ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
HYDROLOGICAL REGIME OF WATER OBJECTS

Научная статья / Scientific paper
УДК: 556.535.5, 551.583
DOI: 10.34753/HS.2025.7.4.322

Типизация индекса условий замерзания на реках Кольского полуострова

Л. С. Банщикова, С.А. Канашин
Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: ckanashin@yandex.ru

Аннотация. Разработан индекс условий замерзания (ИУЗ), характеризующий условия появления льда и установления ледостава на реках Кольского полуострова и основанный на накопленных суммах отрицательной температуры воздуха с октября по январь. Исследование выполнено по данным 40 метеостанций за период 1841–2024 гг. и характеристикам ледового режима 23 гидрологических постов за 1929–2020 гг. Для восстановления пропусков в температурных рядах использованы методы множественной регрессии с использованием однородных рядов. На основе средних значений сумм температуры воздуха холодного сезона выделены однородные по термическому режиму районы и построены карты распределения ИУЗ. Показано, что в среднем по территории индекс условий замерзания в октябре изменился несущественно, тогда как в ноябре, декабре и январе наблюдаются статистически значимые положительные тренды, свидетельствующие об ослаблении суровости замерзания. Разработана типизация ИУЗ по трем градациям суровости (тёплый, умеренный, холодный месяц), в результате чего получено 19 типов сочетаний условий замерзания за сезон. Для каждого типа выполнен сопоставительный анализ динамики накопления отрицательных температур и соответствующих видов ледовых явлений, что позволило установить характерные комплексы первичных ледовых явлений, неполного и сплошного ледостава. Показано, что холодные типы ИУЗ преобладали до 1930-х годов, тогда как в конце XX – начале XXI вв. возрастает доля мягких и умеренных типов. Полученные результаты могут быть использованы при уточнении региональных прогностических зависимостей сроков появления первичных ледовых явлений и установления ледостава, а также при оценке последствий продолжающегося климатического потепления для речных экосистем и водохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: Кольский полуостров; изменение климата; ледовый режим; индекс условий замерзания; накопление сумм отрицательных температур.

Для цитирования: Банщикова Л. С., Канашин С.А. Типизация индекса условий замерзания на реках Кольского полуострова // Гидросфера. Опасные процессы и явления. 2025. Т. 7. Вып. 4. С. 322–332. DOI: 10.34753/HS.2025.7.4.332.

Typing of the Freezing Conditions Index for Rivers on the Kola Peninsula

Lyubov S. Banshchikova, Sergey A. Kanashin
State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia
e-mail: ckanashin@yandex.ru

Abstract. This study develops a Freezing Conditions Index (FCI) that characterizes the conditions for initial ice formation and the establishment of stable ice cover on rivers of the Kola Peninsula. The index is based on accumulated negative sums of mean monthly air temperature from October to January. We use air temperature records from 40 meteorological stations for 1841–2024 together with ice-regime characteristics from 23 hydrological gauging stations for 1929–2020. Missing values in the temperature series are reconstructed by multiple regression using homogeneous reference series. Using mean cold-season temperature sums, we delineate thermally homogeneous regions and construct maps of the spatial distribution of the FCI. The area-averaged FCI for October shows only minor changes, whereas November, December and January exhibit statistically significant positive trends, indicating a weakening of freezing severity. We classify monthly FCI values into three grades (mild,

moderate and cold months), which results in 19 recurrent seasonal combinations of freezing conditions. For each seasonal type, we perform a comparative analysis of the dynamics of negative temperature sums and the corresponding sets of ice phenomena, and consequently identify characteristic complexes of primary ice formation, incomplete freeze-up and complete freeze-up. Cold FCI types dominate up to the 1930s, while in the late twentieth and early twenty-first centuries the share of mild and moderate types increases. As a result, the proposed index provides a physically based tool for refining regional prediction schemes of the timing of primary ice appearance and freeze-up, and for assessing the impacts of ongoing climate warming on river ecosystems and water-management activities.

Keywords: Kola Peninsula; climate change; ice regime; freezing conditions index; accumulation of negative temperature sums.

For citation: Banshchikova L. S., Kanashin S.A. Typification of the Freezing Conditions Index for Rivers on the Kola Peninsula. Hydrosphere. Hazard processes and phenomena, 2025, vol. 7, iss. 4, pp. 322–332. DOI: 10.34753/HS. 2025.7.4.322. (In Russian; abstract in English).

Введение

Ледовый режим рек и озер, как совокупность закономерно повторяющихся процессов возникновения, развития и разрушения ледяных образований [1], является неотъемлемой частью гидрологического цикла. Для возникновения первых ядер кристаллизации достаточно переохлаждение поверхности воды до 0 °С, дальнейшие же формирования различного вида первичных ледовых явлении – сала, заберегов, шуги и ледостава их продолжительность и сроки появления, вариативность, во многом зависит от условий накопления сумм отрицательных температур.

Согласно Р.В. Донченко [2], длительность установления первичных ледовых явлений и ледостава определяется отношением отдачи тепла с поверхности воды в атмосферу и интенсивностью ее турбулентного перемешивания. Для рек Кольского полуострова характерно чередование озерных и равнинных участков рек, для которых переохлаждение воды с образованием льда происходит преимущественно в поверхностном слое, на горных же участках перемешивание водных масс происходит по всей глубине по всей глубине.

Согласно анализу данных наблюдений за ледовыми явлениями на реках Кольского полуострова за период инструментальных наблюдений, с 1936 по 2020 год вне зависимости от вида участка реки, время появления первичных ледовых явлений составляет не более нескольких суток, при этом в большей степени меняются именно виды ледовых явлений, но не срок их появления внутри одного гидрологического года [3].

Вопросу изменчивости условий формирования и сроков установления ледовых явлений за период инструментальных измерении на реках Кольского полуострова посвящено много работ [4–9]. Во всех указанных выше работах основным фактором, влияющим на сроки появления первичных ледовых явлений выделена температура воздуха

В работах [10–18] приведён анализ климатических тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений как за современный период, так и за период с 1840 г. Выявлено, что за счет роста весенних и осенних температур произошло сокращение зимнего периода. Температура воздуха периода отрицательных температур достигла своих максимальных значений в 1930-е годы, затем снизились, а с 1980-х гг., началось потепление, которое наиболее интенсивно наблюдается в последние 40–50 лет, но не превысили уровня предыдущего потепления.

Учитывая тесную связь между сроками появления ледовых явлений и ледостава с суммами отрицательных температур в работе выполнен анализ условий замерзания для рек Кольского полуострова за период с 1841 г.

Учет многолетней пространственно-временной изменчивости ледового режима, в том числе сроков установления первичных ледовых явлений и ледостава, позволит существенно улучшить критерии прогнозных зависимостей.

В настоящее время в предзимний период на исследуемой территории наблюдается чередование волн тепла и холода, что обусловливает прерывистое ледообразование. Наряду с этим, также наблюдаются и годы с дружным осенним ледообразованием. Неустойчивость ледовых явлений существенно затрудняет разработку региональных прогностических зависимостей.

Таким образом, целью работы является оценка изменчивости условий формирования первичных ледовых явлений и ледостава и разработка типизации ледового режима периода замерзания за многолетний период для дальнейшей верификации прогнозных зависимостей.

Материалы и методы

Для типизации условий замерзания была собрана база данных характеристик ледового режима рек Кольского полуострова, включающая ежедневные виды ледовых явлений со дня их появления до даты установления устойчивого ледостава по 23 гидрологическим постам за период с 1929 по 2020 гг.[1] и по 40 метеостанциям за период с 1840 по 2024 гг., среднемесячные температуры воздуха и ежедневные температуры воздуха за отдельные годы.

Для приведения к общему многолетнему периоду с 1841 до 2024 гг. по данным, полученным за совместный период наблюдений, методом множественной регрессии были восстановлены значения среднемесячных температур воздуха за октябрь-декабрь в отсутствующие годы по их значениям на станции-аналоге. Уравнение составлялось при условии выполнения установленных критериев [19]: $n \geq 6–10$, $r \geq r_{кр}$, $k/\sigma k \geq r_{кр}$, где n – число лет с параллельными наблюдениями, r – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями метеорологической величины в приводимом пункте и их значениями в пункте-аналоге; $r_{кр}$ – критическое значение коэффициента корреляции ($\geq 0{,}7$); k – коэффициент уравнения регрессии, σ_k – его средняя Однородность рядов оценена при помощи критериев Стьюдента и Фишера. Для оценки линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции R. Гипотеза об отсутствии тренда не опровергалась при уровне значимости $2\alpha = 5$ %, если выполнялось условие $|r| \geq 0{,}7$. Однородные районы определены методом k-means по средней температуре воздуха за холодный сезон, оценка статистической значимости различия средних значений выполнялась исходя из критерия Стьюдента при уровне значимости $2\alpha = 5$ %.

В работе был разработан индекс условий замерзания – $i_{уз}$, расчет которого обоснован на подходе, аналогичном определению показателя суммы градусо-дней [20, 21].

ИУЗ рассчитывается как сумма отрицательных температур за рассматриваемый период для каждой метеостанции:

$$i_{\text{уз}} = \sum(-t_{\text{ср. сут.}}) \qquad (1)$$

В качестве исходных данных использованы суммы среднемесячных отрицательных значений температуры воздуха за период (октябрь–декабрь) по всем метеостанциям. Для градации на суровые умеренные и теплые месяца (периоды) наибольшие отклонения от средней многолетней суммы температур за период формирования ледовых явлений, как в сторону максимальных, так и в сторону минимальных поделены на три части за каждый месяц. Градация выполнена по следующему алгоритму: расчет сумм отрицательных температур за период, расчет среднемноголетнего, максимального и минимального значения, предельные пороговые значения. Данный алгоритм является универсальным и может быть применён и для других регионов.

В зависимости от сочетания последовательности условий замерзания за

[1] Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2025622437 «Многолетние гидрометеорологические характеристики ледового режима рек и озер Кольского полуострова». Правообладатель: ФГБУ «Государственный гидрологический институт». Авторы: Канашин С.А., Банщикова Л.С. заявл. 19.05.2025 г., опубл. 03.06.2025 г.

каждый месяц значения сумм отрицательных температур по месяцам (индекс условии замерзания) за период с 1841 по 2024 гг. были ранжированы, а затем отнесены соответствующему классу: от I (все месяцы теплые) до XX (все месяцы холодные). Далее для каждого типа выбраны наиболее характерные года, для которых выполнен совместный анализ накопления сумм отрицательных температур и ледовых явлений за каждый день за период с 1 октября до 31 января.

Обсуждение результатов

По всем метеостанциям за многолетний период с 1841 по 2024 гг. прослеживается общий положительный тренд, при этом внутри общего периода можно выделить как два холодных (отрицательные тренды) 1841–1868 гг., так и года с экстремальными минимальными и максимальными значениями индексов условий замерзания (рисунок 1, таблица 1). В расчетный период индексов условий замерзания включены и суммы отрицательных температур за октябрь. Наблюдаемые в этом месяцы среднесуточное температуры воздуха немногим ниже нуля. Этих значений достаточно для начала переохлаждения воды и формировании первичных ядер кристаллизации.

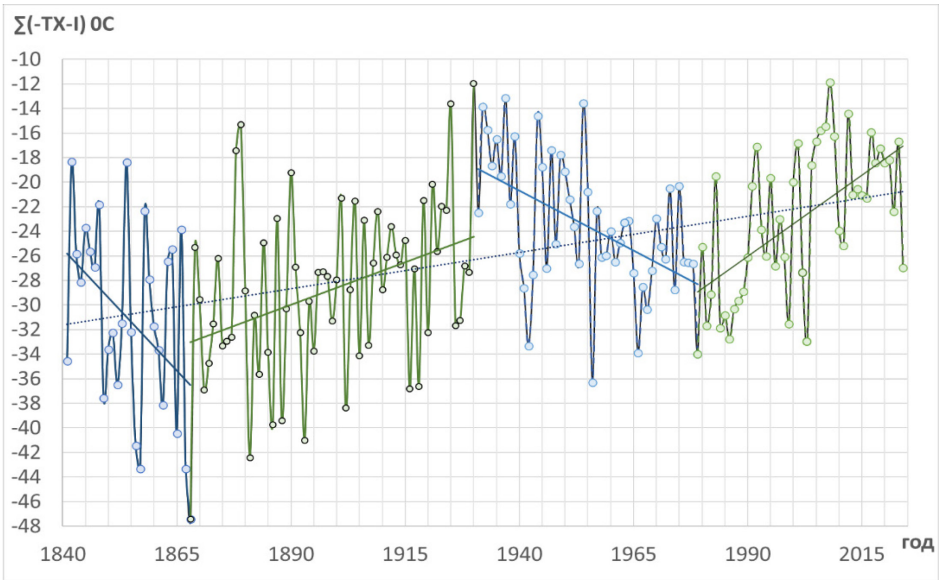


Рисунок 1. Изменение суммарного индекса условий замерзания (октябрь–январь) за многолетний период
Figure 1. Change in the total index of freezing conditions (October–January) over a long-term period

Сравнительный анализ индексов условий замерзания октября за различные периоды показал, что тренд незначим. Наименьшее значение наблюдалось в 1903 г. $\sum(-T_x)_{min} = -7{,}3$ °C, наибольшее – 2008 г., $\sum(-T_x)_{max} = 0$ °C, среднее значение $\sum(-T_x)_{ср} = -0{,}6$ °C.

В ноябре происходит постепенное накопление сумм отрицательных температур воздуха, достаточных для формирования первичных ледовых явлений – заберегов, шуги. При $\sum(-T_{X\text{-}XI}) = -10$ °C ледовые явления будет носить устойчивый характер, в первом периоде в 56 % случаев, во втором – 63 %, а в третьем и четвертом 28 % и 24 % случаев. Таким образом потепление ноябрьских температур привело к тому, что первичные ледовые явления неустойчивы.

Сравнительный анализ индексов условий замерзания октября-ноября за различные периоды показал, что тренд значим. Наименьшее значение наблюдалось в 1865 г. $\sum(-T_{X\text{-}XI})_{min} = -21{,}3$ °C, наибольшее – 2021 г., $\sum(-T_{X\text{-}XI})_{max} = -1{,}6$ °C, среднее значение $\sum(-T_{X\text{-}XI})_{ср} = -6{,}6$ °C.

В декабре, в зависимости от особенностей морфологического строения русел рек Кольского полуострова, когда на озерных и равнинных участках уже наблюдётся интенсивное нарастание толщины льды в условиях сплошного ледостава, на перекатах и участках с значительными уклонами могут наблюдаться и открытые участки

реки с интенсивным шугообразованием и участки с неполным ледоставом, промоинами и разводьям, а для формирования сплошного ледостава требуются значительное накопление сумм отрицательных температур. Сравнительный анализ индексов условий замерзания на декабрь за различные периоды показал, что тренд значим. Наименьшее значение наблюдалось в 1868 г. $\sum(-T_{X\text{-}XII})_{min} = -32{,}8$ °С, наибольшее – в 2008 г., $\sum(-T_{X\text{-}XII})_{max} = 0$ °С, среднее значение $\sum(-T_{X\text{-}XII})_{ср} = -0{,}6$ °С в декабре при $\sum(-T_{X\text{-}XII}) = -15$ °С ледостав будет сплошным, в первом периоде в 75 % случаев .во втором – 77 %, а в третьем и четвертом 47 % и 40 % случаев. Таким образом потепление декабрьских температур привело к тому, что ледостав все чаще носит несплошной характер, лед торосится и включает в себя значительное количество шуги.

Сравнительный анализ индексов условий замерзания октября-января за различные периоды показал, что тренд значим. Наименьшее значение наблюдалось в 1868 году $\sum(-T_{X\text{-}XII})_{min}=-47{,}7$ °С, наибольшее – 2008 г $\sum(-T)_{max}=-11{,}9$ °С, среднее значение $\sum(-T)ср=-26{,}2$ °С (рисунок 2).

Таблица 1. Характеристики индекса условий замерзания с октябрь по январь за период 1841–2024 гг.
Table 1. Characteristics of the freezing conditions index from October to January for the period 1841–2024

октябрь						
периоды		**1841–1868**	**1869–1930**	**1930–1979**	**1980–2024**	**1840–2024**
ИУЗ	минимальный	-4,8	-7,3	-3,4	-3,9	-7,3
	максимальный	-0,4	-0,3	-0,1	0	0
	средний	-0,8	-0,8	-0,6	-0,4	-0,6
	Δ	-0,8	0,4	-0,8	0,3	0,5
тренд	Положительный отрицательный	-	+	-	+	+
	Значимый/ незначимый	незначим	незначим	незначим	незначим	незначим
ноябрь						
периоды		**1841–1868**	**1869–1930**	**1930–1979**	**1980–2024**	**1840–2024**
ИУЗ	минимальный	-14,4	-21,3	-11,3	-12,1	-21,3
	максимальный	-2,5	-2,5	-2,1	-1,6	-1,6
	средний	-8,3	-8,2	-5,1	-4,8	-6,6
	Δ	-3,5	4,1	-4,3	3,8	5
тренд	Положительный отрицательный	-	+	-	+	+
	Значимый/ незначимый	значим	значим	значим	значим	значим
декабрь						
периоды		**1841–1868**	**1869–1930**	**1930–1979**	**1980–2024**	**1840–2024**
ИУЗ	минимальный	-28,3	-32,8	-27	-20,8	-32,8
	максимальный	-8,4	-6,1	-13,6	-5,5	-5,5
	средний	-18,1	-18,9	-13,6	-13,3	-16,1
	Δ	-4,5	8,5	-7	7,9	-8,7
тренд	Положительный отрицательный	-	+	-	+	+
	Значимый незначимый	значим	значим	значим	значим	значим
январь						
периоды		**1841–1868**	**1869–1930**	**1930–1979**	**1980–2024**	**1840–2024**
ИУЗ	минимальный	-41,4	-47,4	-36,3	-33	-47,4
	максимальный	-18,3	-12	-13,1	-11,9	-11,9
	средний	-29,3	-29,3	-23,6	-20,4	-26,2
	Δ	-10	-24,2	-28,1	-17	-20,9
тренд	Положительный отрицательный	-	+	-	+	+
	Значимый /незначимый	значим	значим	значим	значим	значим

Таким образом, уменьшение значений индекса условий замерзания приводит к изменению характеристик ледостава и уменьшению толщины льда.

Оценка пространственной изменчивости за более длительный многолетний период, относительно периода, рассмотренного в работе авторов [3], показала аналогичную стационарность распределения однородных по температурному режиму районов: первый, с наиболее высокими температурами находящийся на побережье Баренцева и Белого морей, второй – наиболее холодный в центре Кольского полуострова, и третий, соответствующей переходной области. Согласно пространственному анализу, меняется только распространение границы более теплого (первого) района. В современном периоде только в глубине Кольского полуострова сохраняются участки, где наблюдаются устойчивые отрицательные температуры воздуха (рисунок 2).

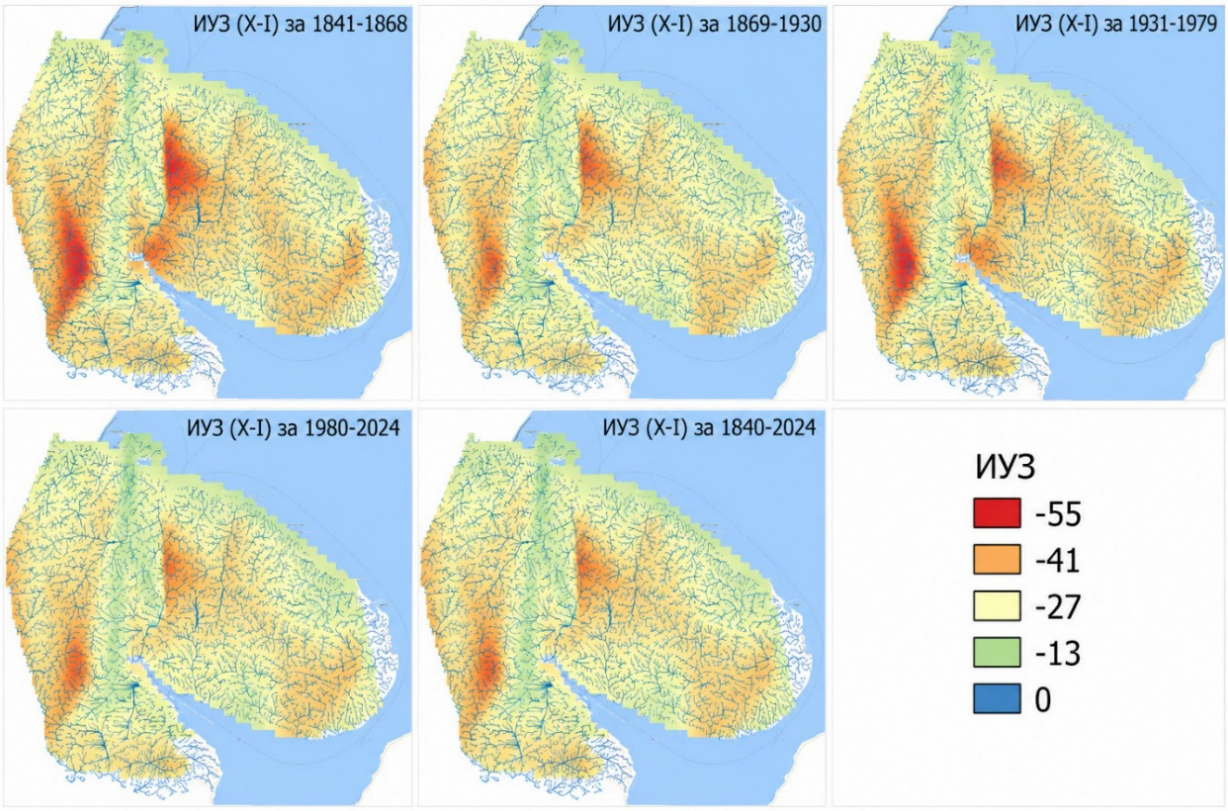


Рисунок 2. Распределение индекса условий замерзания на территории Кольского полуострова, октябрь–январь (составлено авторами на картографической основе[2] с использованием [22])
Figure 2. Distribution of the freezing conditions index on the Kola Peninsula, October–January (compiled by the authors based on cartographic data[2] using [22])

Накопление отрицательных температур от месяца к месяцу происходит по различным сценариям, поэтому был выполнен расчет индекса условий замерзания за каждый месяц на суровые умеренные и теплые месяцы (периоды). Затем были получены 19 вариаций накопления индекса условий замерзания от вариации все месяцы теплые, до вариации все месяцы холодные.

В многолетнем разрезе наибольшее число случаев, когда все индексы условий замерзания за каждый месяц относятся к (X тип) умеренному типу приходится 52 % (95 случаев), 10 % – II тип, по одному числу случаев (0,5 %) приходится на типы IX, VII, VIII, XIV, XIX, XV, XVI, XVII, XVIII. В таблице 2 приведены характеристики всех типов ИУЗ.

[2] Единая электронная картографическая основа (ЕЭКО). [Электронный ресурс] URL: https://ngw.fppd.cgkipd.ru/tile/56/{z}/{x}/{y}.png.

Таблица 2. Типизация ИУЗ и видов ледовых явлений
Table 2. Typification of freezing conditions index and types of ice phenomena

Тип ИУЗ		**X**	**III**	**VI**	**II**	**IV**	**XII**	**I**	**V**	**XI**	**XIII**	**IX**	**VII**	**VIII**	**XIV**	**XIX**	**XV**	**XVI**	**XVII**	**XVIII**
число случаев		95	19	16	15	13	5	3						1						
% от общего числа		52	10	8,7	8,2	7,1	2,7	1,6						0,5						
Тип ИУЗ *	октябрь	у	у	у	т	т	у	т	у	у	у	т	у	т	х	у	у	у	х	х
	ноябрь	у	т	т	у	т	х	т	у	у	х	у	у	у	у	х	у	х	х	у
	декабрь	у	у	т	у	у	х	т	т	х	х	т	у	у	у	у	х	х	у	у
	январь	у	у	т	у	у	х	т	т	у	х	т	т	т	х	у	х	у	х	у
Ля**	октябрь	-	-	-	-	-	::)*шс	-	-	-	::)*шс	-	-	-	::)*шс	::)*шс	::)*шс	::)*шс	::)*шс	::)*шс
	ноябрь	)*шZ	::)*ш	::)*ш	::)*шс	-	)*шZ]	-	)*ш	)*ш	IZ	)*ш	)*ш	)*ш	)*шZ	)*шZ	)*шZ	)*шIZ	)*шIZ	)*шIZ
	декабрь	IZ]	IZ]	)*шIZп	IZ]	)*шZ	IZ	)*ш	)*ш	I	I	)*ш]	)IZ	)IZ]	IZ	IZ	IZ	I	I	I
	январь	IZ]	I Z]	) * ш I]Z п	I Z	) * ш I Z п	I Z	) * ш Z	) * ш Z	I	I	) * ш Z	) * ш Z	) * ш Z	I	I	I	I	I	I

**- тип индекса условий замерзания за каждый месяц (х- холодный, у - умеренный, т – теплый) ** - вид ледовых явлений) -забереги, *-редкий шугоход, :-сало. ; - внутриводный лед,] - подо льдом шуга, С-средняя и густая снежура, Ш-средний и густой шугоход, *- редкий шугоход , Z-неполный ледостав, I -ледостав)*

Типы ИУЗ с холодными месяцами свойственны период до 1930 г., с теплым ИУЗ – современному периоду с 1980 г., умеренный ИУЗ равновероятен за весь период (рисунок 3).

Полученные результаты подтверждают ослабление суровости замерзания за последние десятилетия и структурную перестройку сроков появления и типов ледовых явлений. Практическая применимость разработанного индекса условий замерзания и его типизации заключается в возможном использовании для уточнения региональных прогностических зависимостей сроков появления первичных ледовых явлений и установления ледостава, а также при оценке последствий продолжающегося климатического потепления на гидрологический режим рек. Перспективным направлением дальнейших исследований является включение ИУЗ в предиктивный состав физико-статистических и нейросетевых моделей прогноза сроков появления ледовых явлений на территории Кольского полуострова.

Заключение

Выполненное исследование позволило количественно охарактеризовать многолетние климатические изменения в период замерзания и связанных с ними особенностей ледового режима рек Кольского полуострова. Введён и рассчитан индекс условий замерзания (ИУЗ), основанный на суммах отрицательных температур воздуха за период октябрь–январь, как по отдельным месяцам, так и за холодный сезон в целом. На основе ИУЗ разработана типизация суровости

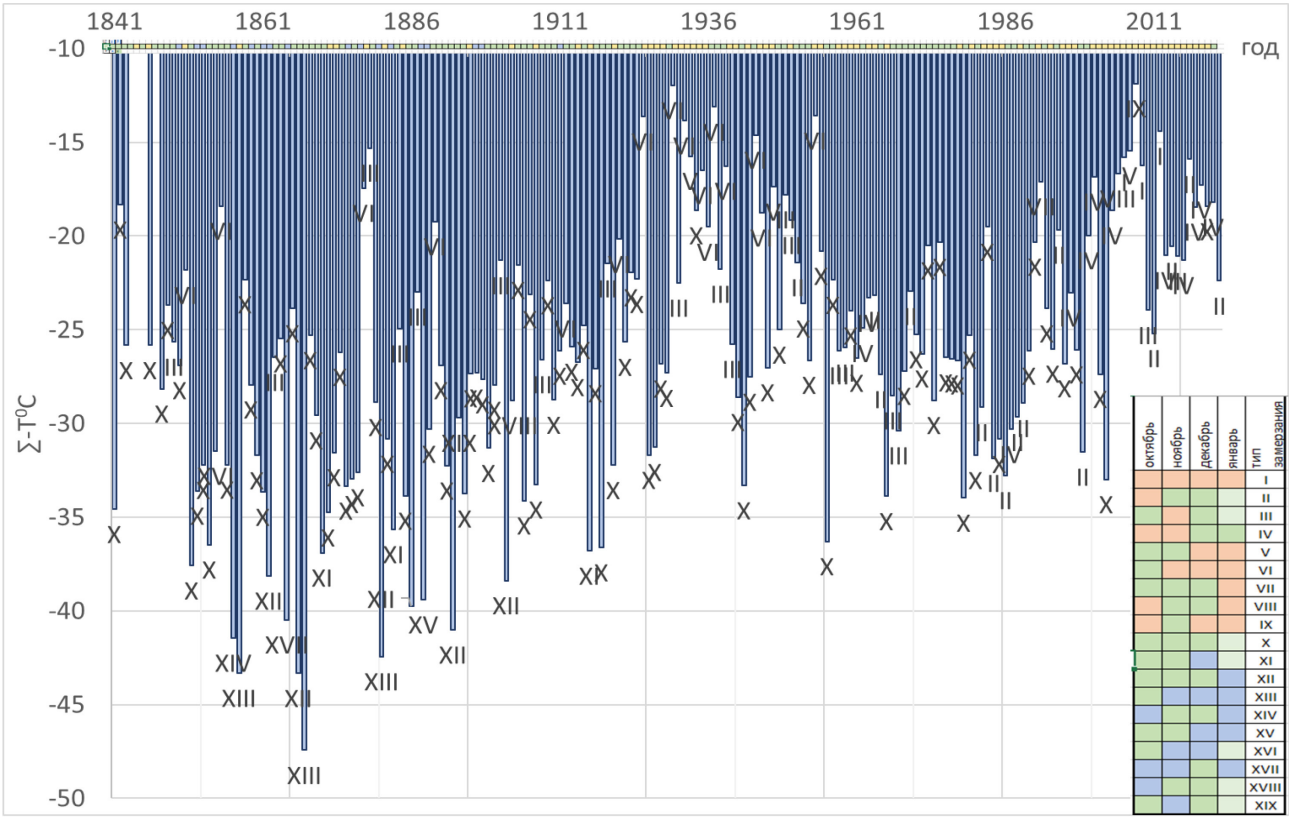


Рисунок 3. График распределения типов ИУЗ на Кольском полуострове за многолетний период
Figure 3. Distribution chart of freezing conditions index types on the Kola Peninsula over a long-term period

предзимнего периода (тёплый, умеренный, холодный месяц) и получено 19 характерных типов, для каждого из которых выделены типичные сочетания видов ледовых.

В среднем по территории за холодный сезон ИУЗ увеличился в октябре лишь на 0,5 °С, что не является статистически значимым, тогда как в ноябре, декабре и январе выявлены существенные положительные тренды: ИУЗ возрос соответственно на 5,0 °С, 8,7 °С и 20,9 °С. Это свидетельствует об ослаблении суровости замерзания именно в основной фазе формирования ледяного покрова. Типы ИУЗ с холодными месяцами характерны преимущественно для периода до 1930-х гг., тёплые типы – для современного этапа с 1980-х гг., тогда как умеренные условия замерзания встречаются примерно равновероятно в течение всего рассматриваемого периода.

Пространственный анализ ИУЗ выявил стационарность распределения однородных по температурному режиму районов, причем изменение границ характерно только для более теплого (первого) района. В современном временном периоде только в центре Кольского полуострова сохраняются участки, где наблюдаются устойчивые значительные отрицательные температуры воздуха.

Литература / References

1. Чеботарев А. И. Гидрологический словарь. 1978. 308 с.
2. Донченко Р. В. Ледовый режим рек СССР. Гидрометеоиздат, 1987. С. 247.
3. Банщикова Л. С., Сумачев А. Э. Вариация температуры воздуха холодного периода на Кольском полуострове как фактор изменения ледового режима // Арктика: экология и экономика. 2021. Т. 11. № 3. С. 397–405. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-3-397-405.

Banshchikova L. S., Sumachev A. E. Variability of air temperature during the cold period on the Kola Peninsula as a factor in changing the ice regime. Arctic: Ecology and Economy, 2021, vol. 11, no. 3, pp. 397–405. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-3-397-405. (In Russian; abstract in English).

4. Агафонова С. А., Василенко А. Н., Мироненко А. А., Фролова Н. Л. Ледовый режим и его опасные проявления на реках Арктической зоны России // Ледовые и термические процессы на водных объектах России. Тр. V Всеросс. конф. М.: Изд-во РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2016. С. 15–21.
5. Алексеевский Н. И., Магрицкий Д. В., Михайлов В. Н. Антропогенные и естественные изменения гидрологических ограничений для природопользования в дельтах рек Российской Арктики // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2015. № 1. С. 14–31. DOI: 10.35567/1999-4508-2015-1-2.
6. Банщикова Л.С., Сумачев А.Э., Бирюкова В.А., Канашин С.А. Опасные гидрологические явления на реках Кольского полуострова // Предупреждение и ликвидация чрезвычайных ситуаций в Арктической зоне Российской Федерации: материалы научно-практической конференции, 4–7 апреля 2023 года. Мурманск: МАГУ, 2023. С. 29–31.
   Banshchikova L.S., Sumachev A.E., V.A. Biryukova, Kanashin S.A Dangerous hydrological phenomena on the Kola Peninsula rivers. Prevention and Elimination of Emergencies in the Arctic Zone of the Russian Federation: Proceedings of the Scientific and Practical Conference, April 4–7, 2023. Murmansk, 2023, pp. 29–31. (In Russian; abstract in English).
7. Василенко А. Н., Агафонова С. А., Фролова Н. Л. Исследования связи термического и ледового режимов рек Российской Арктики по данным многолетних наблюдений // Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития. Труды IV Всероссийской конференции. СПб.: Химиздат, 2020. С. 126–129.
8. Смирнова Д. А. и др. Основные черты зимнего гидрологического режима приливных устьев рек Терского берега Белого моря на примере рек Умба и Кузрека // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития регионов. Сборник тезисов Международной конференции. СПб.: РГГМУ, 2020. С. 144–145.
9. Фролова Н. Л. и др. Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек Российской Арктики // Вопросы географии. 2018. № 145. С. 233–251.
   Frolova N. L. et al. Anthropogenic and climate-induced changes in water runoff and ice phenomena on the rivers of the Russian Arctic. Voprosy Geografii, 2018, no. 145, pp. 233–251. (In Russian; abstract in English).
10. Баклагин В. Н. Зависимости характерных дат ледового режима Белого моря от температурного фона над его акваторией // Успехи современного естествознания. 2020. № 7. С. 55–60. DOI: 10.17513/use.37432.
    Baklagin V. N. Dependences of characteristic dates of the ice regime of the White Sea on the temperature background above its water area. Advances in modern natural science, 2020, no. 7, pp. 55–60. DOI: 10.17513/use.37432. (In Russian; abstract in English).
11. Демин В. И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений // Труды Кольского научного центра РАН. 2012. Т. 1. № 2. С. 98–110.
12. Демин В. И., Анциферова А. Р., Мокротоварова О. И. Изменения температуры воздуха в Мурманске с начала XIX века // Вестник Кольского научного центра РАН. 2015. № 1 (20). С. 113–125.
13. Демин В. И. Священников П. Н., Иванов Б. В. Изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и современное потепление климата на Кольском полуострове // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 2 (17). С. 60–67.

14. Евзеров В. Я. Последствия климатических изменений четвертичного периода в Кольском регионе (на примере поздневалдайского оледенения и голоцена) // Вестник Кольского научного центра РАН. 2016. № 2 (25). С. 5–18.
Evzerov V. Ya. Effects of Quaternary Climatic Changes in the Kola Region (Exemplified with the Late Valdai Glaciation and Holocene). Herald of the Kola Science Centre of the RAS, 2016, vol. 2, pp. 5–18. (In Russian; abstract in English).

15. Ильяшук Б. П., Ильяшук Е. А., Хаммарлунд Д. Изменения климата в предгорьях Хибин, Кольский полуостров, на протяжении голоцена // Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода. 2007. № 67. С. 85–96.

16. Крастынь Е. А. и др. Зимний режим приливных устьев рек Терского берега Белого моря // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология: от познания к мировоззрению. Сборник докладов. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2020. С. 1092–1097.

17. Романенко Ф. А., Шиловцева О. А. Геоморфологические процессы в горах Кольского полуострова и изменения климата // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. № 6. С. 78–86.
Romanenko F. A., Shilovtseva O. A. Geomorphological processes in the mountains of the Kola Peninsula and climate changes. Lomonosov Geography Journal, 2016, no. 6, pp. 78–86. (In Russian; abstract in English).

18. Анисимов О. А., Бадина С. В. Оптимизация региональных планов адаптации к изменению климата в арктической зоне России на основе прогностического моделирования // Арктика: экология и экономика. 2024. С.350–359. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-350-359.
Anisimov O. A., Badina S. V. Optimization of regional adaptation plans to climate in the Russian Arctic based on forecasting modeling. Arctic: Ecology and Economy, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 350—359. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-350-359 (in Russian, abstract in English).

19. Сикан А. В., Малышева Н. Г., Винокуров И. О. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: РГГМУ, 2014. 76 с.

20. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 10. Берингово море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Ф. С. Терзиева. СПб.: Гидрометеоиздат, 1999. 300 с.

21. Яицкая Н. А., Магаева А. А. Динамика ледового режима Азовского моря в XX–XXI вв //Лёд и снег. 2018. Т. 58. №. 3. С. 373–386. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386.
Yaitskaya N.A., Magaeva A.A. Dynamics of the ice regime of the Sea of Azov in the XX–XXI centuries. Ice and Snow, 2018, vol.58, no.3, pp.373–386. DOI: 10.15356/2076-6734-2018-3-373-386 (in Russian, abstract in English).

22. Lehner B., Grill G. Global river hydrography and network routing: baseline data and new approaches to study the world's large river systems. Hydrological Processes, 2013, vol.27, no. 15, pp. 2171–2186. DOI:10.1002/hyp.9740.

Поступила в редакцию / Received 26.11.2025
Принята к публикации / Accepted 12.12.2025

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Банщикова Любовь Святославовна, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 4301-3598, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5878-1458, e-mail: BanshchikovaLS@andex.ru.

Канашин Сергей Андреевич, аспирант, Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия, SPIN-код: 8469-3366, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5894-7379, e-mail: ckanashin@yandex.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Lyubov S. Banshchikova, Ph.D. (Geography), Senior Researcher, State Hydrological Institute, Saint Petersburg, Russia, SPIN-code: 4301-3598, ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5878-1458, e-mail: BanshchikovaLS@andex.ru.

Sergey A. Kanashin, Postgraduate Student, State Hydrological Institute, Russia, Saint Petersburg, SPIN-code: 8469-3366, ORCID: https://orcid.org/0009-0003-5894-7379, e-mail: ckanashin@yandex.ru.