

СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 911.6–911.7
DOI: 10.15372/KZ20250205
EDN: OGVFJK

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ
СРЕДНИХ И ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОЛЩИНЫ СНЕГА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ**

Л.М. Китаев*, Т.Б. Титкова, М.А. Алешина

*Институт географии РАН,
119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия*

**Автор для контакта; e-mail: lkitaev@mail.ru*

Выполнена оценка изменчивости средних и экстремальных сезонных значений толщины снега Восточно-Европейской равнины с учетом региональных особенностей метеорологического режима. Уточнено соответствующее общим закономерностям распределение средних значений и крайних – 5 и 95 % – перцентилей (минимальных и максимальных экстремумов). Выявлено многолетнее уменьшение средних значений и экстремумов толщины снега при увеличении температуры воздуха и осадков. Соответственно результатам регрессионного анализа, зависимость многолетней динамики толщины снега от метеорологических характеристик в большей степени проявляется для максимальных экстремумов, наиболее значимый вклад в изменение снежного покрова выявлен для хода осадков. Разностные интегральные кривые фиксируют для всех характеристик наличие двух отрицательных фаз в 1985–1995 и 2005–2015 гг., что соответствует многолетним особенностям атмосферной циркуляции. По данным реперных метеорологических станций оценивается точность расчетов толщины снега реанализом ERA 5-Land: относительная ошибка достигает 45–50 %, коэффициенты линейных трендов различаются в 1.5–3 раза, что необходимо учитывать при использовании расчетных значений.

Ключевые слова: *толщина снега, температура воздуха, осадки, перцентили, минимальные и максимальные экстремумы, регрессионный анализ, сезонная и многолетняя изменчивость.*

Ссылка для цитирования: Китаев Л.М., Титкова Т.Б., Алешина М.А. Современные тенденции изменчивости средних и экстремальных значений толщины снега Восточно-Европейской равнины // Криосфера Земли, 2025, т. XXIX, № 2, с. 55–63. DOI: 10.15372/KZ20250205. EDN: OGVFJK.

**MODERN TRENDS IN VARIABILITY OF AVERAGE AND EXTREME SNOW DEPTH VALUES
ON THE EAST EUROPEAN PLAIN**

L.M. Kitaev*, T.B. Titkova, M.A. Aleshina

*Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,
Staromonetny per. 29, Moscow, 119017 Russia*

**Corresponding author; e-mail: lkitaev@mail.ru*

The variability of average and extreme seasonal snow depth values on the East European Plains has been assessed taking into account regional characteristics of the meteorological regime. The regional distribution of average and extreme (5th and 95th percentiles, minimum and maximum extremes) snow depth values has been clarified. A tendency for a long-term decrease in the average and extreme snow depth values with an increase in air temperature and precipitation has been revealed. According to the results of regression analysis, the dependence of long-term dynamics of snow depth on meteorological characteristics is more pronounced for maximum extremes. The most significant contribution to changes in the snow cover depth belongs to the variability in precipitation. The difference integral curves indicate the presence of two negative phases of snow depth characteristics in 1985–1995 and 2005–2015, which corresponds to the long-term features of atmospheric circulation. Based on data from reference weather stations, the accuracy of snow depth calculations using ERA 5-Land reanalysis has been estimated: the relative error reaches 45–50 %, and linear trend coefficients differ by 1.5–3 times, which should be taken into account when using the calculated values.

Keywords: *snow thickness, air temperature, precipitation, percentiles, minimum and maximum extremes, regression analysis, seasonal and long-term variability.*

ВВЕДЕНИЕ

Продолжительное залегание снежного покрова на севере Евразии, до семи месяцев в году, определяет его исключительную значимость для водного баланса, растительного покрова, почвы, а также, ввиду высокого альбедо, малой теплопроводности, затрат тепла на таяние, для климата [Рихтер, 1948; Копанев, 1971; Кренке и др., 2000; Котляков, 2004]. Особенности взаимодействия снежного покрова с окружающей средой определяются характером внутрисезонной динамики снегонакопления и многолетней изменчивостью снеготазов, в том числе в разных диапазонах распределения. Тем не менее частота проявления аномалий исследуется прежде всего для приземной температуры воздуха и осадков, поскольку колебания метеорологического режима могут усиливать неблагоприятное воздействие климата на природные процессы в условиях современного потепления [Третий оценочный доклад, 2022; IPCC..., 2022]. В связи с этим разработаны и продолжают уточняться подходы к оценкам экстремумов с использованием индексов средних, максимальных и минимальных значений характеристик для интервалов времени в процентах распределения [Бардин, Платова, 2013; Folland et al., 1999]. Особенности изменчивости экстремальных снеготазов исследованы в меньшей степени. Отчеты Росгидромета содержат информацию о пространственных различиях аномалий снежности и региональной неоднородности тенденций снегонакопления; строительными нормами определены максимально возможные нагрузки снежного покрова на инженерные конструкции; исследуются процессы экстремального снегонакопления как причины повышенной лавинной опасности в горных условиях [СП 20.13330.2016, 2016; СП 428.1325800.2018, 2018; Олейников, Володичева, 2020]. Значимость и новизна данного направления исследований связана с неопределенностью в оценках скорости и направленности изменений, в частности, крайних диапазонов статистического распределения характеристик снежного покрова в условиях меняющегося климата. Конкретная задача настоящей работы состоит в выявлении закономерностей в пространственно-временном распределении средних величин и экстремальных значений толщины снега Восточно-Европейской равнины на фоне изменений метеорологического режима.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Исследования проведены с использованием данных наблюдений за толщиной снега 117 метеорологических станций, расположенных на территории Восточно-Европейской равнины в границах формирования устойчивого снежного покрова

30–60° в.д. и 55–75° с.ш. Изменчивость рассматривалась на сезонном и многолетнем уровнях: для суточных значений зимнего периода с устойчивым снежным покровом с января по март включительно (далее – холодный период) и для средних за сезон периода 1976–2022 гг. Особенности метеорологической обстановки холодного периода показаны для приземной температуры воздуха и осадков по суточным данным и средним сезонным значениям для каждого года, при этом средние за сезон осадки рассчитывались соответственно количеству дней с их присутствием. Детализация изменчивости характеристик приводится по данным девяти реперных станций, расположенных в западном, центральном и восточном секторах Восточно-Европейской равнины; список станций приведен в таблицах.

Методические подходы к оценкам экстремумов температуры воздуха унифицировались в рамках работы Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК), в первом варианте для диапазонов 2, 5, 10, 90, 95 и 98 % распределения. Впоследствии в практике исследований чаще использовались крайние пороговые значения (персентили) 5(10)–95 %, для которых соответственно средним выявлены многолетние тенденции увеличения на территории Евразии в середине XX в. [Бардин, Платова, 2013; Китаев, 2018; Китаев и др., 2022; Yan et al., 2002].

Для анализа изменчивости толщины снега рассмотрены крайние диапазоны их статистического нормального распределения [Копанев, 1971] – для персентилей 5 и 95 % (далее – минимальные и максимальные экстремумы) сезонных значений. Те же персентили (экстремумы) рассматривались в анализе изменчивости температуры воздуха. Для осадков, в связи с дискретностью их выпадения, определение минимального порогового значения затруднительно, и, соответственно предложенной М.Ю. Бардиным и Т.В. Платовой [2013] методике, для аналога минимального экстремума принимается количество дней без осадков.

В ходе работы оценена точность воспроизведения изменчивости средних значений и экстремумов толщины снега реанализом Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды ERA 5-Land (далее – реанализ) [Brun et al., 2013; Muñoz Sabater, 2019]. Исходный материал представлен ежечасными данными с разрешением сетки 9 км (0.1 × 0.1°), осредненными для анализа в суточные значения с привязкой соответствующих ячеек к координатам реперных метеорологических станций.

Исследования проведены с использованием методов математической статистики; значимость коэффициентов линейных трендов определяется на уровне 95 % и в таблицах выделяется курсивом.

**ДИНАМИКА ХАРАКТЕРИСТИК
СНЕЖНОГО ПОКРОВА В УСЛОВИЯХ
ИЗМЕНЕНИЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА
И ОСАДКОВ**

Пространственные особенности значений толщины снега в характерных для региона условиях температурного режима и осадков, определяемых во многом воздействием Североатлантической осцилляции, иллюстрируют рис. 1 и табл. 1–3. Минимальная температура воздуха в холодный период отмечается в центральном секторе региона – до -27°C , при плавном повышении температуры с севера к югу в каждом секторе. Минимальные (около 0.5 мм) средние за сезон осадки наблюдаются также в центре региона, толщина снега меняется от 40 до 70 мм при небольшом снижении к югу (см. рис. 1). Пространственные изменения минимальных и максимальных экстремумов происходят соответственно изменчивости средних значений (см. табл. 1–3).

Средние и экстремальные значения температуры воздуха холодного периода в целом для реги-

она имеют тенденцию повышения. Значимые положительные коэффициенты линейного тренда средних значений преобладают в западном секторе Восточно-Европейской равнины (более $0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет), незначимые (менее $0.1^{\circ}\text{C}/10$ лет) – на востоке; в центре региона ($40\text{--}45^{\circ}$ в.д.) располагается узкая зона отрицательных значений коэффициентов (более $-0.8^{\circ}\text{C}/10$ лет). Аналогичное распределение, но с меньшими значениями, имеют коэффициенты линейных трендов минимальных экстремумов – до $0.4^{\circ}\text{C}/10$ лет на западе и востоке и отрицательными (менее $-0.2^{\circ}\text{C}/10$ лет) трендами в центре. Наибольшие, повсеместно значимые, многолетние изменения коэффициентов линейного тренда характерны для максимальных экстремумов: $0.5\text{--}1.5$ на западе и востоке и более $-1.0\text{--}-2.0$ в центре региона (см. рис. 1). Таким образом, преобладающее по территории увеличение средних за холодный период температур воздуха в значительной мере сопровождается повышением значений экстремумов.

Средние за сезон осадки увеличиваются в основном на западе и в центре региона до

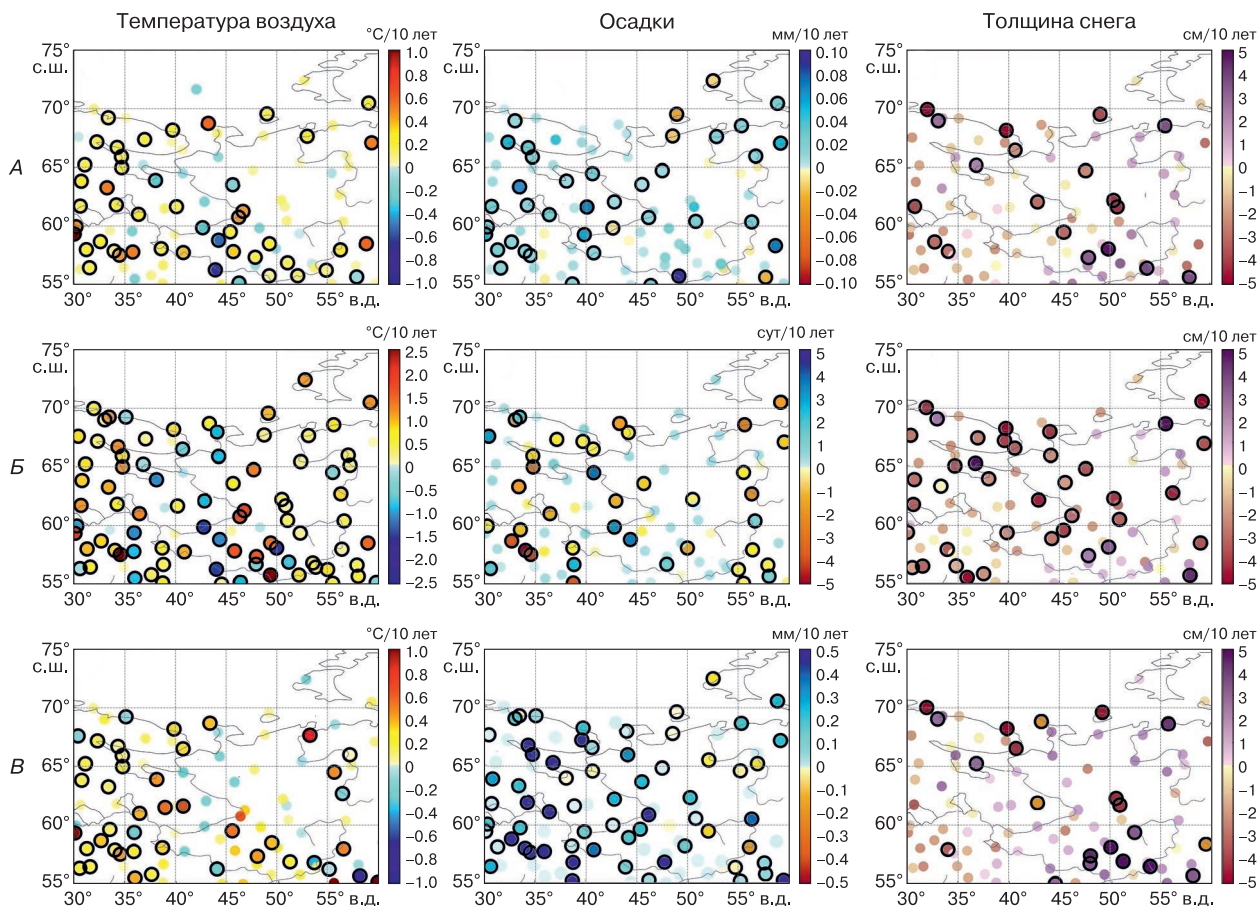


Рис. 1. Пространственное распределение коэффициентов линейного тренда приземной температуры воздуха, осадков, толщины снежного покрова.

A – среднее; B – перцентиль 5 % и количество дней без осадков; B – перцентиль 95 %.

Таблица 1. Многолетняя изменчивость сезонных характеристик приземной температуры воздуха реперных метеорологических станций

Метеостанция	Координаты	Среднее	Перцентиль 5 %	Перцентиль 95 %	Стандартное отклонение
Краснощелье	37.05° в.д., 67.35° с.ш.	-15.4 / 0.14	-31.3 / 0.17	-3.2 / 0.13	8.93 / 0.09
Паданы	33.48° в.д., 63.27° с.ш.	-9.5 / 0.51	-22.9 / 0.99	-0.2 / 0.11	7.21 / -0.31
Максатиха	35.90° в.д., 57.80° с.ш.	-6.6 / 0.59	-18.9 / -0.10	0.4 / 0.22	6.29 / 0.44
Канин Нос	43.30° в.д., 68.65° с.ш.	-21.4 / 0.90	-44.7 / 1.19	-3.1 / 0.36	13.94 / -0.15
Шенкурск	42.92° в.д., 62.10° с.ш.	-27.1 / 0.02	-47.0 / -1.33	-4.9 / 0.69	14.36 / 0.59
Порецкое	46.33° в.д., 53.18° с.ш.	-20.7 / 0.69	-34.4 / 1.19	-4.1 / 0.11	10.07 / 0.09
Хоседа-Хард	59.38° в.д., 67.08° с.ш.	-10.6 / 0.54	-28.5 / 0.66	-0.5 / 0.36	9.36 / -0.16
Троицко-Печорское	56.20° в.д., 62.70° с.ш.	-10.5 / 0.32	-25.7 / 0.88	-0.8 / -0.14	8.22 / -0.35
Бисер	58.58° в.д., 58.52° с.ш.	-9.98 / 0.74	-23.0 / 1.05	-0.9 / 0.14	7.11 / -0.27

Примечание. Числитель – значение параметра, °С; знаменатель – коэффициент линейного тренда, °С/10 лет.

Таблица 2. Многолетняя изменчивость сезонных характеристик осадков реперных метеорологических станций

Метеостанция	Среднее, мм	Дни без осадков	Перцентиль 95 %, мм	Стандартное отклонение
Краснощелье	1.2 / -0.06	34 / -1.51	4.0 / 0.35	1.57 / -0.38
Паданы	1.0 / 0.08	39 / -1.69	4.3 / 0.20	1.64 / 0.08
Максатиха	1.2 / 0.34	40 / -0.24	5.3 / 0.45	2.01 / -0.15
Канин Нос	0.6 / 0.02	44 / -2.19	2.4 / 0.09	1.03 / -0.02
Шенкурск	0.4 / 0.05	58 / -1.13	2.2 / 0.11	0.96 / 0.10
Порецкое	0.5 / 0.06	54 / -0.04	2.5 / 0.01	1.19 / 0.11
Хоседа-Хард	1.1 / 0.06	43 / -0.13	5.1 / 0.28	2.14 / 0.05
Троицко-Печорское	1.5 / 0.03	38 / -1.24	4.8 / 0.17	1.84 / 0.24
Бисер	1.3 / 0.17	40 / -0.83	5.7 / 0.56	2.25 / 3.15

Примечание. Числитель – значение параметра; знаменатель – коэффициент линейного тренда, мм/10 лет.

0.08 мм/10 лет. Увеличение максимальных экстремумов происходит более интенсивно (до 0.4 мм/10 лет) также на западе и в центре, с уменьшением значений трендов до 0.3 мм/год на востоке региона. Пространственное распределение характеристик количества дней без осадков, как аналога минимальных экстремумов, показывает преобладание значимых коэффициентов линейного тренда до -5 сут/10 лет на западе и в центре (см. рис. 1). В данном случае характерное для региона многолетнее увеличение средних осадков холодного периода логично связано с интенсивным увеличением максимальных осадков при уменьшении числа дней без осадков.

На фоне многолетнего повышения температуры воздуха и осадков происходит уменьшение сезонных средних значений и экстремумов толщины

снега – при значениях трендов менее -5 см/10 лет; многолетнее уменьшение средних значений толщины снега происходит синхронно. Значимые коэффициенты линейных трендов минимальных экстремумов распределены достаточно равномерно по территории, значимые максимальные тренды представлены в меньшей степени – в основном в центре и на юге западного сектора (см. рис. 1).

Данные из табл. 1–3 уточняют закономерности изменчивости средних и экстремальных значений характеристик по сведениям реперных метеорологических станций. Так, средние значения температуры воздуха имеют положительные многолетние тенденции изменений при многолетнем увеличении максимальных экстремумов и разнонаправленные тренды минимальных экстремумов. Средние осадки за холодный период также увеличи-

Таблица 3. Многолетняя изменчивость характеристик сезонных значений толщины снежного покрова реперных метеорологических станций

Метеостанция	Источник данных	Среднее	Перцентиль 5 %	Перцентиль 95 %	Стандартное отклонение
Краснощелье	МС	49 / -0.64	35 / -1.51	62 / -0.35	10.8 / 0.17
	ERA	52 / -2.68	34 / -3.96	66 / -2.26	11.0 / -2.59
Паданы	МС	38 / 1.58	22 / -6.25	58 / 2.57	10.9 / 0.79
	ERA	34 / -2.14	12 / -3.27	48 / -0.78	12.1 / -1.18
Максатиха	МС	29 / -0.87	15 / -0.22	42 / -0.14	9.68 / -0.39
	ERA	28 / -3.58	15 / -0.58	19 / -0.21	15.5 / -0.58
Канин Нос	МС	49 / -1.7	28 / -2.278	69 / -1.53	15.8 / 0.20
	ERA	50 / -3.91	35 / -4.35	60 / -3.40	9.5 / -0.59
Шенкурск	МС	45 / -2.96	29 / -3.62	58 / -2.10	10.9 / 0.26
	ERA	40 / -4.60	10 / -3.63	59 / -4.11	16.9 / 0.21
Порецкое	МС	27 / 2.29	10 / -0.28	40 / 0.65	9.19 / 2.29
	ERA	26 / -3.67	16 / -0.17	44 / -3.98	13.8 / -0.81
Хоседа-Хард	МС	59 / -2.56	7.07 / -2.54	74 / -2.74	11.8 / -0.346
	ERA	61 / -5.73	48 / -6.39	81 / -6.60	13.5 / -0.88
Троицко-Печорское	МС	67 / 2.04	51 / -2.83	81 / -1.33	12.2 / 0.24
	ERA	65 / -4.44	84 / -3.79	31 / -6.33	18.2 / -0.65
Бисер	МС	76 / -2.82	56 / -0.35	94 / -1.67	14.9 / 0.32
	ERA	70 / -4.49	29 / -8.00	93 / -3.14	20.9 / 1.42

Примечания. Числитель – значение параметра, см; знаменатель – коэффициент линейного тренда, см/10 лет. МС – данные метеорологических станций, ERA – данные реанализа. Координаты метеорологических станций приведены в табл. 1.

чиваются при уменьшении количества дней без осадков и преобладающем увеличении максимальных экстремумов. Многолетнее уменьшение средних значений толщины снега сопровождается снижением экстремумов.

Рассмотрена реакция многолетней динамики экстремумов толщины снега на изменения температуры воздуха и осадков. Множественным регрессионным анализом определены более значимые коэффициенты регрессии максимальных экстремумов относительно коэффициентов мини-

мальных экстремумов (0.043–0.16 и 0.14–0.34). Согласно значениям бета-коэффициентов, больший вклад в межгодовую динамику толщины снега оказывают осадки – для максимального экстремума 5.67–25.92 (табл. 4).

Исследуемый период 1979–2022 гг. отличается в целом устойчивым потеплением с некоторыми неоднородностями в изменчивости климата, связанными с особенностями атмосферной циркуляции [Попова и др., 2015; Попова, 2023; Semenov et al., 2010; IPCC..., 2022]. В связи с этим в дополне-

Таблица 4. Зависимость многолетней динамики экстремумов толщины снежного покрова от изменчивости температуры воздуха и осадков

Метеорологическая станция	Коэффициент регрессии	Бета-коэффициенты	
		Температура воздуха	Осадки
Краснощелье	0.12 / 0.34	0.27 / -1.16	3.12 / 16.69
Паданы	0.05 / 0.16	-0.01 / 0.04	-2.84 / 9.39
Максатиха	0.16 / 0.26	0.88 / -1.09	-0.14 / -11.64
Канин Нос	0.15 / 0.20	0.224 / 0.62	-16.19 / 25.92
Шенкурск	0.16 / 0.22	0.075 / -0.42	-12.66 / 17.217
Порецкое	0.08 / 0.33	-0.51 / -0.86	-1.53 / -13.83
Хоседа-Хард	0.28 / 0.36	-1.71 / -2.34	6.99 / 15.65
Троицко-Печорское	0.13 / 0.14	0.68 / -0.42	-1.57 / 5.67
Бисер	0.04 / 0.31	0.24 / -0.46	-1.39 / -14.39

Примечание. Регрессионные характеристики: перцентиль 5 % (числитель), перцентиль 95 % (знаменатель). Курсивом выделены значимые на уровне 95 % коэффициенты линейной регрессии. Координаты метеорологических станций приведены в табл. 1.

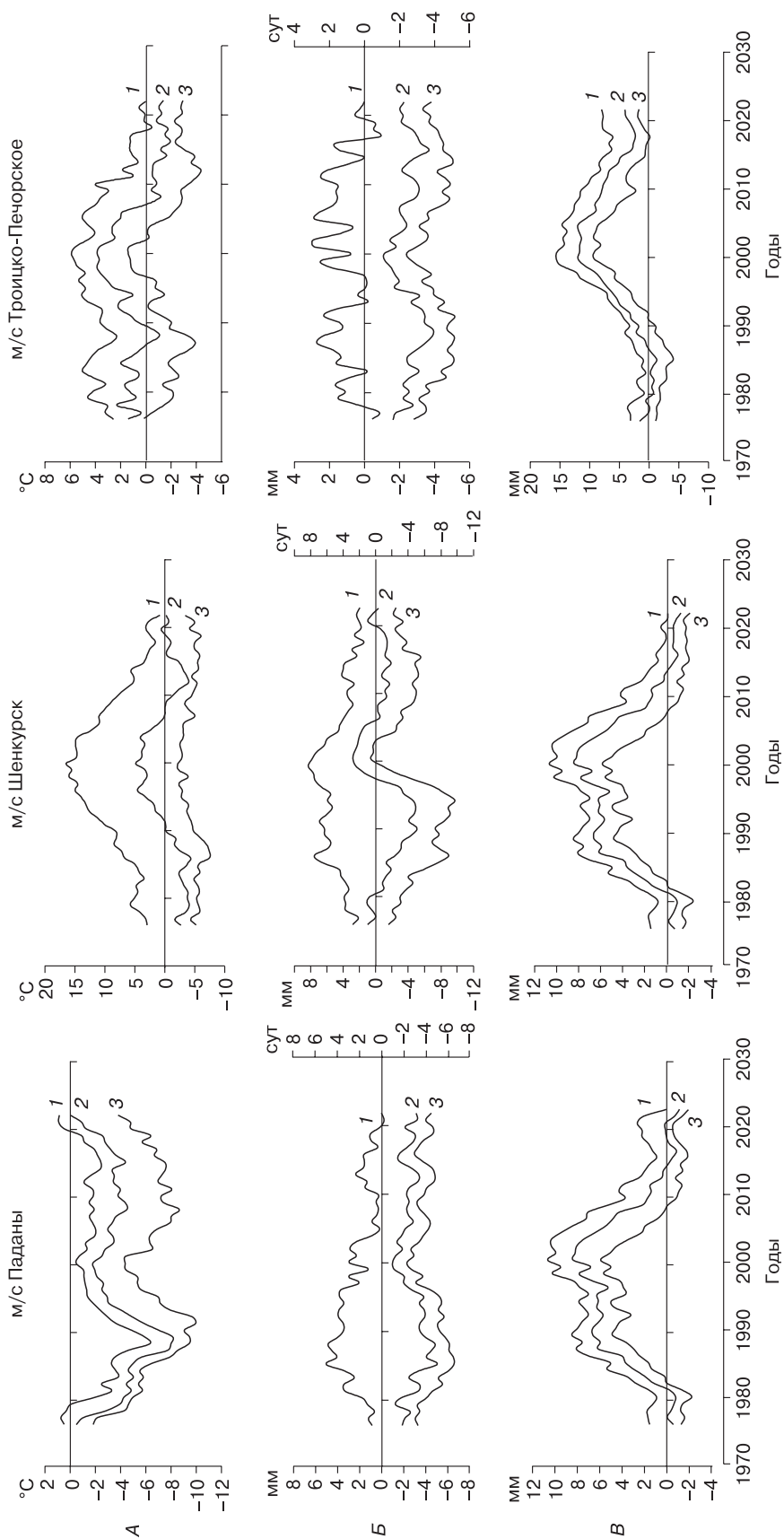


Рис. 2. Разностные интегральные кривые (K_i^{-1}) температуры воздуха (А), осадков (Б), толщины снежного покрова (В) для средних значений (2) и персентилей 5% и 95% для температуры и толщины снега (1) и персентиль 5% и количества дней без осадков для осадков (3).
 Метеостанции: Паданы, Шенкурск, Троицко-Печорское (север, центр и юг региона).

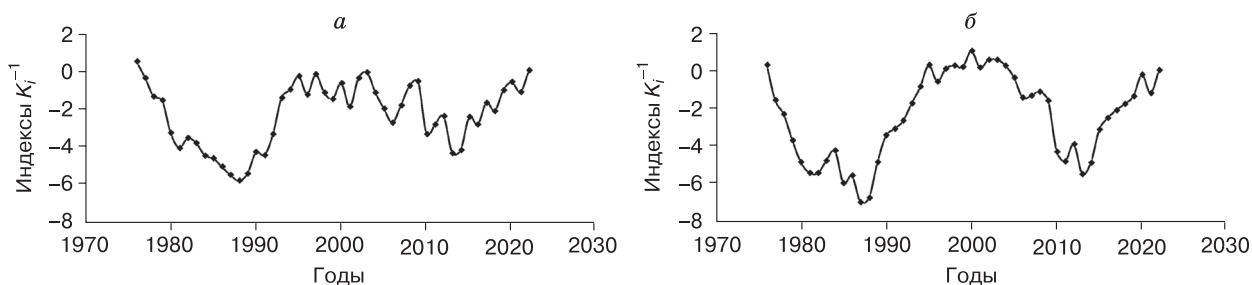


Рис. 3. Интегральные кривые индексов Арктической (а) и Североатлантической (б) осцилляций.

ние к анализу трендов проведена оценка многолетних изменений характеристик с использованием разностных интегральных кривых, дающих наглядное представление о циклах колебаний климатических характеристик в пределах периода инструментальных наблюдений. Такие кривые строятся в модульных коэффициентах $K_i = (M_i/M_{cp})/C_v$ (где M_i – модуль стока i -го года, M_{cp} – средний модуль за весь период наблюдений); для корректного сопоставления колебаний характеристик разных регионов исключалось влияние их временной изменчивости введением коэффициента вариации (C_v). Таким образом, кривая $\Sigma(K_i - 1) = \varphi(t)$ дает представление о нарастающей сумме отклонений годовых модульных коэффициентов K_i от среднего многолетнего значения.

В качестве примера рассмотрены данные наблюдений реперных метеорологических станций Паданы, Шенкурск и Троицко-Печорское, расположенных в западном, центральном и восточном секторах Восточно-Европейской равнины между 62° и 64° с.ш. и соответствующих общей климатической ситуации. В ходе кривых всех характеристик выделяются отрицательные фазы значений 1985–1995 и 2005–2015 гг., за исключением изменчивости количества дней с отсутствием дождей (рис. 2). Данная особенность хода соответствует изменчивости индексов Североатлантической и Арктической осцилляций (рис. 3), поскольку, согласно оценкам особенностей атмосферной циркуляции [Попова, 2023; Folland et al., 1999; Semenov et al., 2010], положительные фазы в ходе этих индексов указывают на преобладающий западный перенос воздушных масс и активизацию циклонов, что приводит к теплым и влажным зимам. Отрицательным фазам соответствуют более прохладные и сухие условия в холодное время года.

В ходе исследований также была оценена точность воспроизведения изменчивости средних значений и экстремумов толщины снега реанализом ERA 5-Land (см. табл. 3). Для средней за холодный период толщины снега относительная ошибка составляет $-13.6...+11.0$ %, для мини-

мальных экстремумов $-25...+45$ %, для максимальных экстремумов $-10...+40$ %. Значения стандартного отклонения имеют ошибки в диапазоне $-50...+50$ %. Ошибки коэффициентов линейных трендов существенны, рассчитанные значения превышают измеренные в 1.5–3 раза. Систематических особенностей в распределении относительных ошибок не отмечено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С использованием данных наблюдений метеорологических станций рассмотрены особенности пространственно-временных изменений средних значений и экстремумов толщины снега Восточно-Европейской равнины в условиях современных изменений температуры воздуха и осадков (1976–2022 гг.). Уточнены особенности распределения по территории средних за холодный период значений характеристик и их соответствие общим климатическим закономерностям. Для средних значений толщины снега отмечается преобладание многолетних тенденций уменьшения, с уменьшением минимальных и максимальных экстремумов (персентили 5 и 95 %) при достаточно равномерном пространственном расположении значений. Снижение толщины снега происходит на фоне преобладающего по территории повышения средних и экстремальных значений температуры воздуха. Наиболее интенсивно характеристики температуры увеличиваются в западном секторе региона при отрицательных коэффициентах линейного тренда в центре, в узкой полосе $40-45^\circ$ в.д. Средние значения и максимальные экстремумы осадков также имеют преобладающий по территории рост, количество дней без осадков при этом логично уменьшается. В целом наиболее интенсивные изменения осадков происходят также в западной части Восточно-Европейской равнины.

Результаты анализа данных реперных метеостанций подтверждают наличие в основном положительных трендов средних и максимальных экстремумов температуры воздуха и осадков; количество дней без осадков убывает. Характеристики толщины снега имеют тенденции уменьшения.

Зависимость многолетней динамики толщины снега от климатических факторов, соответственно значениям коэффициентов регрессии, в большей степени проявляется для максимальных экстремумов. Наиболее значимый вклад в динамику толщины снега оказывает изменчивость осадков – в сравнении с температурой воздуха. Анализ разностных интегральных кривых для периода 1997–2022 гг. показал наличие двух отрицательных фаз в ходе характеристик 1985–1995 и 2005–2015 гг., соответствующих особенностям изменений индексов Североатлантической и Арктической осцилляций.

Проверка с применением данных реперных станций точности воспроизведения статистических характеристик снежного покрова реанализом ERA 5 Land показывает наличие относительных ошибок для экстремумов величиной до 45 %, для стандартного отклонения – до 50 % и разницу значений коэффициентов линейных трендов в 1.5–3 раза. В связи с этим использование реанализа для исследования изменчивости снежного покрова рассматриваемой территории, на наш взгляд, не представляется возможным.

Прикладной конечный результат состоит в том, что для снеготопливных исследуемого региона многолетняя изменчивость экстремумов соответствует тенденциям средних значений без катастрофических отклонений и определяется в основном ходом осадков. Кроме того, использование данных реанализа ERA для исследования изменчивости снеготопливных требует осторожности ввиду значимых ошибок.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке темы FMWS-2024-0001 “Изменения климата, их причины и последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России” фундаментальных научных исследований государственных академий наук (обобщение и анализ данных экспериментальных исследований).

Литература

Бардин М.Ю., Платова Т.В. Изменения порогов экстремальных значений температур и осадков на территории России в период глобального потепления // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем, 2013, т. 25, с. 71–93.

Китаев Л.М. Вклад аномальных значений метеорологических характеристик в изменчивость климата зимнего периода на севере Евразии // Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 2, с. 81–90.

Китаев Л.М., Данилович И.С., Акентьева Е.М. Особенности региональной неоднородности средних и экстремальных метеорологических характеристик северо-запада Восточно-Европейской равнины // Изменения климата и погодные аномалии: механизмы и эффективность фенологических гомеостатических реакций. Екатеринбург, УрГПУ, 2022, с. 53–63.

Копанев И.Д. Методы изучения снежного покрова. Л., Гидрометеоздат, 1971, 226 с.

Котляков В.М. Снежный покров и ледники Земли. М., Наука, 2004, 447 с.

Кренке А.Н., Разуваев В.Н., Китаев Л.М. и др. Снежность на территории СНГ и его регионов в условиях глобального потепления // Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 4, с. 97–106.

Олейников А.Д., Володичева Н.А. Зимы лавинного максимума на Большом Кавказе за период инструментальных наблюдений (1968–2016 гг.) // Лед и снег, 2020, т. 60, № 4, с. 521–532.

Попова В.В. Современные тренды осадков и атмосферной циркуляции в речных бассейнах европейской части России // Изв. РАН. Сер. геогр., 2023, т. 87, № 1, с. 60–76.

Попова В.В., Морозова П.А., Титкова Т.Б. и др. Региональные особенности современных изменений зимней аккумуляции снега на севере Евразии по данным наблюдений, реанализа и спутниковых измерений // Лед и снег, 2015, т. 55, № 4, с. 73–86.

Рихтер Г.Д. Роль снежного покрова в физико-географическом процессе // Тр. Ин-та географии АН СССР, 1948, вып. 40, с. 64–75.

СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. М., Стандартинформ, 2016, 22 с.

СП 428.1325800. Инженерные изыскания для строительства в лавиноопасных районах. М., Стандартинформ, 2018, 34 с.

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб., Научно-технологии, 2022, 124 с.

Brun E., Vionne V., Boone A. et al. Simulation of Northern Eurasian local snow depth, mass, and density using a detailed snowpack model and meteorological reanalyses // J. Hydrometeorol., 2013, No. 14, p. 203–219.

Folland C.K., Miller C., Bader D. et al. Breakout group C: temperature indices for climate extremes // Climatol. Change, 1999, vol. 42, No. 1, p. 31–43.

IPCC, Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge, N.Y., Cambridge Univ. Press, 2022, p. 30–56.

Muñoz Sabater J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present // Copernicus Climate Change Service (C3S). Climate Data Store (CDS), 2019. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30.

Semenov V.A., Latif M., Dommenges D. et al. The impact of North Atlantic-Arctic multidecadal variability on Northern Hemisphere surface air temperature // J. Climate, 2010, No. 23 (21), p. 5668–5677.

Yan Z., Jones P.D., Davies T.D. et al. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations // Climatol. Change, 2002, No. 53, p. 55–92.

References

Bardin M.Ju., Platova T.V. Changes in thresholds of extreme temperatures and precipitation in Russia during the period of global warming. In: Problemy jekologicheskogo monitoringa i modelirovanija jekosistem [Problems of environmental monitoring and ecosystem modeling], 2013, vol. 25, p. 71–93 (in Russian).

Kitaev L.M. The contribution of anomalous values of meteorological characteristics to winter climate variability in Northern Eurasia. Earth's Cryosphere, 2018, vol. XXII, No. 2, p. 71–79.

Kitaev L.M., Danilovich I.S., Akent'eva E.M. Features of regional heterogeneity of average and extreme meteorological

- characteristics of the north-west of the East European Plain. In: *Izmeneniya klimata i pogodnye anomalii: mehanizmy i jeffektivnost' fenologicheskikh gomeostaticheskikh reakcij* [Climate change and weather anomalies: mechanisms and effectiveness of phenological homeostatic reactions]. Ekaterinburg, Ural Government Pedagogical University, 2022, p. 53–63 (in Russian).
- Kopanev I.D. *Metody izuchenija snezhnogo pokrova* [Methods for snow cover studying]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1971, 226 p. (in Russian).
- Kotljakov V.M. *Snezhnyj pokrov i ledniki Zemli* [Snow cover and glaciers of the Earth]. Moscow, Nauka, 2004, 447 p. (in Russian).
- Krenke A.N., Razuvaev V.N., Kitaev L.M. et al. Snowyness over FSU and its regions territory during the global warming. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2000, vol. IV, No. 4, p. 97–106.
- Olejnikov A.D., Volodicheva N.A. Winters of the avalanche maximum in the Greater Caucasus during the period of instrumental observations (1968–2016). *Led i sneg* [Ice and Snow], 2020, vol. 60, No. 4, p. 521–532.
- Popova V.V. Current trends in precipitation and atmospheric circulation in river basins of the European part of Russia. *Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Serija geograficheskaja* [Report to the Russian Academy of Sciences. Geographical series], 2023, vol. 87, No. 1, p. 60–76.
- Popova V.V., Morozova P.A., Titkova T.B. et al. Regional features of modern changes in winter snow accumulation in the north of Eurasia according to observational data, reanalysis and satellite measurements. *Led i sneg* [Snow and Ice], 2015, vol. 55, No. 4, p. 73–86.
- Rihter G.D. The role of snow cover in the physics-geographical process. *Trudy In-ta geografii AN SSSR* [Proceedings of the Institute of Geography of the USSR Academy of Sciences], 1948, vol. 40, p. 64–75.
- SP 20.13330.2016. *Nagruzki i vozdejstvija* [SP 20.13330.2016. Building codes and regulations 2.01.07-85*. Loads and impacts]. Moscow, Standartinform, 2016, 44 p. (in Russian).
- SP 428.1325800. *Ingenernye izyskaniya dlja stroitel'stva v lavinoopasnyh raionakh* [SP 428.1325800. Engineering surveys for construction in avalanche-prone areas]. Moscow, Standartinform, 2018, 34 p. (in Russian).
- Tretij ocenochnyj doklad ob izmenenijah klimata i ih posledstvijah na territorii Rossijskoj Federacii. *Obshhee rezjume* [Third assessment report on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. St. Petersburg, Naukoemkie tehnologii, 2022, 124 p. (in Russian).
- Brun E., Vionne V., Boone A. et al. Simulation of Northern Eurasian local snow depth, mass, and density using a detailed snowpack model and meteorological reanalyses. *J. Hydrometeorol.*, 2013, No. 14, p. 203–219.
- Folland C.K., Miller C., Bader D. et al. Breakout group C: temperature indices for climate extremes. *Climatol. Change*, 1999, vol. 42, No. 1, p. 31–43.
- IPCC, *Climate Change 2022: Impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge, N.Y., Cambridge Univ. Press, 2022, p. 30–56.
- Muñoz Sabater J. ERA5-Land monthly averaged data from 1981 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S). Climate Data Store (CDS), 2019. DOI: 10.24381/cds.68d2bb30.
- Semenov V.A., Latif M., Dommenget D. et al. The impact of North Atlantic-Arctic multidecadal variability on Northern Hemisphere surface air temperature. *J. Climate*, 2010, No. 23 (21), p. 5668–5677.
- Yan Z., Jones P.D., Davies T.D. et al. Trends of extreme temperatures in Europe and China based on daily observations. *Climatol. Changes*. 2002, No. 53, p. 55–92.

*Поступила в редакцию 23 июля 2024 г.,
после доработки – 12 ноября 2024 г.,
принята к публикации 21 февраля 2025 г.*