

ОБЗОРНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.5

doi: 10.26907/2542-064X.2024.4.724-747

## МЕТЕОРОЛОГИЯ И КЛИМАТОЛОГИЯ В КАЗАНСКОМ УНИВЕРСИТЕТЕ: К 190-ЛЕТИЮ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ РОССИИ

*Ю.П. Переведенцев, Н.А. Мирсаева*

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, 420008, Россия*

### Аннотация

Рассмотрена история метеорологических и климатических исследований в Казанском университете с 1812 г. Показана роль профессора А.Я. Купфера в создании в 1834 г. гидрометеорологической службы России. Представлен анализ достижений Казанской метеорологической школы в следующих основных направлениях: исследование глобальных и региональных климатических изменений, циркуляционных систем, динамики и структуры атмосферы до высоты 80 км. Дана оценка влияния погодно-климатических факторов на сельское хозяйство, ветроэнергетику, отопительный период, здоровье населения. Показано, что в Казани годовые температуры начиная с 1871 г. повысились с 3.1 до 5.7 °С, летние – с 18.1 до 19.7 °С, зимние – с –12.6 до –8.7 °С. Современное потепление климата началось в Казани раньше (1946 г.), чем в целом в Северном полушарии (1970 г.). При этом годовой вклад процессов, происходящих в Северном полушарии, в локальные изменения температуры в Казани составил 63 %, летом 27 % и зимой 43 %. С использованием сценариев изменения климата под влиянием антропогенных факторов (проект СМIP6) получены данные об изменениях температуры воздуха в Казани на протяжении всего XXI столетия.

Представлены результаты анализа долгопериодных изменений температуры и осадков как на территории Среднего Поволжья и Предуралья, так и в России в целом. Выявлена тенденция повсеместного потепления климата в последние десятилетия.

Отмечен вклад казанских метеорологов в исследование динамики макромасштабных атмосферных процессов от поверхности земли до высоты 80 км. Дана оценка агроклиматическим и биометеорологическим характеристикам Республики Татарстан и Приволжского федерального округа (ПФО) в целом.

**Ключевые слова:** атмосфера, метеорологические наблюдения, климат, климатические тенденции, циркуляционные системы, прикладные показатели.

### Введение

В 2024 г. в нашей стране отмечается 190-летие основания Гидрометеорологической службы России, созданной для проведения регулярных наблюдений за состоянием атмосферы и гидросферы, для прогнозирования погоды, климата и загрязнения окружающей среды в интересах сохранения здоровья населения и развития различных отраслей экономики, в первую очередь сельского хозяйства. Этому событию посвящен Всероссийский метеорологический съезд, который состоялся в колыбели отечественной гидрометеорологии –

г. Санкт-Петербурге в октябре 2024 г. Важно отметить, что метеорологическая служба была создана в России в 1834 г. по проекту, разработанному профессором Казанского университета А.Я. Купфером.

В связи с этим рассмотрим вкратце историю и результаты метеорологических наблюдений и климатических исследований в Казани и Казанском университете в XVIII–XXI вв., базирующихся на статистической обработке многолетних данных.

Первые метеорологические наблюдения в Казани связаны с проведением Второй Камчатской экспедиции (1733–1743 гг.) под руководством В. Беринга. В этот период на базе городской гимназии ученые-академики организовали наблюдения за температурой воздуха, атмосферным давлением и метеорологическими явлениями, которые проводились учителями гимназии В. Григорьевым и С. Куницыным. Казань была первым городом, в котором участники экспедиции организовали метеостанцию. Всего их было основано 20, в том числе в Екатеринбурге, Тюмени, Томске, Охотске и др. Это была первая попытка создания метеорологической сети станций в России [1].

Регулярные же метеорологические наблюдения в Казани ведут свой отсчет с января 1812 г., т. е. с момента образования при Казанском университете по инициативе профессора Ф.К. Броннера Метеорологической обсерватории. По давности непрерывных наблюдений она занимает третье место в России (в Санкт-Петербурге регулярные наблюдения начались с 1743 г., а в Москве – с 1799 г.). Ф.К. Броннером была написана и первая научная статья по результатам метеорологических наблюдений в Казани за 1814 г. [2], положившая начало климатическим исследованиям в Казанском университете.

Следует отметить, что данные метеорологических наблюдений с давних времен использовались в сельском хозяйстве, мореплавании и медицине. Так, профессор К. Фукс оставил свидетельства того, как неблагоприятные погодные процессы влияли на состояние здоровья жителей Казани в начале XVIII в. Особенно его интересовали простудные заболевания в холодные зимние периоды.

В 1823 г. в Казанский университет на должность заведующего кафедрами химии и физики был приглашен доктор философии, специалист по кристаллографии и минералогии А.Я. Купфер (рис. 1) [3]. В своей творческой и организационной деятельности он пользовался советами знаменитых ученых Европы – А. Гумбольдта, К. Гаусса и Д. Араго. Непосредственно под руководством А.Я. Купфера проводились геомагнитные и метеорологические наблюдения, результаты которых с 1828 по 1831 г. были опубликованы в его книге “*Voyage dans l’Oural*”.

В казанский период своей жизни А.Я. Купфер разработал основные положения по созданию метеорологической службы России, с которыми ознакомил А. Гумбольдта. Свое мнение об этом Гумбольдт выразил в ответном письме: «Вашу организацию метеостанций я считаю одним из самых выдающихся предприятий, задуманных когда-либо для успешного изучения атмосферы» [4]. В дальнейшем А. Гумбольдт поддерживал А.Я. Купфера в создании метеорологического центра России – Главной физической обсерватории в Санкт-Петербурге.

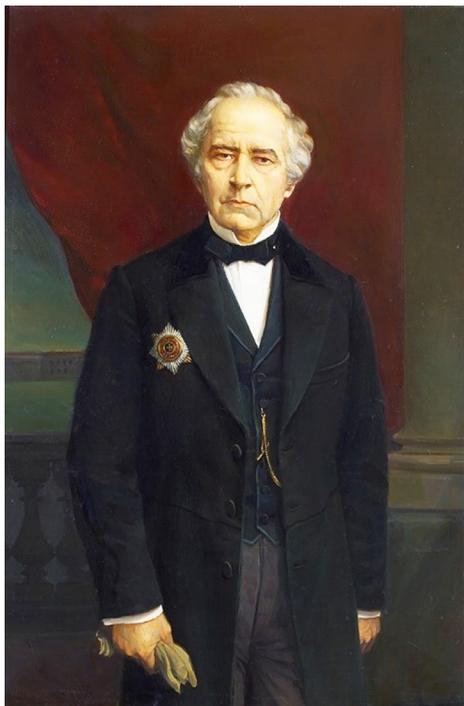


Рис. 1. Адольф Яковлевич Купфер

В связи с избранием действительным членом Петербургской академии наук в 1829 г. А.Я. Купфер переезжает в Санкт-Петербург и в 1833 г. представляет в Министерство финансов и горное ведомство «Проект учреждения системы метеорологических и магнитных наблюдений в России». В апреле 1834 г. в России был принят закон об основании постоянно действующей системы метеорологических и магнитных наблюдений. Поэтому 1834 г. считается годом основания метеорологической службы России (ныне Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет)). В 1849 г. А.Я. Купфер был назначен директором Главной физической обсерватории (ныне Главная геофизическая обсерватория имени А.И. Воейкова), созданной по его инициативе для проведения метеорологических и климатических исследований в России. Здесь он наметил основные направления развития отечественной метеорологии, актуальные и по сей день [1, 5].

В период с 1829 по 1833 г. Метеорологической обсерваторией при Казанском университете непосредственно руководил ректор Н.И. Лобачевский. По его инициативе впервые в России в 1830-х гг. начались измерения температуры почв и грунтов на глубине. Наблюдения проводились по ртутным термометрам, вмонтированным в стенку колодца на различной глубине [6].

В свою программу курсов физики и чистой математики Н.И. Лобачевский ввел пункт «О метеорологических наблюдениях». Он уделял большое внимание оснащению Метеорологической обсерватории приборами и активно участвовал в организации метеонаблюдений в Казанском учебном округе. Будучи ректором, Н.И. Лобачевский основал в 1834 г. научный журнал «Ученые записки Казанского университета». Кроме того, он написал примечания к работе А.Я. Купфера «О средней температуре воздуха и почвы в некоторых местах Восточной России» [3].

Большую роль в изучении земного магнетизма, регулярные наблюдения за которым начались в 1824 г. при А.Я. Купфере, сыграл профессор-астроном И.М. Симонов. Итогом работ И.М. Симонова явились научные мемуары «Исследования о магнитном действии Земли». В период своего участия в кругосветном путешествии (антарктическая экспедиция Беллингаузена и Лазарева (1819–1821 гг.)) И.М. Симонов провел многочисленные измерения атмосферного давления, температуры и влажности воздуха и опубликовал в 1825 г. статью «О разности температур в Южном и Северном полушариях». Возможно, это была первая работа отечественных ученых на подобную тему [1]. Отметим, что в современный период ряд выпускников кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы проводили метеорологические исследования на полярных станциях Антарктиды (Р. Усманов, В. Софронов, А. Котов и др.).

С 1833 г. руководство Метеорологической обсерваторией принял ординарный (штатный) профессор теоретической и опытной физики Э.А. Кнорр, который был рекомендован выдающимся немецким естествоиспытателем и географом А. Гумбольдтом. В 1835 г. он возглавил открывшуюся в университете кафедру физики и физической географии. С целью повышения качества метеорологических наблюдений, проводимых учителями Казанского учебного округа, Э.А. Кнорр впервые разработал специальное «Наставление учителям Казанского учебного округа для делания метеорологических наблюдений». Все это способствовало упорядочиванию и системности наблюдений. В 1835 г. Э.А. Кнорр опубликовал в «Ученых записках Казанского университета» статью «Ход температуры в Казани из наблюдений 1833 г.», в которой были приведены данные в том числе и о годовом ходе температуры почвы на глубине 1 м [7].

После отъезда Э.А. Кнорра в 1846 г. в Киевский университет руководство обсерваторией осуществлял профессор физики А.С. Савельев (1846–1855 гг.). В это время были значительно расширены сеть метеорологических станций Казанского учебного округа и программы наблюдений на них.

После А.С. Савельева организационно-методической работой обсерватории руководили профессора И.А. Больцани (1855–1876 гг.), Н.П. Слугинов (1886–1894 гг.) и Д.А. Гольдгаммер (1894–1897 гг.). В период 1864–1875 гг. в Метеорологической обсерватории активно работал приват-доцент И.Н. Смирнов – один из исследователей Курской магнитной аномалии. В период руководства Д.А. Гольдгаммера много внимания уделялось дальнейшему развитию наблюдательской сети. Так, только в Казанской губернии были открыты 23 метеорологические станции. Материалы этих наблюдений печатались в научном журнале «Труды метеорологической сети Востока России», а также высылались за границу в рамках международного сотрудничества.

Результаты регулярных метеорологических наблюдений в Казани нашли свое отражение в известных монографиях по климату России выдающихся российских климатологов XIX в. К.С. Веселовского, Г.И. Вильда и А.И. Воейкова [8–10], в которых впервые была представлена картина изменений температуры, атмосферных осадков и экстремальных погодных условий на обширной территории России.

В 1923 г. на физико-математическом факультете Казанского университета профессор В.А. Ульянин основал кафедру геофизики для подготовки метеороло-

гов, гидрологов и геомагнитологов, сотрудниками которой в 1920–1930-х гг. был выполнен цикл работ по исследованию геомагнитных и климатических процессов в регионе. В этот период кафедра воспитала ряд выдающихся геофизиков – А.А. Логачева, Ю.Д. Калинина, О.А. Дроздова, С.И. Субботина, Ю.П. Булашевича и др., возглавлявших ряд научных учреждений страны.

С 1930-х гг. в период развития отечественной авиации главное внимание на кафедре геофизики под руководством П.Т. Смолякова стало уделяться подготовке метеорологов и исследованию атмосферных и климатических явлений. Поэтому в 1948 г. кафедру геофизики перевели на географический факультет, где она получила новое название – «Кафедра метеорологии и климатологии». Стоит также отметить значительный вклад профессора П.Т. Смолякова в создание структуры Гидрометеорологической службы Татарстана, а также его увлеченность синоптикой.

С 1952 г. в течение 26 лет кафедру метеорологии и климатологии возглавлял профессор Н.В. Колобов, а с 1978 г. этой кафедрой и Метеорологической обсерваторией руководил профессор Ю.П. Переведенцев. В связи с возросшей необходимостью изучения состояния окружающей среды кафедра с 1995 г. стала называться кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы. С 2020 г. кафедру возглавляет доцент Н.А. Мирсаева. За 100-летний период своего существования данная кафедра подготовила около 2000 специалистов-метеорологов для обслуживания народного хозяйства страны. Среди выпускников кафедры более 150 человек получили ученую степень доктора и кандидата наук, а также удостоены государственных наград – это В.П. Иванов, Б.Г. Шерстюков, М.О. Френкель, Р.А. Ягудин, И.В. Грищенко, К.Ш. Хайруллин и многие другие.

Анализируя научно-исследовательскую работу кафедры за длительный период, можно выделить четыре основных направления ее деятельности: климатические исследования, изучение циркуляционных систем атмосферы, изучение структуры и динамики средней атмосферы до высоты 80 км, прикладные исследования.

### **Климатические исследования**

Первые климатические исследования носили региональный характер. Так, в работах [11–16] представлено описание климатических процессов, происходящих на территории Казани, Республики Татарстан и Среднего Поволжья начиная с XX в. В них показана динамика основных климатических показателей до середины 1970-х гг., т. е. до начала так называемого современного глобального потепления климата.

Проблема происходящих и ожидаемых глобальных и региональных изменений климата и их последствий стала новым вызовом для человечества. Современное состояние этой проблемы и оценки будущих климатических изменений на планете и в ее регионах до конца XXI в. представлены в 6-м оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (2021 г.) [17] и 3-м оценочном докладе Росгидромета (2022 г.) [18]. Повышение глобальной приповерхностной температуры сопровождается быстрым ростом числа природных катастроф, в первую очередь вследствие гидрометеорологических аномалий [19]. С целью сохранения климата планеты в 2015 г. многими странами подписаны так называемые Парижские соглашения, в основу которых

положен постулат об ограничении выбросов парниковых газов в атмосферу. В последние годы состоялся ряд международных конференций с обсуждением широкого круга вопросов по снижению антропогенного воздействия на климатическую систему, адаптации социально-экономических систем к происходящим и будущим климатическим изменениям [20, 21].

Рассмотрим результаты климатических исследований, выполненных в последние десятилетия при поддержке грантов РФФИ и РНФ [22–39].

### **Исходный материал и методы исследований**

Анализ современных глобальных и региональных изменений климата выполнен с привлечением данных о приземной температуре воздуха (ТВ) по всему земному шару (1850–2021 гг.) университета Восточной Англии (данные CRU) [40, 41], а также данных реанализа ERA5 (1979–2020 гг.). Расчеты произведены с использованием данных о ТВ атмосферных осадков 183 метеостанций за 1966–2018 гг., расположенных в Поволжье и Предуралье, из фонда Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных, результатов многолетних метеорологических наблюдений на метеостанции Казань-университет (1828–2021 гг.) и 20 длиннорядных метеостанциях на территории Приволжского федерального округа (ПФО) (1888–2021 гг.).

Многолетние ряды данных подвергали статистической обработке. Рассчитывали средние значения, средние квадратические отклонения, коэффициенты наклона линейного тренда (КНЛТ), вклад линейного тренда в дисперсию температуры. Было выделено шесть тридцатилетних периодов: 1841–1870, 1871–1900, 1931–1960, 1961–1990, 1991–2020 гг. Эти базовые периоды приняты Всемирной метеорологической организацией для оценки изменчивости климата.

Выделение низкочастотной компоненты в исходных рядах для анализа долгопериодных колебаний ТВ проводили с помощью низкочастотного фильтра Поттера. Достоверность результатов оценивали с помощью критерия Фишера [30].

### **Временные климатические изменения**

Определены изменения ТВ за тридцатилетние периоды в Казани, как это рекомендует ВМО, что позволяет проследить за динамикой климатических изменений. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что начиная с 1871–1900 гг. осредненные за этот период годовые ТВ повысились к периоду 1991–2020 гг. с 3.1 до 5.7 °С, летние – с 18.1 до 19.7 °С, зимние – с –12.6 до –8.7 °С. И если годовые ТВ, начиная с 1871 г., повышались однонаправленно, то летние понижались на 0.3 °С в 1961–1900 гг., а зимние – на 0.05 °С в 1931–1960 гг. Как и следовало ожидать, за весь период наибольшее повышение температуры произошло в самом холодном месяце года – январе (на 4.8 °С). В июле (самом жарком месяце года) рост ТВ составил лишь 1.4 °С. Заключительное тридцатилетие (1991–2020 гг.) оказалось заметно теплее всех предыдущих во все месяцы. Необходимо обратить внимание на то обстоятельство, что период 1871–1900 гг. проявил себя как наиболее холодный не только в Казани, но и в Москве, и в целом по территории России. Согласно выполненным корреляционным оценкам, изменения темпера-

туры в Казани тесно связаны с изменениями ТВ на остальных станциях ПФО, что позволяет сделать вывод о характере климатических изменений за столь длительный период по региону в целом: современное потепление наиболее ярко проявляется в зимний период.

Для оценки временной изменчивости температурного ряда рассчитана амплитуда годового хода ( $A$ ) как разность между наибольшими и наименьшими значениями средней месячной ТВ в конкретном ряду. На рис. 2 представлен многолетний ход колебаний годовой амплитуды ТВ в период 1828–2021 гг. Величина амплитуды ТВ убывала по линейному тренду со скоростью  $0.12\text{ }^{\circ}\text{C}/10$  лет. Ее среднее значение в этот период составило  $34.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при этом она уменьшилась за 194 года наблюдений с  $36.0$  до  $33.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ , что свидетельствует об ослаблении континентальности регионального климата. В период 1901–2000 гг. аномально теплые годы характеризуются меньшими амплитудами годового хода ТВ.

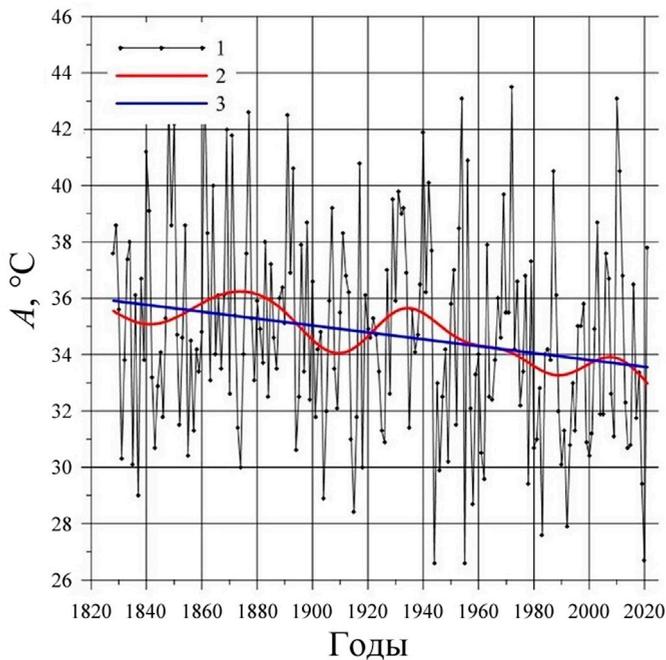


Рис. 2. Распределение годовой амплитуды колебаний температуры воздуха в Казани за 1828–2021 гг. (1 – исходный ряд, 2 – низкочастотная компонента, 3 – линейный тренд)

Сравнение многолетнего хода аномалий приземной ТВ, рассчитанных от нормы базового периода 1961–1990 гг. по данным метеостанций Казань-университет и всего Северного полушария (данные CRU) (рис. 3), показывает, что в обоих случаях, согласно линейному тренду, наблюдается потепление климата в целом за год и по сезонам.

Однако кривая низкочастотной компоненты температуры показывает, что годовое потепление началось в Казани в 1946 г., а в Северном полушарии активная фаза повышения температуры воздуха началась в 1970 г. Летнее потепление в Казани идет с 1980 г. (в период 2015–2021 гг. оно затормозилось, и ТВ за 6 лет понизилась на  $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в Северном полушарии температура растет с 1971 г. Зимнее потепление в Казани началось в 1968 г. и продолжается по настоящее время

(за исключением небольшого периода 1995–2004 гг.), а в Северном полушарии зимние температуры устойчиво повышаются с 1970 по 2021 г.

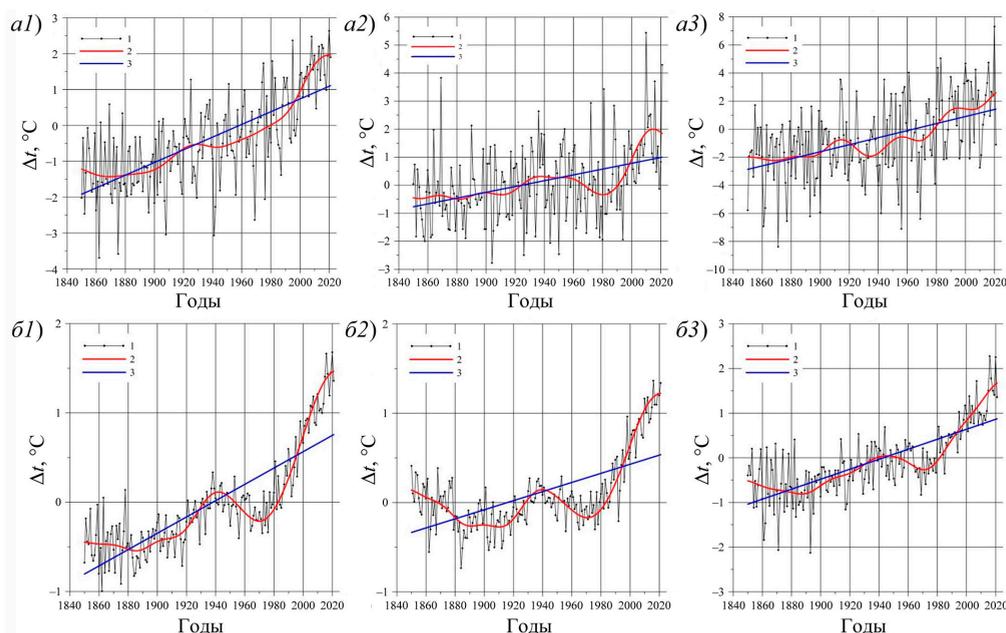


Рис. 3. Многолетний ход аномалий температуры воздуха в Казани (*а*) и в Северном полушарии (*б*) за год (*а1* и *б1*), лето (*а2* и *б2*), зиму (*а3* и *б3*). 1 – исходный ряд, 2 – низкочастотная компонента с периодом более 35 лет, 3 – линейный тренд. Цит. по [39]

Таким образом, современное потепление климата в Казани по срокам не совпадает с аналогичными показателями по Северному полушарию, однако тенденция регионального потепления четко прослеживается с середины XX столетия. При этом в период современной фазы активного потепления (1970–2021 гг.) значения КНЛТ повсеместно существенно возрастают. Поэтому за этот период среднегодовая ТВ в Казани повысилась на 2.6 °С, что вдвое превышает прирост средней температуры по всему Северному полушарию. При этом зимние температуры повышаются значительно больше, чем летние. Так, в Казани в этот период летняя ТВ повысилась на 2.6 °С, а зимняя – на 3.4 °С. В целом же по Северному полушарию зимняя ТВ повысилась на 1.4 °С, а летняя – на 1.3 °С.

Данные, представленные на рис. 4, показывают существенные различия в характере долгопериодных изменений ТВ в Казани (рис. 4, *а*) и в Северном полушарии (рис. 4, *б*) в 1850–2020 гг. Так, в Северном полушарии с 1910 г. происходит четкое чередование периодов похолодания и потепления независимо от месяцев года, а с середины 1970-х гг. установился длительный период потепления. В Казани картина менее устойчива, особенно сильные по интенсивности колебания низкочастотной компоненты происходят в холодный период года, в частности в ноябре. Тем не менее тенденция к потеплению климата все сильнее проявляется в большинстве месяцев в последние десятилетия.

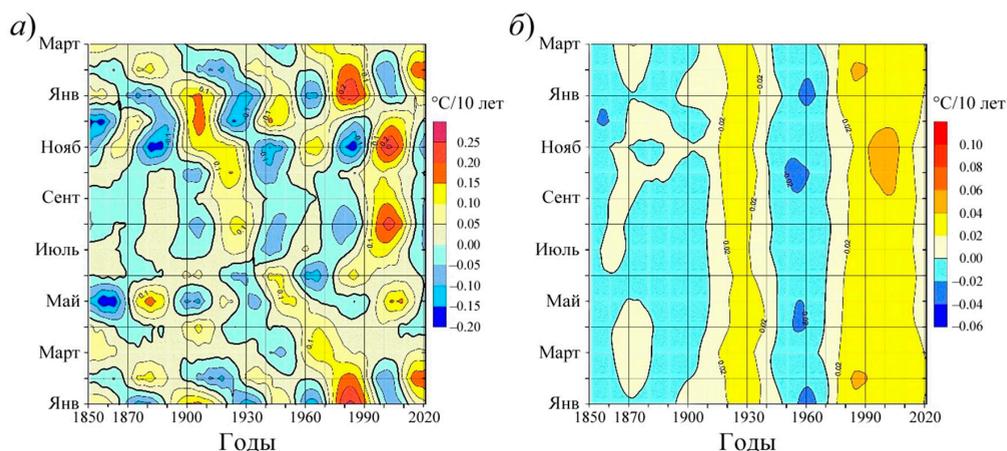


Рис. 4. Распределение первых разностей низкочастотной компоненты температуры воздуха в Казани (а) и в Северном полушарии (б). Цит. по [39]

Для оценки влияния климатических изменений, происходящих в Северном полушарии, рассчитаны коэффициенты корреляции между ТВ метеостанции Казань-университет и приповерхностной ТВ суши Северного полушария за 1850–2021 гг. Наиболее тесные связи устанавливаются для зимнего периода (в январе  $r = 0.68$ ). Величина коэффициента детерминации  $R^2$  (%) показывает вклад процессов, происходящих в Северном полушарии, в локальные изменения ТВ в Казани. Так, годовой вклад достигает 63 %, летом 27 %, а зимой 43 %.

Для оценки будущих значений ТВ по сезонам для Казани были использованы результаты ансамблевых расчетов 40 моделей CMIP6. При наиболее вероятном сценарии ssp245 ТВ к концу столетия с периода 2021–2040 гг. повысятся зимой от  $-8.95$  до  $-6.07$  °С, весной от  $5.40$  до  $7.77$  °С, летом от  $19.75$  до  $21.87$  °С, осенью от  $6.19$  до  $8.37$  °С и в целом за год от  $5.6$  до  $8.0$  °С. Высокие темпы потепления ожидают Казань в случае реализации наиболее жесткого (но маловероятного) сценария (радиационный форсинг  $-8.5$  Вт/м<sup>2</sup>). В этом случае годовая ТВ повысилась бы в Казани до  $11.5$  °С.

Рассмотрим многолетние колебания осредненной ТВ по данным 20 метеостанций ПФО за 1888–2020 гг. в сравнении с колебаниями ТВ Северного полушария в зимний и летний периоды (рис. 5) [30]. Как видно из рис. 5, за 133-летний период зимняя ТВ в ПФО повысилась на  $4.6$  °С. Особенно заметные ее изменения произошли в период глобального потепления 1970–2020 гг., когда она повысилась на  $3.5$  °С. В более ранний период (1888–1970 гг.) циклические колебания ТВ на территории ПФО были обусловлены циркуляционными и местными факторами. В летний период отмечаются значительные квазисинхронные колебания ТВ как в ПФО, так и в Северном полушарии (рис. 5, б). Выделяется максимум ТВ, приходящийся на 1940 г. и связанный с естественной причиной (атмосфера в начале XX в. была более прозрачной для солнечной радиации ввиду ослабления вулканической деятельности), а начиная с середины 1970-х гг. отмечается повсеместное интенсивное потепление. Более детальный анализ показывает, что современное потепление наступило на различных станциях ПФО не за один год. Так, большие различия наблюдаются между юго-западом и северо-востоком округа.

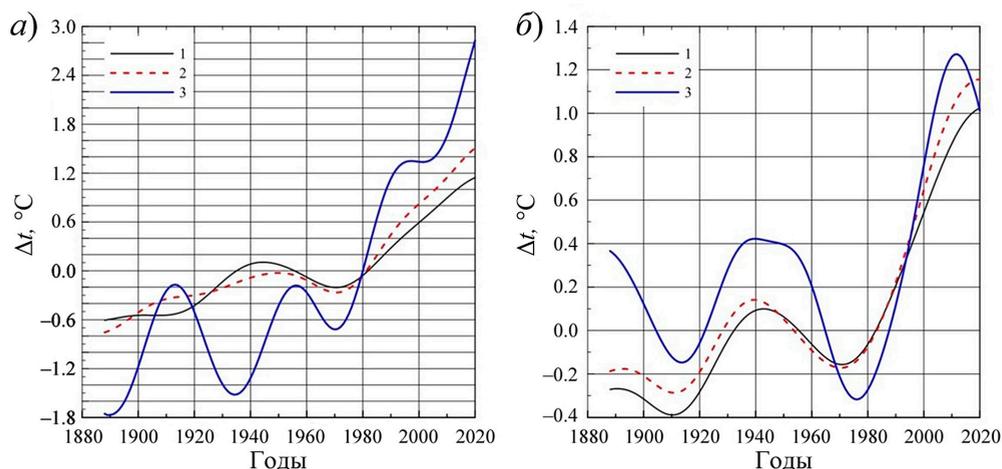


Рис. 5. Межгодовое распределение низкочастотной компоненты аномалии осредненной зимней температуры воздуха (а) и многолетний ход низкочастотной компоненты аномалий средних летних температур воздуха с периодом более 25 лет (б) в Северном полушарии (1), на суше Северного полушария (2) и в ПФО (3)

Следует отметить, что на кафедре метеорологии, климатологии и экологии атмосферы ведутся исследования современных климатических изменений не только на территории ПФО [42], но и в целом на территории России. Так, в работе [24] построены карты линейных трендов ТВ и атмосферных осадков для центральных месяцев сезонов и годовых значений для всей территории России по данным 1251 станции для двух периодов: 1976–2019 и 2001–2019 гг., что позволило получить пространственно-временные тенденции изменения ТВ и осадков.

Тренды среднегодовой температуры свидетельствуют об умеренном потеплении климата практически на всей территории России. Наиболее интенсивно оно происходит на арктическом побережье азиатской части России и прилегающих островах. Так, в районе полуострова Таймыр КНЛТ достигает значения  $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ . При этом в центральной и северной частях Сибири потепление более выражено, чем в *европейской части России*, где выделяются Карелия и юго-запад Центрального федерального округа (КНЛТ =  $0.60\text{--}0.79\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ лет}$ ). Тренды, построенные по годовым значениям сумм осадков за период 1976–2019 гг., свидетельствуют об увеличении количества осадков на большей части территории России. Так, на побережье Охотского моря КНЛТ  $> 25\text{ мм}/10\text{ лет}$ . Уменьшение сумм осадков наблюдается в центре и на юге *европейской части России*, на Северном Кавказе, где КНЛТ  $\sim 10\text{--}14\text{ мм}/\text{год}$ . Небольшие очаги с уменьшением количества осадков отмечаются на острове Новая Земля, юге Средней Сибири и северо-востоке Чукотки.

Результаты исследований современных региональных климатических изменений и их последствий обобщены в коллективной монографии [43], изданной в 2024 г. при поддержке всероссийской акции «Золотые имена высшей школы».

## Циркуляция атмосферы

Общая циркуляция атмосферы представляет собой составную часть климатической системы и является важнейшим природным фактором, определяющим динамику погодно-климатических процессов. В отечественной метеорологии общую циркуляцию атмосферы понимают и как систему крупномасштабных воздушных течений [44], и как «статистический ансамбль крупномасштабных компонент состояний атмосферы» [45]. Второе определение близко по своему смыслу к определению земной климатической системы.

К числу первых работ по общей циркуляции атмосферы, выполненных учеными Казанского университета, относятся теоретические статьи профессора П.Т. Смолякова, посвященные проблемам дрейфовой циркуляции атмосферы и вихревым движениям [46]. В них автор трактовал возникновение восточных ветров в стратосфере с позиции отставания верхней атмосферы в своем вращении от нижней из-за ослабления атмосферной вязкости.

Начиная с 1960-х гг. главное внимание сотрудников кафедры (Н.В. Колобов, Р.Р. Хайруллин, М.А. Верещагин, Э.П. Наумов, В.Д. Тудрий) было направлено на изучение режима циклоничности и антициклоничности в системе общей циркуляции атмосферы в интересах долгосрочного прогнозирования метеорологических процессов. Основное внимание при этом уделялось изучению географического распределения, повторяемости во времени, интенсивности макровихрей и их вклада в погодные и климатические процессы [47–50]. В последующем в работах Ю.П. Переведенцева, К.М. Шанталинского, В.В. Гурьянова, Н.В. Исмагилова и др. [23, 28, 34] была исследована долгопериодная изменчивость зональной циркуляции в тропосфере и стратосфере Северного полушария. С помощью спектрального анализа определены циклы колебаний различной продолжительности – от двух декад до десятилетий. Выявлена зависимость зональной циркуляции от солнечной активности и фазы квазидвухлетнего цикла экваториальной стратосферной циркуляции, а также установлено влияние зимних стратосферных потеплений на структуру и динамику макроциркуляционных процессов и дана оценка вертикальному взаимодействию между циркуляционными процессами тропосферы и стратосферы [26, 29, 51].

В работе [22] представлен анализ пространственно-временной динамики атмосферного давления и температуры в нижнем слое атмосферы Северного полушария за длительный период времени – с 1900 по 2014 г. (115 лет). Выявлены аномалии в полях давления и температуры за тридцатилетние периоды, а также оценена динамика низкочастотной составляющей термодинамических параметров в Исландском и Алеутском минимумах и Азорском и Гонулульском максимумах. Выявлен противофазный характер временного хода давления в районах Исландской и Алеутской депрессий.

В работе [28] показана ведущая роль зональной циркуляции атмосферы в долгопериодной изменчивости температуры воздуха в слое тропосферы от Земли до 5 км. Согласно результатам корреляционного анализа 60 % изменчивости ТВ определяются скоростью зонального потока.

В обобщающей монографии [53] представлен анализ пространственно-временной изменчивости полей скорости ветра, температуры воздуха и

атмосферного давления в тропосфере и стратосфере за длительный период (1900–2014 гг.) на территории Северного полушария и динамики волновой деятельности до высоты 65 км.

### **Структура и динамика средней атмосферы**

В последние десятилетия в связи с широким использованием радиозондов, ракет и спутников для мониторинга состояния атмосферы до больших высот появилась возможность исследовать физические процессы в тропосфере, стратосфере, мезосфере и термосфере с позиции единой динамической системы. Первой выполненной на кафедре метеорологии и климатологии крупной работой по изучению структуры, динамики и энергетики атмосферы до высоты 60 км была монография [52]. В более поздней работе [23] отмечена временная тенденция повышения температуры в тропосфере, понижения в нижней и средней стратосфере, а в районе стратопauзы – вновь повышения. Выявлена восьмилетняя цикличность колебаний температуры в слое 45–60 км. Влияние океанической поверхности на температуру воздуха сказывается лишь до уровня тропопauзы. Эти результаты получены путем обработки данных реанализа ERA-Interim до уровня 64 км в период активной фазы современного потепления климата (1979–2016 гг.), согласно которым температуры в нижней тропосфере и в толще стратосферы меняются в противофазе. Кроме того, выявлен интересный факт: после извержений вулканов Эль-Чичон и Пинатубо происходит кратковременное понижение ТВ у земли и повышение температуры в нижней стратосфере.

В работах [26, 29] рассмотрены изменения термического режима в тропосфере, стратосфере и мезосфере северной полярной зоны (68–90° с. ш.) в период 1979–2019 гг. на основе данных о температуре воздуха и геопотенциале. Оценены средние значения ТВ, средние квадратические отклонения, нормированные аномалии и линейные тренды температуры, низкочастотные компоненты до высоты 80 км. Анализ полученных статистических характеристик позволил оценить интенсивность потепления климата в арктической тропосфере и похолодания в стратосфере и мезосфере, выявить корреляционные связи между соседними уровнями. Кроме того, рассмотрены особенности весенних перестроек циркуляции стратосферы в зависимости от солнечной активности и внезапных стратосферных потеплений в условиях полярной ночи. Показано, что арктическая осцилляция наиболее эффективно воздействует на ТВ нижней стратосферы в зимний период.

В работах [51, 53] представлен анализ волновой активности и ее изменений в тропосфере и стратосфере Северного полушария зимой 1979–2016 гг., показавший связь осредненных по спектру периодов волн с активностью внезапных стратосферных потеплений.

### **Прикладные исследования**

Как известно, погодно-климатические факторы оказывают основное влияние на сельское хозяйство. Поэтому многие годы климатические исследования на кафедре метеорологии, климатологии и экологии атмосферы направлены на

оценку происходящих климатических изменений и их последствий для агроферы. Так, в монографиях [11, 14, 54–56] основное внимание уделено изучению тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода в Республике Татарстан, а также условий формирования засух, наносящих значительный ущерб основным сельскохозяйственным культурам. В работах [55, 57] рассмотрена динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия.

Агроклиматические условия более современного периода (1966–2021 гг.) нашли свое отражение в статьях [30, 31], в которых показано, что вегетационный период на территории Татарстана (переход средней суточной температуры воздуха через 10 °С) на юге наступает на 122-е сутки от начала года, а на севере – на 126-е сутки. Сумма положительных температур активной фазы вегетационного периода на территории Республики Татарстан изменяется от 2319 до 2476 °С, а сумма осадков возрастает от 227 мм на юго-западе до 262 мм на востоке (Бугульминско-Белебеевская возвышенность). При этом скорость прироста продолжительности вегетационного периода растет с запада на восток от 0.6 до 3.4 сут/10 лет, сумма температур увеличивается со скоростью от 51.1 до 77.6 °С/10 лет, сумма осадков на западе растет со скоростью 5.7 мм/10 лет, а на востоке убывает со скоростью 1.9 мм/10 лет. В целом почвенные и климатические условия наиболее благоприятны для развития сельского хозяйства в юго-западных и южных районах Республики Татарстан.

Для характеристики увлажненности территории по ежедневным данным 13 метеостанций Татарстана были рассчитаны индексы сухости Будыко, гидротермический коэффициент Селянинова и коэффициент увлажненности Сапожниковой [27, 32]. Индекс сухости в летний период изменяется по территории Татарстана от 2.70 (метеостанция Казань) до 3.16 (метеостанция Кайбицы), гидротермический коэффициент – от 0.96 (метеостанция Кайбицы) до 1.16 (метеостанция Бугульма), величина коэффициента увлажненности – от 0.84 (метеостанция Муслимово) до 1.03 (метеостанция Бугульма), что свидетельствует в целом о сбалансированности прихода и расхода влаги. При этом значения КНЛТ имеют положительный знак для индекса сухости и отрицательный для гидротермического коэффициента и коэффициента увлажненности, что указывает на слабую тенденцию увеличения засушливости в регионе. Установлена количественная зависимость урожайности зерновых культур от температурно-влажностного режима в мае – июне [31]. При этом, как показывает корреляционный анализ, в апреле – июне устанавливается значимая отрицательная связь между фотосинтетически активной радиацией и урожайностью яровой пшеницы. Это свидетельствует о том, что повышенный радиационный фон весеннего периода не благоприятствует росту урожайности этой важной сельскохозяйственной культуры.

Оценка климатических ресурсов и прикладных показателей климата на территории ПФО и Республики Татарстан представлена в двух коллективных монографиях [42, 55]. В них получены характеристики отопительного периода для ПФО и РТ, дана оценка затрат энергии на обогрев и охлаждение зданий. Установлена высоконадежная тесная отрицательная связь между изменениями дат устойчивого осеннего перехода среднесуточной температуры через 8 °С и продолжительностью отопительного периода. Показано, что основным источником указанной связи является большая устойчивость дат весеннего

перехода среднесуточной температуры через  $8^{\circ}\text{C}$  по сравнению с устойчивостью дат осеннего перехода. Как следствие, ранний осенний переход температуры через  $8^{\circ}\text{C}$  сопровождается увеличением продолжительности отопительного периода, и наоборот [58].

В настоящее время в России и за рубежом много внимания уделяется проблеме использования энергии солнца и ветра в качестве альтернативных источников энергии. В работе [53] проанализировано распределение на территории ПФО энергетической мощности ветрового потока на высоте 100 м. Установлено, что наиболее благоприятные условия для постройки ветровых электростанций складываются в районе Чебоксар, Бугульмы и Саранска, где удельная мощность ветрового потока достигает  $80\text{ Вт/м}^2$ . Ветроэнергетические установки на территории Татарстана рентабельно устанавливать в районе Бугульминско-Белебеевской возвышенности, где ведется добыча нефти и средняя скорость ветра на высоте 10 м в октябре – апреле порядка 5 м/с.

Характеристики биоклимата на территории ПФО и Республики Татарстан рассмотрены в работах [43, 53]. Эта проблема неразрывно связана с обеспечением жизнедеятельности и здоровья человека, с качеством окружающей среды и оценкой ее рекреационных условий. В России для оценки биоклиматического потенциала территории, повторяемости экстремальных погодных условий широко используются такие показатели, как эквивалентно-эффективная температура, индекс влажного ветрового охлаждения по Хиллу, индекс суровости погоды по Бодману, суммарный метеорологический индекс патогенности и др. Последний индекс позволяет выделить три класса погодных условий: оптимальные (комфортные), раздражающие и острые. При расчете индекса патогенности учитываются межсуточные перепады температуры и атмосферного давления, сведения об облачности, ветре и влажности воздуха. Выполненные расчеты свидетельствуют о том, что в летний период на территории ПФО эффективная температура имеет тенденцию к росту, зимой чаще встречаются условия мало суровой и умеренно суровой погоды. При этом прослеживается четко выраженная тенденция смягчения зимних условий в последние десятилетия. Анализ индекса патогенности показал, что наиболее комфортные условия погоды на территории ПФО складываются в теплое время года с мая по август, раздражающие – в переходные месяцы года, а суровые – с ноября по февраль. Вместе с тем следует отметить, что в летний период в условиях жары и засухи возникают экстремальные погодные условия. Примером этого является экстремальная засуха 2010 г. на территории европейской части России, когда в Казани температура воздуха в условиях волны жары достигла  $39.6^{\circ}\text{C}$ , что привело к росту числа смертей среди населения Татарстана и других регионов европейской части России. Согласно построенным трендам рассмотренных биометеорологических показателей в период 1966–2019 гг. происходит повышение комфортности биоклимата на территории ПФО.

Также в нашей работе рассмотрены метеорологические условия горимости леса, что позволило оценить степень пожароопасности на территории ПФО [37]. Выявлена тенденция увеличения лесных площадей, пройденных пожарами в последние десятилетия [37].

## Заключение

Таким образом, кратко представленная в настоящей статье 200-летняя история возникновения и развития метеорологических и климатических исследований в Казанском университете свидетельствует о значительном вкладе казанских ученых в создание организационных и методических основ Гидрометеорологической службы России, а также об их заметном вкладе в науку об атмосфере и климате. И если первые исследования казанских метеорологов базировались на использовании локальных наблюдений за разнообразными метеорологическими явлениями, то в настоящее время сотрудники нашей кафедры имеют возможность использовать материалы глобальной сети метеорологических, аэрологических и космических наблюдений, что значительно расширяет диапазон научных и прикладных исследований. Поэтому в 2019 г. на базе Казанского федерального университета состоялось совещание авторов специального доклада Межправительственной группы экспертов по изменению климата об океане и криосфере из 37 стран мира с целью оценки влияния изменений современного климата на динамические и биологические процессы в Мировом океане и на состояние морских полярных льдов, горных ледников и зоны вечной мерзлоты.

Плодотворная научная работа в области науки о климате и атмосфере казанских ученых отмечена в обзорной статье ведущих специалистов России «Российская наука и современная климатология: к 300-летию Российской академии наук» [59]. Действительно, за длительный период представителями Казанской метеорологической школы был опубликован ряд монографий, посвященных изучению динамики атмосферы и климата Казани, Республики Татарстан, различных регионов России. Результаты научных исследований нашли свое отражение в процессе подготовки высококвалифицированных кадров для гидрометеорологической службы и представлены в многочисленных учебных пособиях по климату, циркуляции атмосферы, синоптике, геоэкологии и т. д., а также на многочисленных международных научных конференциях. Эти достижения неоднократно отмечались наградами на всесоюзных, всероссийских и внутри-университетских конкурсах научных работ в 1980–2022 гг.

Отмеченные в настоящей статье многолетние исследования проводились в рамках международных всесоюзных и всероссийских научных программ по исследованию процессов в средней атмосфере (МАП ГЛОБМЕТ), по мониторингу глобальных и региональных изменений атмосферной циркуляции и климата и их прогнозированию при поддержке грантов УРФИ, РФФИ и РНФ. Следует также отметить плодотворное сотрудничество кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы с рядом ведущих университетов страны и зарубежья, научными учреждениями РАН, АН РТ и Росгидромета.

В связи с продолжающимся глобальным потеплением климата под влиянием антропогенного фактора в России предпринята попытка создания сети карбоновых полигонов с целью оценки эмиссии парниковых газов. Сотрудники кафедры принимают деятельное участие в работе экологов Казанского федерального университета по мониторингу состояния природной среды в загородной зоне Казани. Сравнение полученных данных метеоизмерений с данными метеостанции Казань-университет позволит оценить роль крупного города в создании микроклимата мегаполиса.

Безусловно, главное внимание метеорологов Казанского федерального университета в ближайшем будущем будет уделено оценке климатических изменений, происходящих на территории России и Республики Татарстан на фоне глобальных климатических процессов, их последствий для природных и социально-экономических систем, в первую очередь для сельского хозяйства. Учитывая растущую неустойчивость состояния климатической системы, необходимы оценка рисков экстремальных погодно-климатических явлений и комплексный анализ полей солнечной радиации, общей облачности, температуры воздуха и атмосферных осадков на обширной территории Евразии. С этой целью следует усилить внимание к использованию в научной работе методов математического анализа и моделирования гидрометеорологических процессов, а также опыта ведущих отечественных и зарубежных научных центров.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Литература

1. *Переведенцев Ю.П.* Метеорология в Казанском университете: становление, развитие, основные достижения. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2001. 127 с.
2. *Броннер Ф.К.* Следствия из метеорологических наблюдений в Казани 1814 г. // Казанские известия. 1815. № 35. С. 200–202.
3. *Монахова Н.И., Альтишулер Н.С., Ларионов А.Л., Аганов А.В., Салахов М.Х.* История физики и астрономии в Казанском университете за 200 лет. Казань: Изд-во Казанского гос. ун-та, 2007. 497 с.
4. *Пасецкий В.М.* Адольф Яковлевич Купфер, 1799–1865. М.: Наука, 1984. 207 с.
5. *Переведенцев Ю.П., Хайруллин К.Ш.* История метеорологических исследований в Казанском университете (к 205-летию основания Метеорологической обсерватории Казанского университета) // Труды Главной геофизической обсерватории имени А.И. Воейкова. 2017. № 584. С. 262–266.
6. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем / под ред. С.М. Семенова. М.: Планета, 2012. 511 с.
7. *Кнорр Е.А.* Ход температуры в Казани по наблюдениям 1833 г. // Учен. зап. Казан. ун-та. 1835. Кн. 1. С. 89–110.
8. *Веселовский К.С.* О климате России. СПб.: Императорская академия наук, 1857. 327 с.
9. *Вильд Г.И.* О температуре воздуха в Российской империи. СПб.: Императорская академия наук, 1882. 393 с.
10. *Воейков А.И.* Климаты земного шара, в особенности России. СПб.: Издание картографического заведения А. Ильина, 1884. 640 с.
11. Агроклиматические ресурсы Татарской АССР. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 128 с.
12. *Дроздов О.А.* Снежный покров в Татарской Республике. Казань: Татгосиздат. Сектор с.-х. лит-ры, 1934.
13. Климатические условия Татарской АССР и их использование в сельском хозяйстве. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1962. 264 с.
14. Климат Казани / под ред. Н.В. Колобова, Ц.А. Швер, Э.П. Наумова. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 185 с.
15. *Колобов Н.В.* Климат Среднего Поволжья. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1968. 252 с.

16. *Смоляков П.Т.* Климат Татарии. Казань: Татгосиздат, 1947. 108 с.
17. *Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Pean C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B.* (Eds.) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2021. 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
18. Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / под ред. В.М. Катцова. СПб.: Научно-технические технологии, 2022. 676 с.
19. *Мохов И.И.* Изменения климата: причины, риски, последствия, проблемы адаптации и регулирования // *Вестник РАН.* 2022. Т. 92, № 1. С. 3–14. <https://doi.org/10.31857/S0869587322010066>.
20. *Гладильщикова А.А., Дмитриева Т.М., Семенов С.М.* Специальный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата «Глобальное потепление на 1.5 °C» // *Фундаментальная и прикладная климатология.* 2019. Т. 4. С. 5–18. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-4-05-18>.
21. *Катцов В.М., Хлебникова Е.И., Школьник И.М., Рудакова Ю.Л.* Вероятностное сценарное прогнозирование регионального климата как основа разработки адаптационных программ в экономике Российской Федерации // *Метеорология и гидрология.* 2020. № 5. С. 46–58.
22. *Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В.* Климатические изменения приземных полей атмосферного давления и температуры воздуха в умеренных широтах Северного полушария // *Метеорология и гидрология.* 2017. № 7. С. 81–93.
23. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Васильев А.А., Гурьянов В.В.* Термический режим в тропосфере, стратосфере и нижней мезосфере Северного полушария в 1979–2016 гг. // *Метеорология и гидрология.* 2019. № 8. С. 5–20.
24. *Переведенцев Ю.П., Васильев А.А., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М.* Климатические изменения на территории России в конце XX – начале XXI в. // *Метеорология и гидрология.* 2021. № 10. С. 14–26. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2021-10-14-26>
25. *Переведенцев Ю.П., Рахимов И.И., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М.* Влияние современных климатических изменений на фенологию и поведение птиц // *Гидрометеорология и образование.* 2021. № 2. С. 28–46.
26. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Исмагилов Н.В., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Аухадеев Т.Р.* Термический режим в тропосфере, стратосфере и мезосфере северной полярной зоны в 1979–2019 гг. // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки.* 2021. Т. 163, кн. 4. С. 626–642. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.626-642>.
27. *Переведенцев Ю.П., Павлова В.Н., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А., Тагиров М.Ш.* Агроклиматические условия на территории Республики Татарстан в период 1966–2021 гг. // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы.* 2022. № 4 (386). С. 96–113. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-96-113>.
28. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Оценка современных изменений температуры воздуха и скорости ветра в тропосфере Северного полушария // *Метеорология и гидрология.* 2014. № 10. С. 19–31.
29. *Переведенцев Ю.П., Исмагилов Н.В., Мирсаева Н.А., Гурьянов В.В., Николаев А.А., Шанталинский К.М.* Сезонные перестройки циркуляции в стратосфере и взаимодей-

- ствии между тропосферой и стратосферой // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2023. Т. 59, № 6. С. 1–11. <https://doi.org/10.31857/S000235152306007X>.
30. *Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Мирсаева Н.А., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В.* Тенденции изменения основных климатических показателей на территории Приволжского федерального округа в XIX–XXI вв. // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2022. Т. 8, № 2. С. 209–237. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2022-2-209-237>.
  31. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А., Аухадеев Т.Р., Гурьянов В.В., Шерстюков Б.Г.* Климатические изменения на территории Приволжского федерального округа в XX–XXI вв. и их последствия для агросферы // *Метеорология и гидрология*. 2023. № 9. С. 86–99. <https://doi.org/10.52002/0130-2906-2023-9-86-99>.
  32. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Мирсаева Н.А., Николаев А.А.* Изменения климата на территории Республики Татарстан // *Географический вестник*. 2024. № 1 (68). С. 103–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-1-103-112>.
  33. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М.* Многолетние колебания основных показателей гидрометеорологического режима Волжского бассейна // *Метеорология и гидрология*. 2001. № 10. С. 16–23.
  34. *Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М., Николаев А.А.* Региональные проявления современного потепления климата в тропо-стратосфере Северного полушария // *Изв. РАН. Сер. геогр.* 2005. № 6. С. 6–16.
  35. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р., Исмагилов Н.В., Занди Р.* О влиянии макроциркуляционных систем на термобарический режим Приволжского федерального округа // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. 2014. Т. 156, кн. 2. С. 156–169.
  36. *Переведенцев Ю.П., Шанталинский К.М.* Изменения приземной температуры воздуха Северного полушария за период 1850–2014 гг. // *Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки*. 2015. Т. 157, кн. 3. С. 8–19.
  37. *Perevedentsev Y., Sherstyukov B., Gusarov A., Aukhadееv T., Mirsaeva N.* Climate-induced fire hazard in forests in the Volga Federal District of European Russia during 1992–2020 // *Climate*. 2022. V. 10, No 7. Art. 110. <https://doi.org/10.3390/cli10070110>.
  38. *Perevedentsev Y., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadееv T.* Contemporary climate change and its hydrological consequence in the Volga Federal District, European Russia // *Climate*. 2022. V. 10, No 12. Art. 198. <https://doi.org/10.3390/cli10120198>.
  39. *Perevedentsev Y.P., Shantalinsky K.M., Gusarov A.V., Mirsaeva N.A., Aukhadееv T.R., Nikolaev A.A.* Air temperature change at the end of the Late Holocene and in the Anthropocene in the Middle Volga Region, European Russia // *Quaternary*. 2023. V. 6, No 3. Art. 48. <https://doi.org/10.3390/quat6030048>.
  40. *Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D.* Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850 // *J. Geophys. Res.* 2006. V. 111, No D12. Art. D12106. <https://doi.org/10.1029/2005JD006548>.
  41. *Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G.* Surface air temperature and its variations over the last 150 years // *Rev. Geophys.* 1999. V. 37, No 2. P. 173–199. <https://doi.org/10.1029/1999RG900002>.
  42. *Климат и окружающая среда Приволжского федерального округа / под ред. М.А. Верещагина*. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2013. 272 с.

43. Современные региональные климатические изменения и их последствия / под ред. Ю.П. Переведенцева, Н.А. Мирсаевой, В.Н. Павловой. М.: Русайнс, 2024. 223 с.
44. *Хромов С.П., Петросяни М.А.* Метеорология и климатология. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1994. 518 с.
45. *Монин А.С.* Введение в теорию климата. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 246 с.
46. *Переведенцев Ю.П.* К 100-летию со дня рождения П.Т. Смолякова // Метеорология и гидрология. 1999. № 10. С. 126–127.
47. Исследование взаимосвязей циклоничности в Северном полушарии и регионально-прогностические результаты / под ред. Н.В. Колобова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1977. 176 с.
48. *Тудрий В.Д., Колобов Н.В.* Флуктуации циклонических процессов в Северном полушарии Земли. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 164 с.
49. *Хайруллин Р.Р.* Структура и динамика циклогенеза в Северном полушарии. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1989. 134 с.
50. Циркуляционные и энергетические процессы в атмосфере Северного полушария / под ред. Н.В. Колобова, Ю.П. Переведенцева. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983. 235 с.
51. *Гурьянов В.В., Елисеев А.В., Мохов И.И., Переведенцев Ю.П.* Волновая активность и ее изменения в тропосфере и стратосфере Северного полушария зимой в 1979–2016 гг. // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2018. Т. 54, № 2. С. 133–146. <https://doi.org/10.7868/S0003351518020022>.
52. *Переведенцев Ю.П.* Циркуляционные и энергетические процессы в средней атмосфере. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1984. 167 с.
53. *Переведенцев Ю.П., Гурьянов В.В., Шанталинский К.М., Аухадеев Т.Р.* Динамика тропосферы и стратосферы в умеренных широтах Северного полушария и современные изменения климата в Приволжском федеральном округе. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. 184 с.
54. Климат Татарской АССР / под ред. Н.В. Колобова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1983. 160 с.
55. Климатические условия и ресурсы Республики Татарстан / под ред. Ю.П. Переведенцева, Э.П. Наумова. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2008. 284 с.
56. *Колобов Н.В., Муракаева С.А.* Засухи на территории Татарской АССР. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1980. 139 с.
57. *Батришина С.Ф., Переведенцев Ю.П.* Динамика снежного покрова на территории Татарстана во второй половине XX столетия. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2005. 100 с.
58. *Мирсаева Н.А., Верещагин М.А.* Долгосрочные прогнозы продолжительности отопительного периода // Метеорология и гидрология. 2019. № 2. С. 108–116.
59. *Семенов С.М., Мохов И.И., Семенов В.А., Жеребцов Г.А., Гулев С.К., Полонский А.Б., Соломина О.Н., Володин Е.М., Гинзбург А.С., Елисеев А.В., Бардин М.Ю., Борзенкова И.И., Борисова О.К.* Российская наука и современная климатология: к 300-летию Российской академии наук // Фундаментальная и прикладная климатология. 2024. Т. 10, № 1. С. 5–55. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2024-1-05-55>.

Поступила в редакцию 07.06.2024

Принята к публикации 08.08.2024

**Переведенцев Юрий Петрович**, доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [ypereved@kpfu.ru](mailto:ypereved@kpfu.ru)

**Мирсаева Надежда Александровна**, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии и природопользования

Казанский (Приволжский) федеральный университет  
ул. Кремлевская, д. 18, г. Казань, 420008, Россия  
E-mail: [NAMirsaeva@kpfu.ru](mailto:NAMirsaeva@kpfu.ru)

---

ISSN 2542-064X (Print)

ISSN 2500-218X (Online)

UCHENYE ZAPISKI KAZANSKOGO UNIVERSITETA. SERIYA ESTESTVENNYE NAUKI  
(Proceedings of Kazan University. Natural Sciences Series)

2024, vol. 166, no. 4, pp. 724–747

---

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2024.4.724-747

### Meteorology and Climatology at Kazan University: Celebrating the 190th Anniversary of Russia's Hydrometeorological Service

*Yu.P. Perevedentsev\*, N.A. Mirsaeva\*\**

*Kazan Federal University, Kazan, 420008 Russia*

*E-mail: \*ypereved@kpfu.ru, \*\*NAMirsaeva@kpfu.ru*

*Received June 7, 2024; Accepted August 8, 2024*

#### Abstract

This article summarizes the history of meteorological and climate research at Kazan University, spanning a period from 1812 to the present day. The distinguished contributions of Professor Adolph Theodor Kupffer to the establishment of Russia's Hydrometeorological Service in 1834 were highlighted. Major achievements of the Kazan Meteorological School were analyzed, including those concerning global and regional climate change, circulation systems, as well as atmospheric dynamics and structure up to altitudes of 80 km. The influence of weather and climate factors on agriculture, wind industry, heating period, and public health was assessed. The observational data show that annual temperatures in Kazan have increased from 3.1 to 5.7 °C since 1871, with a rise in summer and winter temperatures from 18.1 to 19.7 °C and from –12.6 to –8.7 °C, respectively. The findings suggest that contemporary climate warming in Kazan began earlier (1946) compared to the general trend in the Northern Hemisphere (1970). The annual input of the Northern Hemisphere processes to temperature shifts in Kazan amounts to 63 %, with 27 % in summer and 43 % during winter. Using the CMIP6 climate projections based on anthropogenic factors as a driving force, future air temperature levels in Kazan throughout the 21st century were predicted.

The long-term trends in temperature and precipitation across the Middle Volga, Cis-Urals, and the whole of Russia were explored. A general warming trend in recent decades was revealed.

The efforts of Kazan meteorologists in advancing the understanding of large-scale atmospheric processes from the Earth's surface up to 80 km were noted. The agroclimatic and biometeorological conditions of the Volga Federal District, the Republic of Tatarstan in particular, were described.

**Keywords:** atmosphere, meteorological observations, climate, climate trends, circulation systems, applied indicators

**Conflicts of Interest.** The authors declare no conflicts of interest.

### Figure Captions

Fig. 1. Adolph Theodor Kupffer.

Fig. 2. Annual amplitudes of the air temperature fluctuations in Kazan for 1828–2021 (1 – original dataset, 2 – low-frequency component, 3 – linear trend).

Fig. 3. Long-term trends of the air temperature anomalies in Kazan (*a*) and the Northern Hemisphere (*b*) – annual (*a1* and *b1*), summer (*a2* and *b2*), and winter (*a3* and *b3*). 1 – original dataset, 2 – low-frequency component with a period exceeding 35 years, 3 – linear trend, as cited in [39].

Fig. 4. Distribution of the first-order differences in the low-frequency component of the air temperature in Kazan (*a*) and the Northern Hemisphere (*b*), as cited in [39].

Fig. 5. Interannual distribution of the low-frequency component of the average winter air temperature anomaly (*a*) and the long-term trend of the low-frequency component of the average summer air temperature anomalies with a period exceeding 25 years (*b*) in the Northern Hemisphere (1), terrestrial areas of the Northern Hemisphere (2), and the Volga Federal District (3).

### References

1. Perevedentsev Yu.P. *Meteorologiya v Kazanskom universitete: stanovlenie, razvitie, osnovnye dostizheniya* [Meteorology at Kazan University: Origins, Development, Main Achievements]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 2001. 127 p. (In Russian)
2. Bronner F.K. Insights from meteorological observations in Kazan during 1814. *Kazan. Izv.*, 1815, no. 35, pp. 200–202. (In Russian)
3. Monakhova N.I., Altshuler N.S., Larionov A.L., Aganov A.V., Salakhov M.Kh. *Istoriya fiziki i astronomii v Kazanskom universitete za 200 let* [A History of Physics and Astronomy at Kazan University for 200 Years]. Kazan, Izd. Kazan. Gos. Univ., 2007. 497 p. (In Russian)
4. Pasetsky V.M. *Adol'f Yakovlevich Kupfer, 1799–1865* [Adolph Theodor Kupffer, 1799–1865]. Moscow, Nauka, 1984. 207 p. (In Russian)
5. Perevedentsev Yu.P., Khairullin K.Sh. A history of meteorological research at Kazan University (celebrating the 205th anniversary of the Meteorological Observatory of Kazan University). *Tr. Gl. Geofiz. Obs. im. A.I. Voeikova*, 2017, no. 584, pp. 262–266. (In Russian)
6. Semenov S.M. (Ed.) *Metody otsenki posledstviy izmeneniya klimata dlya fizicheskikh i biologicheskikh sistem* [Methods for Assessing the Climate Change Impacts on Physical and Biological Systems]. Moscow, Planeta, 2012. 511 p. (In Russian)
7. Knorr E.A. Temperature curve in Kazan based on the observations of 1833. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta*, 1835, no. 1, pp. 89–110. (In Russian)
8. Veselovsky K.S. *O klimate Rossii* [On the Climate of Russia]. St. Petersburg, Imp. Akad. Nauk, 1857. 327 p. (In Russian)
9. Wild H.I. *O temperature vozdukh v Rossiiskoi imperii* [On the Air Temperature Trends in the Russian Empire]. St. Petersburg, Imp. Akad. Nauk, 1882. 393 p. (In Russian)
10. Voeikov A.I. *Klimaty zemnogo shara, v osobennosti Rossii* [Global Climates, with a Focus on Russia]. St. Petersburg, Izd. Kartogr. Zaved. A. Il'ina, 1884. 640 p. (In Russian)
11. *Agroklimaticheskie resursy Tatarskoi ASSR* [Agroclimatic Resources of the Tatar ASSR]. Leningrad, Hidrometeoizdat, 1974. 128 p. (In Russian)
12. Drozdov O.A. *Snezhnyi pokrov v Tatarskoi Respublike* [Snow Cover in the Tatar Republic]. Kazan, Tatgosizdat. Sektor Sel'sko-Khoz. Lit., 1934. (In Russian)
13. *Klimaticheskie usloviya Tatarskoi ASSR i ikh ispol'zovanie v sel'skom khozyaistve* [Climatic Conditions of the Tatar ASSR and Their Use in Agriculture]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1962. 264 p. (In Russian)
14. Kolobov N.V., Shver Ts.A., Naumov E.P. (Eds.) *Klimat Kazani* [Climate of Kazan]. Leningrad, Hidrometeoizdat, 1990. 185 p. (In Russian)
15. Kolobov N.V. *Klimat Srednego Povolzh'ya* [Climate of the Middle Volga Region]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1968. 252 p. (In Russian)
16. Smolyakov P.T. *Klimat Tatarii* [Climate of Tatarstan]. Kazan, Tatgosizdat, 1947. 108 p. (In Russian)

17. Masson-Delmotte V., Zhai P., Pirani A., Connors S.L., Péan C., Berger S., Caud N., Chen Y., Goldfarb L., Gomis M.I., Huang M., Leitzell K., Lonnoy E., Matthews J.B.R., Maycock T.K., Waterfield T., Yelekçi O., Yu R., Zhou B. (Eds.) *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, Cambridge Univ. Press., 2021. 2391 p. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>.
18. Kattsov V.M. (Ed.) *Tretii otsenochnyi doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossijskoi Federatsii* [Third Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in the Russian Federation]. St. Petersburg, Naukoemkie Tekhnol., 2022. 676 p. (In Russian)
19. Mokhov I.I. Climate change: Causes, risks, consequences, problems of adaptation and regulation. *Herald Russ. Acad. Sci.*, 2022, vol. 92, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1134/S101933162201004X>.
20. Gladil'shchikova A.A., Dmitrieva T.M., Semenov S.M. The IPCC Special Report on Global Warming of 1.5 °C. *Fundam. Prikl. Klimatol.*, 2019, vol. 4, pp. 5–18. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2018-4-05-18>. (In Russian)
21. Kattsov V.M., Khlebnikova E.I., Shkolnik I.M., Rudakova Yu.L. Probabilistic regional climate projecting as a basis for the development of adaptation programs for the economy of the Russian Federation. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2020, vol. 45, no. 5, pp. 330–338. <https://doi.org/10.3103/S1068373920050039>.
22. Perevedentsev Yu.P., Vasil'ev A.A., Shantalinskii K.M., Gur'yanov V.V. Long-term variations in surface air pressure and surface air temperature in the Northern Hemisphere mid-latitudes. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2017, vol. 42, no. 7, pp. 461–470. <https://doi.org/10.3103/S1068373917070056>.
23. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M., Vasil'ev A.A., Gur'yanov V.V. Thermal regime of the troposphere, stratosphere, and lower mesosphere in the Northern Hemisphere in 1979–2016. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2019, vol. 44, no. 8, pp. 501–512. <https://doi.org/10.3103/S1068373919080016>.
24. Perevedentsev Yu.P., Vasil'ev A.A., Sherstyukov B.G., Shantalinskii K.M. Climate change on the territory of Russia in the late 20th–early 21st centuries. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2021, vol. 46, no. 10, pp. 658–666. <https://doi.org/10.3103/S1068373921100022>.
25. Perevedentsev Yu.P., Rakhimov I.I., Sherstyukov B.G., Shantalinsky K.M. Influence of modern climatic conditions changes in the phenology and behavior of birds. *Gidrometeorol. Obraz.*, 2021, no. 2, pp. 28–46. (In Russian)
26. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Ismagilov N.V., Guryanov V.V., Nikolaev A.A., Auhadeev T.R. Thermal regime in the troposphere, stratosphere, and mesosphere of the northern polar zone in 1979–2019. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2021, vol. 163, no. 4, pp. 626–642. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2021.4.626-642>. (In Russian)
27. Perevedentsev Yu.P., Pavlova V.N., Shantalinsky K.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A., Tagirov M.Sh. Agroclimatic conditions in the Republic of Tatarstan during 1966–2021. *Gidrometeorol. Issled. Prognozy*, 2022, no. 4 (386), pp. 96–113. <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2022-4-96-113>. (In Russian)
28. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M. Estimation of contemporary observed variations of air temperature and wind speed in the troposphere of the Northern Hemisphere. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2014, vol. 39, no. 10, pp. 650–659. <https://doi.org/10.3103/S1068373914100021>.
29. Perevedentsev Yu.P., Ismagilov N.V., Mirsaeva N.A., Guryanov V.V., Nikolaev A.A., Shantalinsky K.M. Seasonal changes in stratospheric circulation and interactions between the troposphere and the stratosphere. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.*, 2023, vol. 59, no. 6, pp. 636–646. <https://doi.org/10.1134/S0001433823060075>.
30. Perevedentsev Yu.P., Sherstyukov B.G., Mirsaeva N.A., Shantalinskii K.M., Guryanov V.V. Trends in main climate indicators on the territory of the Volga Federal District in the 19th–21st centuries. *Fundam. Prikl. Klimatol.*, 2022, vol. 8, no. 2, pp. 209–237. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2022-2-209-237>. (In Russian)
31. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A., Auhadeev T.R., Gur'yanov V.V., Sherstyukov B.G. Climate change on the territory of the Volga Federal District in the 20th–21st centuries and its consequences for the agrosphere. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2023, vol. 48, no. 9, pp. 798–807. <https://doi.org/10.3103/S1068373923090078>.

32. Perevedentsev Yu.P., Shantalinsky K.M., Mirsaeva N.A., Nikolaev A.A. Climate change on the territory of the Republic of Tatarstan. *Geogr. Vestn.*, 2024, no. 1 (68), pp. 103–112. <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2024-1-103-112>. (In Russian)
33. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Naumov E.P., Shantalinskii K.M. Long-term variations in main characteristics of the hydrometeorological Volga basin regime. *Russ. Meteorol. Hydrol.*, 2001, no. 10, pp. 9–15.
34. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Naumov E.P., Shantalinskii K.M., Nikolaev A.A. Regional patterns of the current climate warming in the tropo- and stratospheres of the Northern Hemisphere. *Izv. Ross. Akad. Nauk. Ser. Geogr.*, 2005, no. 6, pp. 6–16. (In Russian)
35. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M., Aukhadeev T.R., Ismagilov N.V., Zandi R. Effect of macrocirculation systems on the thermobaric conditions of the Volga Federal District. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2014, vol. 156, no. 2, pp. 156–169. (In Russian)
36. Perevedentsev Yu.P., Shantalinskii K.M. Changes in the near-surface air temperature of the Northern Hemisphere during the period of 1850–2014. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2015, vol. 157, no. 3, pp. 8–19. (In Russian)
37. Perevedentsev Y., Sherstyukov B., Gusarov A., Aukhadeev T., Mirsaeva N. Climate-induced fire hazard in forests in the Volga Federal District of European Russia during 1992–2020. *Climate*, 2022, vol. 10, no. 7, art. 110. <https://doi.org/10.3390/cli10070110>.
38. Perevedentsev Y., Gusarov A., Mirsaeva N., Sherstyukov B., Shantalinsky K., Guryanov V., Aukhadeev T. Contemporary climate change and its hydrological consequence in the Volga Federal District, European Russia. *Climate*, 2022, vol. 10, no. 12, art. 198. <https://doi.org/10.3390/cli10120198>.
39. Perevedentsev Y.P., Shantalinsky K.M., Gusarov A.V., Mirsaeva N.A., Aukhadeev T.R., Nikolaev A.A. Air temperature change at the end of the Late Holocene and in the Anthropocene in the Middle Volga Region, European Russia. *Quaternary*, 2023, vol. 6, no. 3, art. 48. <https://doi.org/10.3390/quat6030048>.
40. Brohan P., Kennedy J.J., Harris I., Tett S.F.B., Jones P.D. Uncertainty estimates in regional and global observed temperature changes: A new dataset from 1850. *J. Geophys. Res.*, 2006, vol. 111, no. D12, art. D12106. <https://doi.org/10.1029/2005JD006548>.
41. Jones P.D., New M., Parker D.E., Martin S., Rigor I.G. Surface air temperature and its variations over the last 150 years. *Rev. Geophys.*, 1999, vol. 37, no. 2, pp. 173–199. <https://doi.org/10.1029/1999RG900002>.
42. Vereshchagin M.A. (Ed.) *Klimat i okruzhayushchaya sreda Privolzhskogo federal'nogo okruga* [Climate and Environment of the Volga Federal District]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 2013. 272 p. (In Russian)
43. Perevedentsev Yu.P., Mirsaeva N.A., Pavlova V.N. (Eds.) *Sovremennye regional'nye klimaticheskie izmeneniya i ikh posledstviya* [Recent Regional Climate Change and Its Impacts]. Moscow, Ru-Science, 2024. 223 p. (In Russian)
44. Khromov S.P., Petrosyants M.A. *Meteorologiya i klimatologiya* [Meteorology and Climatology]. Moscow, Izd. Mosk. Univ., 1994. 518 p. (In Russian)
45. Monin A.S. *Vvedenie v teoriyu klimata* [Introduction to the Theory of Climate]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1982. 246 p. (In Russian)
46. Perevedentsev Yu.P. On the 100th anniversary of P.T. Smolyakov's birth. *Meteorol. Gidrol.*, 1999, no. 10, pp. 126–127. (In Russian)
47. Kolobov N.V. (Ed.) *Issledovanie vzaimosvyazei tsiklonichnosti v Severnom polusharii i regional'no-prognosticheskie rezul'taty* [A Study of the Connection between Cyclonic Activity in the Northern Hemisphere and Regional Forecasts]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1977. 176 p. (In Russian)
48. Tudrii V.D., Kolobov N.V. *Fluktuatsii tsiklonicheskikh protsessov v Severnom polusharii Zemli* [Fluctuations in Cyclonic Processes of the Northern Hemisphere]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1984. 164 p. (In Russian)
49. Khairullin R.R. *Struktura i dinamika tsiklogeneza v Severnom polusharii* [Structure and Dynamics of Cyclogenesis in the Northern Hemisphere]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1989. 134 p. (In Russian)

50. Kolobov N.V., Perevedentsev Yu.P. (Eds.) *Tsirkulyatsionnye i energeticheskie protsessy v atmosfere Severnogo polushariya* [Circulation and Energy Processes in the Atmosphere of the Northern Hemisphere]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1983. 235 p. (In Russian)
51. Guryanov V.V., Eliseev A.V., Mokhov I.I., Perevedentsev Yu.P. Wave activity and its changes in the troposphere and stratosphere of the Northern Hemisphere in winters of 1979–2016. *Izv., Atmos. Oceanic Phys.*, 2018, vol. 54, no. 2, pp. 114–126. <https://doi.org/10.1134/S0001433818020093>.
52. Perevedentsev Yu.P. *Tsirkulyatsionnye i energeticheskie protsessy v srednei atmosfere* [Circulation and Energy Processes in the Middle Atmosphere]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1984. 167 p. (In Russian)
53. Perevedentsev Y.P., Guryanov V.V., Shantalinsky K.M., Aukhadeev T.R. *Dinamika troposfery i stratosfery v umerennykh shirotakh Severnogo polushariya i sovremennye izmeneniya klimata v Privolzhskom federal'nom okruge* [Dynamics of the Troposphere and Stratosphere in Temperate Latitudes of the Northern Hemisphere and Recent Climate Change in the Volga Federal District]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 2017. 184 p. (In Russian)
54. Kolobov N.V. (Ed.) *Klimat Tatarskoi ASSR* [Climate of the Tatar ASSR]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1983. 160 p. (In Russian)
55. Perevedentsev Yu.P., Naumov E.P. (Eds.) *Klimaticheskie usloviya i resursy Respubliki Tatarstan* [Climatic Conditions and Resources of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Izd. Kazan Univ., 2008. 284 p. (In Russian)
56. Kolobov N.V., Murakaeva S.A. *Zasukhi na territorii Tatarskoi ASSR* [Droughts in the Tatar ASSR]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1980. 139 p. (In Russian)
57. Batrshina S.F., Perevedentsev Yu.P. *Dinamika snezhnogo pokrova na territorii Tatarstana vo vtoroi polovine XX stoletiya* [Snow Cover Dynamics in Tatarstan during the Second Half of the 20th Century]. Kazan, Kazan. Gos. Univ., 2005. 100 p. (In Russian)
58. Mirsaeva N.A., Vereshchagin M.A. Long-range forecasting of heating period duration. *Meteorol. Gidrol.*, 2019, no. 2, pp. 108–116. (In Russian)
59. Semenov S.M., Mokhov I.I., Semenov V.A., Zherebtsov G.A., Gulev S.K., Polonskii A.B., Solomina O.N., Volodin E.M., Ginzburg A.S., Eliseev A.V., Bardin M.Yu., Borzenkova I.I., Borisova O.K. Russian science and modern climatology: Celebrating the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. *Fundam. Prikl. Klimatol.*, 2024, vol. 10, no. 1, pp. 5–55. <https://doi.org/10.21513/2410-8758-2024-1-05-55>. (In Russian)

⟨ **Для цитирования:** *Переведенцев Ю.П., Мирсаева Н.А.* Метеорология и климатология в Казанском университете: к 190-летию гидрометеорологической службы России // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2024. Т. 166, кн. 4. С. 724–747. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.4.724-747>. ⟩

⟨ **For citation:** *Perevedentsev Yu.P., Mirsaeva N.A.*, Meteorology and climatology at Kazan University: Celebrating the 190th anniversary of Russia's Hydrometeorological Service. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennyye Nauki*, 2024, vol. 166, no. 4, pp. 724–747. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2024.4.724-747>. (In Russian) ⟩