

Научная статья

УДК 551.583+551.583.15+911.2

doi: 10.17223/25421379/35/10

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕЗОНОВ ГОДА В АРКТИЧЕСКОЙ ТУНДРЕ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ В УСЛОВИЯХ ГЛОБАЛЬНОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

Екатерина Альбертовна Косова¹, Лариса Борисовна Филандышева²,
Елизавета Павловна Макаренко³



^{1, 2, 3} Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

¹ katerina5427@mail.ru

² filandysheva@yandex.ru

³ makarenkotsu@yandex.ru

Аннотация. На основе естественной сезонной климатической ритмики, установленной с использованием комплексно-генетического подхода, рассмотрены региональные особенности динамики временных характеристик (дат начала и конца, продолжительности) сезонов года в условиях глобального изменения климата, обоснованы границы периодов, использованных для сравнительного анализа, показаны положительные и негативные стороны воздействия потепления климата в Арктике на природные процессы и жизнедеятельность человека.

Ключевые слова: изменение климата, арктическая тундра, временные характеристики, сезоны года, Западно-Сибирская равнина

Для цитирования: Косова Е.А., Филандышева Л.Б., Макаренко Е.П. Анализ динамики временных характеристик сезонов года в арктической тундре Западно-Сибирской равнины в условиях глобального изменения климата // Геосферные исследования. 2025. № 2. С. 126–138. doi: 10.17223/25421379/35/10

Original article

doi: 10.17223/25421379/35/10

ANALYSIS OF THE DYNAMICS OF TEMPORAL CHARACTERISTICS OF THE SEASONS OF THE YEAR IN THE ARCTIC TUNDRA OF THE WEST SIBERIAN PLAIN UNDER THE CONDITIONS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE

Ekaterina A. Kosova¹, Larisa B. Filandysheva², Elizaveta P. Makarenko³

^{1, 2, 3} National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

¹ katerina5427@mail.ru

² filandysheva@yandex.ru

³ makarenkotsu@yandex.ru

Abstract. At present, the Arctic regions are receiving increased attention from the country's leadership because of the importance of these territories not only for ensuring Russia's geopolitical and geo-economic positions in the world, but also for its internal development [Arctika..., 2020]. The paper considers regional peculiarities of the dynamics of temporal characteristics (start and end dates, duration) of the seasons of the year under global climate change on the basis of natural seasonal climatic rhythmicity established by the complex-genetic method. The analysis is based on daily surface air temperature data from the VNIIGMI-MCD database and the pogodaiklimat.ru website for the period from 1934 to 2020 for the M.V. Popov weather station (Bely Island, Arctic tundra). The annual seasonal structure of the annual cycle was determined using valid criteria and the temporal characteristics of climatic rhythms were calculated. The obtained materials, in accordance with the objectives of the study, were grouped into four periods: the first – from 1934 to 2020, the second – from 1934 to 1979, the third – from 1980 to 2020, the fourth – from 2001 to 2020. Each of the periods has its own dynamic features in the course of temperatures, reflecting their regional trends against the background of global changes. Regularities of temporal dynamics of thermal regime and climatic indicators of seasonal rhythms were studied by methods of mathematical statistics.

The analysis of changes in mean monthly and annual surface air temperatures during the 86-year period showed that the climate in the Arctic zone of the West Siberian Plain (WSP) in the conditions of global change began to change towards warming starting from 1980 and especially rapidly since the beginning of the 2000s.

Temperature growth led to a shift in the boundaries and duration of seasons. Thus, the summer and spring seasons began to begin earlier than in the first period (from 1934 to 1979), and the winter and spring seasons ended earlier. The winter and autumn seasons began to come later than in the first period, and the summer and autumn seasons ended later. Due to the change in the dates

of the beginning and end of seasons, their duration has also changed: the proportion of the summer season of the year in the structure of the annual cycle has significantly increased, while the duration of the other three seasons (winter, spring and autumn) has decreased.

Evaluation of temporal characteristics, as well as data on the percentage of seasons of the year in the structure of the annual cycle are presented in the paper in the form of tables and diagrams. The obtained quantitative information on changes in the natural seasonal rhythm of climate for this territory is new and can be useful in developing a strategy of response of various sectors of the economy and socio-economic life of the population of the North to the ongoing changes in the natural environment.

Keywords: climate change, Arctic tundra, temporal characteristics, seasons of the year, Western Siberia

For citation: Kosova E.A., Filandysheva L.B., Makarenko E.P. (2025) Analysis of the dynamics of temporal characteristics of the seasons of the year in the arctic tundra of the West Siberian plain under the conditions of global climate change. *Geosfernye issledovaniya – Geosphere Research*. 2. pp. 126–138. (In Russian). doi: 10.17223/25421379/35/10

Введение

Изменение климата на планете в сторону потепления в последние десятилетия на фоне естественных процессов усугубляется антропогенным фактором [State..., 2023]. Об этом говорят научные результаты, представленные в Шестом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2023 г.), которые позволяют утверждать, что разогрев атмосферы, океана и суши произошёл в значительной степени под воздействием хозяйственной деятельности человека [IPCC..., 2023]. По данным исследований, глобальная температура за последние 44 года (1976–2020 гг.) выросла на 0,8 °C при скорости роста +0,18 °C/10 лет [Доклад..., 2021]. В России практически за такой же период времени (с 1976 по 2021 г.) этот показатель составил +0,49 °C/10 лет [Доклад... 2022], что в 2,7 раза превышает средний мировой показатель.

В настоящее время значительное внимание уделяется проблеме изменения климата в северных широтах. Арктические регионы Западно-Сибирской равнины (ЗСР) испытывают большое воздействие хозяйственной деятельности человека, связанной с освоением природных богатств. Наблюдаемое потепление климата делает природу этих территорий особенно уязвимой, требующей постоянного мониторинга и изучения, в том числе на основе сезонной ритмики климата, свойственной зональным ландшафтам. Использование естественного сезонного подхода к характеристике ландшафтных комплексов разного уровня и изучение временной изменчивости позволяют более глубоко оценить их современное состояние и устойчивость к происходящим климатическим изменениям [Окишева, Филандышева, 2015].

Арктика продолжает нагреваться более быстрыми темпами, чем остальная часть земного шара, особенно в арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ), где положительный тренд составил +0,71 °C/10 лет [Третий..., 2022]. Потепление в морской Арктике сопровождается сокращением площади и толщины морского льда, а также изменением температуры и солёности морской воды [Доклад..., 2022]. Так, в Карском

море температура воды повысилась на 0,8–0,9 °C, а солёность на 0,5–0,6 ‰. Во Втором оценочном докладе Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (2014 г.) сказано, что во всех морях за период с 2001–2011 гг. продолжительность ледового периода уменьшилась в среднем до 284 суток, что на 40 суток меньше, чем за отрезок времени с 1965 по 1975 г. Замерзание в арктических морях стало происходить позже, чем в указанный период, на 12 суток, а в юго-западной части Карского моря на 21–22 суток [Второй..., 2014].

Наиболее заметные негативные последствия, связанные с изменением климата, происходят в прибрежной зоне и на островах арктических морей, расположенных в высоких широтах [Коньшев, Лагутина, 2021]. На значительном протяжении арктического побережья отмечается разрушение береговой линии со средней скоростью 0,5 м/год, на отдельных участках скорость отступления может достигать 3 м/год и больше [Ванштейн и др., 2020].

Природные экосистемы суши также испытывают серьёзные преобразования. В арктической зоне Российской Федерации наблюдается изменение границ тундровых биомов, сопровождающееся повышением продуктивности экосистем. По некоторым оценкам [Третий..., 2022], перестройки арктических экосистем в результате совместного действия природных и антропогенных изменений к настоящему времени охватили 10–20 % площади. В горных районах АЗРФ за последний внутривековой цикл потепления верхняя граница леса поднялась на 15–50 м, потеснив тундровый пояс [Тишков и др., 2020]. В XXI в. в Арктике ожидается сокращение площади тундры на 42 % [Второй..., 2014].

Западно-Сибирская равнина – одна из крупнейших низких равнин мира. Характерной особенностью природы ЗСР является ярко выраженная широтная зональность [Окишева, Филандышева, 2015]. Тундровые экосистемы занимают более 340 тыс. км² территории ЗСР [Голубятников и др., 2015]. Южная граница тундры проходит в Западной Сибири севернее полярного круга, в южной части Ямала, Тазовского и Гыданского полуостровов, разделенных заливами

Карского моря. Согласно ботанико-географической зональности Западно-Сибирской равнины, тундровая зона этого региона подразделяется на арктическую, типичную и южную подзоны [Гвоздецкий, Михайлов, 1978]. Основной целью данного исследования поставлено изучение особенностей динамики временных показателей сезонных ритмов в арктической тундре Западной Сибири по данным метеостанции (мст.) им. М.В. Попова, располагающейся на о. Белый (рис. 1). В экономико-географическом отноше-

нии о. Белый относится к Ямало-Ненецкому автономному округу, находится в Карском море и отделен от полуострова Ямал узким проливом Малыгина. Выбор объекта исследования обусловлен тем, что вышеупомянутая мст. им. М.В. Попова действует на о. Белый с ноября 1933 г. База накопленных метеорологических данных позволяет рассмотреть динамику климатических показателей за большой период времени (более чем за 80 лет). Кроме того, метеостанция расположена в северо-западной части острова, в 800 м от берега Карского моря.



Рис. 1. Обзорная карта-схема сети метеорологических станций тундровой зоны Западно-Сибирской равнины [Окишева, Филандышева, 2015]

Fig. 1. Map of meteorological stations of the tundra zone of the West Siberian Plain [Okisheva, Filandysheva, 2015]

Таблица 1

Климатические критерии границ сезонов года (составлена по материалам [Рутковская, 1980, 1983; Окишева, 1984])

Table 1

Climatic criteria for the boundaries of the seasons of the year based on the materials by [Rutkovskaya, 1980, 1983; Okisheva, 1984]

Зоны	Арктическая тундра (мст. им. М.В. Попова)	Типичная тундра (мст. Марре-Сале)	Южная тундра (мст. Новый Порт)	Лесотундра (мст. Салехард)
1. Осень				
Начало	Устойчивый переход средней суточной температуры воздуха (на спаде) через (°C):			
	+4	+5	+7	+8
Конец	Начало устойчивых морозов и образование устойчивого снежного покрова			Устойчивый переход средней суточной температуры через –8 °C на ветви спада температур, образование устойчивого снежного покрова
2. Зима				
Начало	Совпадает с критериями конца осени			
Конец	Конец устойчивых морозов			Устойчивый переход средней суточной температуры через –8 °C на ветви роста температур
3. Весна				
Начало	Совпадает с критериями конца зимы			
Конец	Устойчивый переход средней суточной температуры воздуха (на подъеме) через (°C):			
	+4	+4	+5	+8
4. Лето				
Начало	Совпадает с критериями конца весны			
Конец	Совпадает с критериями начала осени			

Это дает основание считать, что установленные тенденции о динамике временных характеристик сезонов года будут в той или иной степени показательны и для процессов, происходящих в арктических водах, так как полярная станция находится в непосредственной близости от колоссального объема холодных водных масс [Косова, Филандышева, 2021].

Для каждой природной зоны и подзоны характерен свой естественный климатический ритм (см. табл. 1) [Галахов, 1959; Окишева и др., 2015]. Обычно формальные границы сезонов года (в календарных сроках) не совпадают с реальным течением природных процессов. Изучение сезонов в их естественных границах более показательно, так как они согласуются с развитием живой и неживой природы [Ромашова и др., 2017; Филандышева и др., 2021]. В данной работе для выделения сезонов года и изучения их временной динамики, что является основной целью исследования, использован комплексно-генетический метод, разработанный Н.Н. Галаховым [Галахов, 1959] и дополненный в работах Н.В. Рутковской, Л.Н. Окишевой, Л.Б. Филандышевой, Т.В. Ромашовой [Рутковская, 1980; Окишева, 1984; Филандышева и др., 2021]. Данный метод учитывает особенности хода ведущих климатообразующих факторов (солнечной радиации, циркуляции атмосферы, характера подстилающей поверхности) и связанных с ними фенологических явлений.

Как видно из табл. 1, в критериях начала и конца сезонов года подзон и зон арктического севера ЗСР имеются различия, особенно между тундрой и лесотундрой.

В годовом цикле структурными единицами первого порядка являются холодно-снежная (ХСЧГЦ) и вегетационная части (ВЧГЦ). Их выделение объясняется тем, что растения, являющиеся одними из важных индикаторов происходящих в природе процессов, находятся в состоянии покоя либо в состоянии вегетации в зависимости от климатических условий. Арктическая тундра, в пределах которой расположен о. Белый, относится к природным зонам с продолжительными зимними процессами, где снежный покров является устойчивым фактором ландшафтной дифференциации. При определении границ сезонов зоны арктической тундры мы пользовались критериями, обоснованными в работах Н.В. Рутковской для ХСЧГЦ [Рутковская, 1980; Рутковская и др., 1989] и Л.Н. Окишевой для ВЧГЦ [Окишева, 1984] для данной территории. Это обеспечило преемственность исследований.

За основу анализа взяты данные температуры (средней, минимальной и максимальной) приземного слоя воздуха суточного, месячного и годового разрешения из базы данных ВНИИГМИ–МЦД и за период с 1934 по 2020 г. по мст. им. М.В. Попова (о. Белый) и дополнениями с сайта pogodaiklimat.ru.

С использованием обоснованных в работах указанных выше авторов критериев деления на сезоны нами была установлена ежегодная сезонная структура годового цикла, рассчитаны временные характеристики климатических ритмов. Полученные материалы в соответствии с целью исследования были сгруппированы в четыре периода: первый – с 1934 по 2020 г., второй – с 1934 по 1979 г., третий – с 1980 по 2020 г., четвертый – с 2001 по 2020 г. Каждый из них имеет свои динамические особенности в ходе температур, отражающие их региональные тенденции на фоне глобальных перемен (рис. 2) [Косова, Филандышева, 2021; Косова, 2022].

Для описания тенденции средних годовых температур 86-летнего временного отрезка (с 1934 по 2020 г.) нами были рассчитаны значения тренда температуры в виде линейной функции (полином первой степени), а также полином второй степени, с помощью которого, как известно, целесообразно описывать тенденцию рядов, в которых убывание значений ряда сменяется последующим возрастанием, что отчетливо прослеживается на рис. 2, а: с 1934 до 1979 г. – ветвь спада, в дальнейшем – роста. За границу между вторым и третьим периодами нами был взят 1980 г., так как именно с этого времени на территории о. Белый начался устойчивый рост температуры, пришедший на смену периоду с самыми низкими температурами за всю историю метеонаблюдений на станции им. М.В. Попова (1961–1980 гг.). Это двадцатилетие обозначено нами как «холодное ядро» с минимальными значениями средней годовой температуры в 1978 г. ($-15,3^{\circ}\text{C}$) и 1979 г. ($-14,5^{\circ}\text{C}$) [Косова, Филандышева, 2021]. Для анализа интенсивности изменения климата за последние два десятилетия (время наиболее выраженного потепления) также был выделен период с 2001 по 2020 г.

Закономерности временной динамики термического режима и климатических показателей сезонных ритмов изучались методами математической статистики: проводилась оценка нормы и изменчивости статистических рядов, применялся корреляционный метод и тренд-анализ. Линейные тренды характеризуют тенденцию (среднюю скорость) изменений рассматриваемой величины за указанный период. Значимость линейных трендов устанавливалась по уровню значимости 5 % ($\alpha = 0,05$). Такой уровень значимости считается довольно надежным. Для оценки значимости применялись критерий Фишера (F-критерий) и t-критерий Стьюдента. Проверка критерия Фишера показала, что для всех четырех периодов наблюдаемые значения (F-наблюдаемое) превышают табличные (F-табличное): по первому периоду на 2,25, по второму – на 20, по третьему – на 27,7, по четвертому – на 7,6. Это свидетельствует о том, что полученные модели являются статистически значимыми.

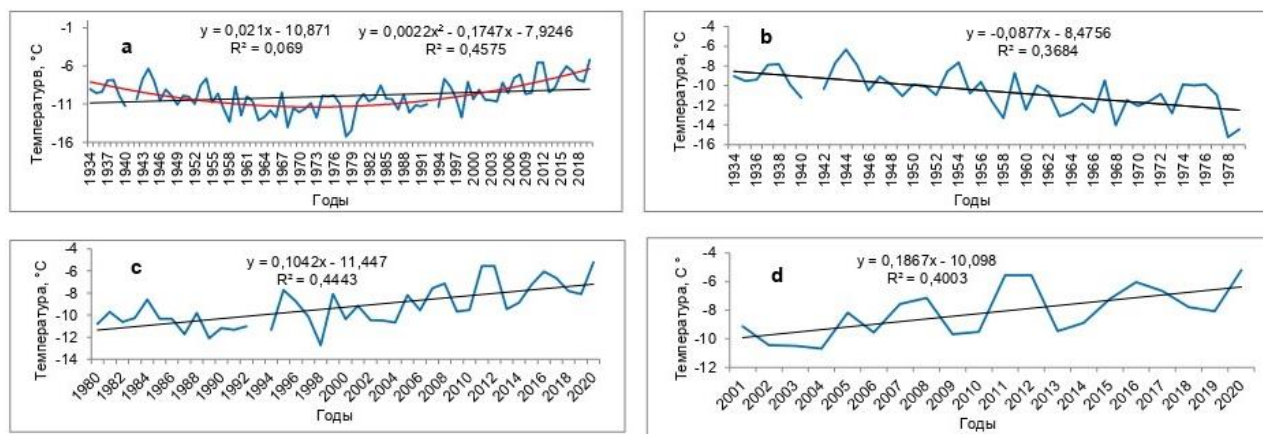


Рис. 2. Изменение средних годовых температур приземного слоя воздуха (по данным мст. им. М.В. Попова, о. Белый)

Периоды: а – с 1934 по 2020 г.; б – 1934 по 1979 г.; с – с 1980 по 2020 г.; д – 2001 по 2020 г.; черная линия – линейный тренд; красная линия – полином 2-й степени

Fig. 2. Variation of mean annual surface air temperature (from M.V. Popov meteorological station's data, Bely Island)

Periods: а – 1934 to 2020; б – 1934 to 1979; с – 1980 to 2020; д – 2001 to 2020; black line – linear trend; red line – 2nd degree polynomial

Оценка коэффициента a линейного тренда средних годовых температур воздуха по критерию Стьюдента так же показала, что наблюдаемые значения превышают табличные на 0,5 (1934–2020 гг.), 2,88 (1934–1979 гг.), 3,62 (1980–2020 гг.) и 1,37 (2001–2020 гг.), что говорит о статистической значимости коэффициента a . Коэффициенты линейных трендов от одного периода к другому меняют знак, что указывает на временную изменчивость климатических параметров.

Результаты и их обсуждение

Для выявления вопроса о проявлении глобального потепления климата в арктической тундре Западно-Сибирской равнины на первом этапе были проанализированы средние годовые и средние месячные температуры приземного слоя воздуха, осредненные по сравнимым периодам, и построены графики изменения средних годовых температур, получены линейные тренды по четырем указанным выше отрезкам времени (см. рис. 2). В результате было установлено, что за весь 86-летний период наблюдений отмечается положительная тенденция в изменении температуры приземного слоя воздуха с коэффициентом линейного тренда $+0,21\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет (рис. 2, а). От начала тренда к его концу температура выросла на $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ при среднем уровне температуры данного отрезка $-9,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Косова, Филандышева, 2021].

Однако внутри 86-летнего периода знак тенденции в ходе средних годовых температур менялся. Так,

в период с 1934 по 1979 г. (рис. 2, б) он был отрицательным с коэффициентом линейного тренда $-0,88\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет, когда температура от начала тренда к его концу понизилась на $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$. После 1980 г. наблюдается устойчивый рост температуры с коэффициентом линейного тренда $+1,0\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. От начала тренда к его концу на этом отрезке температура выросла на $4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Косова, Филандышева, 2021].

При этом следует особо отметить, что с 2001 г. рост температур происходит в более быстром темпе с коэффициентом линейного тренда $+1,87\text{ }^{\circ}\text{C}/10$ лет. За последние 20 лет средняя годовая температура выросла согласно тренду от $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в его начале до $-6,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ в его конце, т.е. на $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ [Косова, Филандышева, 2021].

Из анализа многолетних значений средней суточной, максимальной и минимальной температуры воздуха на мст. им. М.В. Попова следует, что за все месяцы от первого периода ко второму и четвертому наблюдается их рост (табл. 2). Повышение температур на исследуемой территории характерно в течение всего года, но наиболее значительный их рост наблюдается в зимние месяцы. Следует отметить, что в данной работе за зимние месяцы мы принимали период с октября по май, а за летние, соответственно, с июня по сентябрь. От периода 1934–1979 гг. к периоду 2001–2020 гг. разница у средних многолетних средних месячных температур увеличилась, и в зимние месяцы повышение составило $+2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (с максимумом в марте $+3,7\text{ }^{\circ}\text{C}$), а в летние $+2,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (при максимуме в сентябре $+3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Такая же тенденция к увеличению

наблюдается в зимние месяцы у максимальных (+2,1 °C) и минимальных температур (+2,0 °C), а в летние +1,7 °C и +1,5 °C, соответственно [Косова, 2022].

Полученные данные о климате арктической зоны ЗСР согласуются с выводами, представленными в Шестом оценочном докладе МГЭИК [IPCC..., 2023] и Третьем оценочном докладе Росгидромета (2022) о том, что с 1980-х гг. рост глобальной температуры

стал устойчивым и в дальнейшем каждое последующее десятилетие было теплее предыдущего.

Для анализа динамики временных характеристик климатических сезонов года за период с 1934 по 2020 г. ежегодные значения были сгруппированы нами так же в три периода (1934–1979, 1980–2020, 2001–2020 гг.), целесообразность выделения которых показана выше [Косова, Филандышева, 2021].

Таблица 2

**Средние месячные температуры воздуха за периоды с 1934 по 2020 г. и разница между ними
(мст. имени Попова, о. Белый) [Косова, 2022]**

Table 2

**Mean annual monthly air temperatures for the periods from 1934 to 2020 and the difference between them
(M.V. Popov meteorological station, Bely Island) [Kosova, 2022]**

Период	Месяц*												Год
	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	
Средняя суточная температура воздуха, °С													
1934–1979 гг. (первый)	–6,9	–14,1	–18,7	–23,6	–25,0	–23,7	–16,6	–7,4	–0,3	+4,0	+4,6	+0,4	–10,6
1980–2020 гг. (второй)	–5,2	–14,2	–19,2	–22,4	–22,8	–20,0	–15,5	–6,6	+0,2	+5,4	+5,8	+2,4	–9,2
Разн. 1 и 2	+1,7	–0,1	–0,5	+1,2	+2,2	+3,7	+1,1	+0,8	+0,5	+1,4	+1,2	+2,0	+1,4
2001–2020 гг. (третий)	–3,4	–12,4	–17,4	–21,0	–21,2	–20	–14	–5,8	0,9	6,3	6,7	3,7	–8,1
Разн. 1 и 3	+3,5	+1,7	+1,3	+2,6	+3,8	+3,7	+2,6	+1,6	+1,2	+2,3	+2,1	+3,3	+2,5
Максимальная температура воздуха, °С													
1934–1979 гг. (первый)	–3,8	–10,9	–14,9	–18,7	–20,5	–19,0	–12,0	–4,7	+1,3	+6,9	+7,2	+3,4	–7,3
1980–2020 гг. (второй)	–2,4	–10,4	–15,0	–18,5	–18,9	–16,0	–11,2	–4,2	+1,9	+8,3	+7,9	+4,2	–6,1
Разн. 1 и 2	+1,4	+0,5	+0,1	+0,2	+1,6	+3,0	+0,8	+0,5	+0,6	+1,4	+0,7	+0,8	+1,2
2001–2020 гг. (третий)	–1,4	–9,1	–13,7	–16,8	–17,2	–15,9	–10,0	–3,5	+2,6	+9,0	+8,8	+5,1	–5,2
Разн. 1 и 3	+2,4	+1,8	+1,2	+1,9	+3,3	+3,1	+2,0	+1,2	+1,3	+2,1	+1,6	+1,7	+2,1
Минимальная температура воздуха, °С													
1934–1979 гг. (первый)	–9,1	–17,9	–23,0	–27,6	–29,0	–27,7	–20,9	–11,3	–2,3	+1,7	+3,0	+0,3	–14,0
1980–2020 гг. (второй)	–6,7	–17,2	–22,9	–26,7	–27,3	–24,7	–20,1	–10,0	–1,4	+3,1	+3,9	+1,0	–12,3
Разн. 1 и 2	+2,4	+0,7	+0,1	+0,9	+1,7	+3,0	+0,8	+1,3	+0,9	+1,4	+0,9	+0,7	+1,7
2001–2020 гг. (третий)	–6,3	–16,8	–22,6	–26,0	–26,5	–24,0	–18,8	–9,6	–1,0	+3,6	+4,6	+1,4	–11,8
Разн. 1 и 3	+2,8	+1,1	+0,4	+1,6	+2,5	+3,7	+2,1	+1,7	+1,3	+1,9	+1,6	+1,1	+2,2

Примечание. Разн. 1 и 2 – разница между первым и вторым периодом; Разн. 1 и 3 – разница между первым и третьим периодом; * – порядок расположения месяцев соответствует сезонному ходу температуры воздуха и начинается с холодно-снежной части годового цикла; «–» – понижение средней месячной температуры воздуха по отношению к сравниваемому периоду; «+» – повышение средней месячной температуры воздуха по отношению к сравниваемому периоду.

Note. Difference. Разн. 1 and 2 – difference between the first and second period; Difference Разн. 1 and 3 – difference between the first and the third period; * – the order of months corresponds to the seasonal course of air temperature and starts from the cold-snow part of the annual cycle; "–" – decrease in mean monthly air temperature relative to the compared period; "+" – increase in mean monthly air temperature relative to the compared period.

Таблица 3

**Временные характеристики сезонов года в арктической тундре ЗСР
(по данным мст. им. М.В. Попова)**

Table 3

**Temporal characteristics of the seasons in the Arctic tundra of the West Siberian Plain
(according to the M.V. Popov meteorological station)**

Период (годы)	Осенний сезон			Зимний сезон		Весенний сезон		Летний сезон	
	Дата начала	Дата конца	Δl в днях	Дата конца	Δl в днях	Дата конца	Δl в днях	Дата конца	Δl в днях
Первый (1934–1979)	30.08	10.10	42	27.05	229	19.07	53	29.08	41
Второй (1980–2020)	04.09	16.10	43	21.05	217	08.07	48	03.09	57
Третий (2001–2020)	14.09	18.10	35	19.05	213	04.07	46	13.09	71

Примечание. Δl – продолжительность сезона в днях.

Note. Δl – season duration in days.

Результаты анализа динамических изменений дат начала, конца и продолжительности сезонов года начнем с осеннего сезона.

Осень является переходным климатическим сезоном года, когда происходит разрушение летней структуры ландшафта и становление зимней. В это время происходит изменение всех климатических показателей, появляется временный снежный покров, прекращается вегетация растений и начинается переход их в конце сезона в состояние покоя. На осень приходится граница между холодно-снежной частью годового цикла (ХСЧГЦ) и вегетативной частью годового цикла (ВЧГЦ) [Окишева, 1984]. Датой начала осеннего сезона в арктической тундре является переход средней суточной температуры воздуха через +4 °C на ветви спада температур, а окончанием – начало устойчивых морозов [Рутковская, 1980; Окишева, 1984; Рутковская и др., 1989]. Динамические изменения временных характеристик осеннего сезона рассматриваемых временных промежутков следующие: по сравнению с первым периодом дата начала осени к третьему периоду стала наступать позже на 16 дней (14 сентября в сравнение с 30 августа), дата конца осени также сместилась на более поздние сроки (с 10 октября на 18 октября, т.е. на 9 дней) (см. табл. 3). Связано это с повышением уровня температур воздуха второй половины сентября (начало осени) и второй декады октября (конец осени) [Косова, 2022]. Продолжительность осеннего сезона сократилась от второго периода к третьему с 42 до 35 дней (на 7 дней).

Зима является основным сезоном года в арктических регионах и составляет около 2/3 годового цикла. Погодные условия именно этого сезона из-за его продолжительности определяют особенности функцио-

нирования природных геосистем, а также организацию жизнедеятельности людей. Зимний сезон начинается с даты начала устойчивых морозов (с даты, когда температура воздуха была ниже 0 °C как по минимальному термометру, так и за отдельные сроки наблюдений) и образования устойчивого снежного покрова и завершается датой окончания устойчивых морозов [Рутковская, 1980].

Из данных табл. 3 следует, что продолжительность зимнего сезона к концу 86-летнего периода значительно уменьшилась – с 229 дней в первый период до 213 дней в третий. Во втором периоде она стала короче на 12 дней, в третьем на 16 дней по сравнению с первым. Это связано как со смещением даты начала сезона на более поздние сроки (что было показано при анализе окончания осени), так и даты его конца на более ранние (с 27 мая первого на 19 мая третьего периода), т.е. на 9 дней в первом и во втором случае. Более позднее начало зимнего сезона объясняется повышением температуры воздуха в октябре с –6,9 °C в первом периоде до –5,2 °C (+1,7 °C) во втором и до –3,4 °C (+3,5 °C) в третьем [Косова, 2022].

Весна – это переходный сезон, в течение которого происходит разрушение зимнего состояния ландшафта и переход к летнему. Она характеризуется нарастанием солнечного тепла, поступающего на земную поверхность, увеличением продолжительности светлой части суток, таянием и ликвидацией снежного покрова, оттаиванием, а затем и прогреванием почвогрунтов [Филандышева и др., 2021]. За дату начала весеннего сезона принимается дата прекращения устойчивых морозов и постепенного разрушения снежного покрова, за дату конца сезона – переход средней суточной температуры через +4 °C

на ветви роста температур [Окишева, 1984; Рутковская, 1980].

Выше были описаны изменения дат конца зимы, которые знаменуют начало следующего сезона – весны, поэтому их анализ мы повторять не будем, отметим только, что более раннее начало весенних процессов произошло в связи с ростом температуры воздуха в мае с $-7,4^{\circ}\text{C}$ в первом периоде до $-6,6^{\circ}\text{C}$ ($+0,8^{\circ}\text{C}$) во втором и до $-5,8^{\circ}\text{C}$ ($+1,6^{\circ}\text{C}$) в третьем периоде [Косова, 2022]. Рассмотрим динамику сроков окончания весны. На более ранние сроки сместилась и дата конца весеннего сезона – с 19 июля в первый период на 4 июля в третий. Таким образом, в арктической тундре Западно-Сибирской равнины во втором и третьем периодах весенние процессы стали на 7–9 дней раньше начинаться, и также заканчиваться в среднем на 12–16 дней. Продолжительность весны в течение исследуемого временного отрезка уменьшилась с 53 дней первого периода до 48 во втором (стала короче на 5 дней) и до 46 в третьем периоде (сократилась на 7 дней, или 13 %).

Летний сезон в пределах арктической тундры короткий, однако в течение этого времени года создаются благоприятные условия для биотического компонента экосистемы, несмотря на невысокие положительные температуры (около $+5...+6^{\circ}\text{C}$). Продолжительный световой день (полярный день в арктических широтах) и большое количество часов солнечного сияния наряду с благоприятными для арктической биоты температурными условиями делают летний сезон наиболее комфортным и для осуществления хозяйственной деятельности человека, связанной с открытым воздухом. Началу и концу лета соответствует переход средней суточной температуры через $+4^{\circ}\text{C}$ (на ветви подъема и спада средних суточных температур соответственно) [Окишева, 1984].

Особенности динамических изменений дат начала летнего сезона показаны при характеристике окончания весеннего сезона, а конца – начала осеннего, со смещением которых произошли существенные изменения продолжительности данного сезона. С 1980-х гг. она увеличилась на 16 дней (с 41 до 57 дней). Если сравнить последние двадцать лет с первым периодом, то лето стало длиннее на 30 дней, или на 42 % в относительных величинах. Следует отметить, что дата начала лета в третьем периоде по сравнению с первым стала наступать в более ранние сроки: 5 июля против 20 июля (раньше на 16 дней), что связано с повышением уровня температуры воздуха в первой декаде июля с $+2,9^{\circ}\text{C}$ (1934–1979 гг.) до $+4,7^{\circ}\text{C}$ (2001–2020 гг.). За счет значительного роста температуры воздуха во второй декаде сентября дата конца летнего сезона отступила к третьему периоду на 16 дней (с 29 августа к 13 сентября) [Косова, 2022].

Заключение

В ходе проведенного анализа временных характеристик сезонов года в арктической тундре Западно-Сибирской равнины, рассчитанных за три периода (1934–1979 гг., 1980–2020 гг., 2001–2020 гг.), были выявлены следующие тенденции (рис. 3):

1. Смещение дат начала зимнего сезона на более поздние сроки, а его конца на более ранние, в результате чего зима на исследуемой территории в целом стала короче. В процентном соотношении доля зимы в период с 1934 по 1979 г. составляла 63 % от всего годового цикла, в период с 1980 по 2020 гг. она сократилась до 60 %, а в 2001–2020 гг. до 58 %.

2. Летний сезон значительно увеличился, теплый период стал раньше начинаться и позже заканчиваться. Доля данного сезона в годовом цикле выросла, соответственно, с 11,2 % в первый период до 15,6 % во второй и 19,5 % в третий, т.е. в 2001–2020 гг. летний сезон стал занимать около 1/5 года.

3. Весенний сезон стал наступать и заканчиваться раньше, сократилась его продолжительность. В процентном соотношении доля весны от первого периода к третьему сократилась менее всего, примерно на 2 % (с 14,5 до 12,6 %).

4. Осенний сезон стал начинаться и заканчиваться позже, его продолжительность от первого периода к третьему, соответственно, уменьшилась. Доля осени в структуре годового цикла сократилась с 11,5 до 9,6 %.

Динамические изменения продолжительности сезонов года по данным мст. им. М.В. Попова (о. Белый) иллюстрирует рис. 3.

Установленные изменения в климатических характеристиках сезонов года не могут не сказаться на состоянии природных ландшафтов. В сплошной криолитозоне (Арктика и Субарктика) Западной Сибири суммарная площадь термокарстовых озер увеличилась в среднем на 9,6 % за период с 1973 по 2006 г. [Кирпотин и др., 2008]. Изменяется продуктивность тундровых ландшафтов: максимальное значение NDVI (нормализованного разностного вегетационного индекса) в 2022 г. было самым высоким за всю историю наблюдений (1982–2022 гг.) [Thoman et al., 2023]. В Российской Арктике запасы фитомассы с 1982 г. выросли в среднем на 15–30 %. Вслед за растительностью меняется и фауна: было отмечено сокращение численности и ареала распространения типичных видов арктических млекопитающих (песец, белый медведь), прекратились циклические всплески численности леммингов и т.д. Напротив, ареал распространения таежных (бореальных) видов, таких как рысь и бурый медведь, на сотни километров сместился к северу [Тишков и др., 2018].

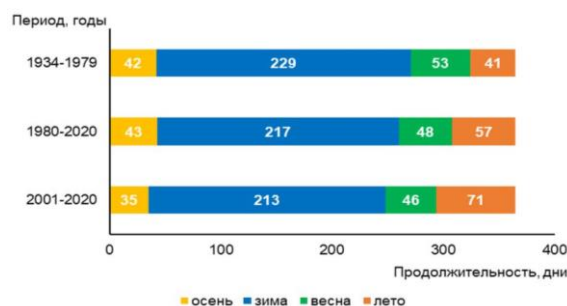


Рис. 3. Изменение продолжительности сезонов года по периодам в арктической зоне ЗСР (по данным мст. им. М.В. Попова)

Fig. 3. Change in the duration of seasons by periods in the Arctic tundra of the West Siberian Plain (according to M.V. Popov meteorological station)

Полученная количественная информация о климатических режимах структурных единиц годового цикла и их тенденциях для арктической тундры Западно-Сибирской равнины является новой и может быть полезной при разработке стратегии реагирования различных отраслей хозяйства и социально-экономической жизни населения Севера на происходящие изменения природной среды.

Следует сказать, что тундра Арктической зоны, протянувшаяся от Скандинавского до Чукотского полуострова, была заселена еще 20–30 тыс. лет назад, главным фактором заселения являлись постоянные перемещения людей на огромные расстояния. Таким образом, современные финно-угорские и самодийские народы сформировались из аборигенных племен охотников, рыболовов и кочевников-скотоводов [Мажаров, Сморгочкова, 2007].

Основу традиционного уклада жизни северных народов составляет оленеводство, состояние которого на сегодняшний момент неоднозначно. Это связано не только с социально-экономическим развитием АЗРФ и изменениями традиционного быта коренного населения, но также и с тенденцией изменения климата. Потепление климата влияет на жизнедеятельность коренных народов, поскольку значительно меняет среду обитания и, как следствие, традиционный образ жизни. Угрозы связаны, прежде всего, с деградацией вечной мерзлоты. Так, большие территории подвергаются заболачиванию и затоплению, возрастают мощности весенних паводков, что ведет к сокращению площади тундры и, соответственно, пастбищ северных оленей. Помимо этого, зимние потепления приводят к формированию ледяной корки, которой покрывается тундра, что также ведет к гибели оленей от голода, учитывая и уменьшающееся количество пастбищ, и их доступность [Коньшев, Лагутина, 2021]. На последнюю влияет просадка грунта в результате таяния вечной мерзлоты

и разрушение промышленных объектов, мостов и дорог. В 2013 г. из-за бескормицы на Ямале погибло 61 тыс. голов северных оленей из 340 тыс. [Жилина, 2021].

Изменение водного режима способствует бактериальному загрязнению ручьев и озер, что также негативно влияет на здоровье людей и животных. Дегра-ция вечной мерзлоты, в которой находятся скотомогильники, в 2016 г. привела к самой масштабной вспышке сибирской язвы за последние несколько десятков лет на Ямале. Тогда погибло более 2 500 оленей. Заболевания наблюдались и среди людей [Коньшев, Лагутина, 2021]. В 2018 г. в Ямало-Ненецком автономном округе была создана электронная карта территорий, зараженных сибирской язвой, чтобы обезопасить население и животных [Электронную..., 2018]. Однако стоит отметить высокую степень адаптивности коренных жителей АЗРФ, которая позволяла им выживать в таких суровых условиях не одну сотню лет.

Страны, имеющие арктические территории, обсуждали возможность развития арктических судоходных путей с начала XXI в. В настоящее время Арктика вызывает интерес у многих стран как регион, богатый природными ресурсами [Lasserre, 2022]. Этот интерес усиливается наблюдаемыми климатическими изменениями, связанными в первую очередь с таянием морских льдов и мерзлоты, что делает Арктику более доступной для освоения. Арктический регион является стратегически важной зоной для Российской Федерации, поскольку здесь сосредоточены значительные запасы нефти и газа, а также проходит трасса Северного морского пути (СМП) – важнейшей транспортной коммуникации между Европой и Азией [Арктика..., 2020]. Именно поэтому дальнейшее социально-экономическое развитие и безопасность России будут связаны с укреплением позиций в Арктике, развитием инфраструктуры СМП, строительством новых ледоколов и портов [Иванова и др., 2022].

Результаты проведенного исследования показали, что потепление в арктической зоне ЗСР протекает с довольно большой скоростью и уже привело к изменениям климатических характеристик сезонных ритмов, с которыми связаны условия функционирования и

устойчивость ландшафтной структуры, знание которых позволяет предвидеть положительные и негативные стороны воздействия изменения климата в Арктике на природные процессы, жизнедеятельность человека и соответствующим образом реагировать на них.

Список источников

- Арктика:** стратегическое значение для России // Институт международных политических и экономических решений. 2020. URL: <https://russtrat.ru/reports/20-dekabrya-2020-1614-2511> (дата обращения: 12.02.2024).
- Ванштейн Б.Г., Стрелецкая И.Д., Письменный А.А.** Геосистемы берегов Карского моря в условиях изменяющегося климата // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 73–86. doi: 10.25283/2223-4594-2020-3-73-86
- Второй** оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Техническое резюме // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). М., 2014. 93 с. URL: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_teh.pdf (дата обращения: 15.01.2023).
- Галахов Н.Н.** Изучение структуры климатических сезонов года. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 213 с.
- Гвоздецкий Н.А., Михайлов Н.И.** Физическая география СССР. Азиатская часть : учебник для студентов геогр. фак. ун-тов. М. : Мысль, 1978. 512 с.
- Голубятников Л.Л., Заров Е.А., Казанцев В.С., Филиппов И.В., Гаврилов Г.О.** Анализ структуры ландшафтов тундровой зоны Западной Сибири на основе спутниковых данных // Исследование Земли из космоса. 2015. № 3. С. 4–14. doi: 10.7868/S0205961415030057
- Доклад** об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020 год. М., 2021. 104 с. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (дата обращения: 04.01.2023).
- Доклад** об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М., 2022. 104 с. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf> (дата обращения: 04.01.2023).
- Жилина И.Ю.** Потепление в Арктике: возможности и риски // Экономические и социальные проблемы России. 2021. № 70. С. 66–87.
- Иванова М.В., Данилин К.П., Кошкарёв М.В.** Северный морской путь как пространство согласования интересов для устойчивого социально-экономического развития Арктики // Арктика: экология и экономика. 2022. Т. 12, № 4. С. 538–550. doi: 10.25283/2223-4594-2022-4-538-550
- Кирпотин С.Н., Полишук Ю.М., Брыксина Н.А.** Динамика площадей термокарстовых озёр в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 311. С. 185–190.
- Коньшев В.Н., Лагутина М.Л.** Безопасность человека в Арктике: угрозы сквозь призму «северного менталитета» // Арктика и Север. 2021. № 45. С. 85–112. doi: 10.37482/issn2221-2698.2021.45.85
- Косова Е.А.** Региональные особенности изменения термического режима в Арктической зоне Западно-Сибирской равнины на примере острова Белый // Симпозиум «Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле: теоретические и прикладные аспекты» : материалы симпозиума XVII (XLIX) Международной научной конференции студентов и молодых ученых «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей». Кемерово : КемГУ, 2022. Вып. 23. С. 36–39.
- Косова Е.А., Филандышева Л.Б.** Об изменении термического режима в арктической тундре Западной Сибири и его влиянии на организацию туризма // Материалы Всероссийской конференции «Динамика и взаимодействие геосфер Земли». Томск, 2021. С. 256–259.
- Мажаров А.В., Сморгачева В.И.** Развитие традиционного хозяйствования коренных малочисленных народов Арктики в современных условиях. М. : РАГС, 2007. 136 с.
- Окишева Л.Н.** Пространственно-временной анализ климатических условий сезонной ритмики геосистем Обь-Енисейского Севера : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Новосибирск, 1984. 17 с.
- Окишева Л.Н.** Сезонные ритмы природы Субарктики: методика поиска критериев и характеристики : учеб.-метод. пособие. Томск : Печатник, 2008. 120 с.
- Окишева Л.Н., Филандышева Л.Б.** Временная динамика и функционирование ландшафтов Западной Сибири / под ред. П.А. Окишева. Томск : Издательский Дом ТГУ, 2015. 328 с.
- Ромашова Т.В., Филандышева Л.Б., Юркова К.Д.** Анализ динамики временных характеристик сезонов года в подтайге Западно-Сибирской равнины за период с 1936 по 2015 г. // Геосферные исследования. 2017. № 3. С. 16–25.
- Рутковская Н.В.** Исследование структуры холодно-снежной части годового цикла Таз-Туруханской подзоны северо-таежных лесов Западно-Сибирской равнины // Вопросы географии Сибири. Вып. 14. Томск : Томский государственный университет, 1983. С. 15–25.
- Рутковская Н.В.** Структура и типы холодно-снежных частей года в тундре Западно-Сибирской равнины // Вопросы географии Сибири. Вып. 13. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1980. С. 103–111.
- Рутковская Н.В., Ащеулов А.В.** Анализ погодных условий тундры Западно-Сибирской равнины в сезонном аспекте для медицинских целей // Вопросы географии Сибири. Вып. 18. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1989. С. 57–67.
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Вайсфельд М.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Тертицкий Г.М.** «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты // Арктика: экология и экономика. 2018. № 2 (30). С. 31–44. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44
- Тишков А.А., Белоновская Е.А., Глазов П.М., Кренке А.Н., Пузаченко А.Ю., Тертицкий Г.М., Титова С.В.** Тундра и лес российской Арктики: вектор взаимодействия в условиях современного потепления климата // Арктика: экология и экономика. 2020. № 3 (39). С. 48–61. doi: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61

Третий оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. СПб.: Научное издание, 2022. 124 с. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/compressed.pdf (дата обращения: 04.01.2023).

Филандышева Л.Б., Ромашова Т.В., Юркова К.Д. Географические особенности г. Томска и динамика сезонных ритмов в условиях глобального изменения климата. Томск : Издательство Томского государственного университета, 2021. 254 с.

Электронную карту мест массового падежа оленей от сибирской язвы создали на Ямале // Информационное агентство ТАСС. 2018. URL: <https://tass.ru/obschestvo/5071560> (Дата обращения: 09.02.2024).

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 p. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Lasserre Frédéric Arctic Seaways in the Age of Climate Change // Georgetown Journal of International Affairs. 2022. URL: <https://gjia.georgetown.edu/2022/04/18/arctic-seaways-in-the-age-of-climate-change/> (дата обращения: 20.01.2024).

State of the Global Climate 2022 // World Meteorological Organization (WMO). 2023. № 1316. 55 p. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11593 (дата обращения 07.06.2023).

Thoman R.L., Moon T.A., Druckenmiller M.L. Arctic report card 2023. 2023. 115 p. URL: https://arctic.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/12/ArcticReportCard_full_report2023.pdf (дата обращения 04.01.2024). doi: 10.25923/5vfa-k694

References

Arktika: strategicheskoe znachenie dlya Rossii [The Arctic: strategic significance for Russia] [Electronic resource]: Institute for International Political and Economic Solutions. 2020. URL: <https://russtrat.ru/reports/20-dekabrya-2020-1614-2511> (Date of accessed: 12.02.2024). In Russian

Vanshteyn B.G., Streletskaya I.D., Pis'menyuk A.A. *Geosistemy beregov Karskogo morya v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata* [Geosystems of the Kara Sea shores under changing climate] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economy]. 2020. 3(39), pp. 73–86. In Russian. doi: 10.25283/2223-4594-2020-3-73-86

Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Tekhnicheskoe rezhyume [Second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. Technical Summary]. [Electronic resource]: *Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy (Rosgidromet)* [Federal Agency for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet)]. Moscow. 2014. 93 p. URL: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_teh.pdf (Date of accessed: 15.01.2023). In Russian

Galakhov N.N. *Izucheniye struktury klimaticheskikh sezonov goda* [Study of the structure of the climatic seasons of the year] Moscow: Publishing House of the USSR Academy of Sciences. 1959. 213 p. In Russian

Gvozdetkiy N.A., Mikhaylov N.I. *Fizicheskaya geografiya USSR. Aziatskaya chast': Uchebnik dlya studentov geograficheskikh fakul'tetov universitetov*. [Physical Geography of the USSR. Asian part: Textbook for students of geographical faculties of universities]. Moscow: Mysl'. 1978. 512 p. In Russian

Golubiyatnikov L.L., Zarov E.A., Kazantsev V.S., Filippov I.V., Gavrilov G.O. *Analiz struktury landshaftov tundrovoy zony Zapadnoy Sibiri na osnove sputnikovykh dannykh* [Analysis of landscape structure in the tundra zone of Western Siberia based on satellite data] // *Issledovanie Zemli iz kosmosa* [Earth exploration from space]. 2015. 3. pp. 4–14. In Russian. doi: 10.7868/S0205961415030057

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2020 god [Report on Climate Features on the Territory of the Russian Federation for 2020] [Electronic resource]: Moscow. 2021. 104 p. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf (Date of accessed: 04.01.2023). In Russian

Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2021 god [Report on Climate Features on the Territory of the Russian Federation for 2021] [Electronic resource]: Moscow. 2022. 104 p. URL: <https://www.meteorf.gov.ru/images/news/20220324/4/Doklad.pdf> (Date of accessed: 04.01.2023). In Russian

Zhilina I.Yu. (2021) *Poteplenie v Arktike: vozmozhnosti i riski* [Warming in the Arctic: Opportunities and Risks] // *Ekonomicheskie i sotsial'nye problemy Rossii* [Economic and social problems of Russia]. 70. pp. 66–87. In Russian

Ivanova M.V., Danilin K.P., Koshkarev M.V. *Severnnyy morskoy put' kak prostranstvo soglasovaniya interesov dlya ustoychivogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya Arktiki* [The Northern Sea Route as a space of harmonization of interests for sustainable socio-economic development of the Arctic] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [The Arctic: ecology and economy]. 2022. V. 12(4). pp. 538–550. In Russian. doi: 10.25283/2223-4594-2022-4-538-550

Kirpotin S.N., Polishchuk Yu.M., Bryksina N.A. *Dinamika ploshchadey termokarstovykh ozer v sploshnoy i preryvistoy kriolitozonakh Zapadnoy Sibiri v usloviyakh global'nogo potepleniya* [Dynamics of thermokarst lake areas in continuous and discontinuous cryolithozones of Western Siberia under global warming conditions] // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of Tomsk State University]. 2008. 311. pp. 185–190. In Russian

Konyshchikov V.N., Lagutina M.L. *Bezopasnost' cheloveka v Arktike: ugrozy skvoz' prizmu «severnogo mentaliteta»* [Human security in the Arctic: threats through the prism of the "northern mentality"] // *Arktika i Sever* [The Arctic and North]. 2021. 45. pp. 85–112. In Russian. doi: 10.37482/issn2221-2698.2021.45.85

Kosova E.A. *Regional'nye osobennosti izmeneniya termicheskogo rezhima v Arkticheskoy zone Zapadno-Sibirskoy ravniny na primere ostrova Belyy* [Regional peculiarities of thermal regime changes in the Arctic zone of the West Siberian Plain on the example of Bely Island]. *Simpozium «Mezhdistsiplinarnye podkhody v biologii, meditsine i naukakh o Zemle: teoreticheskie i prikladnye aspekty»: materialy simpoziuma XVII (XLIX) Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii studentov i molodykh uchennykh «Obrazovanie, nauka, innovatsii: vklad molodykh issledovateley». Kemerovskiy gosudarstvennyy universitet* [Symposium "Interdisciplinary Approaches in Biology, Medicine and Earth Sciences: Theoretical and Applied Aspects": Materials of the Symposium XVII (XLIX) International Scientific Conference of Students and Young Scientists "Education, Science, Innovation: Contribution of Young Researchers". Kemerovo State University]. Kemerovo: KemSU. 2022. V. 23. pp. 36–39. In Russian.

Kosova E.A., Filandysheva L.B. *Ob izmenenii termicheskogo rezhima v arkticheskoy tundre Zapadnoy Sibiri i ego vliyaniy na organizatsiyu turizma* [Changes in the thermal regime in the Arctic tundra of Western Siberia and its impact on the organization of

tourism]. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii «Dinamika i vzaimodeystvie geosfer Zemli»* [Materials of the National Russian Conference "Dynamics and Interaction of the Earth's Geospheres"]. Tomsk: Tomsk CNTI Publishing House, 2021. pp. 256–259. In Russian.

Mazharov A.V., Smorchkova V.I. *Razvitiye traditsionnogo khozyaystvovaniya korennykh malochislennykh narodov Arktiki v sovremennykh usloviyakh* [Development of traditional economic activities of Arctic indigenous minorities in modern conditions]. Moscow: Russian Academy of Public Administration. 2007. 136 p. In Russian.

Okisheva L.N. *Prostranstvenno-vremennoy analiz klimaticheskikh usloviy sezonnoy ritmiki geosistem Ob'-Eniseyskogo Severa: avtoreferat dissertatsii kandidata geograficheskikh nauk* [Spatial and temporal analysis of climatic conditions of seasonal rhythm of geosystems of the Ob-Yenisei North: abstract of the dissertation of the candidate of geographical sciences]. Novosibirsk. 1984. 17 p. In Russian.

Okisheva L.N. *Sezonnye ritmy prirody Subarktiki: metodika poiska kriteriev i kharakteristiki: ucheb.-metod. Posobie* [Seasonal rhythms of nature in the Subarctic: methodology of criteria search and characterization: Textbook]. Tomsk: Prichatnik. 2008. 120 p. In Russian.

Okisheva L.N., Fylandysheva L.B. *Vremennaya dinamika i funktsionirovaniye landshaftov Zapadnoy Sibiri* [Temporal dynamics and functioning of landscapes of Western Siberia]. Tomsk: TSU Publishing House. 2015. 328 p. In Russian.

Romashova T.V., Fylandysheva L.B., Yurkova K.D. *Analiz dinamiki vremennykh kharakteristik sezonov goda v podtayge Zapadno-Sibirskoy ravniny za period s 1936 po 2015 gg.* [Analysis of the dynamics of temporal characteristics of the seasons of the year in the subtaiga of the West Siberian Plain for the period from 1936 to 2015] // *Geosfernye issledovaniya* [Geosphere Research]. 2017. 3. pp. 16–25. In Russian

Rutkovskaya N.V. *Struktura i tipy kholodno-snezhnykh chastey goda v tundre Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Structure and types of cold-snow parts of the year in the tundra of the West Siberian Plain]. *Voprosy geografii Sibiri* [Issues of Siberian geography]. Tomsk: Tomsk University Publishing House. 1980. V. 13. pp. 103–111. In Russian

Rutkovskaya N.V. *Issledovanie struktury kholodno-snezhnoy chasti godovogo tsikla Taz-Turukhanskoy podzony severo-taevykh lesov Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Investigation of the structure of the cold-snow part of the annual cycle of the Taz-Turukhan subzone of the North taiga forests of the West Siberian Plain] // *Voprosy geografii Sibiri* [Issues of Siberian geography]. Tomsk: Tomsk University Publishing House. 1983. V. 14. pp. 15–25. In Russian

Rutkovskaya N.V., Ascheulov A.V. *Analiz pogodnykh usloviy tundry Zapadno-Sibirskoy ravniny v sezonnom aspekte dlya meditsinskikh tseley* [Analysis of weather conditions of the tundra of the West Siberian Plain in seasonal aspect for medical purposes]. *Voprosy geografii Sibiri* [Issues of Siberian geography]. Tomsk: Tomsk University Publishing House. 1989. V. 18. pp. 57–67. In Russian

Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Weisfeld M.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Tertitsky G.M. *«Pozeleneniye» tundry kak drayver sovremennoy dinamiki arkticheskoy bioty* ["Greening" of tundra as a driver of modern dynamics of Arctic biota] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economics]. 2018. 2(30). pp. 31–44. doi: 10.25283/2223-4594-2018-2-31-44. In Russian

Tishkov A.A., Belonovskaya E.A., Glazov P.M., Krenke A.N., Puzachenko A.Y., Tertitsky G.M., Titova S.V. *Tundra i les rossiyskoy Arktiki: vektor vzaimodeystviya v usloviyakh sovremennogo potepleniya klimata* [Tundra and forest of the Russian Arctic: vector of interaction under the conditions of modern climate warming] // *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: ecology and economics]. 2020. 3(39). pp. 48–61. doi: 10.25283/2223-4594-2020-3-48-61. In Russian

Tretiy otsenochnyy doklad ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezhyume. [Third Assessment Report on Climate Change and its Impacts on the Territory of the Russian Federation. General summary] [Electronic resource]: St. Petersburg: *Naukoemkie tekhnologii*. 2022. 124 p. URL: https://www.meteorf.gov.ru/upload/pdf_download/compressed.pdf (Date of accessed: 04.01.2023). In Russian

Fylandysheva L.B., Romashova T.V., Yurkova K.D. *Geograficheskie osobennosti g. Tomska i dinamika sezonnykh ritmov v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata* [Geographical features of Tomsk and dynamics of seasonal rhythms under global climate change]. Tomsk: Tomsk State University Publishing House. 2021. 254 p.

Elektronnyy kartu mest massovogo padezha oleney ot sibirskoy yazvy sozdali na Yamale [An electronic map of places of mass grazing of reindeer due to anthrax has been created in Yamal]. TASS News Agency. 2018. URL: <https://tass.ru/obschestvo/5071560> (Date of accessed: 09.02.2024). In Russian

IPCC, 2023: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 184 p. doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Lasserre Frédéric Arctic Seaways in the Age of Climate Change // *Georgetown Journal of International Affairs*. 2022. URL: <https://gjia.georgetown.edu/2022/04/18/arctic-seaways-in-the-age-of-climate-change/> (Date of accessed: 20.01.2024).

State of the Global Climate 2022 // World Meteorological Organization (WMO). 2023. № 1316. 55 p. URL: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=11593 (Date of accessed 07.06.2023).

Thoman R.L., Moon T.A., Druckenmiller M.L. Arctic report card 2023. 2023. 115 p. URL: https://arctic.noaa.gov/wp-content/uploads/2023/12/ArcticReportCard_full_report2023.pdf (Date of accessed 04.01.2024). doi: 10.25923/5vfa-k694

Информация об авторах:

Косова Е.А., аспирант, старший лаборант, кафедра краеведения и туризма; инженер-исследователь проблемной научно-исследовательской лаборатории гляциоклиматологии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: katerina5427@mail.ru

Филандышева Л.Б., кандидат географических наук, доцент, кафедра краеведения и туризма, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: filandysheva@yandex.ru

Макаренко Е.П., кандидат географических наук, доцент, заведующая кафедрой краеведения и туризма, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия.

E-mail: makarenkotsu@yandex.ru

Вклад авторов:

Косова Е.А. – статистический анализ климатических характеристик; временной анализ изменения сезонных ритмов создание таблиц и диаграмм; написание исходного текста; итоговые выводы.

Филандышева Л.Б. – научное руководство, концепция исследования, развитие методологии, статистический анализ и обобщение динамики сезонных ритмов, работа над текстом, итоговые выводы.

Макаренко Е.П. – обобщение материала по динамике ландшафтов в условиях изменения климата, доработка текста; итоговые выводы.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Information about the authors:

Kosova E.A., postgraduate student, Senior Laboratory Assistant, Department of Local History and Tourism; research engineer of the Problem Research Laboratory of Glacioclimatology, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: katerina5427@mail.ru

Filandysheva L.B., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Department of Local History and Tourism, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: filandysheva@yandex.ru

Makarenko E.P., Cand. Sci. (Geography), Associate Professor, Head of the Department, Department of Local History and Tourism, Geology and Geography Faculty, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: makarenkotsu@yandex.ru

Contribution of the authors:

Kosova E.A. – statistical analysis of climatic characteristics; temporal analysis of changes in seasonal rhythms creation of tables and diagrams; writing the draft; final conclusions.

Filandysheva L.B. – scientific management, research concept; methodology development, statistical analysis and generalization of the dynamics of seasonal rhythms, work on the text, final conclusions.

Makarenko E.P. – generalization of material on landscape dynamics in the context of climate change, follow-on revision of the text; final conclusions.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 24.02.2024; одобрена после рецензирования 25.04.2024; принята к публикации 02.06.2025

The article was submitted 24.02.2024; approved after reviewing 25.04.2024; accepted for publication 02.06.2025