

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский государственный университет»



Национальный
исследовательский
**Томский
государственный
университет**



**Геолого-
географический
факультет**

Томского
государственного
университета

ДИНАМИКА И ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ГЕОСФЕР ЗЕМЛИ

Материалы Всероссийской конференции с международным участием,
посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете
специалистов в области наук о Земле

8–12 ноября 2021 года

ТОМ II

Томск 2021

УДК 551.5; 556
ББК Д26

Динамика и взаимодействие геосфер Земли. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 100-летию подготовки в Томском государственном университете специалистов в области наук о Земле. В 3-х томах. Том II. Томск: Изд-во Томского ЦНТИ. 2021. – 216 с.

ISBN 978-5-89702-481-0

Во втором томе сборника представлены материалы двух секций: «Динамика и взаимодействие гидро- и криосферы» и «Состояние атмосферы и климатические ресурсы».

Для специалистов в области гидрологии, гляциологии, метеорологии и климатологии.

Редакционная коллегия: Эрнст Р.Э., Орлов В.П., Добрецов Н.Л., Коротеев В.А., Ревердатто В.В., Пеков И.В., Соломина О.Н., Врублевский В.В., Дюкарев А.Г., Изох А.Э., Кирпотин С.Н., Переведенцев Ю.П., Подобина В.М., Семенов С.М., Хорошев А.В.

Ответственные редакторы II тома:

Д.А. Вершинин, А.А. Ерофеев, В.А. Земцов, О.В. Носырева

Технический редактор – Е.М. Асочакова

При подъеме на Тункинские гольцы (рис. 2) наблюдается преобладание положительных аэроионов над отрицательными. Отмечается, что концентрации аэроионов в основном снижались. Минимальные значения для отрицательных ионов были зарегистрированы на гольцах (~500 см⁻³). В целом, содержание отрицательных аэроионов в горных условиях не превышает 1500 см⁻³. Средние концентрации положительных ионов изменяются в пределах от 1400 до 1900 см⁻³, а низкие значения, как и в случае отрицательных ионов отмечаются на гольцах.

Максимальная изменчивость аэроионов наблюдалась в точках, где подстилающая поверхность представлена травами с кустарничковой растительностью, а также присутствует свободный воздухообмен. Малая динамика концентраций отмечается над скалами, где, вероятно, осложнен процесс ионизации почвенным радоном и его производными.

Литература

1. Смирнов В. В. Ионизация в тропосфере. В. В. Смирнов. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 309 с.
2. Тверской П. Н. Атмосферное электричество / П. Н. Тверской. Л.: Гидрометеиздат, 1949. 252 с.
3. Grafetstätter C., Gaisberger M., Proseggger J., Ritter M., Kolarz P., Pichler C., Thalhamer J., Hartl A. Does waterfall aerosol influence mucosal immunity and chronic stress? A randomized controlled clinical trial? *J. Physiol. Anthropol.* 2017. 36, 10.
4. Hirsikko A., Nieminen T., Gagne S., Lehtipalo K., Manninen H. E., Ehn M., Horrak U., Kerminen V.-M., Laakso L., McMurry P. H., Mirme A., Mirme S., Petaja T., Tammet H., Vakkari V., Vana M., Kulmala M. Atmospheric ions and nucleation: a review of observations. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2011. 11(2), 767–798.
5. Ling X., Jayaratne R., Morawska L. Air ion concentrations in various urban outdoor environments. *Atmos. Environ.* 2010. 44, 2186–2193.

УДК 551.5

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ 1976–2019 ГГ.

Ю.П. Переведенцев¹, Б.Г. Шерстюков², К.М. Шанталинский¹

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия, upereved@kpfu.ru
²Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации –
Мировой центр данных, Обнинск, Россия

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект №20-55-00014).

Рассмотрена пространственно-временная изменчивость приземной температуры воздуха и атмосферных осадков на территории России по данным 1251 станции за период 1976–2019 гг. Главное внимание уделено анализу трендов указанных характеристик, что позволило оценить масштабы потепления климата в последние десятилетия. Установлена корреляционная связь между индексами атмосферной циркуляции (NAO, AO, EAWR, SCAND) с колебаниями температуры на Европейской территории России.

Ключевые слова: температура воздуха, атмосферные осадки, параметры линейного тренда, индексы атмосферной циркуляции, коэффициент корреляции.

The spatial-temporal variability of the surface air temperature and atmospheric precipitation in the territory of Russia is considered according to the data of 1251 stations for the period 1976–2019. The main attention is paid to the analysis of the trends of these characteristics, which made it possible to assess the scale of climate warming in recent decades. A correlation has been established between the atmospheric circulation indices (NAO, AO, EAWR, SCAND) with temperature fluctuations in the European territory of Russia.

Keywords: air temperature, precipitation, linear trend parameters, atmospheric circulation indices, correlation coefficient.

В настоящее время открытый доступ к метеорологическим данным, развитие современных информационно-вычислительных технологий позволяют исследовать происходящие климатические процессы как глобальные, так и в отдельных крупных регионах Земли, в том числе на территории России. Изучению климата России посвящен ряд работ (Барцев и др., 2016; Бардин и др., 2020; Доклад ..., 2021). Так в (Бардин и др., 2020), рассмотрены изменения приземной

температуры над сушей земного шара (1901–2019 гг.), а также температуры и осадков на территории Российской Федерации (1936–2019 гг.). В ней, в частности, выявлено, что за период 1976–2019 гг. средняя по России среднегодовая температура растет со скоростью 0,47°C/10 лет, при этом Европейская часть России теплеет быстрее ее Азиатской части, в Арктической зоне скорость потепления достигает 0,69°C/10 лет. В зимний период на территории России с середины 1970-х

годов до середины 1990-х произошло исключительно быстрое потепление, по-видимому, связанное с ростом индекса NAO, затем наступило похолодание, продолжавшееся до 2010 г.

Известно, что большую часть времени в 1950–1987, 1988–1997 и 1998–2004 гг. среднегодовая глобальная приповерхностная температура практически постоянна, а все потепление происходит в течение коротких событий посредством скачков 1987 и 1997 годов. Высказано предположение, что аналогичный скачок произошел в 2015 – 2016 годы, т.е. обнаруживается «лестница» потепления с середины 20 века (Барцев и др., 2016).

Цель настоящей статьи рассмотреть пространственно-временные изменения основных климатических показателей на территории России в современный период глобального потепления климата в 1976–2019 гг.

Исходные данные и методика исследований

Расчеты выполнялись с использованием данных 1251 метеорологических станций, расположенных на территории России из фонда ВНИИГМИ-МЦД за 1976–2019 гг. Многолетние ряды исходных данных подвергались статистической обработке – находились средние величины, средние квадратические отклонения (СКО), аномалии температуры воздуха и атмосферных осадков, линейные тренды температуры и осадков на территории России для периодов 1976–2019 и 2001–2019 гг.

Результаты исследования

Были построены карты трендов температуры воздуха для центральных месяцев сезонов и годовых значений для всей территории России по данным 1251 станций для периода 1976–2019 гг. Рассмотрим пространственное распределение трендов температуры за весь 44-летний период исследования (1976–2019 гг.).

В январе наибольшая скорость потепления наблюдается в Средней Сибири, арктическом побережье с максимумом на полуострове Таймыр и арктических островах от Новой Земли до Новосибирских островов, где величина коэффициента наклона линейного тренда (КНЛТ) достигает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет, значительный рост ТВ (КНЛТ= $0,80\text{--}0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет) наблюдается на территории Хабаровского края, в Европейской части России (ЕЧР) выделяется северо-запад, где КНЛТ в районе Архангельска достигает $0,80\text{--}0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет. Остальная часть ЕЧР также испытывает потепление, но меньшей интенсивности (КНЛТ меняется в пределах $0,20\text{--}0,59^{\circ}\text{C}/10$ лет). Очаги похолодания сформировались на юге Западной Сибири, где КНЛТ < 0 и меняется в пределах от $-0,40$ до $-0,79^{\circ}\text{C}/10$ лет и в Восточной Сибири (Магаданская область).

В апреле картина более однородная. Вся ЕЧР, кроме территории Северного Кавказа, охвачена умеренным потеплением с максимумом на Арктическом побережье, где значение КНЛТ достигает $0,80\text{--}0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет. Обширная территория Западной, Средней и Вос-

точной Сибири, все Арктическое побережье от Ямала до Чукотки, арктические острова заняты интенсивным потеплением (КНЛТ в районе Таймыра достигает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет). Практически вся территория России испытывает потепление климата.

В июле запад и юго-запад ЕЧР заняты достаточно интенсивной областью потепления (КНЛТ меняется от $0,60$ до $0,99^{\circ}\text{C}/10$ лет), на остальной части России за исключением средней полосы Западной Сибири, где потепление практически отсутствует, преобладает слабый рост ТВ со скоростью от $0,20$ до $0,59^{\circ}\text{C}/10$ лет.

В октябре происходит более активное потепление. Вся территория России от ее западных до восточных границ (за исключением Камчатки) подвержена потеплению климата. Наиболее интенсивный рост ТВ наблюдается в северных районах Сибири, на Арктическом побережье и Чукотке, где КНЛТ превышает $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет.

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 $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом в центральной и северных частях Сибири потепление более выражено, чем на ЕЧР, где выделяется Карелия и юго-запад Центрального федерального округа (КНЛТ= $0,60\text{--}0,79^{\circ}\text{C}/10$ лет).

Эти результаты для территории России согласуются с данными работы [2], в которой представлены результаты глобального мониторинга температурного режима над сушей Земного шара с использованием данных 3288 метеорологических станций. Согласно этой работе, в период 1976–2019 гг. по среднегодовым данным вдоль всего арктического побережья России тренд достигает $0,8^{\circ}\text{C}/10$ лет и более, на островах Баренцева и Карского морей – $1,5^{\circ}\text{C}/10$ лет, на Таймыре и Камчатке КНЛТ порядка $1,2^{\circ}\text{C}/10$ лет, а на ЕЧР величина тренда достигает $0,7^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Рассмотрим региональные особенности изменения режима атмосферных осадков в период 1976–2019 гг. на территории России. Пространственная картина распределения трендов осадков по территории России весьма неоднородная. Так, в январе на ЕЧР наблюдается рост осадков со скоростью $1,0\text{--}1,9$ мм/10 лет с максимумом на северо-западе, где КНЛТ= $2,0\text{--}2,9$ мм/10 лет. В центре и на юге Западной Сибири, в Алтае и на северо-востоке Восточной Сибири, включая Чукотку, отмечается снижение осадков (КНЛТ достигает $-2,0\text{--}2,9$ мм/10 лет). В то же время выделяется северный регион Западной и Средней Сибири от п-ва Таймыр до Новосибирских островов, где осадки увеличиваются со скоростью достигающей $2,0\text{--}2,9$ мм/10 лет.

В апреле основной очаг прироста осадков смещается с ЕЧР в восточном направлении на Предуралье, Западную и Среднюю Сибирь, где КНЛТ достигает $3,0\text{--}3,9$ мм/10 лет. Основные очаги понижения осадков формируются на Северном Кавказе, в Магаданской области, в Приамурье и Приморье, где КНЛТ в отдельных местах $\sim\text{--}4,0$ мм/10 лет.

В июле практически вся ЕЧР за исключением северо-запада, западная часть Западной Сибири, арктическое побережье от Таймыра до Чукотки, Магаданская область и Камчатка, Предбайкалье и Забайкалье находятся в зоне уменьшения осадков, так КНЛТ < -4 мм/10 лет на ЕЧР и Камчатке, в то же время юг Восточной Сибири, Приамурье и Приморье располагаются в зоне роста осадков (КНЛТ > 4 мм/10 лет). В октябре большая часть территории России испытывает рост атмосферных осадков (максимум на Чукотке, где КНЛТ > 4 мм/10 лет). Очаги с уменьшением сумм осадков носят пятнистый характер, разбросаны по территории России и менее интенсивны: выделяются Карелия, юг Западной Сибири, Дальневосточные районы, где КНЛТ на о. Сахалин порядка -3,0–3,9 мм/10 лет.

Тренды, построенные по годовым значениям сумм осадков, свидетельствуют об увеличении осадков на большей части территории России. Так, на побережье Охотского моря КНЛТ > 25 мм/10 лет. Понижение сумм осадков наблюдается в центре и на юге ЕЧР, Северном Кавказе, где КНЛТ ~ 10–14 мм/год. Небольшие очаги с уменьшением осадков отмечаются на о. Новая Земля, юге Средней Сибири, северо-востоке Чукотки.

В докладе об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 г. указывается, что на территории России в период 1976–2019 гг. преобладает тенденция к увеличению годовых сумм осадков с трендом составляющим 2,2 % нормы/10 лет, что согласуется с выводами авторов статьи.

Для оценки влияния циркуляции атмосферы на термический режим ЕЧР рассчитывались коэффициенты корреляции r в период 1976–2019 гг. между временными рядами индексов атмосферной циркуляции (АО, NAO, EAWR, SCAND) и температурой воздуха на отдельных станциях. Всего использовалось 95 станций. Были построены карты изокоррелят для января и июля. Выявились следующие особенности. В январе с арктической осцилляцией (АО) связи более тесные на западе и в центре региона (в районе Пскова $r = 0,6$), в направлении с юго-запада на северо-восток происходит их ослабление и в Северном Предуралье ($r = 0,2$). В июле связи незначимы. С индексом североатлантического колебания (NAO) в январе также связи более тесные в западной и центральной части региона ($r = 0,7$), в восточном направлении происходит заметное ослабление влияния NAO, а на юго-востоке ЕТР r уменьшается до 0,2 и меньших значений (Оренбург). В июле значения коэффициентов корреляции незначительны ~0,2. Таким образом, арктическая осцилляция и североатлантическое колебание оказывают заметное воздействие на термический режим региона в зимний период и прежде всего на его западную и центральную часть. Это воздействие положительное, т.е. атмосферная циркуляция способствует потеплению региона в зимний период. Циркуляционная мода Восточная Атлантика-Западная Россия (EAWR) наибольшее влияние оказывает в летний период и в основном на центр и особенно восток региона, где величина $r = -0,7$, что свидетельствует об охлаждающем влиянии Северной

Атлантики в этот период. Связь температуры воздуха с индексом SCAND в январе лучше выражена в южной половине ЕЧР и особенно на востоке территории (Урал, Оренбуржье, Северной Кавказ), где r принимает отрицательное значение ($r = -0,6$). Таким образом, формирование блокирующего скандинавского антициклона заметно влияет на зимний термический режим востока ЕЧР и способствует понижению ТВ. В июле связь между компонентами выше на северо-западе ЕЧР ($r = +0,4$) и ослабевает в направлении юго-востока.

В ранее выполненных работах (Бардин и др., 2019; Попова, 2018) показана важная роль крупномасштабной циркуляции атмосферы в изменениях современного климата. Согласно (Попова, 2018), на севере Евразии в период ослабления зональной циркуляции (индекс АО имел устойчивый нисходящий тренд) возникали температурные экстремумы в июле и июне 2010, 2012 и 2016 гг. В работе (Бардин и др., 2019) показано, что в последние десятилетия в зимний период на территории России температура воздуха характеризуется в основном трендом, примерно вдвое превосходящим тренд «глобального потепления», и наложенным на него естественным колебанием с периодом около 40 лет и амплитудой несколько менее градуса, связанным с вариациями ведущих мод крупномасштабной атмосферной циркуляции в атлантико-европейском секторе – NAO и SCAND.

В целом полученные авторами результаты по оценке влияния крупномасштабной атмосферной циркуляции на термический режим ЕЧР в период 1976–2019 гг. не противоречат выводам указанных работ.

Заключение

В заключение отметим следующие основные особенности изменения температурно-влажностного режима на территории России в 1976–2019 гг., полученные в результате анализа вычисленных трендов для центральных месяцев сезонов и годовых значений приземной температуры воздуха и атмосферных осадков.

В 1976–2019 гг. практически на всей территории России происходило потепление климата, которое сопровождалось, особенно в ее азиатской части, увеличением годовых сумм осадков.

Полученные в работе тренды температуры воздуха и атмосферных осадков для центральных месяцев сезонов могут служить дополнением к результатам анализа сезонных трендов этих величин представленных в (Доклад ..., 2021), так как, согласно (Бардин и др., 2019), ход сезонной температуры, в особенности зимней, в последние десятилетия определяется не обязательно только вкладом центрального месяца сезона.

Циркуляционный фактор играет важную роль в динамике термического режима ЕЧР. Происходит заметное изменение характера статистических связей в зависимости от индекса циркуляции. Если АО и NAO более эффективно влияют на термический режим западных районов зимой (связи положительные), то SCAND зимой в значительно большей степени влияет на восток региона (связь отрицательная). Колебание

EAWR также более эффективно воздействует на восток региона, но уже в летний период и с отрицательным знаком. Роль циркуляционных факторов на рассматриваемой территории неоднородная как по знаку, так и интенсивности.

Литература

1. Бардин М.Ю., Платова Т.В., Самохина О.Ф. Изменчивость антициклонической активности в умеренных широтах Северного полушария. // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2019. №3. С. 32–58.
2. Бардин М.Ю., Ранькова Э.Я., Платова Т.В., Самохина О.Ф., Корнева И.А. Современные изменения приземного климата по результатам регулярного мониторинга. // *Метеорология и гидрология*. 2020. №5. С. 29–45.
3. Барцев С.Н., Белолипецкий П.В., Дегерменджи А.Г., Иванова Ю.Д., Почекутов А.А., Салтыков М.Ю. Новый взгляд на динамику климата земли. // *Вестник российской академии наук*. 2016. Т. 86. №3. С. 244–253.
4. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М., 2021, 104 с.
5. Попова В.В. Современные изменения климата на севере Евразии как проявление вариаций крупномасштабной атмосферной циркуляции. // *Фундаментальная и прикладная климатология*. 2018. №1. С. 84–111.

УДК 551.594.1

СУТОЧНАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ФОНОВЫХ ЗНАЧЕНИЙ АТМОСФЕРНО-ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ ПО ДАННЫМ ЭКСПЕДИЦИОННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ В РЕСПУБЛИКЕ БУРЯТИЯ

К.Н. Пустовалов^{1,2}, П.М. Нагорский¹, М.В. Оглезнева¹, А.А. Сат¹

¹*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия,*

²*Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия
const.pv@yandex.ru, npt_sta@mail.ru, oglezneva.m@yandex.ru, artysh.sat@gmail.com*

Работа выполнена при поддержке госбюджетной темы (номер государственной регистрации 121031300154-1).

Проведено исследование суточной изменчивости атмосферно-электрических величин в условиях «хорошей погоды» в горной местности на основе экспериментальных данных, полученных входе экспедиции в Республику Бурятия. Отмечено, что максимум градиента потенциала электрического поля в приземном слое отмечается в послеполуденное и вечернее время, а минимум – ночью. Содержание аэроионов, в целом, изменяется противофазно электрическому полю. С увеличением абсолютной высоты местности среднесуточные значения градиента потенциала электрического поля возрастают.

Ключевые слова: атмосферное электричество, условия «хорошей погоды», суточные вариации, горы

On the basis of the experimental data obtained during the expedition to the Republic of Buryatia, the study of the daily variability of atmospheric-electrical quantities under the “fair weather” conditions in the mountainous area was carried out. It is noted that the maximum of the electric field potential gradient in the surface layer is observed in the afternoon and evening, and the minimum is observed at night. The content of air ions, in general, changes in antiphase to the electric field. With an increase in the absolute height of the area, the average daily values of the electric field potential gradient increase.

Keywords: atmospheric electricity, “fair weather” conditions, diurnal variations, mountains

Известно, что суточные вариации атмосферно-электрических величин обусловлены влиянием как глобальных (унитарная вариация – кривая Карнеги (Анисимов, Мареев, 2008; Harrison, 2013)), так региональных и локальных факторов (Bennett, Harrison, 2008; Anisimov et al., 2014; Аджиев, Куповых, 2015; Yaniv et al., 2016). Вклад последних может существенно отличаться в различных регионах земного шара. Для континентальных районов минимум и максимум около 4 и 19 UTC соответственно, обусловленные унитарной вариацией электрического поля, проявляются значительно слабее чем в близи моря, и при этом часто отмечается дополнительный дневной максимум,

обусловленный конвективным генератором, особенно активным в локальный полдень (Анисимов, Мареев, 2008; Атмосфера, 1991). В настоящее время исследование атмосферно-электрических суточных вариаций в условиях «хорошей погоды» выполнялись для различных регионов (Bennett, Harrison, 2007; Anisimov et al., 2014; Аджиев, Куповых, 2015; Yaniv et al., 2016). Однако, подобных исследований для территории юга Сибири до сих пор не проводилось.

В августе 2020 г. проводилась геофизическая экспедиция в Тункинский район Республики Бурятия. Одной из задач экспедиции была оценка суточной изменчивости невозмущённых значений атмосферно-э-