дроздов, 1953; Дроздов, Григорьева, 1963, 1971; Мировой водный баланс..., 1974).

Полуэмпирическая модель климата, созданная М.И. Будыко, позволила впервые оценить чувствительность глобальной климатической системы к относительно небольшим (около 1% и менее) изменениям солнечной радиации, поступающей на верхнюю границу атмосферы. Оказалось, что такие воздействия способны вызывать вполне значимые изменения температуры воздуха у земной поверхности (Будыко, 1974).

Извержения вулканов и климат

На основе полуэмпирической модели климата впервые удалось количественно оценить изменение температуры воздуха у земной поверхности в разных широтных зонах в результате уменьшения приходящей солнечной радиации при вулканических извержениях различной интенсивности (Борзенкова, 1974, 1992). Данные измерений прямой солнечной радиации, выполненные еще в начале XX столетия (Савинов, 1913; Калитин, 1920), полностью подтвердили факт понижения температуры воздуха у земной поверхности после крупных вулканических извержений в 1902 году (Мон-Пеле, Суффриер, Санта-Мария) и в 1912 году (Катмай, Аляска) (Будыко, 1985).

Последующие исследования роли вулканических извержений в изменении современного климата послужили основой для разработки теории аэрозольных катастроф в истории Земли (Будыко и др., 1985). Впервые была установлена связь между катастрофическими извержениями вулканов и импактными событиями в прошлом и критическими эпохами в геологической истории Земли, во время которых происходили массовые вымирания живых организмов на континентах и в океане (Будыко и др., 1985; Вулканы..., 1986). В результате этих исследований был сделан важный вывод о том, что если когда-либо будет спровоцирован глобальный ядерный конфликт, то последствием этого конфликта может стать резкое увеличение концентрации аэрозольных частиц в верхних слоях атмосферы и, как следствие, понижение приземной температуры воздуха практически на всем земном шаре. Позднее в климатологической литературе этот сценарий получил название сценария «ядерной зимы» (Будыко и др., 1985).

Опираясь на результаты исследований роли вулканов в формировании земного климата, академик РАН Юрий Антониевич Израэль с группой сотрудников ИГКЭ, Научно-производственного объединения «Тайфун» Росгидромета, Центральной аэрологической обсерватории Росгидромета, Государственного гидрологического института (ГГИ), а также АО «Корпорация «Росхимзащита» и АО «Корпорация «Сплав» им. А.Н. Ганичева, исследовал методологические и технологические возможности сдерживания глобального потепления с помощью инъекции некоторых классов аэрозолей и их предшественников в верхнюю тропосферу и нижнюю стратосферу. Этому был посвящен ряд публикаций (Израэль, 2005; Израэль и др., 1989, 2001, 2007, 2009а,б, 2011). Итоги этих исследований были опубликованы в статьях (Израэль, Рябошапка, 2011, 2012) и в монографии (Теоретические и экспериментальные..., 2019), которая была подготовлена под руководством Ю.А. Израэля.

Неустойчивость полярного оледенения

С помощью полуэмпирической модели климата М.И. Будыко удалось обнаружить существование обратной положительной связи между площадью оледенения в высоких широтах и термическим режимом. Причина – различия в величинах альбедо морской водной поверхности и льда.

Позднее факт такого «полярного усиления» был подтвержден данными наблюдений. Для этих целей был использован атлас аномалий температуры воздуха Северного полушария за период с 1875 по 1975 гг. (Будыко, Винников, 1976). На основе этой концепции был впервые сформулирован вывод о неустойчивости морского полярного оледенения, которое может быть разрушено при сравнительно небольшом увеличении приходящей солнечной радиации в высоких широтах или в результате потепления, например вследствие увеличения концентрации парниковых газов в атмосфере (Будыко, 1974). Анализ современных данных об изменении площади арктического оледенения за последние 20 лет, полученный по спутниковым данным (Борзенкова, 2016; Борзенкова и др., 2021; Borzenkova et al., 2023), полностью согласуется с выводами, сформулированными еще в середине 60-х годов прошлого столетия (Зубенок, 1963).

Многочисленные расчеты, выполненные с помощью полуэмпирической модели М.И. Будыко, показали, что современный климат не является единственно возможным при существующих внешних климатообразующих факторах. Возможны и иные состояния, включая состояние «белой Земли». Изучение климатов прошлого и реконструкции климатов прошлых теплых эпох (например, в меловое время) показали реальность существования таких ситуаций в прошлом (Борзенкова, 1992; Zubakov, Borzenkova, 1990).

Палеоклиматические исследования

Исследование «отпечатков» прошлых климатических изменений на различных материальных носителях – мощный инструмент климатологических исследований. Прирост ледников, донных отложений, древесины деревьев возможно «считать» за (многие) тысячи лет и использовать для восстановления информации о прошлых состояниях климатической системы (Борзенкова, 2003; Зубаков, Борзенкова, 1983).

Наиболее яркий пример в этом ряду – исследование ледниковых кернов, прежде всего в высоких широтах, для восстановления прошлых значений температуры воздуха и концентраций парниковых газов – углекислого газа (CO_2) и метана (CH_4). Это позволяет получить информацию о концентрации этих газов за последние сотни тысяч лет. Такие исследования были выполнены в районе оз. Восток (ст. «Восток», Центральная Антарктида) совместно сотрудниками ААНИИ, Института географии РАН и иностранными коллегами (Jouzel et al., 1987, 1993, 1996; Барков и др., 2002; Липенков, Паррена, 2020; Верес и др., 2020; Екайкин и др., 2020). Получен важный вывод о том, что температура и концентрации парниковых газов (CO_2 и CH_4) на временных шкалах в десятки тысяч лет изменяются практически синхронно.

Наряду с анализом климатических колебаний в высоких широтах за последние сотни тысяч лет, в ААНИИ многие годы ведутся исследования изменений климата в высоких широтах Арктики за последние 10-12 тысяч лет (голоцен). Многолетние палеоклиматические исследования на островах и архипелагах Северного ледовитого океана (СЛО), лимнологические данные, полученные в результате бурения арктических озер на Таймыре, Ямале, на

побережье СЛО, позволили получить уникальный эмпирический материал, который имеет большую научную ценность для изучения причин и механизмов климатических колебаний в высоких широтах как в прошлом, так и в современную эпоху (Палеоклимат полярных..., 2019).

Антропогенное потепление климата

В докладе М.И. Будыко на Международном симпозиуме по динамической и физической климатологии (Ленинград, 1971 г.) было впервые высказано предположение о том, что в ближайшем будущем наблюдаемый в то время отрицательный тренд глобальной температуры может изменить знак на положительный, причем основной причиной изменений будут не естественные факторы, а антропогенное воздействие – сжигание ископаемого топлива (Будыко, 1974).

Это утверждение сначала не получило поддержки у научного сообщества климатологов. Однако весьма скоро завершившаяся в ГГО фундаментальная работа над атласом аномалий температуры воздуха для Северного полушария за период с 1881 по 1975 гг. подтвердила гипотезу М.И. Будыко. В результате анализа данных было обнаружено, что, начиная с конца 1960-х годов, тренд температуры воздуха во всех широтных зонах изменил знак на положительный, причем потепление в высоких широтах (севернее 60°С) примерно вдвое превосходило повышение температуры в низких и умеренных широтах (Будыко, Винников, 1976, 1983). Это стимулировало интенсивные исследования антропогенного глобального потепления, вызванного обогащением атмосферы парниковыми газами в ходе хозяйственной деятельности.

Для оценки антропогенного сигнала, связанного с ростом концентрации углекислого газа, была разработана нестационарная эмпирическая модель современных изменений климата (Винников, Гройсман, 1979, 1982). В этой модели учитывались термическая инерция, изменения альбедо, связанные с колебаниями прозрачности, увеличение концентрации углекислого газа и обратная связь между альбедо и температурой. С помощью этой модели удалось оценить изменения температуры, обусловленные ростом концентрации CO₂. В дальнейшем эта модель использовалась и для прогностических оценок климата.

В ГГО под руководством профессора Игоря Леонидовича Кароля был проведен обширный комплекс исследований, одним из результатов которого было построение радиационно-фотохимической модели атмосферы (Кароль, 1986). При ее построении использовались спектроскопические данные, имевшиеся к тому времени. Модель описывала процессы прохождения света через атмосферу, его поглощения и рассеяния, процессы переноса инфракрасного излучения в атмосфере, формирование термического режима.

Исследования антропогенного изменения климата получили новый импульс с начала XXI века в связи с широким признанием в мире самого этого явления. В 2004 году вышла монография члена-корреспондента РАН Сергея Михайловича Семенова «Парниковые газы и современный климат Земли» (Семенов, 2004). В ней была кратко суммирована современная на тот

момент информация по проблеме, а также представлена модель климатической системы минимальной сложности, которая оценивала вклад повышения концентраций CO_2 , CH_4 и N_2O в повышение доиндустриального уровня температуры. Оценка антропогенного сигнала изменения глобальной температуры была получена с помощью трехмерной модели климата в работе (Спорышев и др., 2008).

В ИГКЭ в работе (Семенов, Попов, 2011) представлена спектральная глобальная горизонтально-однородная математическая модель атмосферы, использовавшая современные спектроскопические данные, а также приведен алгоритм расчета реакции радиационно-равновесной температуры на изменение содержания парниковых газов в атмосфере. Выполненные с ее помощью оценки показали, что дальнейшее заданное увеличение концентраций парниковых газов – CO_2 , CH_4 и N_2O – вызывает все меньший отклик температуры приповерхностного слоя. Показано также, что приоритетность этих газов, оцененная по отклику температуры в приповерхностном слое на заданное возмущение их содержания в атмосфере (в объемном отношении смеси), различна для малых и больших возмущений. В работах (Семенов, 2015, 2022) была уточнена современная концепция парникового эффекта и его антропогенного усиления, используемая Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) (IPCC, 2021).

Еще в конце 1930-х годов блестящим достижением отечественной школы динамической метеорологии стала разработанная профессором Екатериной Никитичной Блиновой полная теоретическая модель общей циркуляции атмосферы, учитывающая влияние климатических центров действия атмосферы в Северном полушарии (Блинова, 1943). С тех пор математическое моделирование в метеорологии и климатологии существенно развилось. Мощный импульс этому процессу придало внедрение и широкое использование вычислительной техники. Ярким достижением ученых Гидрометеорологической службы является создание коллективом ученых ГГО – доктор физико-математических наук Валентин Петрович Мелешко, кандидат физико-математических наук Игорь Маркович Школьник, кандидат физико-математических наук Петр Владимирович Спорышев и другие – динамической региональной климатической модели ГГО (Катцов, Мелешко, 2004; Спорышев и др., 2008; Катцов и др., 2017а). С ее помощью выполняются расчеты изменений климата и их последствий для различных регионов России. Результаты моделирования широко используются в НИУ Росгидромета и вообще в отечественном научном сообществе, в том числе при климатическом обслуживании отраслей экономики и регионов страны (Катцов и др., 2017а,б; Хлебникова и др., 2014, 2022).

Арктическая климатология

Россия обладает значительными пространствами в Арктике и Субарктике – на континенте и в Северном Ледовитом океане (СЛО). Исследованиям этого региона, в том числе его климата, всегда уделялось большое внимание. Знаменательной точкой активизации этих исследований стал первый Между-

народный Полярный год (1882-1883 гг.), во время которого были открыты первые метеорологические станции в Арктике. Массовая организация сети метеорологических станций в российской Арктике происходила в 1932-1934 годах и во время Второго Международного Полярного года. Со временем число станций значительно увеличилось и к 1951 году составляло уже 81 станцию. С тех пор обширные материалы гидрометеорологических наблюдений начали поступать с сети береговых и островных арктических станций. Во время проведения Международного Геофизического года (1957-1958 гг.) исследования распространились и на центральную область СЛО.

Анализ метеорологических и радиационных данных в Арктике представлен в ряде фундаментальных монографий, вышедших в середине 70-х и в начале 80-х годов прошлого столетия. Метеорологический режим Арктики представлен в монографии З.М. Прик (Прик, 1965), а радиационный режим проанализирован в монографиях М.С. Маршуновой и Н.Т. Черниговского (Черниговский, Маршунова, 1965; Marshunova, Chernigovskii, 1978). Эти работы выдвинули авторов в лидеры полярной климатологии, книги были переведены и использовались многими зарубежными исследователями. Анализ многолетней изменчивости солнечной радиации в Северном полярном регионе выполнялся многие годы сотрудниками ААНИИ под руководством В.Ф. Радионова (Русина, Радионов, 2002; Радионов и др., 2007, 2017).

Поток гидрометеорологических данных с арктических станций стал значительным как по пространственному охвату, так и по видам наблюдений (поступали, в том числе, и актинометрические данные). Эта информация в совокупности с развитой системой концептуальных представлений позволила изучить процессы переноса тепла в Арктический бассейн и внутри него. Этим направлением в ААНИИ руководит профессор Генрих Васильевич Алексеев (Алексеев и др., 2000, 2015, 2024).

Систематические гидрометеорологические наблюдения в Арктике и в дальнейшем вносили существенный вклад в понимание механизмов формирования климата Земли. Так, проанализированные К.И. Чуканиным (Чуканин, 1969) материалы аэрологических наблюдений на дрейфующих станциях «СП 6-8» подтвердили сделанный ранее Б.Л. Дзердзеевским (Дзердзеевский, 1943, 1945) вывод о том, что атмосферные процессы, определяющие погоду в центральной Арктике, взаимодействуют с циркуляцией атмосферы на всем земном шаре.

Изменчивость и изменение климата

В начале 1970-х годов под руководством Л.С. Гандина и Р.Л. Кагана был разработан комплекс методов объективного анализа, оптимального дифференцирования и осреднения метеорологических полей (Гандин, Каган, 1976). Эти исследования получили свое развитие в работах Р.Л. Кагана и Е.И. Хлебниковой (Хлебникова, Салль, 1989), и это было весьма востребовано впоследствии в задачах климатологического анализа и обобщения данных гидрометеорологических наблюдений. Со временем эти данные с обширных сетей

гидрометеорологических наблюдений все более указывали на то, что климат не является стационарным, что он меняется.

В 1976 году Всемирная метеорологическая организация (ВМО) выпустила первое заявление об угрозе глобальному климату. В 1979 году была организована первая Всемирная конференция по климату, где обсуждался этот вопрос. Климатология оказалась перед серьезным вызовом. Возникла необходимость пересмотреть базовые понятия климатологии, начиная с самого понятия «климат», и его свойств – «изменчивости» и «изменений».

Одна из первых публикаций этого направления – монография (Груза, Ранькова, 1980), в которой профессор Георгий Вадимович Груза и доктор физико-математических наук Эсфирь Яковлевна Ранькова, опираясь на работы члена-корреспондента АН СССР и академика РАН Андрея Сергеевича Мони́на (Монин, 1969), сформулировали уточненные определения основных понятий современной климатологии – «климат», «изменчивость» и «изменение» –, пригодные для использования в условиях меняющегося климата.

«Климат» понимается как набор состояний погоды в заданной области географического пространства и в заданный интервал времени. Для характеристики климата используется статистическое описание в терминах средних значений, экстремумов, показателей изменчивости соответствующих величин и частот явлений в выбранной области пространства и в выбранный интервал времени. Такие статистики называются «климатическими переменными».

Введенное определение климата позволяет использовать в качестве климатических переменных любые статистические характеристики любых параметров состояния климатической системы. При этом колебания с характерными временами от 3 недель до нескольких десятилетий принимаются за «климатическую изменчивость», а с характерными временами больше нескольких десятилетий – за «изменения климата».

В той же работе (Груза, Ранькова, 1980) проанализированы проблемы, связанные с оцениванием, идентификацией и анализом структуры реального наблюдаемого климата и климатической изменчивости. Приведены новые эмпирические данные о важнейших характеристиках температурного режима Северного полушария, их географическом распределении, годовом ходе и вековых изменениях.

Обновленная климатическая характеристика территории России, полученная по новейшим на момент публикации данным стационарных наблюдений (1901-2010 гг.), с использованием усовершенствованной методологии, представлена в монографии (Груза, Ранькова, 2012). В ней обобщены результаты исследований авторов по проблеме современных изменений и изменчивости климата, описана методика и анализируется климат России (приземная температура). Предложены и научно обоснованы новые понятия – «динамическая норма» и «динамическая аномалия», показана их эффективность в анализе данных мониторинга климата. Получены принципиально новые количественные данные о факторах климатической изменчивости основных климатических переменных (атмосферное давление, температура воздуха и осадки) и связях между ними.

Разработан физико-статистический метод прогноза ожидаемых изменений климата на ближайшие десятилетия с использованием следующих факторов: концентрация CO_2 и квази-60-летнее колебание. Полученные оценки показали, что через 30 лет, а именно от 1981-2010 к 2011-2040 гг., можно ожидать повышения глобальной температуры на $\sim 0.58 \pm 0.17 \text{ C}^\circ$. При этом повышение $\sim 0.72 \pm 0.11 \text{ C}^\circ$ произойдет за счет роста концентрации CO_2 , а снижение на $\sim 0.14 \pm 0.06 \text{ C}^\circ$ – за счет обнаруженного 60-летнего колебания. По отношению к доиндустриальному 30-летию 1871-1900 гг. это потепление составит в среднем $\sim 1.14 \pm 0.17 \text{ C}^\circ$. Эти оценки совершенно созвучны тем, что приведены во вкладе Рабочей группы I в Шестой оценочный доклад МГЭИК (IPCC, 2021).

Развитие климатологии как прогностической науки

Исторически для прогнозирования климата использовались разные методы: синоптические (основанные на типизации погоды), статистические и численные, использующие динамические модели атмосферы, а впоследствии – модели климатической системы. Так, успешно развивались прогностические методы долгосрочных и сверхдолгосрочных прогнозов, основанные на подходах статистической климатологии. Например, широко использовался метод разложения полей метеорологических элементов на естественные составляющие (Мещерская, Яковлева, 1965).

Со временем становилось ясно, что основной метод получения информации о будущем климате – численные динамические модели климатической системы и земной системы в целом.

Уже в 1960-1970-е годы работы по развитию численных методов прогнозирования климата проводились в ГГО. Они были направлены не только на углубление физического содержания расчетных схем. Одновременно велись исследования по расширению класса прогнозируемых метеорологических элементов. В настоящее время в ГГО создана, успешно эксплуатируется и развивается региональная климатическая модель (Спорышев и др., 2008). Результаты моделирования широко используются и в теоретических, и в прикладных работах.

В последнее время инновационные подходы к методологии климатических прогнозов предложены в Гидрометеорологическом научно-исследовательском центре Российской Федерации (ГМЦ), а именно в действующем при нем Северо-Евразийском климатическом центре (ГМЦ/СЕАКЦ) Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Так, например, новая версия модели ПЛАВ072L96 (Толстых и др., 2015; Фадеев и др., 2021), предназначенная для выпуска сезонных метеорологических прогнозов, характеризуется повышенным разрешением: 0.9×0.72 градуса по долготе и широте соответственно, 96 уровней по вертикали (с верхним уровнем около 0.04 гПа). В нее добавлено описание сопротивления неорографических гравитационных волн и динамики стратосферы. Модификации также касаются улучшения параметризации конвекции, пограничного слоя, осадков, облачности, многослойной почвы, а также блоков, связанных с процессами на поверхности и в растительности.

В результате сотрудничества ГМЦ и ГГО в прогностическую продукцию ГМЦ/СЕАКЦ входят результаты спектральной модели атмосферы T63L25 ГГО и их комплекс (Мирвис, Мелешко, 2008).

Новое направление связано с внедрением климатической модели INM-CM5 ИВМ РАН (Володин и др., 2017; Volodin, Gritsun, 2020), включающей блоки динамики атмосферы, океана, морского льда и аэрозолей в практическую деятельность ГМЦ/СЕАКЦ, для улучшения качества сезонных прогнозов и расширения временного диапазона прогнозирования до внутринекадного и межгодового уровней. Важным направлением прогресса стала разработка и улучшение климатических моделей, которые адекватным образом стали отражать взаимодействие атмосферы с океаном, сушей и криосферой, учитывая важные климатические процессы и обратные связи.

В рамках реализации задач важнейшего проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ» на базе Гидрометцентра России и ИВМ РАН разработан метод прогнозирования состояния климатической системы с горизонтом до пяти лет на основе климатической модели ИВМ РАН INM-CM5 и системы подготовки данных Гидрометцентра России (Хан и др., 2023).

Мониторинг климатической системы

Система мониторинга климата

В начале 1970-х годов руководителем Гидрометеорологической службы Ю.А. Израэлем была сформулирована идея создания в стране системы мониторинга состояния природной среды и климата. Академик РАН Ю.А. Израэль неоднократно обращался к вопросам научного обоснования и организации мониторинга в рамках комплексного глобального подхода (Израэль 1974, 1984, 1990; Израэль и др., 1978). По мнению Ю.А. Израэля, климатический блок мониторинга должен включать изучение климатообразующих факторов, наблюдение за значениями гидрометеорологических переменных и слежение за состоянием климатической системы в целом. В статье «Философия мониторинга», написанной в связи с созданием Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), Ю.А. Израэль обращает особое внимание на роль антропогенной составляющей изменений (Израэль, 1990). Он впоследствии подчеркивал, что мониторинг климата нужно понимать как «систему наблюдений, позволяющую выделить изменения состояния биосферы под влиянием человеческой деятельности».

Научное обоснование системы мониторинга климата в СССР, ее проектирование и развитие было поручено профессору Г.В. Груза и его исследовательской группе. Его сотрудники работали в различных научно-исследовательских учреждениях – во ВНИИГМИ-МЦД (г. Обнинск) и его Московском отделении, в Гидрометеорологическом центре Российской Федерации (группа доктора физико-математических наук Эсфири Яковлевны Раньковой), в Лаборатории мониторинга природной среды и климата Госком-

гидромета и АН СССР (ЛИАМ), на основе которой впоследствии был образован Институт глобального климата и экологии Росгидромета и РАН (сейчас – Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля (ИГКЭ)). Принципы мониторинга климата сформулированы в работах Ю.А. Израэля и Г.В. Груза с соавторами (Израэль, 1974, 1984, 1990, 2005; Израэль др., 1978, 1989, 2001; Израэль, Сиротенко, 2003; Груза, Ранькова, 1989; Груза и др., 2017, 2021).

В настоящее время мониторинг климата в России осуществляется как распределенная система, в которой участвуют различные научно-исследовательские учреждения Росгидромета (ИГКЭ и Гидрометцентр России в Москве, ГГО, ААНИИ и ГТИ в Санкт-Петербурге, ВНИИГМИ-МЦД, ВНИИ-ИСХМ, НПО «Тайфун» в Обнинске, ВГИ в Нальчике и ЦАО в Долгопрудном). Систематизация, анализ и обобщение данных мониторинга в этих учреждениях Гидрометеорологической службы проводятся по официально утвержденным методикам. Этими учреждениями выпускаются бюллетени и обзоры данных мониторинга в рамках их компетенции.

Реализация идей Ю.А. Израэля и Г.В. Груза осуществлялась в различных научно-исследовательских учреждениях Росгидромета. Так, в ИГКЭ в основном формировалась и поддерживается система мониторинга приземного климата, в ГГО – радиационных факторов и парниковых газов, во ВНИИГМИ-МЦД – климата свободной атмосферы, в ААНИИ – климата полярных зон.

В настоящее время система мониторинга климата охватывает широкий спектр переменных состояния окружающей среды. Это и собственно метеорологические величины, и климатозависимые переменные, характеризующие состояние природных и хозяйственных систем, включая наземные экосистемы, океан и криосферу, содержание в атмосфере и межсредовые потоки парниковых газов и иных климатически активных веществ.

Приземный климат и климат свободной атмосферы

Одной из важнейших задач мониторинга климата является получение надежных оценок изменений, происходящих в климатической системе. Первоначальная версия мониторинга, основанная на массиве оцифрованных субъективных анализов метеорологических полей, не могла дать таких надежных оценок, поскольку используемые исторические временные ряды были изначально неоднородны.

В ИГКЭ Г.В. Груза была поставлена и решена задача развития новой системы, основанной на данных станционных наблюдений. Совместными усилиями сотрудников ИГКЭ и ВНИИГМИ-МЦД была создана база данных средней месячной температуры воздуха и месячных сумм атмосферных осадков на 1383 станциях земного шара. Эта база, поддерживаемая и развиваемая в последующие годы, стала основой для дальнейшего развития мониторинга климата и подготовки многочисленных информационно-аналитических продуктов (Бардин и др., 2015, 2020).

В конце 1990-х годов во ВНИИГМИ-МЦД А.М. Стериним с сотрудниками были начаты работы по анализу структуры и изменчивости климатиче-

ских полей температуры в свободной атмосфере. С использованием различных статистических методов, в том числе квантильной регрессии (аппарат дает развернутую картину трендов по всему диапазону квантилей), были получены оценки климатических трендов температуры. Было выполнено их сопоставление с независимыми данными других научных центров, полученными с использованием радиозондовых и спутниковых наблюдений (Стерин, 1999, 2004а, 2004б; Лавров, Стерин, 2017; Стерин, Лавров, 2022).

В настоящее время на основе регулярно пополняемых рядов наблюдений, во ВНИИГМИ-МЦД осуществляется климатический мониторинг свободной атмосферы, результаты которого ежегодно включаются в публикуемый Росгидрометом «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации» (<http://www.igce.ru/climatechange/reports>) в качестве двух отдельных разделов: мониторинг температуры свободной атмосферы и мониторинг ветра над территорией Российской Федерации.

Данные системы мониторинга климата предназначены для использования в научных исследованиях, при оценке климатообусловленных рисков для природных и хозяйственных систем, для здоровья населения и при разработке климатической политики – программы действий – в направлении митигации и адаптации. Поэтому эти данные должны быть доступны пользователям, в том числе в виде обычных или электронных публикаций. Это предусмотрено разработчиками системы мониторинга климата.

Первым продуктом анализа созданного архива стал бюллетень «Обзор состояния и тенденций изменения климата России», выходявший вначале один раз в год (1-й выпуск – в 2005 году), а впоследствии в виде 4-х сезонных бюллетеней и одного годового обобщающего выпуска. Бюллетень содержит сведения о текущей изменчивости приземного климата (температура воздуха, атмосферные осадки).

С 2009 года начал выходить бюллетень Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ), основной задачей которого стал обзор состояния и изменения климата на территории Содружества Независимых Государств (СНГ). Оба бюллетеня готовятся сотрудниками ИГКЭ по единой методике (Методика, 2012).

Позднее был запущен выпуск бюллетеня под названием «Бюллетень мониторинга изменений климата Земного шара. Приземная температура» (Груза и др., 2017), базирующийся на анализе данных наблюдений 3288 наземных станций глобальной сети ВМО.

Ежегодно (с 2005 года) результаты мониторинга обобщаются в издании «Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации». В 2015 году он был утвержден как официальное издание Росгидромета и с тех пор выходит как в электронном, так и в бумажном виде, и доступен на сайте ИГКЭ <http://www.igce.ru/climatechange/reports>.

Доклад содержит данные о наблюдаемых на территории России аномалиях (отклонениях от среднего климатического значения) основных гидрометеорологических переменных (температуры воздуха, осадков) и тенденциях изменения (трендах, ед./10 лет) комплекса климатических пара-

метров. Их перечень постоянно расширяется. В последнем выпуске за 2023 год представлено 19 разделов, характеризующих температурный (в том числе для тропосферы и нижней стратосферы) и гидрологический режимы, режим ветра у поверхности и в свободной атмосфере, состояние криосферы, снежный покров, даты замерзания и вскрытия рек, гололедно-изморозевые отложения, концентрацию парниковых газов и атмосферных аэрозолей, содержание озона в тропосфере, повторяемость опасных природных явлений, агроклиматические условия, солнечную радиацию и продолжительность солнечного сияния.

Регулярный анализ текущих климатических аномалий и изменений климата различных пространственно-временных масштабов стал основой ряда важных работ по исследованию климатической изменчивости и межкомпонентных связей в климатической системе, в том числе во всех трех оценочных докладах Росгидромета (Росгидромет 2008, 2014, 2022).

В настоящее время ВМО рассматривает мониторинг климата как элемент климатического обслуживания. В развиваемой Глобальной рамочной основе климатического обслуживания (ГРОКО) он составляет базовый уровень.

Актинометрические наблюдения

В XX веке Россия долгое время была ведущей страной в мире по организации актинометрических наблюдений. Вначале это касалось солнечной радиации, а позднее и других составляющих радиационного баланса.

На всей обширной территории Советского Союза наблюдения проводились с использованием единых приборов и в единые сроки. Первые актинометрические наблюдения были организованы в дореволюционной России на территории Павловской магнитно-метеорологической обсерватории (под Санкт-Петербургом) еще в 1892 году.

После Великой Отечественной войны (ВОВ) актинометрические наблюдения были продолжены на экспериментальной базе ГГО в поселке Воейково (Ленинградская область). Модификация актинометрических приборов и поверка приборов обеспечивались группой сотрудников под руководством Ю.Д. Янишевского (Янишевский, 1957). Для измерения рассеянной и суммарной радиации большое значение имело внедрение в практику наблюдений пиранометра, разработанного Ю.Д. Янишевским еще в довоенное время в 1934 году.

К середине 1960-х годов актинометрическая сеть Гидрометеорологической службы состояла уже из 158 станций. Первая карта распределения годовых величин суммарной солнечной радиации на европейской части Советского Союза была построена Н.Н. Калитиным еще в 1920-х годах прошлого столетия (Калитин, 1920). В дальнейшем результаты картирования составляющих радиационного баланса представлялись в работах Т.Г. Берлянд с сотрудниками (Берлянд, 1961; Пивоварова, 1977).

В середине 1970-х годов в ГГО под руководством Т.Г. Берлянд была организована группа по сбору и анализу актинометрических данных и обмену акти-

нометрической информацией с зарубежными странами. Позднее (1984 год) эта группа была преобразована в Центр радиационных исследований, который работает в ГГО и в настоящее время под руководством А.В. Цветкова.

Аэрологические наблюдения

Первые работы по зондированию свободной атмосферы с целью получения вертикальных профилей метеорологических элементов (прежде всего, температуры воздуха и ветра) были начаты в 1896 году на территории Павловской магнитно-метеорологической обсерватории (под Санкт-Петербургом). Измерения проводились с помощью приборов, которые поднимали на воздушных змеях и привязных аэростатах. Первый в мире радиозонд, созданный П.А. Молчановым, был запущен 30 января 1930 года из аэрологической обсерватории ГГО. В январе 1931 года один из зондов Молчанова в поселке Полярное (под Мурманском) достиг высоты 10.5 км, зафиксировав высоту тропопаузы на уровне 9.7 км. Так зонд впервые проник в стратосферу. В 1934 году появились первые станции радиозондирования, а к 1940 году их число достигло 40.

В 1941 году работы по зондированию атмосферы были переведены в Москву, где была создана Центральная аэрологическая обсерватория (ЦАО) на базе Аэрологической обсерватории в Павловске и Центрального института прогнозов (ЦИПа) в Москве. Первым директором созданного подразделения был назначен Г.И. Голышев. В послевоенные годы сеть стационарных аэрологических станций значительно увеличилась.

В 1948/49 гг. были организованы первые аэрологические наблюдения на дрейфующем льду в Арктике, а начиная с 1950-х годов, постоянные наблюдения проводились на дрейфующих научно-исследовательских станциях «Северный Полюс» (СП). За более чем 40-летний период наблюдений на советских дрейфующих станциях СП были выполнены не менее 38 000 радиозондирований атмосферы.

Большой массив аэрологических данных был собран в 332 полетах «Летающей метеорологической обсерватории» (ЛМО) в 1948-1960 гг. Бортовая аппаратура ЛМО была разработана и изготовлена в Арктическом институте под руководством М.И. Гольцмана. Исследования на ЛМО на начальном этапе возглавлял И.М. Долгин, а впоследствии – А.И. Воскресенский.

Данные регулярных аэрологических наблюдений на стационарных и дрейфующих станциях за весь период наблюдений до 1960 года, дополненные данными наблюдений на американских дрейфующих станциях (1957-1959 гг.), были обобщены в монографии И.М. Долгина «Климат свободной атмосферы Советской Арктики» (Долгин, 1968). Через несколько лет была издана коллективная монография «Климат свободной атмосферы зарубежной Арктики». Информация, представленная в этих фундаментальных публикациях, не утратила своего значения и в настоящее время.

Современная аэрологическая сеть Российской Федерации состоит из 135 станций зондирования атмосферы. Именно эти данные создали основу для исследования климата свободной атмосферы и позволили оценить измен-

чивость метеорологических элементов на разных уровнях, их статистические характеристики и тренды.

Позднее для зондирования атмосферы широко применялись метеорологические ракеты. Накопленный материал как радиозондовых, так и ракетных данных, позволил ЦАО внести весомый вклад в создание Стандартной атмосферы, которая является важным достижением в области статистических характеристик климата свободной атмосферы.

Климат Северной полярной области

Развитие мониторинга климата высоких широт началось с 1980-х годов, когда метеорологические исследования в полярных районах были в значительной степени переориентированы на мониторинг климата и состояния природной среды в этих районах. Особое внимание уделялось анализу климатической информации с целью выявления изменчивости климатических параметров различных временных масштабов, оценке влияния различных климатообразующих факторов. В частности, выполнялся анализ результатов наблюдений составляющих радиационного режима атмосферы применительно к задачам мониторинга климата, проводились натурные измерения уровней содержания аэрозоля и климатически активных малых газовых составляющих атмосферы в полярных районах и над акваторией Мирового океана. Эти работы проводились и продолжают в ААНИИ в сотрудничестве с Институтом физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, ГГО, ЦАО, ИГКЭ, Институтом экспериментальной метеорологии (ИЭМ) и рядом других научно-исследовательских учреждений.

В 1977 году впервые в мире были выполнены измерения микрофизических характеристик аэрозоля и спектрального аэрозольного ослабления солнечной радиации в Арктическом бассейне на дрейфующей станции СП-22 (Сакунов и др., 1981). Затем работы были продолжены в 1987 г. на станции СП-28.

В 1979-1986 гг. наблюдения за аэрозольной составляющей атмосферы регулярно проводились на архипелаге Северная Земля (Купол Вавилова). Совместный анализ результатов этих наблюдений и данных метеорологических и аэрологических измерений на сети арктических станций позволил оценить внутригодовую и многолетнюю изменчивость уровней аэрозольного загрязнения арктической атмосферы, а также вклад антропогенной составляющей в общее оптическое замутнение атмосферы при «арктической дымке» (повышенном уровне аэрозольного загрязнения атмосферы в зимне-весенний период (Русина, Радионов, 2002)).

Климатический мониторинг в Северной полярной области (СПО), проводимый с начала 2000-х годов, показал, что за период с 1936 года по настоящее время на территории СПО наблюдается статистически значимый (на 5%-м уровне) тренд потепления и на его фоне – рост годовых сумм твердых осадков, уменьшение жидких осадков и сокращение сроков залегания устойчивого снежного покрова (12 дней), особенно заметные на территории севернее 70-й параллели.

Первые советские экспедиционные исследования в этом районе были начаты еще в 1930-е годы и продолжались вплоть до 1939 года включительно. Цель этих исследований заключалась в оценке влияния водообмена между Северной Атлантикой и Арктическим бассейном на состояние арктического льда и на климатические условия вдоль трассы Северного морского пути (Тимофеев, 1944; Океанография и морской лед, 2011).

В 1976 году в СПО был проведен крупный натурный эксперимент. В результате были получены обширные данные о состоянии атмосферы и океана. Оценки переносов тепла в океане и атмосфере подтвердили определяющую роль притока тепла в этот район для формирования климатических и погодных условий в Арктике и на европейской части СССР.

В «Атласе морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне», подготовленном И.П. Романовым (Романов, 1993), обобщены данные измерений толщины льда и снега на льду, выполненных во время посадок на дрейфующий лед во время высокоширотных маршрутов атомных ледоколов. Возможность использования этих данных для мониторинга толщины морских льдов показана в работе (Фролов и др., 2009).

Данные, собранные за десятилетия наблюдений, позволили проследить развитие процесса потепления в Арктике и в морской ее части после 1990-х годов и установить аналогию современного потепления в высоких широтах с потеплением в 1930-1940 гг. Глобальное потепление, начавшееся в конце 1970-х годов в Арктике, проявилось уже в середине 1990-х годов, достигнув максимального развития в десятилетие 2011-2020 гг. (Алексеев и др., 2024). Основной причиной современного потепления в Арктике явилось увеличение притока тепла из низких широт (Alekseev et al., 2019, 2021), на возможность чего указывал еще В.Ю. Визе, обсуждая причины потепления 1930-1940-х годов (Визе, 1937).

Ключевыми объектами современного мониторинга арктической климатической системы являются многолетняя мерзлота, морские льды и атмосфера. Для выполнения этих исследований Росгидромет модернизирует сеть климатического мониторинга и включает в систему наблюдений на метеорологических станциях наблюдения за состоянием криолитозоны. Для осуществления круглогодичного мониторинга СЛО в наименее доступной из-за льдов его центральной части построена и работает с 2022 года ледостойкая самодвижущаяся платформа «Северный полюс» (ЛСП «Северный Полюс»), оснащенная комплексом приборов для инструментальных исследований океана, морских льдов, атмосферы и арктической биоты.

Развивается и система климатического обслуживания в Арктике. При содействии ВМО Росгидрометом организована сеть из трех арктических региональных климатических центров (АркРКЦ): в АНИИ с участием ГГО, в Гидрометцентре России и во ВНИИГМИ-МЦД. Задачами АркРКЦ является создание и пополнение портала данных, сезонное прогнозирование состояния морского льда, выпуск панарктического климатического бюллетеня, координация работ с программой ВМО «Глобальная служба криосферы».

Климат Южной полярной области

Систематическое изучение Южной полярной области (ЮПО) началось только в середине 1950-х годов. Комплексная антарктическая экспедиция (КАЭ) Академии наук СССР была организована во время проведения Международного геофизического года (МГГ) в 1957-1958 гг.

Во время советских антарктических экспедиций (САЭ) были организованы наблюдения на станциях Пионерская, Оазис, Мирный, Комсомольская, Восток, Советская, Полюс Недоступности, Лазарев, Новолазаревская, Беллинсгаузен. В 1970-1990-х годах были созданы новые станции: Ленинградская (1971 г.), Русская (1980 г.) и Прогресс (1988 г.). Важным результатом этого этапа исследований стала публикация монографии Н.П. Русина «Метеорологический и радиационный режим Антарктиды» в 1961 году и в 1966-1969 гг. двухтомного атласа Антарктики, удостоенного Государственной премии СССР.

При исследованиях современного климата Антарктики получены оценки пространственно-временной изменчивости термического режима атмосферы в приземном слое и в свободной атмосфере (включая нижнюю стратосферу) за весь период инструментальных наблюдений. Анализ данных о среднегодовой температуре приземного воздуха показал, что на большинстве станций тренды положительны. Из 15 длиннорядных станций только на четырех тренд температуры – отрицательный, притом большая часть этих трендов не является статистически значимой (Клепиков и др., 2015). Показано, что за последние десятилетия наиболее значимое потепление отмечается в районе Антарктического полуострова как в приземном слое, так и в тропосфере. В этом районе также наблюдается уменьшение амплитуды годового хода температуры воздуха (в основном за счет роста минимальных значений) и увеличение амплитуды суточного хода.

Этот феномен регионального потепления, являющегося крупнейшим в Южном полушарии, проявляется не только в повышении приземной температуры воздуха, но и в увеличении мощности и числа облачных слоев, уменьшении высоты нижней границы облачности и увеличении водности облаков. В районе Антарктического полуострова отмечается также таяние ледников, деградация многолетней мерзлоты и сокращение морского оледенения, наиболее заметное к западу от полуострова.

Процесс потепления уже оказал влияние на морские и наземные экосистемы, в которых начали появляться более теплолюбивые виды (Клепиков и др., 2015; Лагун и др., 2017; Данилов, Клепиков, 2020; Клепиков, Данилов, 2021; Клепиков, 2023).

Мониторинг свободной атмосферы показал, что над Антарктидой в тропосфере зафиксировано наибольшее на планете региональное потепление, а в нижней стратосфере – хорошо выраженное похолодание.

Актинометрические измерения показали, что радиационный климат Антарктиды устойчив, по крайней мере в течение последних 50 лет. Интегральная прозрачность атмосферы существенно уменьшалась лишь после сильных вулканических извержений, причем длительность периодов с повы-

шенными уровнями замутнения атмосферы составляла от 1.5 до 2 лет. При этом, даже после таких достаточно мощных извержений, как Агунг в 1963 г., Эль-Чичон в 1983 г. и Пинатубо и Хадсон в 1991 г., не отмечалось значительных изменений суммарной радиации. При отсутствии вулканических извержений, за весь период наблюдений в Антарктиде (обсерватория Мирный) прослеживается лишь слабая тенденция снижения как интегральной, так и спектральной аэрозольной оптической толщины атмосферы, несколько более выраженная для последней. Это свидетельствует о том, что Антарктида до сих пор остается практически не подверженной влиянию антропогенного аэрозольного загрязнения (Радионов и др., 2020).

Во время антарктических рейсов определено положение и некоторые характеристики фронтов и границ Антарктического циркумполярного течения (АЦТ) и примыкающих циркуляционных систем (субполярного круговорота Уэдделла и течения Агульяс). Получены оценки временной изменчивости положения основных фронтов и границ АЦТ. Установлено, что более устойчиво положение Полярного фронта и Южного фронта АЦТ, а менее устойчиво – субтропического и субантарктического.

В исследованиях климата последнего тысячелетия наиболее важный результат связан с построением сводной региональной климатической кривой для района станции Восток (Центральная Антарктида) на основе анализа современных изменений температуры воздуха и скорости накопления снега, полученных инструментальным путем, и их сопоставления с палеоклиматическими реконструкциями за последние 250 лет.

С 1992 по 2017 гг. Российской антарктической экспедицией (РАЭ) руководил Валерий Владимирович Лукин, с 2017 по 2023 г. – кандидат физико-математических наук Александр Вячеславович Клепиков. В настоящее время РАЭ возглавляет Павел Иванович Лунев. Работы осуществляются на пяти антарктических станциях (Восток, Беллинсгаузен, Новолазаревская, Мирный, Прогресс) и пяти сезонных полевых базах (Дружная-4, Молодежная, Ленинградская, Оазис Бангера, Русская).

Тропическая климатология. Эксперименты (ТРОПЭКС-72, ТРОПЭКС-74 (АТЭП), ПГЭП)

Знания о климате тропических широт долгое время оставались относительно ограниченными. У метеорологов и климатологов представления о том, что происходит с климатом в тропических широтах, были основаны в значительной степени на материалах монографии Г. Рия (1963), переведенной на русский язык в начале 1960-х годов. В конце 1950-х годов профессор Сергей Петрович Хромов во время плавания в Антарктиду (Советская Антарктическая экспедиция 1956-1957 гг.), дважды пересекая экватор, даже не имея специального оборудования для аэрологического зондирования, сумел четко выделить и охарактеризовать область пассатов и внутритропическую зону конвергенции (Хромов, 1959).

Осознавая недостаток информации в области тропической метеорологии и климатологии, Объединенный организационный комитет ВМО и меж-

дународного Геодезического и геофизического союза (Joint Organizing Committee), руководивший Программой исследования глобальных атмосферных процессов (ПИГАП (GARP)), принял решение о необходимости проведения Атлантического тропического эксперимента ПИГАП (АТЭП); англоязычная аббревиатура – GATE (GARP Atlantic Tropical Experiment). Основной целью было совершенствование прогнозирования погоды. Помимо этого, результаты этих экспериментов дали важнейший материал для понимания общих климатических закономерностей тропической зоны.

В осуществлении АТЭП участвовали более 20 стран (СССР, США, Великобритания, Япония, Франция, Канада и др.). Главную роль сыграла специальная сеть измерений, созданная научно-исследовательскими судами, которые заняли постоянные позиции в экваториальной зоне Атлантического океана, образовав вложенные друг в друга шестиугольники. Эти исследовательские суда находились на позициях во время трех последовательных фаз АТЭП, каждая из которых продолжалась около 20 суток. Аэрологическое и океанологическое зондирования, осуществляемые на каждом судне, позволили создать 4D-картину термодинамики и циркуляции тропической атмосферы и океана. Специфическое расположение судов дало возможность рассчитать пространственные переносы энергии, получить надежные представления об энергетическом балансе атмосферы и океана, о взаимодействии атмосферы и океана.

Российский сегмент АТЭП также обозначался как ТРОПЭКС-74. В СССР эти работы проводились под общим руководством Главного управления Гидрометеорологической службы при Совете Министров СССР с участием Академии наук СССР. Руководителем эксперимента был профессор Михаил Арамаисович Петросянц – в то время директор Гидрометеорологического научно-исследовательского центра СССР. В результате выполнения проекта АТЭП была собрана огромная (по тем временам) информация, обобщенная в ряде научных работ, первые из которых представлены в издании (ТРОПЭКС-74, 1976). Эти исследования позволили получить фундаментальные представления о структуре тропической зоны. В рамках этих экспериментов были исследованы субтропические антициклоны, пассатная инверсия, внутритропическая зона конвергенции, «восточные» волны, являющиеся предтечей штормов и ураганов Карибского бассейна. Это легло в основу понимания многих процессов, происходящих в низких широтах.

В качестве подготовительного мероприятия к АТЭП состоялся советский Тропический эксперимент (ТРОПЭКС-72), в ходе которого 6 научно-исследовательских судов отработывали методику наблюдений и изучали крупномасштабные атмосферные процессы в тропической зоне Атлантики.

Следующим важнейшим мероприятием ПИГАП стал Первый глобальный эксперимент (ПГЭП), проведенный в 1977 г., во время которого удалось собрать первую рабочую базу данных по всей атмосфере, которая долгое время была единственным источником информации такого рода.

Глобальное антропогенное воздействие на климатическую систему

Во второй половине XX века все более проявлялось антропогенное воздействие глобального масштаба на климатическую систему. Его механизм – обогащение атмосферы парниковыми газами и иными климатически активными веществами и изменение альбедо земной поверхности в ходе хозяйственной деятельности. Международные соглашения – РКИК ООН (1992 г.), Киотский протокол (1997 г.) и Парижское соглашение (2015 г.) – направлены, в том числе, на то, чтобы ограничить глобальные суммарные антропогенные нетто-выбросы парниковых газов в атмосферу и, тем самым, уменьшить антропогенное усиление парникового эффекта (митигация) (Киотский протокол, 1997; Парижское соглашение, 2015).

Для корректного анализа текущих объемов выбросов и поглощений парниковых газов в Секретариат РКИК ООН странами-участницами ежегодно представляется соответствующая информация национального уровня. Россия с 1995 г. также представляет такой документ – «Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом». Информационной основой этого документа является расчетный мониторинг эмиссий и стоков, ведущийся в России. На основе официальных статистических данных об объеме деятельности (добыче полезных ископаемых, сжигании топлива, показателях лесного и сельского хозяйства и т.д.) в ИГКЭ оцениваются объемы антропогенных выбросов и поглощений парниковых газов в России. Эти оценки выполняются с использованием специальных методик, приведенных в соответствующем методологическом докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), см. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2019/12/19R_V0_01_Overview.pdf.

При этом, предложенные в докладе МГЭИК методологии «настраиваются» с учетом национальных условий, что является серьезной и ответственной научно-исследовательской задачей. Этой работой руководит директор ИГКЭ, член-корреспондент РАН Анна Анатольевна Романовская. В работе принимают участие ведущие ученые ИГКЭ – кандидат географических наук Вероника Александровна Гинзбург, кандидат физико-математических наук Александр Ильич Нахутин, кандидат биологических наук Владимир Николаевич Коротков и ряд других. Проект кадастра направляется далее на одобрение ведомств и на утверждение Правительства Российской Федерации. Доклады о кадастре можно найти на сайте: <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/>.

Прикладные исследования и информационные продукты

Прикладная климатология: истоки и современное развитие

Еще в конце 1950-х – начале 1960-х годов в стране были начаты разработки в области прикладной климатологии. Первоначально они были посвя-

щены, в основном, влиянию климатических факторов на хозяйственные объекты. Под руководством Л.Е. Анапольской и Л.С. Гандина была создана физико-математическая модель воздействия климатических условий на тепловой режим зданий (Анапольская, 1961; Анапольская, Гандин, 1973).

В монографии М.В. Завариной (Заварина, 1976) были представлены научные подходы строительной климатологии. В частности, рассмотрены климатические нагрузки на здания и сооружения: ветровые, снеговые, гололедные, гололедно-ветровые. На основе работ М.В. Завариной, в связи со строительством БАМа, а также для планирования развития производительных сил Восточной Сибири и Дальнего Востока, была подготовлена монография «Климатические параметры Байкало-Амурской магистрали» (Климатические ..., 1977).

К классическим работам по прикладной климатологии относится подготовленная под редакцией Ц.А. Швер серия монографий «Климаты больших городов» (Климат города, 1979-1991), состоящая из 85 книг, в которых анализируется влияние города на климат и содержатся рекомендации по типам городской застройки.

В конце XX века – начале XXI века лидером отечественной прикладной климатологии была профессор Нина Владимировна Кобышева (ГГО). Она также уделяла много сил и времени преподаванию, подготовке кадров климатологов.

В 1990-2000-е годы в ГГО был подготовлен «Справочник по опасным природным явлениям в республиках, краях и областях Российской Федерации» под руководством К.Ш. Хайруллина и Н.В. Кобышевой (Климат России, 2001; Кобышева и др., 2015). Примерно в это же время под научным руководством Н.В. Кобышевой были изданы монографии «Климат России» и «Климат и железнодорожный транспорт» (Хайруллин, 1969; Климат России, 2001; Энциклопедия ..., 2005), «Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивость климата в технической сфере» (Кобышева и др., 2015).

К настоящему времени тематика исследований в прикладной климатологии существенно расширилась. Выполнены и продолжают развиваться разработки, посвященные влиянию изменений климата на производственные процессы, на состояние жилых зданий и технических сооружений, построенных на многолетней мерзлоте, на водные ресурсы, на лесное и сельское хозяйство, на здоровье населения, на биоразнообразие.

Одним из важных направлений прикладных исследований является ветро- и гелиоэнергетика. В ГГО было проведено районирование территории СССР и Российской Федерации по условиям обеспеченности гелио- и ветроэнергетическими ресурсами для различных физико-географических условий (Пивоварова, Стадник, 1988; Атлас ветрового и..., 1997; Климатические факторы..., 2010).

В Государственном гидрологическом институте (ГГИ) Росгидромета проводились масштабные исследования влияния меняющегося климата на сток рек и водные ресурсы, а также на континентальную многолетнюю мерзлоту. Под руководством профессора Игоря Алексеевича Шикломанова и

доктора географических наук Владимира Юрьевича Георгиевского в конце XX века – начале XXI века был проведен масштабный комплекс гидрологических исследований. Одна из целей – определить тенденции изменения стока рек России в условиях меняющегося климата. В том числе было установлено, что увеличился сток крупнейших российских рек в Северный Ледовитый Океан (Шикломанов, Георгиевский, 2002; Шикломанов, Шикломанов, 2003; Peterson et al., 2002).

Повышение температуры воздуха и почвы во многих случаях приводит к деградации многолетней мерзлоты, развитию различных термокарстовых явлений, уменьшению несущей способности многолетнемерзлых грунтов. Это негативно влияет на промышленную инфраструктуру, на здания и технические сооружения, транспорт, на добычу нефти и газа. Работы по моделированию изменений многолетней мерзлоты в условиях потепления климата и оценке геокриологических рисков ведутся во многих институтах: в ГГО, ГГИ, ААНИИ и ВНИИГМИ-МЦД (Малевский-Малевиц и др., 2001; Анисимов, Лавров, 2004; Павлова и др., 2007; Шерстюков, 2012; Алексеев и др., 2015; Анисимов и др., 2015; Анисимов, Стрелецкий, 2015; Шерстюков, Шерстюков, 2015; Пикалева и др., 2016).

Во Всероссийском научно-исследовательском институте сельскохозяйственной метеорологии (ВНИИСХМ) были развернуты исследования влияния изменений климата на продовольственную безопасность. Профессор Олег Дмитриевич Сиротенко руководил работами по математическому моделированию влияния изменения климата на урожай сельскохозяйственных растений. Была создана имитационная модель системы «почва-растение-атмосфера», позволяющая решать задачи оптимизации гидрологического режима сред обитания растений (Сиротенко, 1981). Доктор географических наук Вера Николаевна Павлова исследовала влияние изменений климата на агроклиматические ресурсы и продуктивность сельскохозяйственных культур, а также влияние экстремальных погодных явлений на состояние посевов (Павлова, Караченкова, 2023). Профессору Александру Дмитриевичу Клещенко принадлежат работы по дистанционным методам оценки состояния посевов (Клещенко и др., 2019). Он также работал над внедрением климатического страхования как меры адаптации сельского хозяйства в условиях меняющегося климата.

Во ВНИИГМИ-МЦД доктор географических наук Борис Георгиевич Шерстюков разработал оригинальную методологию оценки пожароопасности в лесных насаждениях и выполнил ряд оценок для территории России (Шерстюков, 2021). Оценка выполняется, исходя из данных мониторинга и моделирования климата, на основе индекса Нестерова.

Исследования в области последствий изменения климата для экосистем и здоровья населения начались в Лаборатории мониторинга природной среды и климата Госкомгидромета СССР и АН СССР в 1980-х годах и далее продолжились в ИГКЭ – см., например, (Семенов и др., 1998, 2002, 2004). Под руководством члена-корреспондента РАН Сергея Михайловича Семенова была подготовлена и вышла в 2006 г. монография «Выявление климатогенных

изменений» (Семенов и др., 2006). В ней были разработаны концепция климатического ареала биологического вида и научные основы вычисления географических границ климатических ареалов и их картографического отображения, исходя из данных мониторинга и моделирования климата. Впоследствии соответствующая методология была усовершенствована и представлена в серии публикаций (Семенов и др., 2020; Добролюбов и др., 2023) – созданы соответствующие алгоритмы и разработана компьютерная система RANGES для построения климатических ареалов видов с использованием их климатических предикторов. Разработанная методология и технологии нашли широкое применение при создании современных информационных продуктов Гидрометеорологической службы страны.

Под руководством члена-корреспондента РАН Анны Анатольевны Романовской в ИГКЭ проводятся исследования естественных и антропогенных потоков парниковых газов в экосистемах. Это весьма важные в прикладном плане работы, поскольку экосистемы России являются нетто-поглотителями парниковых газов, и объективные научные данные о потоках, в том числе об эмиссии и поглощении, способствуют улучшению показателей нашей страны в отчетности по РКИК ООН. Последние результаты в этой области обобщены в монографии (Романовская (ред.), 2023).

Как видно из приведенных выше данных – далеко неполных – ученые институтов Гидрометеорологической службы работают в области прикладной климатологии широким фронтом и в междисциплинарном стиле. Это полностью соответствует современным мировым тенденциям. Ведь главной задачей прикладной климатологии в эпоху значительных глобальных антропогенных воздействий на климат Земли и его быстрых изменений стало предоставление климатической информации, способствующей разработке и внедрению мер, снижающих климатообусловленные риски. Необходимость таких мер возникает в отношении объектов самой разной природы – хозяйственных, социальных, экологических. Снижение климатообусловленных рисков путем митигации и адаптации – задача масштабная, требующая заметных затрат. Поэтому возрастает роль экономического и политического анализа. Эти аспекты рассмотрены в монографиях (Порфирьев и др., 2011; Катцов, Порфирьев, 2017; Катцов и др., 2017а,б).

Информационные продукты

Данные мониторинга климата лишь тогда достигают своей целевой аудитории, когда обрабатываются, систематизируются и хранятся на информационных носителях, доступных пользователям. Вначале такими носителями были специализированные публикации, содержащие результаты обобщения данных мониторинга климата в определенных форматах.

Уже в 1926 г. в ГГО началась систематическая подготовка монографий серии «Климаты Союза Советских Социалистических Республик». Авторами были Е.С. Рубинштейн, А.А. Каминский, В.Н. Короткевич, О.А. Дроздов, Е.Я. Щербакова. Для климатического обслуживания народного хозяйства в 1931-1932 гг. под редакцией А.А. Каминского и Е.С. Рубинштейн был опубликован

«Климатический справочник СССР» (Климатический..., 1932). Во время Великой отечественной войны климатологи готовили материалы для фронта: климатические описания авиатрасс и районов боевых действий, климатических условий прохождения дорог и т.д.

Выпускались климатические справочники и атласы. Так, в начале 1950-х годов были начаты выпуски справочников по отдельным элементам климата как для всей территории СССР, так и для отдельных территорий – зон ответственности управлений Гидрометслужбы СССР. Руководителями этих работ были известные советские климатологи Е.С. Рубинштейн, А.Н. Лебедев, О.А. Дроздов, М.В. Заварина, Т.В. Покровская, Л.П. Спирина и другие.

Серия климатических справочников «Климат СССР» состояла из семи выпусков, характеризующих климаты европейской части СССР (Лебедев, 1958), Дальнего Востока (Занина, 1958), Кавказа (Занина, 1961), Восточной Сибири (Щербакова, 1961), Западной Сибири (Орлова, 1962), Средней Азии (Челпанова, 1963) и свободной атмосферы (Накоренко, Токарь, 1959). Издание «Справочник по климату СССР» состояло из пяти частей и содержало сведения по всем основным метеорологическим элементам, включая данные по солнечной радиации и радиационному балансу (Климат СССР, 1958-1963).

В 1960-1962 гг. был подготовлен и опубликован «Климатический атлас СССР», содержащий сотни карт, освещающих особенности пространственно-временного распределения метеорологических величин по территории нашей страны (Климатический атлас, 1958, 1960, 1962).

Была издана серия монографий, содержащих описание основных климатообразующих факторов, определяющих особенности климатического режима обширных территорий России (Климат СССР, 1958-1963).

В 1960-х годах в ГГО был подготовлен 170-томный Справочник по климату СССР – фундаментальная работа, послужившая основой для создания в последующем многих специализированных справочных пособий (Справочник..., 1965-1970). К этому справочнику под руководством О.А. Дроздова были подготовлены три тома с материалами по устойчивости и точности климатических характеристик: солнечное сияние, температура воздуха и почвы (т. 1), влажность воздуха, атмосферные осадки и снежный покров (т. 2), облачность и атмосферные явления (т. 3).

В 1970-х годах, совместно с ГГО и Гидрометцентром СССР, был создан «Климатический справочник для синоптиков», на базе которого подготовлена серия пособий, активно использовавшихся прогностическими подразделениями Гидрометеорологической службы. Под руководством И.Г. Гутермана был разработан и создан Аэроклиматический справочник СССР нового типа в 14 томах, который содержал основные статистики, характеристики изменчивости метеорологических элементов и их вертикальные градиенты. Была разработана и внедрена технология подготовки и выпуска на регулярной основе Национального климатического бюллетеня России (Булыгина и др., 2014, 2020; Шерстюков, 2012; Шерстюков, Шерстюков, 2015).

В 1988-1997 гг. под руководством Н.В. Кобышевой был создан «Научно-прикладной справочник по климату СССР», обобщающий данные наблюдений

ний по 1980 год и содержащий параметры и специализированные климатические характеристики для строительства (Научно-прикладной..., 1997).

К началу XXI столетия стало ясно, что традиционные носители климатической информации – книги, брошюры – необходимо дополнять их электронными аналогами. Это более соответствует резко возросшему потоку данных мониторинга, дает возможность оперативного пополнения массивов и обеспечивает пользователям доступ к данным средствами обмена файлами. Уже в начале XXI века специалистами ВНИИГМИ-МЦД под руководством В.Н. Разуваева и О.Н. Булыгиной при участии ГГО (раздел «Солнечная радиация») был подготовлен научно-прикладной справочник «Климат России» в электронной форме. Технология его ведения предусматривает возможность регулярного обновления его базы (Булыгина и др., 2014).

Со временем на сайте ВНИИГМИ-МЦД <https://meteo.ru>, на сайте Гидрометцентра РФ/СЕККЦ <https://seakc.meteoinfo.ru/ru/> и на сайте Климатического центра Росгидромета <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/> стали доступны обширные массивы фактической и прогнозной гидрометеорологической информации различного уровня обобщения – от собственно данных наблюдений и модельных расчетов до интерактивных карт. Эта информация широко используется самыми различными категориями пользователей.

В электронном виде подготавливаются в ИГКЭ и представляются Россией в Секретариат РКИК ООН ответные документы по этому соглашению: «Национальное сообщение Российской Федерации, представленное в соответствии со статьями 4 и 12 Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата и статьей 7 Киотского протокола» (раз в 4 года), «Двухгодичный доклад Российской Федерации, представленный в соответствии с решением 1/СР.16 Конференции Сторон «Рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата», и «Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов не регулируемых Монреальским протоколом» (ежегодно). Они доступны на сайте ИГКЭ <http://www.igce.ru/performance/publishing/reports/>.

Однако книжная форма представления информационных продуктов и сейчас не утратила своего значения. Это относится, в том числе, к таким монументальным сводкам о состоянии научных знаний в климатологии и сопряженных разделах других наук, как Первый, Второй и Третий оценочные доклады Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (Росгидромет, 2008, 2014, 2022). Эти издания ориентированы не только на интересы научного сообщества, но и на потребности экспертов государственных органов, разрабатывающих климатическую политику страны. Так, первый из этих докладов фактически стал научной основой Климатической доктрины Российской Федерации (Климатическая..., 2009). Ее обновленная версия подписана президентом Российской Федерации в октябре 2023 г. Материалы второго доклада широко использовались при определении позиции страны на переговорах, предшествовавших принятию Парижского соглашения (2015 г.). Третий доклад ориентирован на подготовку

и реализацию национального плана адаптации. Национальный план второго этапа адаптации к изменениям климата на период до 2025 г. утвержден Правительством Российской Федерации 1 марта 2023 г. (постановление N 559). Полные тексты всех трех оценочных докладов доступны на упомянутом выше сайте ИГКЭ, а также на сайте Климатического центра Росгидромета <https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>.

К основным видам климатической продукции Росгидромета относятся также подготовленные в ГГО методические указания по расчету специализированных климатических характеристик (Методические рекомендации, 2017, 2022).

В последние годы в ГГО и в ходе сотрудничества ГГО с Институтом народнохозяйственного прогнозирования РАН подготовлен ряд концептуальных публикаций, в которых разрабатываются важные вопросы современной климатической политики России (Катцов и др., 2007; Катцов, Порфирьев, 2017; Доклад о научно-методических..., 2020).

Заключение

Несмотря на усилия, предпринимаемые мировым сообществом в области смягчения современного изменения климата, этот процесс взять под контроль полностью не удастся. Это не проблема климатологии, а недостаток политического согласия в мире в отношении направлений социально-экономического развития.

При этом наука о климате и климатические данные становятся все более актуальными, поскольку процесс разработки эффективной климатической политики нуждается в объективной и постоянно актуализируемой информации о свойствах, состоянии и тенденциях изменения климатической системы Земли, о ее реакции на антропогенное воздействие.

Такая информация предоставляется, пополняется и обновляется усилиями ученых и других специалистов системы Гидрометеорологической службы страны, Российской академии наук и профильных высших учебных заведений России. Именно их совместная работа способствует и будет обеспечивать успешное решение Россией проблем, связанных с изменением климата. Конечно, эти организации, работая в области климатологии и сопряженных разделов других наук, имеют и специфические зоны ответственности. Российская академия наук выполняет, прежде всего, фундаментальные исследования. Высшие учебные заведения готовят кадры специалистов. Гидрометеорологическая служба работает во множестве направлений, специфика которых – систематическая долговременная работа по выполнению наблюдений, оценок и прогнозов состояния климатической системы Земли. Охарактеризуем кратко некоторые из этих направлений.

Одна из важных составляющих мониторинга климатической системы – систематические наблюдения за содержанием парниковых газов и иных климатически активных веществ в атмосфере, за их межсредовыми потоками и антропогенными эмиссиями и поглощениями. Эта информация необходима

для разработки мер митигации, смягчения антропогенного воздействия на климат. В настоящее время эту информацию получают в основном с помощью стационарных измерений или расчетным путем с использованием косвенных данных. Этот вид мониторинга находится в сфере деятельности ИГКЭ в связи с выполнением обязательств России по РКИК ООН. Методологические ограничения не позволяют получать эту информацию для всей страны со все большей детализацией по пространству и времени. Для этого необходимо широко использовать спутниковые методы.

Работы в области спутниковой климатологии многие годы ведутся в НИЦ «Планета», а также в ААНИИ, ИКИ РАН, ИОА СО РАН, Санкт-Петербургском государственном университете, других учреждениях (Успенский (ред.), 2021; Асмус, 2022). Широкое внедрение космических методов и технологий, конечно, требует их систематической настройки с использованием данных традиционных стационарных наблюдений.

Еще одно направление климатологии, в котором стационарные данные играют и будут играть важную роль – моделирование климата. Математические модели климатической системы нуждаются в систематической настройке параметров, в верификации результатов. Поддержание, расширение (по возможности) российской сети гидрометеорологических наблюдений, расширение программы наблюдений за счет иных переменных состояния климатической системы, рост профессиональной квалификации работников гидрометеорологических станций – необходимые условия для получения объективной климатической информации мирового уровня.

Следует особо отметить стационарные и экспедиционные работы, проводимые Гидрометеорологической службой России в полярных зонах, в Арктике и Антарктике. Традиции организации полярных работ, высокая научная квалификация специалистов и опыт работы в полярных условиях позволяют не только получать объективную информацию о состоянии полярной криосферы – важнейшего элемента климатической системы Земли, – но и выполнять научные обобщения мирового уровня.

Климатическое обслуживание отраслей и регионов, прежде всего, связано с оценкой климатообусловленных рисков. Современная концепция определяет три источника климатообусловленного риска для какого-либо объекта – природного или социально-экономического. Первый – воздействие климатических факторов (изменчивости и изменения климата), которое характеризуется его интенсивностью (величиной, пространственным масштабом и продолжительностью) и вероятностью. Второй – подверженность объекта этому воздействию. Третий – уязвимость объекта. Главная задача Гидрометеорологической службы в связи с оценкой климатообусловленных рисков – оценка локализации воздействий, их интенсивности и вероятности. Эти параметры определяются глобальными факторами воздействия на климат. Они могут меняться только при изменении глобального воздействия на климатическую систему (митигации). Оценка остальных двух составляющих и разработка мер адаптации, уменьшающих эти составляющие – задача отраслей и

регионов. Они могут ее решать при поддержке Гидрометеорологической службы при необходимости.

При планировании мер адаптации отраслей и регионов к изменениям климата весьма существенна роль математического моделирования климатической системы и земной системы в целом. Только с помощью математических моделей можно проводить априорную и апостериорную оценки эффективности мер адаптации, направленных на уменьшение негативного воздействия меняющегося климата на природные и социально-экономические системы, в том числе – оценивать экономическую целесообразность этих мер. При этом весьма востребованной является региональная климатическая модель, которая разработана и поддерживается в Климатическом центре Росгидромета (<https://cc.voeikovmgo.ru/ru/>).

Наконец, институты Гидрометеорологической службы страны постоянно участвуют в научном сопровождении разработки внутренней и внешней климатической политики России, в работе профильных международных организаций.

Эксперты из ГГО принимали деятельное участие в подготовке исходной (2009 г.) и обновленной (2023 г.) версий Климатической доктрины Российской Федерации. Разработка национального адаптационного плана (обязательство страны по Парижскому соглашению 2015 г.) проходила с участием специалистов из ИГКЭ и ГГО.

Ученые из ИГКЭ и ГГО участвуют в научном сопровождении работы делегации Российской Федерации в органах Рамочной конвенции ООН об изменении климата.

Эксперты из научно-исследовательских учреждений Гидрометеорологической службы страны, наряду с учеными РАН и профильных ВУЗов, работают в качестве авторов и редакторов-рецензентов над подготовкой научных докладов Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК). Это наиболее авторитетная международная неполитическая организация, на выводы и заключения которой опирается международный переговорный процесс по проблемам климата. В 1988-2023 гг. представитель России входил в Бюро этой организации. Эксперты из Гидрометеорологической службы страны участвуют в работе и других профильных международных организаций, в том числе Всемирной метеорологической организации (ВМО).

Гидрометеорологическая служба страны – Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – встретила свое 190-летие значительными достижениями. И научным сообществом, и руководством страны признается важность ее роли в научных исследованиях климатической системы Земли, в обеспечении экономики страны климатической информацией, в экспертном сопровождении разработки внутренней и внешней климатической политики. Климатологи Гидрометеорологической службы готовы к дальнейшей работе на благо страны.

Список литературы

Алексеев, Г.В., Захаров, В.Ф., Радионов, В.Ф. (2000) Динамика климата Арктики в XX столетии, *Проблемы гидрометеорологии окружающей среды на пороге XXI века, Труды Международной теоретической конференции 1999*, СПб., Гидрометеоиздат, с. 141-146.

Алексеев, Г.В., Большианов, Д.Ю., Радионов, В.Ф., Фролов, С.В. (2015) 95 лет исследований климата и криосферы Арктики в ААНИИ, *Лед и снег*, т. 55, № 4, с. 127-140.

Алексеев, Г.В., Харланенкова, Н.Е., Иванов, Н.Е., Глок, Н.И. (2024) Мониторинг изменений климата в морской Арктике, *Проблемы Арктики и Антарктики*, т. 70, № 1, с. 33-45.

Анапольская, Л.Е. (1961) *Режим ветра на территории СССР*, Л., Гидрометеоиздат.

Анапольская, Л.Е., Гандин, Л.С. (1973) *Метеорологические факторы теплового режима зданий*, Л., Гидрометеоиздат, 285 с.

Анисимов, О.А., Лавров, С.А. (2004) Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: риски для производственных объектов ТЭК, *Технологии ТЭК*, № 3, с.78-83.

Анисимов, О.А., Жирков, А.Ф., Шерстюков, А.Б. (2015) Современные изменения криосферы и природной среды в Арктике, *Арктика. XXI век. Естественные науки*, под ред. О.А. Анисимова, 2 (3), с. 24-47.

Анисимов, О.А., Стрелецкий, Д.А. (2015) Геокриологические риски при таянии многолетнемерзлых грунтов, *Арктика. XXI век. Естественные науки*, под ред. О.А. Анисимова, 2 (3), с. 60-74.

Антропогенные изменения климата (1987) Под ред. М.И. Будыко, Ю.А. Израэля, Л., Гидрометеоиздат, 406 с.

Асмус, В.В. (2022) *Применение спутниковой информации для решения задач гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды*, Москва, 89 с.

Атлас теплового баланса земного шара (1955) Под ред. М.И. Будыко, Л., ГГО, 41 с.

Атлас теплового баланса земного шара (1963) Под ред. М.И. Будыко, М., МГК, 69 с.

Атласы ветрового и солнечного климата России (1997) Под ред. М.М. Борисенко, В.В. Стадник, СПб.

Бардин, М.Ю., Платова, Т.В., Самохина, О.Ф. (2015) Особенности наблюдаемых изменений климата на территории Северной Евразии по данным регулярного мониторинга и возможные их факторы, *Труды ГМЦ России*, № 358, с. 13-35.

Бардин, М.Ю., Ранькова, Э.Ю., Платова, Т.В., Самохина, О.Ф., Корнева, И.А. (2020) Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 29-45.

Барков, Н.И., Вострецов, Р.Н., Липенков, В.Я., Саламатин, А.Н. (2002) Колебания температуры воздуха и осадков на станции Восток на протяжении четырех климатических циклов за последние 420 тысяч лет, *Арктика и Антарктида*, вып. 1(35), с. 82-97.

Берлянд, Т.Г. (1961) *Распределение солнечной радиации на континентах*, Л., Гидрометеиздат.

Блинова, Е.Н. (1943) Гидродинамическая теория волн давления, температурных волн и центров действия атмосферы, *ДАН СССР*, вып. 39, № 3.

Борзенкова, И.И. (1974) К вопросу о возможных влияниях вулканических извержений на радиационный и термический режим, *Труды ГГО*, вып. 307, с. 36-42.

Борзенкова, И.И. (1992) *Изменение климата в кайнозое*, СПб., Гидрометеиздат, 246 с.

Борзенкова, И.И. (2003) Определение чувствительности глобального климата к газовому составу атмосферы по палеоклиматическим данным, *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 39, № 2, с. 222-228.

Борзенкова, И.И. (2016) История оледенения Арктического бассейна: взгляд из прошлого для оценки возможных изменений в будущем, *Лёд и снег*, т. 56, № 2, с. 221-234.

Борзенкова, И.И., Ершова, А.А., Жильцова, Е.Л., Шаповалова, К.О. (2021) Морской лёд Арктического бассейна в свете современных и прошлых климатических изменений, *Лёд и снег*, т. 61, № 4, с. 533-546.

Будыко, М.И. (1972) *Влияние человека на климат*, Л., Гидрометеиздат, 47 с.

Будыко, М.И. (1974) *Изменения климата*, Л., Гидрометеиздат, 280 с.

Будыко, М.И. (1985) Аэрозольные климатические катастрофы, *Природа*, № 6, с. 30-38.

Будыко, М.И., Винников, К.Я. (1976) Глобальное потепление, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 16-26.

Будыко, М.И., Винников, К.Я. (1983) Проблема обнаружения антропогенного изменения глобального климата, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 14-26.

Будыко, М.И., Голицын, Г.С., Израэль, Ю.А. (1985) *Глобальные климатические катастрофы*, Л., Гидрометеиздат, 158 с.

Будыко, М.И., Дроздов, О.А. (1953) Закономерности влагооборота в атмосфере, *Изв. АН СССР, сер. геогр.*, № 3, с. 3-11.

Булыгина, О.Н., Разуваев, В.Н., Александрова, Т.М. (2014) Описание массива данных «Характеристики снежного покрова на метеорологических станциях России и бывшего СССР», *Свидетельство государственной регистрации базы данных № 2014621201*, URL: <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описаниемассива-данных>.

Булыгина, О.Н., Дементьева, Т.В., Коршунова, Н.Н. (2020) Методика мониторинга климата на территории России: режим приземного ветра, в кн.: *Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов: Информационный сборник*, № 47, с. 22-32.

Верес, А.Н., Екайкин, А.А., Липенков, В.Я., Большианов, А.В., Заровчатский, В.Н., Козачек, А.В., Тебенькова, Н.А., Туркеев, А.В. (2020) Предварительные результаты изучения климата центральной Антарктиды (станция Восток) за 2000 лет по данным снежно-фирновых кернов, в кн.: *Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики*, Тезисы докладов международной научной конференции, с. 176-177.

Визе, В.Ю. (1937) *Причины потепления Арктики, Советская Арктика*, т. 1, с. 1-7.

Винников, К.Я., Гройсман, П.Я. (1979) Эмпирическая модель современных изменений климата, *Метеорология и гидрология*, № 3, с. 25-36.

Винников, К.Я., Гройсман, П.Я. (1982) Эмпирические исследования чувствительности климата, *Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана*, т. 18, № 11, с. 1159-1169.

Володин, Е.М., Мортиков, Е.В., Кострыкин, С.В. и др. (2017) Воспроизведение современного климата в новой версии модели климатической системы ИВМ РАН, *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 53, № 2, с. 164-178.

Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли (1986) Под ред. С.С. Хмелевцова, Л., Гидрометеиздат, 254 с.

Гандин, Л.С., Каган, Р.Л. (1976) *Статистические методы интерпретации метеорологических данных*, Л., Гидрометеоиздат, 359 с.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1980) *Структура и изменчивость наблюдаемого климата. Температура воздуха Северного полушария*, Л., Гидрометеиздат, 172 с.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (1989) Мониторинг и вероятностный прогноз короткопериодных колебаний климата, в кн.: *60 лет Центру гидрометеорологических прогнозов*, Л., Гидрометеиздат, с. 9-39.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я. (2012) *Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха*, Обнинск, ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», 194 с., ISBN 978-5-901579-35-0.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Рочева, Э.В. (2017) Методика «Мониторинг изменений климата земного шара: приземная температура» и результаты ее испытания, *Результаты испытания новых и усовершенствованных технологий, моделей и методов гидрометеорологических прогнозов*, № 44, с. 3-11.

Груза, Г.В., Ранькова, Э.Я., Самохина, О.Ф. (2021) Особенности температурного режима у поверхности земного шара в 2020 году, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 2, с. 28-58.

Данилов, А.И., Клепиков, А.В. (2020) Состояние и перспективы российских исследований окружающей среды Антарктики, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 14-19.

Дзердзеевский, Б.Л. (1943) К вопросу потепления в Арктике, *Изв. АН СССР. Географо-геофизическая серия*, т. 2, с. 60-69.

Дзердзеевский, Б.Л. (1945) *Циркуляционные схемы в тропосфере Центральной Арктики*, М.-Л., Изд-во АН СССР, с. 21-58.

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, doi:10.52002/0130-2906-2023-10-16-24.

Доклад о научно-методических основах для разработки стратегии адаптации к изменениям климата в Российской Федерации (2020) СПб., 120 с.

Долгин, И.М. (1968) *Климат свободной атмосферы Советской Арктики*, Л., Гидрометеиздат, 398 с.

Дроздов, О.А., Григорьева, А.С. (1963) *Влагооборот в атмосфере*, Л., Гидрометеиздат, 314 с.

Дроздов, О.А., Григорьева, А.С. (1971) *Многолетние циклические колебания атмосферных осадков над территорией СССР*, Л., Гидрометеиздат, 153 с.

Екайкин, А.А., Антипов, Н.Н., Большианов, Д.Ю., Веркулич, С.Р., Иванов, Б.В., Клепиков, А.В., Липенков, В.Я., Макаров, А.С., Радионов, В.Ф., Федорова, И.В., Фролов, И.Е. (2020) Основные результаты исследований Арктического и антарктического НИИ Росгидромета в Антарктике, *Вестник РФФИ*, № 3-4 (107-108), с. 99-114.

Ефимова, Н.А. (1977) *Радиационные факторы продуктивности растительного покрова*, Л., Гидрометеиздат, 216 с.

Заварина, М.В. (1976) *Строительная климатология*, Л., Гидрометеиздат, 312 с.

Зубаков, В.А., Борзенкова, И.И. (1983) *Палеоклиматы позднего кайнозоя*, Л., Гидрометеиздат, 214 с.

Зубенок, Л.И. (1963) Влияние аномалий температуры на ледяной покров Арктики, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 25-30.

Израэль Ю.А. (1974) Глобальная система наблюдений. Прогноз и оценка изменений состояния окружающей природной среды. Основы мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 3-8.

Израэль, Ю.А. (1984) *Экология и контроль природной среды*, Л., Гидрометеиздат, 560 с.

Израэль, Ю.А. (1990) Философия мониторинга, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 5-10.

Израэль, Ю.А. (2005) Эффективный путь сохранения климата на современном уровне – основная цель решения климатической проблемы, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5-9.

Израэль, Ю.А., Филиппова, Л.М., Ровинский, Ф.Я. и др. (1978) О программе комплексного фонового мониторинга состояния окружающей природной среды, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 5-11.

Израэль, Ю.А., Кунина, И.М., Семенов, С.М. (1989) Сравнительные оценки влияния озона, двуокиси серы и двуокиси азота на продуктивность высших растений, *Доклады Академии наук СССР*, т. 308, № 1, с. 247-250.

Израэль, Ю.А., Груза, Г.В., Катцов, В.М., Мелешко, В.П. (2001) Изменение глобального климата. Роль антропогенных воздействий, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 5-21.

Израэль, Ю.А., Сиротенко, О.Д. (2003) Моделирование влияния изменений климата на продуктивность сельского хозяйства, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 5-17.

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., Захаров, В.М., Петров, Н.Н., Рябошапко, А.Г., Иванов, В.Н., Савченко, А.В., Андреев, Ю.В., Пузов, Ю.А., Данелян, Б.Г., Куляпин, В.П. (2009а) Натурный эксперимент по исследованию прохождения солнечного излучения через аэрозольные слои, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 5-15.

Израэль, Ю.А., Захаров, В.М., Петров, Н.Н., Рябошапко, А.Г., Иванов, В.Н., Савченко, А.В., Андреев, Ю.В., Ераньков, В.Г., Пузов, Ю.А., Данелян, Б.Г., Куляпин, В.П., Гулевский, В.А. (2009б) Натурные исследования геоинженерного метода сохранения современного климата с использованием аэрозольных частиц, *Метеорология и гидрология*, № 10, с. 5-10.

Израэль, Ю.А., Захаров, В.М., Иванов, В.Н., Петров, Н.Н., Андреев, Ю.В., Гулевский, В.А., Данелян, Б.Г., Ераньков, В.Г., Кишин, Д.В., Куляпин, В.П., Русаков, Ю.С., Савченко, А.В., Свиркунов, П.Н., Северов, Д.А., Фоломеев, В.В. (2011) Натурный эксперимент по моделированию влияния аэрозольных слоев на изменчивость солнечной инсоляции и метеорологических характеристик приземного слоя, *Метеорология и гидрология*, № 11, с. 5-14.

Израэль, Ю.А., Рябошапко, А.Г. (2011) Геоинженерия климата: возможности реализации, *Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем*, т. XXIV, ИГКЭ Росгидромета и РАН, Москва, с. 11-24.

Израэль, Ю.А., Рябошапко, А.Г. (2012) *Исследование возможностей стабилизации климата с помощью новых технологий*, М., Росгидромет, 178 с.

Калитин, Н.Н. (1920) К вопросу о времени наступления оптической аномалии в 1912 году, *Известия ГФО*, № 1, с. 11-17.

Кароль, И.Л. (1986) *Радиационно-фотохимические модели атмосферы*, Андронова, Н.Г., Бабанова, В.В., Кароль, И.Л., Киселев, А.А., Кудрявцев, А.П., Морозова, И.А., Розанов, Е.В., Фролькис, В.А., Л., Гидрометеиздат, 192 с.

Кароль, И.Л., Пивоварова, З.И. (1978) Связь изменений содержания стратосферных аэрозолей с колебаниями солнечной радиации, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 35-42.

Катцов, В.М., Мелешко, В.П. (2004) Сравнительный анализ моделей общей циркуляции атмосферы и океана, предназначенные для оценки будущих изменений климата, *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 40, № 6, с. 647-658.

Катцов, В.М., Мелешко, В.П., Чичерин, С.С. (2007) Изменение климата и национальная безопасность Российской Федерации, *Право и безопасность*, № 1-2, с. 29-37.

Катцов, В.М., Порфирьев, Б.Н. (2017) Адаптация России к изменению климата: концепция национального плана, *Труды ГГО*, вып. 586, с. 7-20.

Катцов, В.М., Школьник, И.М., Ефимов, С.В. (2017а) Перспективные оценки изменений климата в российских регионах: детализация в физическом и вероятностном пространствах, *Метеорология и гидрология*, № 7, с. 68-80.

Катцов, В.М., Киселев, А.А., Мелешко, В.П., Павлова, Т.В. (2017 б) Глобальные изменения климата и основные сценарии и особенности изменений климата в Арктике: модели, оценки, прогнозы, в кн.: *«Социально-экономическое развитие Российской Арктики в контексте глобальных изменений климата»*, под ред. акад. Б.Н. Порфирьева, М., Научный консультант, с. 17-52.

Киотский протокол к рамочной Конвенции ООН об изменении климата (1997) Организация Объединенных Наций, 26 с., URL: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf>.

Клепиков А.В. (2023) Российские исследования в области полярной метеорологии в 2019-2022 гг., *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 59, № 7, с. 915-929.

Клепиков, А.В., Данилов, А.И., Липенков, В.Я., Лейченков, Г.Л., Неелов, А.В. (2015) Основные результаты научных работ по подпрограмме "Изучение и исследование Антарктики" ФЦП "Мировой океана", *Проблемы Арктики и Антарктики*, т. 1(103), с. 19-31.

Клепиков, А.В., Данилов, А.И. (2021) Полярная метеорология (результаты российских исследований в 2015-2018 гг.), *Изв. РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 57, № 3, с. 261-277.

Клещенко, А.Д., Асмус, В.В., Страшная, А.И., Кровотынцев, В.А., Вирченко, О.В., Савицкая, О.В., Береза, О.В., Василенко, Е.В., Сухарева, В.В., Моргунов, Ю.А., Косякин, С.А. (2019) Мониторинг засух на основе наземной и спутниковой информации, *Метеорология и гидрология*, № 11, с. 95-108.

Климат городов (1979-1991) Под ред. Ц.А. Швер, Л., Гидрометеоздат.

Климат России (2001) Под ред. Н.В. Кобышевой и др., СПб., Гидрометеоздат, 655 с.

Климат СССР (1958-1963) Под ред. А.Н. Лебедева, вып. 1-6, Л., Гидрометеоздат.

Климатическая доктрина Российской Федерации (2009) Утверждена распоряжением Президента Российской Федерации от 17 декабря 2009 г. № 861-рп, обновленная версия Климатической доктрины РФ подписана Президентом РФ 26.10.2023, 20 с.

Климатические параметры Байкало-Амурской магистрали (1977) Под ред. Анапольской, Л.Е., Копанева, И.Д., Л., Гидрометеоздат, 132 с.

Климатический атлас СССР (1958, 1960, 1962) Под ред. Ф.Ф. Давитая, т. 1, 2, М., ГУГМС.

Климатический справочник по СССР (1932) Под ред. А.А. Каминского, Е.С. Рубинштейн, Л., ГГО, 261 с.

Кобышева, Н.В., Акентьева, Е.М., Галюк, Л.П. (2015) *Климатические риски и адаптация к изменениям и изменчивости климата в технической сфере*, СПб., «Издательство Кирилица», 213 с.

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

Кондратьев, К.Я. и др. (1973) *Влияние аэрозоля на перенос излучения и возможные климатические последствия*, Л., Из-во ЛГУ, 266 с.

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.

Лагун, В.Е., Клепиков, А.В., Данилов, А.И. (2017) Полярная метеорология (результаты российских исследований в 2011-2014 гг.), *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, т. 53, № 5, с. 641-657.

Липенков, В.Я., Паррена, Ф. (2020) Основные результаты работы российско-французской международной ассоциированной лаборатории «Ледниковые архивы данных о климате и окружающей среде», *«Комплексные исследования природной среды Арктики и Антарктики»*, тезисы докладов международной научной конференции, с. 87-89.

Малеvский-Малеvич, С.П., Молькентин, Е.К., Надежина, Е.Д. и др. (2001) Моделирование современных и прогностических распределений температуры грунтов в зоне вечной мерзлоты на территории России, *Материалы второй конф. геокриологов России*, М., Из-во МГУ, т. 2, с. 189-196.

Методика (2012) *Методика мониторинга климата на территории Российской Федерации: температура приземного воздуха, атмосферные осадки*, Решение Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 13 декабря 2012 г., ФГБУ «ИГКЭ Росгидромета и РАН», коллектив авторов под руководством Груза, Г.В., URL: <https://method.meteorf.ru/>.

Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Строительство. Транспорт (2017) СПб., ООО «Амирит», 162 с.

Методические рекомендации по расчету специализированных климатических характеристик для обслуживания различных отраслей экономики. Энергетика (2022) СПб., ООО «Амирит».

Мещерская, А.В., Яковлева, Н.И. (1965) Уточнение естественных функций полей геопотенциала (давления) атлантико-европейского сектора, *Труды ГГО*, вып. 168.

Мирвис, В.М., Мелешко, В.П. (2008) Современное состояние и перспективы развития метеорологических прогнозов на месяц и сезон, *Труды ГГО*, вып. 558, с. 3-40.

Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли (1974) Л., Гидрометеоздат, 638 с.

Монин, А.С. (1969) *Прогноз погоды как задача физики*, М., Наука, 184 с.

Научно-прикладной справочник по климату России (Арктический регион) (1997) Солнечная радиация, СПб., Гидрометеоздат, 230 с.

Океанография и морской лед (2011) Сер. «Вклад России в Международный полярный год 2007/2008, под ред. И.Е. Фролова, Москва-СПб., Изд. ООО «Паульсен», 431 с.

Павлова, В.Н., Карачёноква, А.А. (2023) Изменение агроклиматических ресурсов зернопроизводящих регионов России и продуктивности зерновых культур в новом климатическом периоде 1991-2020 гг., *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 29-42, ISSN 0130-2906, doi: 10.52002/0130-2906-2023-9-29-42.

Павлова, Т.В., Катцов, В.М., Надёжина, Е.Д., Спорышев, П.В., Говоркова, В.А. (2007) Расчет эволюции криосферы в XX и XXI веках с использованием глобальных климатических моделей нового поколения, *Криосфера Земли*, т. 11, № 2, с. 3-13.

Палеоклимат полярных областей Земли в голоцене (2019) Под ред. Д.Ю. Большаянова, С.Р. Веркулича, СПб., ААНИИ, 204 с.

Парижское соглашение (2015) *Рамочная конвенция Организации Объединенных наций об изменении климата*, Организация Объединенных Наций, 30 с., URL: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/russian_paris_agreement.pdf.

Пивоварова, З.И. (1977) *Радиационные характеристики климата СССР*, Л., Гидрометеиздат, 366 с.

Пивоварова, З.И., Стадник, В.В. (1988) *Климатические характеристики солнечной радиации как источника энергии на территории СССР*, Л., Гидрометеиздат.

Пикалева, А.А., Надежина, Е.Д., Стернзат, А.В., Борисенко, В.А., Школьник, И.М. (2016) Исследование эволюции вечной мерзлоты на территории России с помощью моделей пограничного слоя атмосферы и теплопередачи в грунтах, *Труды ГГО*, вып. 581, с. 24-40.

Порфирьев, Б.Н., Катцов, В.М., Рогинко, С.А. (2011) *Изменение климата и международная безопасность*, под ред. А.И. Бедрицкого, В.В. Ивантера, Москва, 290 с.

Прик, З.М. (1965) *Климат Советской Арктики (метеорологический режим)*, Л., Гидрометеиздат, 279 с.

Радионон, В.Ф., Русина, Е.Н., Сибир, Е.Е. (2007) Специфика многолетней изменчивости суммарной солнечной радиации и характеристик прозрачности атмосферы в полярных областях, *Проблемы Арктики и Антарктики*, № 76, с. 131.

Радионон, В.Ф., Русина, Е.Н., Сибир, Е.Е. (2017) Многолетняя изменчивость годовых сумм суммарной и поглощенной радиации в Арктике, *Проблемы Арктики и Антарктики*, № 3, с. 38-50.

Радионон, В.Ф., Русина, Е.Н., Сибир, Е.Е. (2020) Многолетние изменения интегральной и спектральной прозрачности атмосферы по данным наблюдений в обсерватории Мирный (Антарктида), *Проблемы Арктики и Антарктики*, № 2, с. 35-44.

Риль, Г. (1963) *Тропическая метеорология*, пер. с англ., М., Изд-во иностр. лит., 366 с.

Романов, И.П. (1993) *Атлас морфометрических характеристик льда и снега в Арктическом бассейне*, Санкт-Петербург, 152 с.

Романовская, А.А. (2023) *Оценка потоков парниковых газов в экосистемах регионов Российской Федерации*, Москва, ИГКЭ, ООО «Принт», 346 с.

Росгидромет (2008) *Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*, под ред. А.И. Бедрицкого и др., М., Росгидромет, т. 1 (230 с.), т. 2 (291 с.).

Росгидромет (2014) *Второй оценочный доклад Росгидромета об изме-*

нениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, под ред. В.М. Катцова, С.М. Семенова, М., Росгидромет, 1008 с.

Росгидромет (2022) *Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*, под ред. В.М. Катцова, М., Росгидромет, 676 с.

Русин, Н.П. (1961) *Метеорологический и радиационный режим Антарктиды*, Л., Гидрометеиздат, 446 с.

Русина, Е.Н., Радионов, В.Ф. (2002) Оценка «доиндустриальной» оптической толщины атмосферы при полярной дымке в Арктике и современного вклада антропогенных выбросов, *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 35-39.

Савинов, С.И. (1913) Наибольшие величины напряжения солнечной радиации по наблюдениям в Павловске с 1892, *Изв. АН СССР. Сер. 6*, т. 7, № 12, с. 707-720.

Сакунов, Г.Г., Бартенева, О.Д., Радионов, В.Ф., Тимерев, А.А., Воскресенский, А.И., Аднашкин, В.Н. (1981) *Оптические свойства атмосферы Арктического бассейна, Первый глобальный эксперимент ПИГАП, Полярный аэрозоль, протяжённая облачность и радиация*, т. 2, Л., Гидрометеиздат, с. 73-88.

Семенов, С.М. (2004) *Парниковые газы и современный климат Земли*, Издательский центр «Метеорология и гидрология», Москва, 175 с.

Семенов, С.М. (2015) Парниковый эффект: открытие, развитие концепции, роль в формировании глобального климата и его антропогенных изменений, *Фундаментальная и прикладная климатология*, № 2, с. 103-126.

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

Семенов, С.М., Кунина, И.М., Кухта, Б.А. (1998) Сравнение антропогенных изменений приземных концентраций O₃, SO₂ и CO₂ в Европе по экологическому критерию, *Доклады Академии наук*, т. 361, № 2, с. 275-279.

Семенов, С.М., Гельвер, Е.С., Ясюкевич, В.В. (2002) Температурные условия для развития двух видов возбудителей малярии в организме переносчика на территории России в XX веке, *Доклады Академии наук. Общая биология*, т. 387, № 1, с. 131-136.

Семенов, С.М., Гельвер, Е.С., Кухта, Б.А. (2004) О нелинейности климатогенных изменений сроков фенологических явлений у древесных растений, *Доклады Академии наук. Общая биология*, т. 396, № 3, с. 427-429.

Семенов, С.М., Ясюкевич, В.В., Гельвер, Е.С. (2006) *Выявление климатогенных изменений*, Издательский центр «Метеорология и гидрология», Москва, 324 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., 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.

Сиротенко, О.Д. (1981) *Математическое моделирование водно-теплого режима и продуктивности агроэкосистем*, Л., Гидрометеиздат, 167 с.

Спорышев, П.В., Мирвис, В.М., Катцов, В.М., Мелешко, В.П., Ранькова, Э.Я. (2008) *Антропогенный вклад в изменение климата, Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации*, под ред. А.И. Бедрицкого и др., т. I, Изменения климата, Росгидромет, с. 152-173.

Справочник по климату СССР (1965-1970) Т. 1-170, Л., Гидрометеиздат.

Стерин, А.М. (1999) Анализ линейных трендов в рядах температуры свободной атмосферы за 1958-1997 гг., *Метеорология и гидрология*, № 5, с. 52-68.

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.

Стерин, А.М., Лавров, А.С. (2022) Использование квантильной регрессии для оценки пространственных особенностей характеристик трендов приземной температуры на территории России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 2, с. 92-111.

Теоретические и экспериментальные основы стабилизации современного климата путем создания аэрозольных образований в нижней стратосфере (2019) Под ред. Ю.А. Израэля, М., 285 с.

Тимофеев, В.Т. (1944) Водные массы Норвежского и Гренландского морей и их динамика, *Труды Арктического научно-исследовательского института Главного управления Северного Морского пути при СНК СССР*, т. 183, с. 264.

Толстых, М.А., Желен, Ж.Ф., Володин, Е.М. и др. (2015) Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ, *Метеорология и гидрология*, № 6, с. 25-35.

ТРОПЭКС-74 (1976) *Труды Межведомственной экспедиции по программе международного Атлантического тропического эксперимента*. Ат-

мосфера, т. 1, под ред. М.А. Петросянца, Гидрометеиздат, 736 с.

Успенский, А.Б. (2021) 60 лет спутниковой метеорологии, *Метеорология и гидрология*, № 12, с. 144.

Фадеев, Р.Ю., Шашкин, В.В., Толстых, М.А., Травова, С.В., Мизяк, В.Г., Рогутов, В.С., Алипова К.А. (2021) Развитие системы долгосрочного прогноза Гидрометцентра России в 2020 году, *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, № 1(379), с. 58-72.

Фролов, С.В., Федяков, В.Е., Третьяков, В.Ю., Клейн, А.Э., Алексеев, Г.В. (2009) Новые данные об изменении толщины льда в арктическом бассейне, *Доклады Академии наук. География*, т. 425, № 1, с. 104-108.

Хайруллин, К.Ш. (1969) *Оттепели на территории СССР*, Л., Гидрометеиздат, 88 с.

Хан, В.М., Вильфанд, Р.М., Тищенко, В.А., Емелина, С.В., Грицун, А.С., Володин, Е.М., Воробьева, В.В., Тарасевич, М.А. (2023) Оценка изменений температурного режима по Северной Евразии на предстоящее пятилетие по прогнозам модели Земной системы ИВМ РАН и их возможных последствий для сельского хозяйства, *Метеорология и гидрология*, № 9, с. 14-28.

Хлебникова, Е.И., Салль, И.А. (1989) Об оценке характеристик выбросов гауссовских метеорологических полей и их чувствительности, *Труды ГГО*, вып. 525, с. 44-51.

Хлебникова, Е.И., Дацюк, Т.А., Салль, И.А. (2014) Воздействие изменений климата на строительство, наземный транспорт, топливно-энергетический комплекс, *Труды ГГО*, вып. 574, с.125-178.

Хлебникова, Е.И., Школьник, И.М., Рудакова, Ю.Л. (2022) Статистическая интерпретация климатических данных для обеспечения потребностей экономики РФ, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 8, № 1, с. 33.

Хромов, С.П. (1959) Атмосферная циркуляция и погода на пути «Оби» в плавании 1956-1957 гг., *Труды Советской антарктической экспедиции (САЭ)*, том 5, с. 27-83.

Черниговский, Н.Т., Маршунова, М.С. (1965) *Климат Советской Арктики (радиационный режим)*, Л., Гидрометеиздат, 198 с.

Чуканин, К.И. (1969) Влияние теплового состояния полярных районов на вихревую деятельность в атмосфере, *Проблемы Арктики и Антарктики*, вып. 30, с. 66-72.

Шерстюков, А.Б. (2012) Массив суточных данных о температуре почвогрунтов на глубинах до 320 см по метеорологическим станциям Российской Федерации, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 176, с. 233-256.

Шерстюков, А.Б., Шерстюков, Б.Г. (2015) Пространственные особенности и новые тенденции в изменениях термического состояния почвогрунтов

и глубины их сезонного протаивания в зоне многолетней мерзлоты, *Метеорология и гидрология*, № 2, с. 5-12.

Шерстюков, Б.Г. (2021) Лесные пожары России в условиях изменяющегося климата, *Труды ВНИИГМИ-МЦД*, вып. 188. с. 30-48

Шикломанов, И.А., Георгиевский В.Ю. (2002) Влияние антропогенных изменений климата на гидрологический режим и водные ресурсы, в кн.: *Изменения климата и их последствия*, СПб., Наука, с. 152-164.

Шикломанов, И.А., Шикломанов, А.И. (2003) Изменение климата и динамика притока речных вод в Северный Ледовитый океан, *Водные ресурсы*, т. 30, № 6, с. 645-654.

Шифрин, К.С. (1951) *Рассеяние света в мутной среде*, Москва, 288 с.

Энциклопедия климатических ресурсов (2005) Под ред. Н.В. Кобышева, К.Ш. Хайруллин, СПб., Гидрометеиздат, 320 с.

Янишевский, Ю.Д. (1957) *Актинометрические приборы и методы наблюдений*, Л., Гидрометеиздат.

Alekseev, G., Kuzmina, S., Bobylev, L., Urazgildeeva, A., Gnatiuk, N. (2019) Impact of atmospheric heat and moisture transport on the Arctic warming, *Int. J. Climatol.*, vol. 39, no. 8, pp. 1-11.

Alekseev, G.V., Glok, N.I., Vyazilova, A.E. et al. (2021) Influence of SST in low latitudes on the Arctic warming and sea ice, *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1145.

Borzenkova, I.I., Ershova, A.A., Zhiltsova, E.L. Shapovalova, K.O. (2023) Arctic sea ice in the light of current and past climate changes, *Isvestiya RAN, Seria atmospheric and ocean physics*, vol. 59, Suppl. 1, pp. S35-S46.

IPCC (2021) *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pèan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001, URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM.pdf.

Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Genthon, C., Barkov, N.I., Kotlyakov, V.M., Petrov, V.M. (1987) Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years), *Nature*, vol. 329, pp. 403-408.

Jouzel, J., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Bender, M., Chappellaz, J., Genthon, C., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Petit, J.R., Raynaud, D., Raisbeck, G., Ritz, C., Sowers, T., Stievenard, M., Yiou, F., Yiou, P. (1993) Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period, *Nature*, vol. 364, pp. 407-412.

Jouzel, J., Waelbroeck, C., Malaize, B., Bender, M., Petit, J.R., Stievenard, M., Barkov, N.I., Barnola, J.M., King, T., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Raynaud, D., Ritz, C., Sowers, T. (1996) Climatic interpretation of the recently extended Vostok ice records, *Climate Dynamics*, vol. 12, pp. 513-521.

Marshunova, M.S., Chernigovskii, N.T. (1978) *Radiation Regime of the Foreign Arctic*, Indian National Scientific Documentation Centre, New Delhi, 189 p.

Peterson, B.J., Holmes, R.M., McClelland, J.W., Vorosmarty, C.J., Lammers, R.B., Shiklomanov, A.I., Shiklomanov, I.A., Rahmstorf, S. (2002) Increasing river discharge to the Arctic Ocean, *Science*, vol. 298, pp. 2171-2173.

Volodin, E.M., Gritsun, A.S. (2020) Simulation of possible future climate changes in the 21st century in the INM-CM5 climate model, *Izvestiya, Atmospheric and Ocean Physics*, vol. 56, no. 3, pp. 218-228.

Zubakov, V.A., Borzenkova, I.I. (1990) *Global Palaeoclimate of the Late Cenozoic. Ser. Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 12, Elsevier Sci. Publ., 472 p.

References

Alekseev, G.V., Zakharov, V.F., Radionov, V.F. (2000) Dinamika klimata Arktiki v XX stoletii. Problemy gidrometeorologii okruzhaushchei sredy na poroge XXI veka [Arctic climate changes during 100 years. Problems of the Hydrometeorology of the environment at the beginning of the XXI century], *V Trudy Mezhdunarodnoi teoreticheskoi konferentsii 1999* [Proceedings of the International Theoretic conference 1999], St. Petersburg, Russia, pp. 141-146.

Alekseev, G.V., Bol'shiyanov, D.Yu., Radionov, V.F., Frolov, S.V. (2015) 95 let issledovaniy klimata i kriosfery Arktiki v AANII [95 years of Arctic climate and cryosphere research at AARI], *Led i sneg*, vol. 55, no. 4, pp. 127-140, doi:10.15356/2076-6734-2015-4-127-140.

Alekseev, G.V., Harlanenkova, N.E., Ivanov, N.E., Glok, N.I. (2024) Monitoring izmenenij klimata v morskoy Arktike [Monitoring climate change in the marine Arctic], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, vol. 70, no. 1, pp. 33-45, doi:10.30758/0555-2648-2024-70-1-33-45.

Anapol'skaya, L.E. (1961) *Rezhim vetra na territorii SSSR* [The wind regime on the USSR territory], Leningrad, Russia.

Anapolskaya, L.E., Gandin, L.S. (1973) *Meteorologicheskie faktory teplovogo rezhima zdaniy* [Meteorology factors of the warm regime of the buildings], Leningrad, Russia, 285 p.

Anisimov, O.A., Lavrov, S.A. (2004) Global'noe poteplenie i tayanie vechnoy merzloty: riski dlya proizvodstvennykh ob'ektov TEK [Global warming and permafrost melting: risks for industrial objects TEK], *Tekhnologii TEK*, no. 3, pp. 78-83.

Anisimov, O.A., Zhirkov, A.F., Sherstukov, A.B. (2015) *Sovremennyye izmeneniya kriosfery i prirodnoi sredy v Arktike* [Current changes in cryosphere and environment in Arctic], *Arktika. XXI vek* [Arctic. XXI century], no. 2 (3), pp. 24-47.

Anisimov, O.A., Streletskii, D.A. (2015) *Geokriologicheskie riski pri tayanii mnogoletnemerzlykh gruntov* [Geocryologic risks during the permafrost melting], *Arktika. XXI vek* [Arctic. XXI century], no. 2 (3), pp. 60-74.

Antropogennyye izmeneniya klimata [Man's impact on climate changes] (1987) In M.I. Budyko, Yu.A. Izrael' (eds.), Leningrad, Russia, 406 p.

Asmus, V.V. (2022) *Primenenie sputnikovoi informatsii dlya resheniya zadach gidrometeorologii i monitoring okruzhayushchei sredy* [Using satellite data for the decision of the problem of the hydrometeorological and environmental], Moscow, Russia, 89 p.

Atlas teplovogo balansa [Atlas of the heat balance] (1955) In M.I. Budyko (ed.), Leningrad, 41 p.

Atlas teplovogo balansa Zemnogo shara [Atlas of the heat balance of the Earth] (1963) In M.I. Budyko (ed.), Moscow, Russia, 69 p.

Atlasy vetrovogo i solnechnogo klimata of Russian [Wind and solar climate atlases of the Russian territory] (1997) In M.M. Borisenko, V.V. Stadnik (eds.), St. Petersburg, Russia.

Bardin, M.Yu., Platova, T.V., Samokhina, O.F. (2015) *Osobennosti nabludaemykh izmenenii klimata na territorii Severnoi Evrasii po dannym regulyarnogo monitoring i vosmozhnye ikh faktory* [Peculiarity of the climate changes on the Northern part of the Euroasian by using regulate monitoring and possible factors], *V Trudy GMTs* [Proceedings of the GMTs], no. 358, pp. 13-35.

Bardin, M.Yu., Ran'kova, E.Yu., Platova, T.V., Samokhina, O.F., Korneva, I.A. (2020) *Sovremennyye izmeneniya prizemnogo klimata po rezul'tatam regulyarnogo monitoring* [The present surface climate changes by using regulate monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 29-45.

Barkov, N.I., Vostretsov, R.N., Lipenkov, V.Ya., Salamatin, A.N. (2002) *Kolebaniya temperatury vozdukh i osadkov na stantsii Vostok na protyazhenii chetyrekh klimaticheskikh tsiklov za posledniy 420 tysyach let* [Fluctuations of the air temperature and rainfall during four climatic cycles for the last 420,000 years at the Vostok station], *Arktika i Antarktika*, issue 1(35), pp. 82-97.

Berlyand, T.G. (1961) *Raspredelenie solnechnoi radiatsii na kontinentakh* [Distribution of the solar radiation on the continents], Leningrad, Russia, 255 p.

Blinova, E.N. (1943) *Gidrodinamicheskaya teoriya voln davleniya, temperaturnykh voln i tsentrov deistviya atmosfery* [Hydrodynamics theory of the pressure wave, temperature wave and the active center of the atmosphere], *DAN USSR*, issue 39, no. 3.

Borzenkova, I.I. (1974) K voprosy o vozmozhnykh vliyaniyakh vulkanicheskoi pyli na radiatsionnyi i termicheskii rezhim [About influence of the volcanic ash on the radiation and temperature regime], *Trudy GGO*, vol. 307, pp. 36-42.

Borzenkova, I.I. (1992) *Izmenenie klimata v kainozoe* [The climate changes in the Cenozoic], St. Petersburg, Russia, 246 p.

Borzenkova, I.I. (2003) Opreделение chuvstvitel'nosti global'nogo klimata k gazovomu sostavu atmosfery po paleoklimaticheskim dannym [Determination of the global climate sensitivity to the gas composition of the atmosphere by using of the paleoclimatic data], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 39, no. 2, pp. 222-228.

Borzenkova, I.I. (2016) Istoriya oledeneniya Arkticheskogo basseina: vzglyad iz proshlogo dlya otsenki vozmozhnykh izmenenii v budushchem [History of the sea-ice in the Arctic basin: Lesson from the past for future], *Led i Sneg*, vol. 56, no. 2, pp. 221-234.

Borzenkova, I.I., Ershova, A.A., Zhiltsova, E.L., Shipovalova, K.O. (2021) Morskoi led Arkticheskogo basseina v svete sovremennykh i proshlykh klimaticheskikh izmenenii [Arctic sea ice in the light of current and past climate changes], *Led i Sneg*, vol. 61, no. 4, pp. 533-546.

Budyko, M.I. (1972) *Vliyanie cheloveka na klimat* [Man's influence on climate], Gidrometeoizdat, Leningrad, Russia, 47 p.

Budyko, M.I. (1974) *Izmenenie klimata* [Climate change], Leningrad, Russia, 280 p.

Budyko, M.I. (1985) Aerazol'nye klimaticheskie katastrofy [Aerosol climatic catastrophes], *Priroda*, no. 6, pp. 30-38.

Budyko, M.I., Vinnikov, K.Ya. (1976) Global'noe poteplenie [Global warming], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 3-7.

Budyko, M.I., Vinnikov, K.Ya. (1983) Problema obnaruzheniya antropogenogo izmeneniya klimata [Problem of detection of the anthropogenic global climate change], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 14-26.

Budyko, M.I., Golitsyn, G.S., Izrael', Yu.A. (1985) *Global'nye klimaticheskie katastrofy* [Global climatic catastrophes], Leningrad, Russia, 158 p.

Budyko, M.I., Drosdov, O.A. (1953) Zakonomernosti vlagooborota v atmosfere [Characteristics of the moisture circulation in the atmosphere], *Izvestiya AN SSSR, geografical ser.*, no. 3, pp. 3-11.

Bulygina, O.N., Rasuvaev, V.N., Aleksandrova, T.M. (2014) Opisanie massiva dannykh "Kharakteristiki snezhnogo pokrova na meteorologicheskikh stantsiyakh Rossii i byvshego SSSR" [Data massiv description "Snow cover on the meteorological stations on the Russian territory and territory of the former of the USSR"], *Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii basy dannykh № 2014621201* [Licence about state registration data bank № 2014621201], URL: <http://meteo.ru/data/165-snow-cover#описаниемассива-данных>.

Bulygina, O.N., Dement'eva, T.V., Korshunova, N.N. (2020) Metodika monitoring klimata na territorii Rossii: rezhim prizemnogo vetra [Climate monitoring on the Russian territory: wind near surface], *Rezultaty ispytatiya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modelei i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov: Informazionnyi sbornik* [Results of the test of the new and improvement technology, models and methods hydrometeorological forecasts], no. 47, pp. 22-32.

Veres, A.N., Ekaikin, A.A., Lipenkov, V.Ya., Bol'shiyanov, A.V., Zarovchatskii, V.N., Kozachek, A.V., Teben'kova, N.A., Turkeev, A.V. (2020) Predvaritel'nye rezultaty izucheniya klimata zentral'noi Antarktidi (stanzhiya Vostok) za 2000 let po dannym snezhno-firnovykh kernov [Preliminary results about climate changes in the central Antarctic (station Vostok) during the last 2000 years by using snow-fern cores], *Kompleksnye issledovaniya prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki* [Complex investigations Arctic and Antarctic nature], Thesis of the international conference, pp. 176-177.

Vize, V.Yu. (1937) Prichiny potepeniya Arktiki [Causes of Arctic warming], *Sovetskaya Arktika*, vol. 1, pp. 1-7.

Vinnikov, K.T., Groisman, P.Ya. (1979) Empiricheskaya model' sovremennykh izmenenii klimata [Empirical model of the current climate changes], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 3, pp. 25-36.

Vinnikov, K.T., Groisman, P.Ya. (1982) Empiricheskie issledovaniya chuvstvitel'nosti klimata [Empirical investigations of the sensitivity of the climate], *Izvestiya AN SSSR, fizika atmosfery i okeana*, vol. 18, no. 11, pp. 1159-1169.

Vozmozhnosti predotvashcheniya izmeneniya klimata i ego negativnykh posledstviy. Problema Kiotskogo protokola [Possibilities prevention climate changes and negative consequence. Problems of the Kyota protocol] (2006) In Yu.A. Izrael (ed.), Nauka, Moscow, Russia, 408 p.

Volodin, E.M., Mortikov, E.V., Kostrykin, S.V. et al. (2017) Vosproizvedenie sovremennogo klimata v novoi versii modeli klimaticheskoi sistemy IBM RAN [Reproduction of the present climate by using new version of the climate model IBM RAN], *Izvestiya RAN, fizika atmosfery i okeana*, vol. 53, no. 2, pp. 164-178.

Vulkany, stratosfernyi aerazol' i klimat Zemli [Volcanos, stratospheric aerosol and the Earth's climate] (1986) In S.S. Khmelevtsova (ed.), Leningrad, Russia, 254 p.

Gandin, L.S., Kagan, R.L. (1976) *Statisticheskie metody interpretatsii meteorologicheskikh dannykh* [Statistical methods of the meteorological data interpretation], Leningrad, Russia, 359 p.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya. (1980) *Struktura i izmen'chivost' nablyudaemogo klimata. Temperatura vozdukha Severnogo polushariya* [The structure and variability of the modern climate. The air temperature], Leningrad, Russia, 172 p.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya. (1989) Monitoring i veroyatnostnoi prognoz korotkoperiodnykh kolebaniy klimata [The monitoring and a likely forecast of the short-term climatic oscillations], *60 let Tsentru gidrometeorologicheskikh prognozov* [60 years of the Center of the Hydrometeorological forecast], Leningrad, Russia, pp. 148-170.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya. (2012) *Nablyudaemye i ozhidaemye izmeneniya klimata Rossii: temperatura vozdukha* [Present and forthcoming climate changing on the Russian territory: air temperature], Obninsk, Russia, 194 p.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya., Rocheva, E.V. (2017) Metodika "Monitoring izmeneniy klimata zemnogo shara: prizemnaya temperatura" i rezultaty ye ispytaniya [Methodika "Monitoring of the Earth's climate changes: air temperature of the near surface and results of their changes], *Rezultaty ispytaniya novykh i usovershenstvovannykh tekhnologii, modeli i metodov gidrometeorologicheskikh prognozov* [Results of the test of the new and improved technology, models and methods of the hydrometeorological forecasts], no. 44, pp. 3-11.

Gruza, G.V., Ran'kova, E.Ya., Samokhina, O.F. (2021) Osobennosti temperaturnogo rezhimau povekhnosti zemnogo shara v 2020 godu [Peculiarities of the temperature regime near surface of the Earth in 2020 year], *Fundamental'naya i prikladnaya klimatologiya*, no. 2, pp. 28-58.

Danilov, A.I., Klepikov, A.V. (2020) Sostoyanie i perspektivy rossijskikh issledovaniy okruzhayushchej sredy Antarktiki [State and prospects of Russian environmental research in Antarctica], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 14-19.

Dzerdzeevskij, B.L. (1943) K voprosu potepleniya v Arktike [On the issue of warming in the Arctic], *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Geografo-geofizicheskaya seriya*, vol. 2, pp. 60-69.

Dzerdzeevskii, B.L. (1945) *Zirkulyatsionnye skhemy v troposphere Zentral'noi Arktiki* [Atmospheric circulation in the troposphere of the Central Arctic], Moscow-Leningrad, Russia, pp. 21-58.

Dobrolubov, N.Yu., Semenov, S.M., Volodin, E.M., Bogdanovich, A.Yu. (2023) Algebraicheskiy algoritm statisticheskoi otsenki parametra binomial'nogo raspredeleniya i primer ego primeneniya v odnoi global'noi geoinformatsionnoi zadache prikladnoi klimatologii [Algebraical algorithm of the statistical estimation of the parameter binomialic systematization and example their using in one of the global geoinformational problem of the applied climatology], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 16-24.

Doklad o nauchno-metodicheskikh osnovakh dlya rasrabotki strategii adaptatsii k izmeneniyam klimata v Rossiskoi Federatsii [Report about scientific-methodical foundation for the elaboration to the adaptation of the climate changes] (2020) St. Petersburg, Russia, 120 p.

Dolgin, I.M. (1968) *Klimat svobodnoj atmosfery Sovetskoj Arktiki* [Climate of the free atmosphere of the Soviet Arctic], Leningrad, Russia, 398 p.

Drozдов, O.A., Grigor'eva, A.S. (1963) *Vlagooborot v atmosphere* [The water cycle in the atmosphere], Leningrad, Russia, 314 p.

Drozдов, O.A., Grigor'eva, A.S. (1971) *Mnogoletnii tziklicheskie kolebaniya atmosferykh osadkov on the territory* [Long-term cycle fluctuation in the atmospheric precipitation over the USSR territory], Leningrad, Russia, 153 p.

Ekajkin, A.A., Antipov, N.N., Bol'shiyanov, D.Yu., Verkulich, S.R., Ivanov, B.V., Klepikov, A.V., Lipenkov, V.Ya., Makarov, A.S., Radionov, V.F., Fedorova, I.V., Frolov, I.E. (2020) Osnovnye rezul'taty issledovaniy Arkticheskogo i antarkticheskogo NII Rosgidrometa v Antarktike [Main results of research by the Arctic and Antarctic Research Institute of Roshydromet in Antarctica], *Vestnik RFFI*, № 3-4(107-108), pp. 99-114, doi: 10.22204/2410-4639-2020-106-107-3-4-99-118.

Efimova, N.A. (1977) *Radiatsionnye factory produktivnosti rastitel'nogo pokrova* [Radiations factors of the vegetation cover], Leningrad, Russia, 216 p.

Zavarina, M.V. (1976) *Stroitel'naya klimatologiya* [The building climatology], Leningrad, Russia, 312 p.

Zubakov, V.A., Borzenkova, I.I. (1983) *Paleoklimaty pozdnego kainozoya* [Paleoclimates of the Upper Cenozoic], Leningrad, Russia, 214 p.

Zubenok, L.I. (1963) Vliyanie anomalii temperatury na ledyanoi pokrov Arktiki [Influence of the air temperature anomalies on the Arctic ice cover], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 16-24.

Izrael', Yu.A. (1974) Global'nyaya sistema nablyudenii. Prognoz i otsenka izmenenii sostoyaniya okruzhayushchei sredy. Osnovy monitoring [Global system of the observation. Forecast and estimation of environmental state. Monitoring basis], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 3-8.

Izrael', Yu.A. (1984) *Ekologiya i kontrol' prirodnoi sredy* [Ecology and environmental control], Leningrad, Russia, 560 p.

Izrael', Yu.A. (1990) Filosofiya monitoring [Philosophy of the environmental monitoring], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 5-10.

Izrael', Yu.A. (2005) Effektivnyi put'sokhraneniya klimata na sovremennom urovne – osnovnaya tsel' resheniya klimaticheskoi problem [Powerful way to regulate global climate – a main goal of the climatic problem solution], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 5-9.

Izrael', Yu.A., Filippova, L.M., Rovinskii, F.Ya. et al. (1978) O programme kompleksnogo fonovogo monitoring sostoyaniya okruzhayushchei prirodnoi sredy [About the programme of the complex background monitoring of the state of the environmental], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 5-11.

Izrael', Yu.A., Kunina, I.M., Semenov, S.M. (1989) Sravnitel'nye otsenki vliyaniya ozona, dvoukisi sery i dvoukisi azota na produktivnost' vyshikh rastenii [Comparative estimations of influence ozone, dioxide sulphur, dioxide nitrous upon the productivity of the climax plants], *Doklady Akademii Nauk*, vol. 308, no. 1, pp. 247-250.

Izrael', Yu.A., Gruza, G.V., Kattsov, V.M., Meleshko, V.P. (2001) *Izmenenie global'nogo klimata. Rol' antropogennykh vozdествii* [Global climate changes. Role anthropogenic influence], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 5-21.

Izrael', Yu.A., Sirotenko, O.D. (2003) *Modelirovanie vliyaniya izmenenii klimata na produktivnosn' sel'skogo khozyaistva* [Modelling of the influence of the climate changing on the agricultural production], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 5-17.

Izrael', Yu.A., Borzenkova, I.I., Severov, D.A. (2007) *Rol' stratosfernykh aerosolei v sokhranenie sovremennogo klimata* [Role of stratospheric aerosols in the maintenance of present-day climate], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 1, pp. 5-14.

Izrael', Yu.A., Zakharov, V.M., Petrov, N.N., Ryaboshapko, A.G., Ivanov, V.N., Savchenko, A.V., Andreev, Yu.V., Puzov, Yu.A., Danilyan, B.G., Kulyapin, V.P. (2009a) *Naturnyi eksperiment po issledovaniyu proizkhozheniya solnechnogo izlucheniya cherez aerazol'nye sloi* [The full-natural experiment about sunlight passing through the aerosol layers], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 5-15.

Izrael', Yu.A., Zakharov, V.M., Petrov, N.N., Ryaboshapko, A.G., Ivanov, V.N., Savchenko, A.V., Andreev Yu.V., Eran'kov V.G., Puzov Yu.A., Danilyan B.G., Kulyapin V.P., Gulevskii, V.A. (2009b) *Naturnye issledovaniya geoinzheneringovo metoda sokhraneniya sovremennogo klimata s ispol'zovaniem aerazol'nykh chastits* [The full-natural investigations geoingeneering method for safety of present climate by using aerosol particles], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 5-10.

Izrael', Yu.A., Zakharov, V.M., Ivanov, V.N., Petrov, N.N., Andreev, Yu.V., Gulevskii, V.A., Danilyan, B.G., Eran'kov, V.G., Kirin, D.V., Kulyapin, V.P., Rusakov, Yu.S., Savchenko, A.V., Svirkunov, P.N., Severov, D.A., Folomeev, V.V. (2011) *Naturnyi ekseperiment po modelirovaniyu vliyaniya aerazol'nykh sloev na izmen'chivost' solnechnoi insolyatsii i meteorologicheskikh kharakteristik prizemnogo sloya* [The full-natural experiment by the modeling influence aerosol layers on the variability of the sun radiation and meteorological condition of surface layer], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 11, pp. 5-14.

Izrael', Yu.A., Ryaboshapko, A.G. (2011) *Geoinzheneriya klimata: vozmozhnosti realizatsii* [Geoengineering of the climate: the possibility of the reality] *Problemy ekologicheskogo monitoring I modelirovanie ekosistem* [Problems of the ecological monitoring and modeling of the ecosystem], vol. XXIV, Moscow, Russia, pp. 11-24.

Izrael', Yu.A., Ryaboshapko, A.G. (2012) *Issledovanie vozmozhnostei stabilizatsii klimata s pomoshch'yu novykh tekhnologii* [Investigation of the possibilities of the climate stability by using new technologies], Moscow, Russia, 178 p.

Izrael', Yu.A., Filippova, L.M., Rovinskii, F.Ya. et al. (1978) *O programme kompleksnogo fonovogo monitoringa sostoyaniya okruzhayushchei prirodnoi sredy* [About of the program of the complex basis monitoring of the environment state], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 5-11.

Kalitin, N.N. (1920) K voprosu o vremeni nastupleniya opticheskoi anomalii v 1912 godu [On the time of the onset of the optical anomaly in 1912], *Izvestiya GFO*, no. 1, pp. 11-17.

Karol', I.L. (1986) *Radiatzionno-fotohimicheskie modeli atmosfery* [Radiation-photochemical models of the atmosphere], in Andronova, N.G., Babanova, V.V., Karol', I.L., Kisilev, A.A., Kudryavtsev, A.P., Morozova, I.A., Rozanov, E.V., Frol'kis, V.A. (eds.), Leningrad, Russia, 192 p.

Karol', I.L., Pivovarova, Z.I. (1978) Svyaz' izmenenii sodержaniya stratosfernykh aeroleiy s kolebaniyami solnechnoi radiatsii [Relation between amount of the stratospheric aerosols and sun radiation changing], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 35-42.

Kattsov, V.M., Meleshko, V.P. (2004) Sravnitel'nyi analiz modelei obshchei tsirkulyatsii atmosfery i okeana, prednaznachennykh dlya otsenki budushchikh izmenenii klimata [The comparative analysis of the models of the common circulation of the atmosphere and ocean are reserved for the assessment of the future climatic changes], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery I okeana*, vol. 40, no. 6, pp. 647-658.

Kattsov, V.M., Meleshko, V.P., Chicherin, S.S. (2007) Izmenenie klimata i natsional'naya bezopasnost' Rossiiskoi Federatsii [Climate changing and national security of the Russian Federation], *Pravo i Bezopasnost'*, no. 1-2, pp. 29-37.

Kattsov, V.M., Shkol'nik, I.M., Efimov, S.V. (2017a) Perspektivnye otsenki izmeneniy klimata v rossiskikh regionakh: detalizatsiya v fisicheskom i veroyatnosnom prostranstvakh [Perspective estimates of the climate changes in the Russian regions: detailed elaboration in the physical and probability space], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 7, pp. 68-80.

Kattsov, V.M., Kiselev, A.A., Meleshko, V.P., Pavlova, T.V. (2017b) Global'nye izmeneniya klimata i osnovnye stsenarii i osobennosti izmenenii klimata v Arktike: models, otsenki, prognozy [Global climate changing and fundamental projections and peculiarity climate changing in the Arctic regions: models, estimations, forecasts], *Social-economik development of the Russyiskoi Arktiki v kontekste global'nykh izmenenii klimata* [Social-economic system development of the Russian Arctic in frame of global climatic changes], in B.N. Porfir'ev (ed.), Moscow, Russia, pp. 17-52.

Kattsov V.M., Porfir'ev B.N. (2017c) Adaptatsiya Possii k izmeneniyu klimata: kontseptsiya natsional'nogo plana [Adaptation of the Russia to the climate changing: conception of the national plane], *Trudy GGO*, issue 586, pp. 7-20.

Kiotskiy protokol k ramochnoi Koventsyi OON ob izmeneniyi klimata [Kyoto protocol to the United Nations framework convention on climate change] (1997) 26 p.

Klepikov, A.V. (2023) Rossijskie issledovaniya v oblasti polyarnoj meteorologii v 2019-2022 [Russian research in the field of polar meteorology in 2019-2022], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery I okeana*, vol. 59, no. 7, pp. 915-929.

Klepikov, A.V., Danilov, A.I., Lipenkov, V.Ya., Leychenkov, G.L., Neelov, A.V. (2015) Osnovnye rezultaty nauchnyh rabot po podprogramme "Izuchenie i issledovanie Antarktiki" "Mirovoj okeana" [The main results of scientific work under the subprogram "Study and Research of the Antarctic" of the Federal Target Program "World Ocean"], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, vol. 1, no. 103, pp. 19-31.

Klepikov, A.V., Danilov, A.I. (2021) Polyarnaya meteorologiya (rezul'taty rossijskikh issledovanij v 2015-2018 [Polar meteorology (results of Russian research in 2015-2018)], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 57, no. 3, pp. 261-277.

Kleshchenko, A.D., Asmus, V.V., Strashnaya, A.I., Krovotyntsev, V.A., Virchenko O.V. et al. (2019) Monitoring zasukh na osnove nazemnoi i sputnikovoi informatsyi [Monitoring of the droughts by using surface and sputnik information], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 11, pp. 95-108.

Klimat gorodov [Climate of the cities] (1979-1991) In Ts.A. Shver (eds.), Leningrad, Russia.

Klimat Rossii [The climate of the Russia] (2001) In N.V. Kobysheva (eds.), St. Petersburg, Russia, 655 p.

Klimat USSR [Climate of the USSR] (1958-1963) In A.N. Lebedev (eds.), Issue 1-6, Russia.

Klimaticheskaya doktrina Rossiskoi Federatsyi [Doctrine of the climate of the Russian Federation] (2009), Russia, 20 p.

Klimaticheskie parametry Baikalo-Amurskoi magistrali [Climate parameters of the Baikal-Amur main line] (1977) In L.E. Anapol'skaya, I.D. Kopanev (eds.), Leningrad, Russia, 132 p.

Klimaticheskyy atlas SSSR [Climatic atlas of the USSR] (1958, 1960, 1962) In F.F. Davitaya (ed.), vol. 1, 2, Moscow, Russia.

Klimaticheskyy spravochnik po SSSR [Climate guide on the USSR territory] (1932) In A.A. Kaminsky, E.S. Rubinstein (eds.), Leningrad, Russia, 261 p.

Kobysheva, N.V., Akent'eva, E.M., Galuk, L.P. (2015) *Klimaticheskyye riski i adaptatsiya k izmeneniyam i izmenchivosti klimata v tekhnicheskoi sfere* [Climate risks and adaptation to the changing climate and climatic variability in the technical field], St. Petersburg, Russia, 213 p.

Kondrat'ev, K.Ya. (1965) *Aktinometriya* [Actinometric], Leningrad, Russia, 692 p.

Kondrat'ev, K.Ya. et al. (1973) *Vliyaniye aerosolya na perenos izlucheniya i vosmozhnye klimaticheskie posledstviya* [The influence of the aerosol on the incoming solar radiation and possible climatic consequence], Leningrad, Russia, 266 p.

Lavrov, A.S., Sterin, A.M. (2017) Rezultaty sopostavleniya ryadov temperatury svobodnoi atmosfery po dannym radiozondovykh i sputnikovykh nabluydenii [Results of the comparison of the sets of the air temperature by using satellite and radiozondal data], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 30-44.

Lagun, V.E., Klepikov, A.V., Danilov, A.I. (2017) Polyarnaya meteorologiya (rezul't atyrossijskikh issledovaniy v 2011-2014) [Polar meteorology (results of Russian research in 2011-2014)], *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, vol. 53, no. 5, pp. 641-657.

Lipenkov, V.Ya., Parrena, F. (2020) Osnovnye rezul'taty raboty rossiisko-frantsuzskoi mezhdunarodnoi assotsiirovannoi laboratorii Lednikovye arhivy dannykh o klimate i okruzhauyshehei sredy [The main results of the work of the Russian-French international associated laboratory "Glacial archives of climate and environmental data"], *Kompleksnye issledovaniye prirodnoi sredy Arktiki i Antarktiki* [Complex investigations of the Arctic and Antarctic environment], Abstract reports of the International scientific conference, pp. 87-89.

Malevskii-Malevich, S.P., Mol'kentin, E.K., Nadezhina, E.D. et al. (2001) Modelirovanie sovremennykh i prognosticheskikh raspredelenii nempertury gruntov v zone vechnoi merzloty na territorii Rossii [Modeling of modern and predicted distributions of soil temperature in the permafrost zone in Russia], *Materialy vtoroi konferentsii geokriologov Rossii* [Materials of the second cryogenic conference of the Russia], vol. 2, Moscow, Russia, pp. 189-196.

Metodika (2012) *Metodika monitoring klimata na territorii Rossiiskoi Federatsii: temperature prisemnogo vozdukh, atmosferynye osadki* [Methodology for climate monitoring in the territory of the Russian Federation: surface air temperature, atmospheric precipitation] Reshenie Tsentralnoi metodicheskoi komissii po gidrometeorologicheskim i geliogeofizicheskim prognozam ot 13 dekabrya 2012 goda [Decision of the Central Methodological Commission for Hydrometeorological and Heliogeophysical Forecasts of December 13, 2012], Federal State Budgetary Institution "IGKE Roshydromet and RAS", a team of authors led by G.V. Gruza, URL: <https://method.meteorf.ru/>.

Metodicheskie rekomendatsii po raschety spetsialisirovannykh klimaticheskikh kharakteristik dlya obsluzhivaniya razlichnykh otraslei ekonomiki. Stroitel'stvo i transport [Methodical recommendations to the calculation of the special climatic characteristics for the service of the different branches of the economic. The construction and transport] (2017) OOO "AMIRIT", St. Petersburg, Russia, 162 p.

Metodicheskiye rekomendatsii po raschetu spetsializirovannykh klimaticheskikh kharakteristik dlya obsluzhivaniya razlichnykh otrasley ekonomiki. Energetika [Methodical recommendations to the calculation of the special climatic characteristics for the service of the different branches of the economic. The energy] (2022) OOO "AMIRIT", St. Petersburg, Russia.

Meshcherskaya, A.V., Yakovleva, N.I. (1965) Utochnenie estestvennykh funktsii polei geopotentsiala (davleniya) atlantiko-evropeiskogo sektora [The accuracy of the natural functions of the fields of the geopotential (pressure) in the Atlantiko-European sector], *Trudy GGO*, issue 168.

Mirvis, V.M., Meleshko, V.P. (2008) Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya meteorologicheskikh prognozov na mesyats i sezon [The present

condition and perspective of the development of the meteorological forecasts for the month and the season], *Trudy GGO*, issue 558, pp. 3-40.

Mirovoi vodnyi balans i vodnye resursy Zemli [World water balance and water resources of the Earth] (1974), Leningrad, Russia, 638 p.

Monin, A.S. (1969) *Prognoz pogody kak zadacha fiziki* [The forecast of the weather as a physic problem], Moscow, Russia, 184 p.

Nauchno-prikladnoi sprachnik po klimatu Rossii (Arkticheskii region) Solnechnaya radiatsiya [The scientific-applied guide of the Russian climate (Arctic region)] (1997) Solar radiation, St. Petersburg, Russia, 230 p.

Okeanografiya i morskoi lyed. Seriya. Vklad Rossii v Mezhdunarodnyi polyarnyi god 2007/2008 [The oceanography and marine ice. Ser. Contribution of the Russia to the International Polar Year 2007/2008] (2011) In Frolov I.E. (ed.), Moscow-St. Petersburg, Russia, 431 p.

Pavlova, V.N., Karachenkova, A.A. (2023) *Izmenenie agroklimaticheskikh resursov zernoproizvodyashchikh regionov Rossii i productivnosti zernovykh kul'tur v novom klimaticheskom periode 1991-2020* [The changing of the agroclimatic resources of the grain regions of the Russia and productivity of the cereals in the new climatic period 1991-2020], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 29-42.

Pavlova, T.V., Kattsov, V.M., Nadezhina, E.D., Sporyshev, P.V., Govorkova, V.A. (2007) *Raschet evolutsii kriosfery v XX i XXI vekakh s ispolzovaniem globalnykh klimaticheskikh modelei novogo pokoleniya* [The estimation of the evolution of the cryosphere in XX and XXI centuries by using the new climatic models], *Kriosfera Zemli*, vol. 11, no. 2, pp. 3-13.

Paleoklimat polyarnykh oblastei Zemli v golotsene [Paleoclimat of the polar regions of the Earth in the Holocene] (2019) St. Petersburg, Russia, 204 p.

Parizhskoe soglasenie Ramochnaya konventsiya Organizatsii Obedinennykh Natsii ob izmenenii klimata [The Paris agreement. The frame of convention of the OON about climate changing] (2015) 30 p.

Pivovarova, Z.I. (1977) *Radiatsionnye kharakteristiki klimata SSSR* [The radiation climate of the USSR], Leningrad, Russia, 366 p.

Pivovarova, Z.I., Stadnik, V.V. (1988) *Klimaticheskie kharakteristiki solnechnoi radiatsii kak istochnika energii na territorii SSSR* [The climatic characteristics of the sun radiation as a source of the energy on the USSR territory], Leningrad, Russia.

Pikaleva, A.A., Nadezhina, E.D., Sternzat, A.V., Borisenko, M.M., Shkolnik, I.M. (2016) *Issledovanie evolutsii vechnoi merzloty na territorii Rossii s pomoshchyu modelei pogranichnogo sloya atmosfery i teploperedachi v gruntakh* [The investigaton of the evolution of the permafrost on the Russian territory by using the models of surface layer of the atmosphere and with heat removal into ground], *Trudy GGO*, issue 581, pp. 24-40.

Porfir'ev, B.N., Kattsov, V.M., Roginko, S.A. (2011) *Izmenenie klimata i mezhdunarodnaya bezopasnost'* [The climate changing and international security], in A.I. Bedritskii, V.V. Ivanter (eds.), Moscow, Russia, 290 p.

Predstoyashchie izmeneniya klimata [Forthcoming climate changes] (1991) In M.I. Budyko, M. Mackrakena (eds.), Leningrad, Russia, 272 p.

Prik, Z.M. (1965) *Klimat Sovetskoj Arktiki (meteorologicheskii rezhim)* [The climate of the Soviet Arctic (meteorological regime)], Leningrad, Russia, 279 p.

Radionov, V.F., Rusina, E.N., Sibir, E.E. (2007) Spetsifika mnogoletnei izmenchivosti summarnoy solnechnoy radiatsii i kharakteristik prozrachnosti atmosfery v polayrnykh oblastaykh [The specifics of the long-term variability of total solar radiation and atmospheric transparency characteristics in the Polar regions], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 76, pp. 131-136.

Radionov, V.F., Rusina, E.N., Sibir, E.E. (2017) Mnogoletnaya izmenchivost' godovykh sum summarnoy i pogloschennoy radiatsii v Arktike [Long-term variability of annual sums of total and absorbed radiation in the Arctic], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 3, pp. 38-50.

Radionov, V.F., Rusina, E.N., Sibir, E.E. (2020) Mnogoletnie izmeneniya integral'noi i spektral'noi prozrachnosti atmosfery po dannym nablyudenii v observatorii Mirnyi (Antarktida) [Long-term changes in the integral and spectral transparency of the atmosphere according to observations at the Mirny Observatory (Antarctica)], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, no. 2, pp. 35-44.

Ril', G. (1963) *Tropicheskaya meteorologiya* [Tropical meteorology], Moscow, Russia, 366 p.

Romanov, I.P. (1993) *Atlas morfometricheskikh kharakteristik l'da i snega v Arkticheskom basseine* [Atlas of the morphological characteristic of the ice and snow in the Arctic basin], St. Petersburg, Russia, 152 p.

Romanovskaya, A.A. (2023) *Otsenka potokov parnikovykh gazov v ekosistemakh regionov Rossiskoi Federatsii* [Assessment of the streams of the greenhouse gases in the ecosystem in the regions of the Russian Federation], Moscow, Russia, 346 p.

Roshydromet (2008) *Ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossiskoi Federatsii. Izmeneniya klimata* [Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], in A.A. Bedritskii (ed.), vol. I, Moscow, Russia, 227 p., vol. 2, Moscow, Russia, 291 p.

Roshydromet (2014) *Vtoroi ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossiskoi Federatsii* [Second assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], in V.M. Kattsov, S.M. Semenov (eds.), Moscow, Russia, 1008 p.

Roshydromet (2022) *Tretii ocenochnyj doklad ob izmeneniyah klimata i ih posledstviyah na territorii Rossiskoi Federatsii* [Third Second assessment report on

climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], in V.M. Kattsov (ed.), Moscow, Russia, 676 p.

Rusin, N.P. (1961) *Meteorologicheskii i radiatsionnyi rezhim Antarktidy* [Meteorological and radiation regime of the Antarctic], Leningrad, Russia, 446 p.

Rusina, E.N., Radionov, V.F. (2002) Otsenka “doindustrialnoy” opticheskoy tolschiny atmosfery pri polyarnoy dymke v Arktike i sovremennogo vklada antropogennykh vybrosov [Assessment of the “pre-industrial” optical depth of the atmosphere during polar haze in the Arctic and the modern contribution of anthropogenic emissions], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 35-39.

Savinov, S.I. (1913) Naibol'shii velichiny napryazheniya solnechnoi radiatsii po nabluydeniyam v Pavlovske s 1892 [The largest value of the solar radiation beginning with 1892 in Pavlovsk by the observations], *Izvestiya AN SSSR. Seriya 6*, vol. 7, no. 12, pp. 707-720.

Sakunov, G.G., Barteneva, O.D., Radionov, V.F., Timerev, A.A., Voskresenskij, A.I., Adnashkin, V.N. (1981) *Opticheskie svoystva atmosfery Arkticheskogo bassejna, Pervyj global'nyj eksperiment PIGAP, T. 2, Polyarnyj aerazol', protyazhyonnaya oblachnost' i radiatsiya* [Optical properties of the atmosphere of the Arctic basin, First global experiment PIGAP, vol. 2, Polar aerosol, extended clouds and radiation], Leningrad, Russia, pp. 73-88.

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

Semenov, S.M. (2015) Parnikovy effect: otkrytie, rasvitiye, rol' v formirovani global'nogo klimata i ego antropogennykh izmenenii [Greenhouse effect: discovery, development of the conception, role in the formation of the global climate and its anthropogenic changes], *Fundamental i prikladnaya klimatologiya*, no. 2, pp. 103-126.

Semenov, S.M. (2022) Parnikovy effect i sovremennyy klimat [Greenhouse effect and modern climate], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 10, pp. 5-17.

Semenov, S.M., Kunina, I.M., Kuhta, B.A. (1998) Sravnenie antropogennykh izmenenii prizemnykh kontsentratsii O₃, SO₂ i CO₂ v Evrope po ekologicheskomu kriteriyum [The comparison of the anthropogenic changes of the surface concentrations of O₃, SO₂, and CO₂ in Europe by using ecological criteria], *Doklady Akademii Nauk*, vol. 361, no. 2, pp. 275-279.

Semenov, S.M., Gelver, E.S., Yasyukevich, V.V. (2002) Temperaturnye usloviya dlya razvitiya dvukh vidov vozbuditelei malyarii v organizme perenoschika na territorii Rossii v XX veke [Temperature of the evolution of the two malaria species in the organism of the carrier on the Russian territory in XX century], *Doklady AN SSSR, Obshchaya biologiya*, vol. 387, no. 1, pp. 131-136.

Semenov, S.M., Gelver, E.S., Kuhta, B.A. (2004) O nelineinosti klimatogennykh izmenenii srokov fenologicheskikh yavlenii u drevesnykh rastenii [About nonlinear of relation between the climatogenic changes and phenotypy of

the woody plants], *Doklady Akademii Nauk, obshchaya biologiya*, vol. 396, no. 1, pp. 427-429.

Semenov, S.M., Yasyukevich, V.V., Gelver, E.S. (2006) *Vyyavlenie klimatogennykh izmenenij* [Identification of climatogenic changes], Moscow, Russia, 324 p.

Semenov, S.M., Popov, I.O. (2011) Sravnitel'nye otsenki vliyaniya izmeneniya kontsentratsii dioksida ugleroda, metana, zakisi azota i vodyanogo para na radiacionno-ravnovesnuyu temperaturu zemnoi 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., Popov, I.O., Yasyukevich, V.V. (2020) Statisticheskaya model' dlya otsenki 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.

Sirotenko, O.D. (1981) *Matematikal modeling vodno-teplovogo rezhima i produktivnosti agroekosistem* [The mathematical modeling of the water-thermal regime and productivity of the agroecological systems], Leningrad, Russia, 167 p.

Sporyshev, P.V., Mirvis, V.M., Kattsov, V.M., Meleshko, V.P., Ran'kova, E.Ya. (2008) Antropogennyy vklad v izmeneniye klimata, Otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii [Anthropogenic contribution into the climate changes, Assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation], in A.I. Bedritskii (ed.), vol. 1, *Climate changes*, pp. 152-173.

Spravochnik po klimatu SSSR [Guide on the climate of the USSR] (1965-1970) Leningrad, Russia.

Sterin, A.M. (1999) Analiz lineinykh trendov v ryadakh temperatury svobodnoi atmosfery [Analysis of the linear trends in the series of the temperature of the free atmosphere for 1958-1997], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 52-68.

Sterin, A.M. (2004a) O chuvstvitel'nosti otsenok trendov temperatury troposfery i nizhnei stratosfery po dannym radiozondirovaniya. 1: Vybormassiva dannyh, perioda ryadov i tekhniki ih analiza [On the sensitivity of estimates of the troposphere and the lower stratosphere temperature trends from radiosonde data. 1: Selection of a data series, period of series and technique of their analysis], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 5, pp. 21-36.

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

Sterin, A.M., Lavrov, A.S. (2022) Ispolovanie kvantil'noi regressii dlya otsenki prostranstvennykh osobennostei kharakteristik trendov prizemnoi temperatury na territorii Rossii [Using of the kvantil'noi regression technik for assessment of the space peculiarity of the characteristic trends of the surface air temperature on the Russian territory], *Fundamental i prikladnaya klimatologiya*, vol. 8, no. 2, pp. 92-111.

Theoretical i eksperimental osnovy stabilizatsii sovremennogo klimata putem sozdaniya aeropolnykh obrazovaniy v nizhnei stratosfere [Theoretical and experimental basis for the stabilization of the present climate by the creation of the aerosol clouds in the low stratosphere] (2019) In Yu.A. Izrael (ed.), Moscow, Russia, 285 p.

Timofeev, V.T. (1944) Vodnye massy Norvezhskogo i Grenlandskogo morei i ikh dinamika [Water masses of the Norwegian and the Greenland seas and their dynamic], *Trudy Arkticheskogo nauchno-issledovatel'skogo insninita glavnogo upravleniya Severnogo morskogo puti pri SNK SSSR* [Proc. of the Arctic institute of the Main Administration of the Northern marine line at the SNK USSR], vol. 183, 264 p.

Tolstykh, M.A., Zhelen, Zh.F., Volodin, E.M. et al. (2015) Rasrabotka mnogomasshtabnoi versii globalnoi modeli atmosfery PLAV [The development of the complex version of the global model of the atmosphere PLAV], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 6, pp. 25-35.

TROPEKS-74 (1976) *Trudy Mezhdunarodnoi ekspeditsii po programme mezhdunarodnogo Atlanticheskogo tropicheskogo eksperimenta. Atmosfera* [The works of the Interdepartment expedition on the programme on the International Atlantic tropical experiment. Atmosphere], in M.A. Petrosyants (ed.), vol. 1, Leningrad, Russia, 736 p.

Uspenskii, A.B. (2021) 60 let sputnikovoi meteorologii [60 years of the sputnik meteorology], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 12, 144 p.

Fadeev, P.Yu., Shishkin, V.V., Tolstykh, M.A., Travova, S.V., Mizyak, V.G., Rogunov, V.S., Alipova, K.A. (2021) Razvitie sistemy dolgosrochnogo prognoza Gidromettsentra Rossii in 2020 godu [Evaluation of the system of the long-term forecast of the Gydrometcenter of the Russia in 2020], *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy*, no. 1(379), pp. 58-72.

Khairullin, K.Sh. (1969) *Ottepeli na territorii SSSR* [The thaws on the USSR territory], Leningrad, Russia, 88 p.

Khan, V.M., Vilfand, R.M., Tishchenko, V.A., Emelina, S.V., Gritsun, A.S., Volodin, E.M., Vorobeva, V.V., Tarasevich, M.A. (2023) Otsenka izmenenii temperaturnogo rezhima po Severnoi Evpasii na predstoyashchee pyatiletie po prognozam modeli Zemnoi sistemy IVM RAN i ikh vozmozhnykh posledstviy dlya selskogo khozyastva [Estimation of the changing in the temperature regime on the Northern Eurasia for the future by using model of the Earth system IVMRAN and their consequence for the farmer], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 9, pp. 14-28.

Khlebnikova, E.I., Sall', I.A. (1989) Ob otsenki kharakteristik vybrossov gaussovskikh meteorologicheskikh polei i ikh chuvstvitelnosti [About assessment of the characteristic of gauss exhaust of the meteorological fields and their sensibility], *Trudy GGO*, issue 525, pp. 44-51.

Khlebnikova, E.I., Datsuk, T.A., Sall', I.A. (2014) Vosdeistvie itsmenenii klimata na stroitel'stvo, nazemnyi transport, toplivno-energeticheskii kompleks [The influence of the climate changes on the construction, land transport, heat – energy complex], *Trudy GGO*, issue 574, pp. 125-178.

Khlebnikova, E.I., Shkol'nik, I.M., Rudakova, Yu.L. (2022) Statistical interpretation klimaticheskikh dannykh dlya obespecheniya potrebnosti ekonomiki RF [The statistic interpretation of the climatic data for maintenance of the economic of the RF], *Fundamental i prikladnaya klimatologiya*, vol. 8, no. 1, p. 33.

Khromov, S.P. (1959) Atmosfernaya tsirkulyatsiya i pogoda na puti “Obi” v plavanii 1956-1957 [Atmospheric circulation and weather in the way of the “Ob’ “during the voyage 1956-1957], *Trudy Sovetskoi antarkticheskoi ekspeditsii (SAE)*, vol. 5, pp. 27-83.

Chernigovsky, N.T., Marshunova, M.S. (1965) *Klimat Sovetskoy Arktiki (Radiatsionnyy rezhim)* [Climate of the Soviet Arctic (Radiation regime)], Leningrad, Russia, 198 p.

Chukalin, K.I. (1969) Vliyanie teplovogo sostoyaniya polyarnykh raionov na vikhrevuyu deyatel'nost' v atmosphere [The influence of the heat state of the Polar regions on the whirlwind activity in the atmosphere], *Problemy Arktiki i Antarktiki*, issue 30, pp. 66-72.

Sherstyukov, A.B. (2012) Massiv sutochnykh dannykh o temperature pochvogruntov na glubinakh do 320 sm po meteorologicheskim statsiyam Rossiskoi Federatsii [The massve of the daily data about temperature of the soilground to the depth till 320sm by the data of the meteorological stations on the Russian territory], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 176, pp. 233-256.

Sherstyukov, A.B., Sherstyukov, B.G. (2015) Prostranstvennye osobennosti i novye tendentsii v izmeneniyakh termicheskogo sostoyaniya pochvogruntov i glubiny ikh sezonno protaivaniya v zone mnogoletnei merzloty [The space peculiarity and new trends of the changes of the thermal condition of the soilground and the depth of the seasonal melting in the zone of the permafrost], *Meteorologiya i gidrologiya*, no. 2, pp. 5-12.

Sherstyukov, B.G. (2021) Lesnye pozhary Rossii v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata [The forest fires in the time of the changing climate], *Trudy VNIIGMI-MTSD*, issue 188, pp. 30-48.

Shiklomanov, I.A., Georfievskii, V.Yu. (2002) Vliyanie antropogennykh izmenenii klimata na gidrologicheskii rezhim i vodnye resursy [The influence of the anthropogenic changing on the hydrological regime and water resources], *Izmenenie klimata i ikh posledstviya* [Climate changing and their consequence], St. Petersburg, Russia, pp. 152-164.

Shiklomanov, I.A., Shiklomanov, A.I. (2003) *Izmenenie klimata i dinamika pritoka rechnykh vod v Severnyi Ledovityi okean* [The climate changing and dynamic of the discharge of the river water into the Arctic seas], *Vodnye resursy*, vol. 30, no. 6, pp. 645-654.

Shifrin, K.S. (1951) *Rasseyanie sveta v mutnoi srede* [The scattering of the sun light in the muddy environment], Moscow, Russia, 288 p.

Entsiklopediya klimaticheskikh resursov [Encyclopedia of the climatic resources] (2005) In N.V. Kobysheva, K.Sh. Khairullin (eds.), St. Petersburg, Russia, 320 p.

Yanishevskii, Yu.D. (1957) *Aktinometricheskie pribory i metody nablyudenii* [The aktinometric instruments and the methods of the observation], Leningrad, Russia.

Alekseev, G., Kuzmina, S., Bobylev, L., Urazgildeeva, A., Gnatiuk, N. (2019) Impact of atmospheric heat and moisture transport on the Arctic warming, *Int. J. Climatol.*, vol. 39, no. 8, pp. 1-11.

Alekseev, G.V., Glok, N.I., Vyazilova, A.E. et al. (2021) Influence of SST in low latitudes on the Arctic warming and sea ice, *J. Mar. Sci. Eng.*, vol. 9, no. 1145.

Borzenkova, I.I., Ershova, A.A., Zhiltsova, E.L. Shapovalova, K.O. (2023) Arctic sea ice in the light of current and past climate changes, *Isvestiya RAN, Seria atmospheric and ocean physics*, vol. 59, Suppl. 1, pp. S35-S46.

IPCC (2021) Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Pèan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 3–32, doi:10.1017/9781009157896.001, URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WG1_SPM.pdf.

Jouzel, J., Lorius, C., Petit, J.R., Genthon, C., Barkov, N.I., Kotlyakov, V.M., Petrov, V.M. (1987) Vostok ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years), *Nature*, vol. 329, pp. 403-408.

Jouzel, J., Barkov, N.I., Barnola, J.M., Bender, M., Chappellaz, J., Genthon, C., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Petit, J.R., Raynaud, D., Raisbeck, G., Ritz, C., Sowers, T., Stievenard, M., Yiou, F., Yiou, P. (1993) Extending the Vostok ice-core record of palaeoclimate to the penultimate glacial period, *Nature*, vol. 364, pp. 407-412.

Jouzel, J., Waelbroeck, C., Malaize, B., Bender, M., Petit, J.R., Stievenard, M., Barkov, N.I., Barnola, J.M., King, T., Kotlyakov, V.M., Lipenkov, V., Lorius, C., Raynaud, D., Ritz, C., Sowers, T. (1996) Climatic interpretation of the recently extended Vostok ice records, *Climate Dynamics*, vol. 12, pp. 513-521.

Marshunova, M.S., Chernigovskii, N.T. (1978) *Radiation Regime of the Foreign Arctic*, Indian National Scientific Documentation Centre, New Delhi, 189 p.

Peterson, B.J., Holmes, R.M., McClelland, J.W., Vorosmarty, C.J., Lammers, R.B., Shiklomanov, A.I., Shiklomanov, I.A., Rahmstorf, S. (2002) Increasing river discharge to the Arctic Ocean, *Science*, vol. 298, pp. 2171-2173.

Volodin, E.M., Gritsun, A.S. (2020) Simulation of possible future climate changes in the 21st century in the INM-CM5 climate model, *Izvestiya, Atmospheric and Ocean Physics*, vol. 56, no. 3, pp. 218-228.

Zubakov, V.A., Borzenkova, I.I. (1990) *Global Palaeoclimate of the Late Cenozoic. Ser. Developments in Palaeontology and Stratigraphy*, 12, Elsevier Sci. Publ., 472 p.

Статья поступила в редакцию (Received): 26.04.2024.

Статья доработана после рецензирования (Revised): 15.05.2024.

Принята к публикации (Accepted): 20.05.2024.

Для цитирования / For citation:

Борзенкова, И.И., Алексеев, Г.В., Бардин, М.Ю., Зайцева, Н.А., Клепиков, А.В., Русина, Е.Н., Стерин, А.М., Хан, В.М. (2024) Развитие и становление современной климатологии в трудах ученых гидрометеорологической службы России, *Фундаментальная и прикладная климатология*, т. 10, № 2, с. 135-198, doi:10.21513/2410-8758-2024-2-135-198.

Borzenkova, I.I., Alekseev, G.V., Bardin, M.Yu., Zaitseva, N.A., Klepikov, A.V., Rusina, E.N., Sterin, A.M., Khan, V.M. (2024) The development and formation of the present-day climatology in works of scientists of the Russian hydrometeorological service, *Fundamental and Applied Climatology*, vol. 10, no. 2, pp. 135-198, doi:10.21513/2410-8758-2024-2-135-198.