

ВАРИАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ХОЛОДНОГО ПЕРИОДА НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ КАК ФАКТОР ИЗМЕНЕНИЯ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА

Л. С. Банщикова

ФБГУ Государственный гидрологический институт (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

А. Э. Сумачев

ФБГУ Государственный гидрологический институт, ФГБОУВО Санкт-Петербургский государственный университет (Санкт-Петербург, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 9 марта 2021 г.

Рассмотрены многолетняя пространственно-временная изменчивость температуры воздуха и ледовый режим рек Кольского полуострова за 1950–2018 гг. На большинстве гидрометеорологических станций выявлен статистически значимый положительный тренд температуры воздуха за холодный сезон, увеличение температуры воздуха составило 1,1°C. Повышение температуры воздуха привело к уменьшению максимальной толщины льда и более раннему вскрытию рек. Даты начала осеннего ледообразования не претерпели значительных изменений.

Ключевые слова: Баренц-регион, Арктическая зона, Кольский полуостров, изменение климата, ледовый режим, уровень воды, многолетние колебания.

Введение

Процесс изменения климата происходит за счет как внешних, так и внутренних факторов [1; 2]. Если величина среднегодовой скорости потепления в целом для России за многолетний период практически не меняется, то межсезонные различия трендов гораздо заметнее, особенно на региональном уровне [3]. Одной из причин потепления климата Кольского полуострова является изменение в крупномасштабной циркуляции атмосферы, которое могло привести к более высокой повторяемости выхода на регион теплых воздушных масс (и/или уменьшения холодных вторжений) при общем сохранении их термодинамических свойств [4; 5].

Изменение климата за холодный период года с точки зрения гидрологических процессов оказывает влияние на сроки и продолжительность различных фаз ледового режима. Реки Кольского полуострова отличаются от большинства северных водотоков морфометрическими характеристиками:

большими уклонами, обилием порогов, озерной зарегулированностью. Например, начало ледообразования в реке возможно только с переохлаждением воды, необходимым условием для этого является накопление определенных сумм отрицательных температур воздуха. Выполнение этого условия для большинства равнинных рек является достаточным для образования как первичных ледовых явлений, так и устойчивого ледостава, формирующегося путем смыкания заберегов. Для водотоков с большими уклонами водной поверхности накопление сумм отрицательных температур приводит к переохлаждению воды и появлению первичных ледовых явлений, но для образования устойчивого ледостава этого недостаточно — необходимо понижение температуры воздуха до определенного значения, которое позволит процессам ледообразования преодолеть сопротивление водного потока с образованием устойчивого ледостава. В случае сильной зашугованности русла, что свойственно рекам Кольского полуострова, критические температуры не столь велики. Процессы ледообразования на реках Коль-

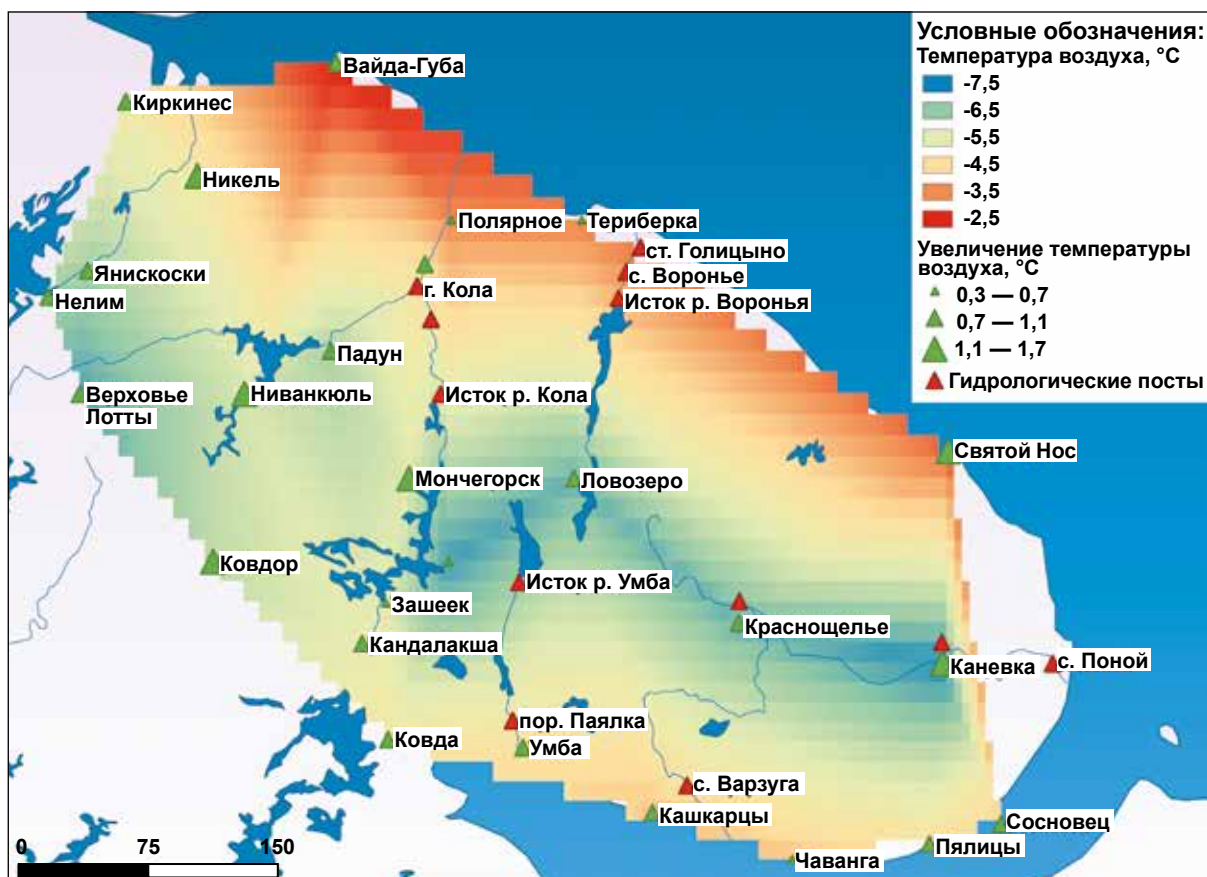


Рис. 1. Средняя за холодный сезон температура воздуха на Кольском полуострове (1950–2018 гг.) и ее изменения на разных ГМС
 Fig. 1. The average air temperature for the cold season on the Kola Peninsula (1950–2018) and its changes at different hydro-meteorological stations

ского полуострова зависят от множества факторов, а влияние на них климатических изменений изучено слабо, что определяет актуальность научной проблемы. Целью данной работы является изучение процессов ледообразования на реках Кольского полуострова и влияния на них изменений климата. Практическая значимость работы заключается в возможности использовать полученные результаты для более эффективной эксплуатации водных объектов в холодный период.

Материалы и методы

В работе рассмотрены изменения температуры воздуха на территории Кольского полуострова за холодный сезон (октябрь — первая декада мая) и влияние этих изменений на ледовый режим. В качестве исходной информации использованы данные о температуре воздуха с октября по первую декаду мая по 26 гидрометеорологическим станциям (ГМС). Были выбраны 10 опорных ГМС, наблюдения на которых охватывают весь период с 1950 по 2018 гг., на остальных ГМС данные были приведены к многолетнему периоду. Анализ изменений ледового режима выполнен по данным 13 гидрологических постов

(ГП), расположенных на реках Кола, Воронья, Поной, Варзуга, Умба (рис. 1). Источники данных: материалы Государственного водного кадастра, фондов Государственного гидрологического института и Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации — Мирового центра данных.

Метеорологическая база данных содержит количественную информацию о среднесуточной и среднемесячной температурах воздуха, гидрологическая база данных — о характерных срочных и среднесуточных уровнях воды и датах образования тех или иных ледовых явлений, а также сведения о максимальной толщине льда. Анализ изменений температуры воздуха выполнен по среднемесячным значениям с группировкой по фазам: замерзания (октябрь), ледостава (ноябрь-апрель) и вскрытия (апрель-май). Можно отметить относительно низкое качество гидрологических данных, связанное в первую очередь с отсутствием непрерывных рядов наблюдений на большинстве рассмотренных постов. Наименее полно наблюдениями освещен гидрологический режим реки Воронья, однако выявлена тесная статистическая связь с рекой Кола

Таблица 1. Среднемесячная и средняя за холодный сезон температура воздуха Кольского полуострова, а также ее изменение за 1950—2018 гг., °С

Период	X	XI	XII	I	II	III	IV	V (1-я декада)	Средняя за холодный сезон
1950—1980	0,4	-5,0	-8,8	-11,5	-12,3	-7,9	-2,6	1,1	-5,8
1981—2019	1,4	-4,5	-8,2	-11,1	-10,4	-6,4	-1,3	2,4	-4,7
1950—2019	1,1	-4,7	-8,5	-11,3	-11,1	-7,0	-1,8	1,8	-5,2
ΔT , °С	1,0	0,5	0,6	0,4	1,9	1,5	1,3	1,2	1,1
R	0,19	0,18	0,22	0,10	0,22	0,25	0,35	0,24	0,36
Оценка значимости	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Доля метеостанций со значимым трендом, %	23	15	38	4	27	65	96	55	96

в районе Октябрьского железнодорожного моста для основных фаз ледового режима, так, парный коэффициент корреляции образования ледостава равен от 0,72 до 0,83 для различных постов Вороньи, парный коэффициент корреляции дат разрушения ледового покрова — от 0,84 до 0,93. Разбиение всего периода наблюдений на базовый и контрольный выполнено с учетом нарушения стационарности рядов наблюдений, что было оценено аналитическим путем по разностно-интегральным кривым средней за холодный сезон температуры воздуха, сопоставимости длины периодов: базовый период — с 1950 по 1980 гг., контрольный — с 1981 по 2018 гг.

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 $|R| < t_{2\alpha} \sigma_R$ [6]. Приведение рядов метеорологической и гидрологической информации к многолетнему периоду выполнено методом построения регрессионной зависимости за совместный период наблюдений с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов в однородном районе при условии $R > 0,7$. 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 $2\alpha = 5\%$. Статистическая взаимосвязанность определялась методами корреляционного и регрессионного анализов.

Обсуждение результатов

Современное состояние климата

Климат Кольского полуострова в значительной степени отличается от климата остальной Арктической зоны Российской Федерации и характеризуется несколько большими температурами воздуха за счет

влияния Норвежской ветви Северо-Атлантического течения. Холодный сезон на Кольском полуострове длится с октября по первую декаду мая, средняя температура воздуха за этот период составляет $-5,2^\circ\text{C}$. Увеличение температуры воздуха проявляется неравномерно по месяцам: ее среднее повышение за холодный сезон составило $1,1^\circ\text{C}$. Наибольший вклад в общее потепление климата по осредненным значениям вносят октябрь и февраль-апрель (табл. 1).

В осенние и зимние месяцы статистически значимые тренды отсутствуют, однако можно отметить, что по отношению к базовому периоду повышение температуры воздуха за октябрь составило $1,0^\circ\text{C}$, а за февраль — $1,9^\circ\text{C}$.

Влияние теплого океанического течения сказывается на всем полуострове, наиболее заметно оно вдоль побережья Баренцева моря, где отмечаются максимальные температуры воздуха на всем полуострове, изменение температуры воздуха вдоль побережья также выражено несколько слабее за все рассмотренные месяцы года (см. рис. 1).

В пространственном отношении по данным выбранных для анализа ГМС можно выделить три однородных по температурному режиму района. Первый район с наиболее высокими температурами находится на побережье Баренцева и Белого морей от Вайда-губы до Сосновца, второй, наиболее холодный район располагается в центре Кольского полуострова, где влияние теплого океанического течения минимально, наконец, третий район соответствует переходной области. В общей сложности методом кластерного анализа к первому району отнесено 7 метеорологических станций, ко второму — 9, к третьему — 10. Средние значения температуры в пределах однородных районов составили $-4,3^\circ\text{C}$, $-7,2^\circ\text{C}$, $-6,2^\circ\text{C}$ соответственно, данные температуры отличаются статистически значимо. Осредненные по однородным районам увеличения температуры воздуха по отношению к базовому периоду в различных районах отличаются статистически незначи-

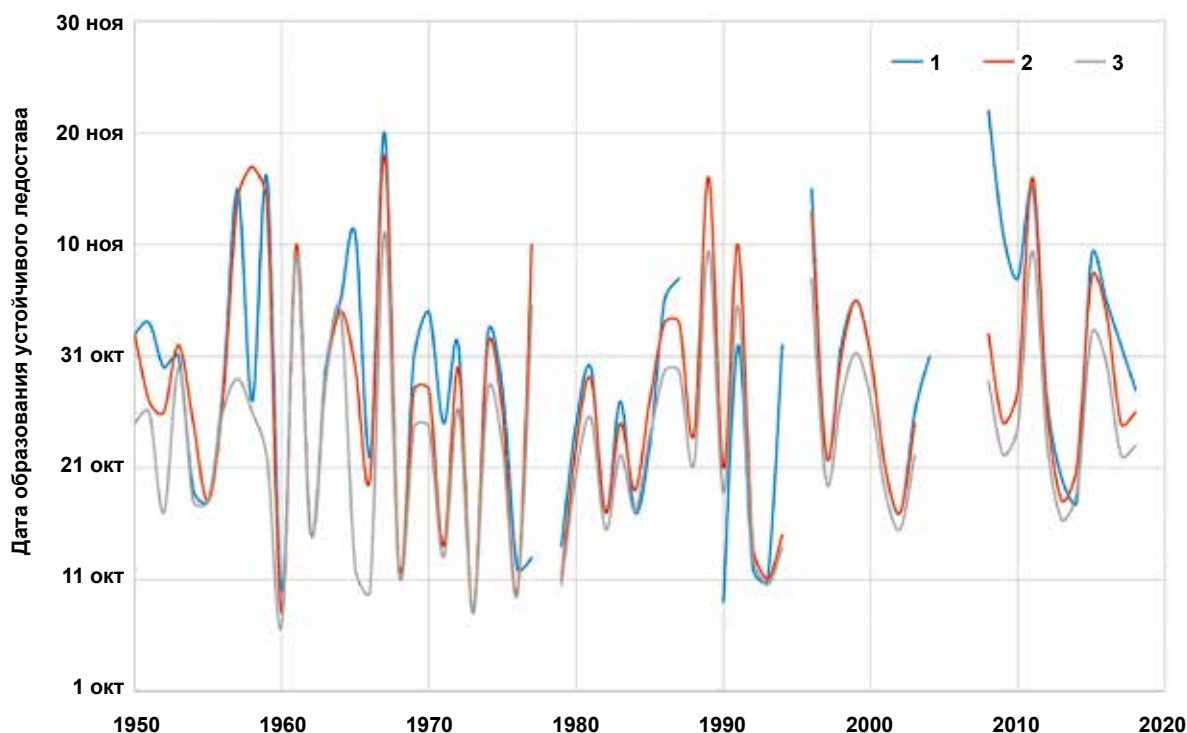


Рис. 2. Изменение сроков образования устойчивого ледостава на реке Поной (село Краснощелье) – 1, реке Кола (1428-й километр Октябрьской железной дороги) – 2 и реке Воронья (село Воронье) – 3
 Fig. 2. Changing the timing of the stable freeze-up formation on the Ponoy River (village Krasnoshchelye) – 1, the Kola River (1428th km of the Oktyabrskaya Railway) – 2 and the Voronya River (village Voronye) – 3

мо. Ниже рассмотрено влияние изменений климата на ледовый режим рек по основным его фазам.

Влияние изменений климата на ледовый режим

Устойчивые ледовые образования на реках Кольского полуострова обычно появляются в третьей декаде октября в виде шугохода и ледохода различной густоты, заберегов. Смещение сроков образования устойчивых ледовых явлений выражено крайне слабо и является статистически незначимым, так как на появление первичных ледовых образований в октябре в первую очередь влияют заморозки в центральной части полуострова, приводящие к переохлаждению озерной части озерно-речных систем и образованию шуги. В переходный период от начала первичных ледовых явлений до образования устойчивого ледостава может проходить значительное время, на отдельных участках рек в этот период ежегодно формируются мощные зажоры льда, которые могут сохраняться вплоть до весны. Повышенная шугоносность рек и образование мощных зажоров объясняется озерным регулированием и большими уклонами местности. Длительность переходного периода для рек Кольского полуострова составляет в среднем 19 дней. Тенденции к увеличению переходного периода выявлено не было. Можно заключить, что увеличение температуры воздуха за октябрь и ноябрь не привело к смеще-

нию сроков образования устойчивых ледовых явлений, что было бы вполне ожидаемо. В [7] выявлены аналогичные климатические изменения, которые привели к трансформации сроков образования первичных ледовых явлений и замерзания.

Отсутствие трендов к смещению сроков образования ледовых явлений и ледостава (рис. 2) на реках Кольского полуострова можно объяснить, с одной стороны, озерным регулированием и повсеместным образованием шуги, с другой — достаточностью относительно небольших (по модулю) отрицательных температур воздуха для образования устойчивого ледостава, характерные значения и даты которых по результатам анализа за октябрь-ноябрь не претерпели значительных изменений. Реки Кольского полуострова в силу преимущественно холмистого рельефа местности в отличие от рек Северного края замерзают не постепенно по мере накопления отрицательных сумм температур воздуха, а после понижения температуры воздуха до критических значений, приводящего к смерзанию шуги и отдельных льдин. Точные значения температуры воздуха для образования устойчивого ледостава зависят от гидрологических условий протекания процессов замерзания. Анализ суточных значений температуры и дат образования устойчивого ледостава в селе Краснощелье на реке Поной показал, что для образования устойчивого ледостава в среднем необ-

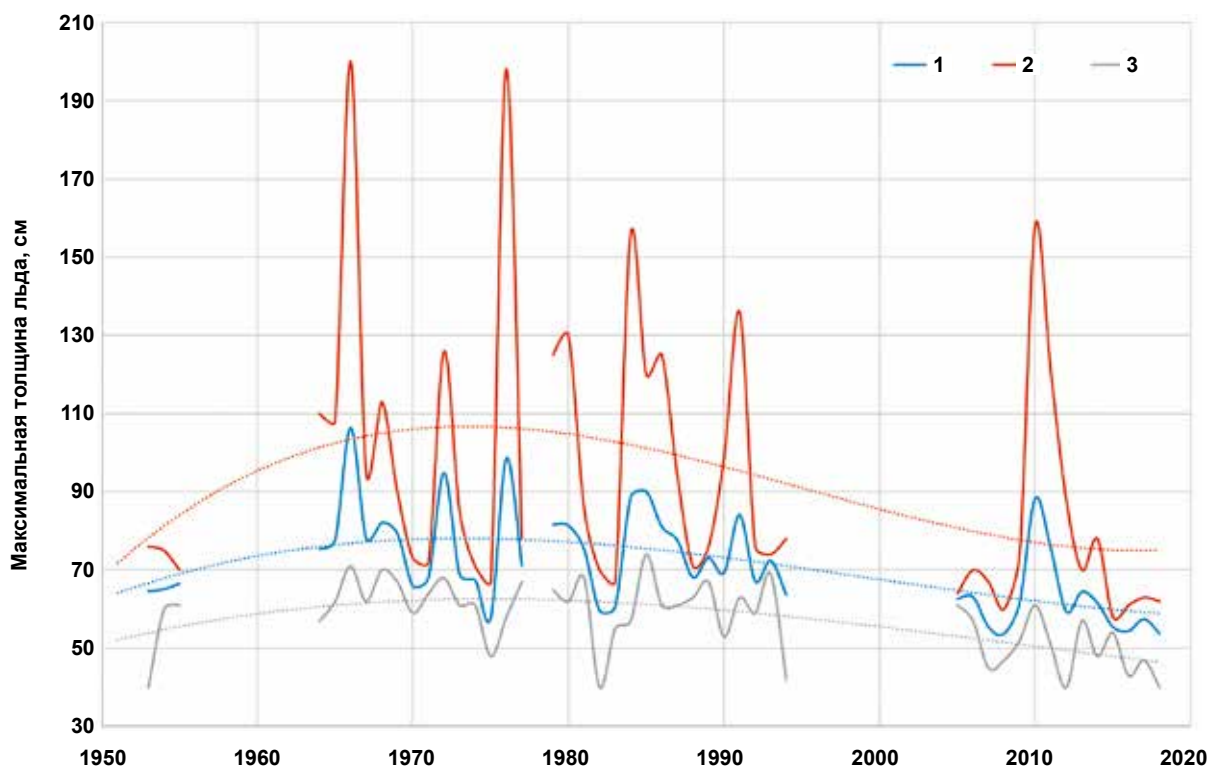


Рис. 3. Изменение средней (1), максимальной (2) и минимальной (3) наибольшей толщины льда по территории Кольского полуострова
 Fig. 3. Change in the average (1), maximum (2) and minimum (3) of the maximum ice thickness over the territory of the Kola Peninsula

ходима среднесуточная температура воздуха от -5 до -10°C , сумма отрицательных температур к этому дню варьируется в широких пределах и зависит в первую очередь от даты перехода температуры воздуха через критическую отметку. Даты устойчивого перехода температуры воздуха через 0°C не претерпели значительных изменений, при этом отмечается относительно тесная статистическая связь между датами перехода температуры воздуха через 0°C и датами образования устойчивого ледостава ($R = 0,53$). В работах [8—10], посвященных ледовому режиму рек Арктической зоны Российской Федерации, по данным до 2014 г. выполнена оценка изменений сроков появления плавучего льда и ледостава на реках Кольского полуострова. Данное изменение в различных работах оценено от 1 до 6 дней, в указанных работах использовались различные временные периоды, что во многом объясняет разброс в полученных оценках.

После образования устойчивого ледостава начинается процесс нарастания льда. Максимальные значения толщины льда достигаются в конце марта — апреле. Пространственное распределение максимальной толщины льда сильно зависит от температуры воздуха. Например, на реке Поной в селе Поной толщина льда нередко может превышать 1 м. Для сравнения: на реке Кола в районе

1429-го километра Октябрьской железной дороги максимальная толщина льда составила 93 см, при этом в истоке Колы, расположенном в относительно холодной зоне Кольского полуострова, также отмечаются значительные толщины льда. Увеличение температуры воздуха за период ледостава выражено достаточно сильно: так, в феврале оно составило $1,9^{\circ}\text{C}$, в марте — $1,5^{\circ}\text{C}$, а в остальные месяцы выражено менее четко (см. табл. 1). Увеличение температуры воздуха за период ледостава привело к сокращению толщины льда. При этом следует отметить неполноту данных измеренных толщин льда — практически на всех постах в те или иные годы отмечаются пропуски измерений, достигающие года и более. Из-за сильного влияния локальных факторов на толщину льда и, как следствие, отсутствия статистических связей между данными ГП, приведение рядов к многолетнему периоду невозможно. По наиболее полным данным, уменьшение максимальной толщины льда составляет от 3 см на Коле до 11 см на Поное, в среднем уменьшение максимальной толщины льда составило 7 см, что является статистически значимым (рис. 3).

Последний день ледостава, за которым следуют подвижки льда и ледоход, в среднем приходится на первую декаду мая, однако деградация ледового покрова может начинаться с последней декады

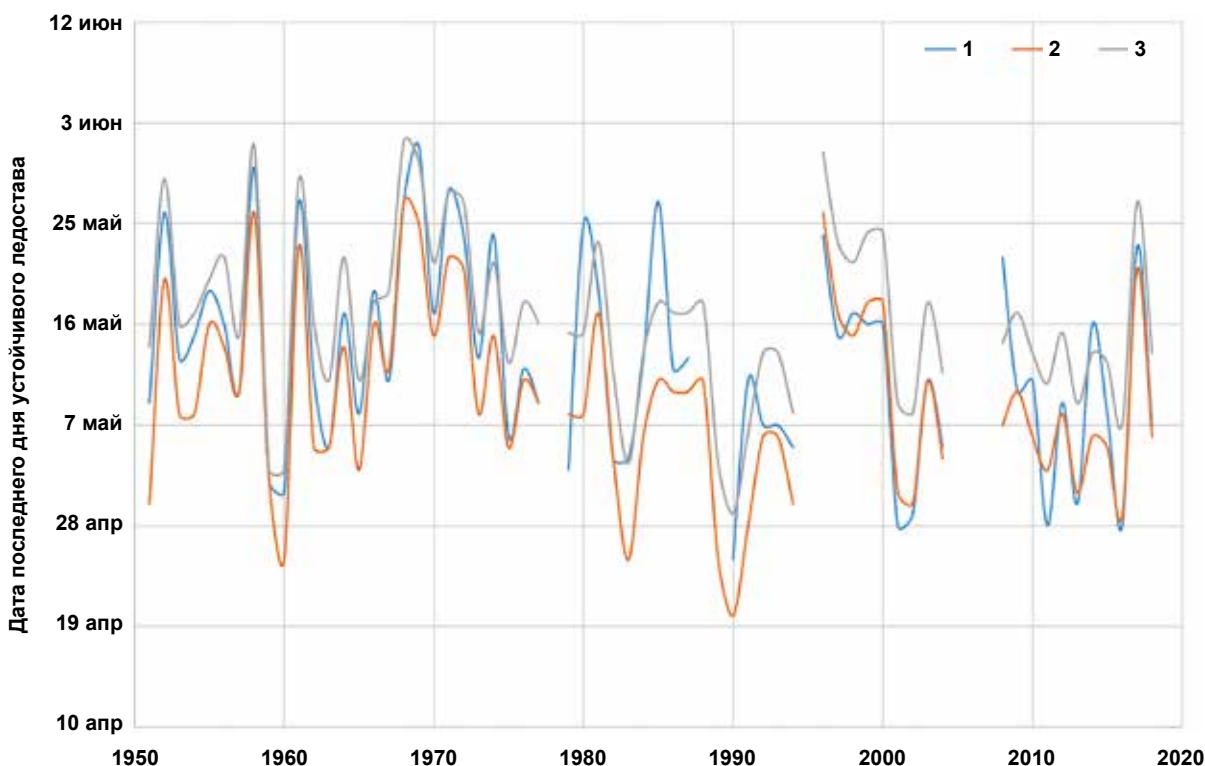


Рис. 4. Изменение сроков начала разрушения устойчивого ледостава на реке Поной (село Краснощелье) – 1, реке Кола (1428-й километр Октябрьской железной дороги) – 2 и реке Воронья (село Воронье) – 3
 Fig. 4. Change in the timing of the stable freeze-up destruction onset on the Ponoj River (village Krasnoshchelye) – 1, the Kola River (1428th km of the Oktyabrskaya Railway) – 2 and the Voronya River (village Voronye) – 3

апреля, когда среднесуточные значения температуры воздуха переходят через 0°C, что часто наблюдается в современный климатический период. Таким образом, в связи с повышением температуры воздуха в весенний период и уменьшением максимальной толщины льда начало разрушения ледостава отмечается на 6 дней раньше (рис. 4).

Продолжительность ледостава составляет в среднем 182 дня и имеет статистически значимые тренды к снижению за счет смещения сроков вскрытия на более ранние (табл. 2). Вследствие того, что реки Кольского полуострова вскрываются под воздействием как теплового, так и динамического факторов, сокращение продолжительности ледостава может быть объяснено климатическими изменениями.

Основные характеристики ледового режима в период вскрытия рек — высший уровень ледохода и вероятность образования заторов льда. Вероятность образования заторов не претерпела значительных изменений, и на многих реках Кольского полуострова заторы льда наблюдаются повсеместно. При этом в силу особенностей рельефа, высоких берегов и отсутствия поймы заторные подьемы уровня могут быть значительны, например на Поное в селе Поной заторы льда наблюдаются ежегодно с началом ледохода, при этом подьемы уровня составляют порядка 4 м по отношению к предледо-

ходному периоду. Отсутствие пойменных земель, ежегодная повторяемость и, как следствие, осведомленность населения о рисках минимизируют наносимый ущерб. Так как заторы льда образуются практически ежегодно и не влияют на асимметрию рядов, высшие уровни за период весеннего ледохода (включая заторные) имеют близкое к нормальному распределение, при этом отмечаются статистически незначимые тренды к снижению высших уровней ледохода, что может быть объяснено перераспределением стока внутри года.

Высшие уровни воды при ледоходе на большинстве рек Кольского полуострова не приводят к подтоплению объектов инфраструктуры. При этом высшие уровни весеннего ледохода характеризуются достаточно высокими коэффициентами автокорреляции (например, связь между ледоходными и предледоходными уровнями достигает на Поное в районе ГП Краснощелье величины 0,72) и даже пространственной взаимосвязанностью (связь высших уровней на Поное и Воронье по данным 25 лет совместных наблюдений характеризуется коэффициентом корреляции, равным 0,80). Таким образом, развитие процессов вскрытия рек практически детерминировано, стохастичность в этот процесс вносят в первую очередь характеристики заторов льда (мощность заторных скоплений, длительность

Таблица 2. Изменение сроков появления плавучего льда, замерзания и начала разрушения устойчивого ледостава, его продолжительности на реках Кольского полуострова за 1950—2018 гг.

Река	Период	Дата образования первичных ледовых явлений	Дата образования ледостава	Дата окончания ледостава	Продолжительность ледостава
Лота	1950—1980	20 октября	28 октября	8 мая	191
	1981—2018	20 октября	30 октября	1 мая	182
Кола	1950—1981	26 октября	20 ноября	6 мая	167
	1981—2019	27 октября	20 ноября	1 мая	162
Воронья	1950—1982	19 октября	9 ноября	15 мая	187
	1981—2020	20 октября	9 ноября	11 мая	183
Поной	1950—1983	19 октября	3 ноября	15 мая	193
	1981—2021	19 октября	3 ноября	8 мая	186
Варзуга	1950—1984	20 октября	11 ноября	11 мая	181
	1981—2022	21 октября	12 ноября	5 мая	174
Умба	1950—1985	10 октября	2 ноября	13 мая	192
	1981—2023	11 октября	4 ноября	8 мая	185

и т. д.). Прогнозирование высшего уровня при этом осложнено трудностями определения характеристик затора льда при заданной заблаговременности и плохим качеством исходных данных. Можно заключить, что, учитывая низкие потенциальные риски при прохождении уровня ледохода однопроцентной обеспеченности, разработка прогностических методик не требуется.

Заключение

Рассмотрены изменения температуры воздуха холодного сезона на Кольском полуострове в 1950—2018 гг. Выявлено неравномерное увеличение температуры воздуха по территории, свидетельствующее о множестве факторов, влияющих на изменение климата, в том числе разнонаправленных. В среднем по территории за холодный сезон температура воздуха увеличилась на 1,1°C, что является статистически значимым.

Вследствие того, что для образования ледостава не требуется больших по модулю отрицательных температур воздуха и сумм температур воздуха, а даты перехода температуры воздуха через 0°C не сместились, сроки образования устойчивого ледостава также не претерпели значительных изменений. В зимний период за счет общего потепления климата уменьшается максимальная толщина льда. Выявлено сокращение продолжительности ледостава на шесть дней за счет смещения сроков вскрытия рек, что связано с увеличением и более

ранним переходом через 0°C температуры воздуха, меньшей толщины льда. Затопы и зажоры льда на реках Кольского полуострова отмечаются ежегодно и зависят от локальных гидрологических факторов. Из-за отсутствия поймы для большинства рек потенциальные риски затопления являются незначительными, следовательно, разработка прогностических методик высшего уровня нецелесообразна.

Литература

1. Монин А. С., Шишков Ю. А. История климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1979. — 408 с.
2. Будыко М. И. Изменения климата. — Л.: Гидрометеиздат, 1974. — 280 с.
3. Второй оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — М.: Росгидромет, 2014. — 60 с.
4. Топтунова О. Н., Анискина О. Г. Изменения циклонических режимов Северного и Южного полушарий в условиях меняющегося климата // Политемат. сетевой электрон. науч. журн. Кубан. гос. аграр. ун-та. — 2015. — № 114. — С. 338—347.
5. Демин В. И. Основные климатические тенденции на Кольском полуострове за период инструментальных метеорологических измерений // Труды Кольского науч. центра РАН. — 2012. — № 3 (10) — С. 98—110.
6. Сикан А. В., Малышева Н. Г., Винокуров И. О. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. — СПб.: РГГМУ, 2014. — 76 с.

7. Сумачев А. Э., Банщицова Л. С. Ледовый режим реки Печора и особенности прогнозирования высшего уровня ледохода // Гидрометеорология и экология. — 2020. — № 61. — С. 446—459. — DOI: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459.
8. Фролова Н. Л., Магрицкий Д. В., Кирева М. Б. и др. Антропогенные и климатически обусловленные изменения стока воды и ледовых явлений рек российской Арктики // Вопр. географии. — 2018. — № 145. — С. 233—251.
9. Василенко А. Н. Современный и будущий ледовый режим рек Арктической зоны России // Третьи Виноградовские чтения. Грани гидрологии. — СПб., 2018. — С. 25—29.
10. Агафонова С. А., Фролова Н. Л., Василенко А. Н. и др. Ледовый режим и опасные гидрологические явления на реках Арктической зоны европейской территории России // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2016. — № 6. — С. 41—49.

Информация об авторах

Банщицова Любовь Святославовна, кандидат географических наук, заведующий отделом научно-технической информации, старший научный сотрудник, Государственный гидрологический институт (199004, Россия, Санкт-Петербург, 2-я линия Васильевского острова, д. 23), e-mail: balju@rambler.ru.

Сумачев Александр Эдуардович, аспирант, Государственный гидрологический институт (199004, Россия, Санкт-Петербург, 2-я линия Васильевского острова, д. 23), ассистент, Санкт-Петербургский государственный университет (199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7–9), e-mail: a-sumachev@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Банщицова 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.

THE AIR TEMPERATURE VARIABILITY DURING THE COLD PERIOD ON THE KOLA PENINSULA AS MODIFICATION FACTOR OF THE ICE REGIME

Banshchikova, L. S.

State Hydrological Institute (St. Petersburg, Russian Federation)

Sumachev, A. E.

State Hydrological Institute, St. Petersburg State University (St. Petersburg, Russian Federation)

The article was received on March 9, 2021

Abstract

The paper considers the long-term spatial and temporal air temperature variability on the Kola Peninsula according to 26 hydro-meteorological stations and the ice regime of rivers according to 13 hydrological stations for 1950—2018 (base period 1950—1980, and control period 1981—2018). The cold season of the year on the Kola Peninsula lasts from October to the first decade of May, the average temperature for the season is -6.2°C . The average increase in air temperature during the cold season was 1.1°C .

The researchers showed that the influence of climate changes on the ice regime of rivers in the autumn period is leveled by the specificity of the hydrological regime of the Kola Peninsula rivers. The absence of trends to a shift in the formation timing of ice phenomena and ice cover of rivers of the Kola Peninsula can be explained, on the one hand, with lake regulation and the widespread formation of sludge, on the other hand, the need for relatively weak frosts for the freeze-up formation, the characteristics of which, according to the analysis of average daily air temperatures in October–November did not undergo significant changes within the Kola Peninsula. In winter, due to the general climate warming, the maximum thickness of the ice decreased by 5—10 centimeters. In the spring period, there is a 6-day reduction in the freeze-up duration due to a shift in the timing of river opening, which is associated with an increase and earlier transition through 0°C of air temperature. The highest levels

of ice drift are characterized by statistically insignificant downward trends and a close to normal distribution. Congestions and ice jams on the Kola Peninsula rivers are observed annually and depend on local hydrological factors. Due to the floodplain absence for most rivers, the potential risks of flooding are insignificant; therefore, the development of forecasting techniques for the highest level of ice drift is impractical.

Keywords: *Barents region, Arctic zone, Kola Peninsula, climate change, ice regime, water level, long-term fluctuations.*

References

1. Monin A. S., Shishkov Yu. A. History of climate. Leningrad, Gidrometizdat, 1979, 408 p. (In Russian).
2. Budyko M. I. Changing of the climate. Leningrad, Hydrometeorological publishing house, 1974, 280 p. (In Russian).
3. The second assessment report on climate changes and their consequences on the territory of the Russian Federation. Moscow, Roshydromet, 2014, 60 p. (In Russian).
4. Toptunova O. N., Aniskina O. G. Changes in the cyclonic regimes of the northern and southern hemispheres in a changing climate. Polimat. setevoy elektron. nauchnyy zhurn. Kuban. gos. agrar. un-ta, 2015, no. 114, pp. 338—347. (In Russian).
5. Demin V. I. General climatic tendencies on the Kola Peninsula during the meteorological measurements period. Trudy Kol'skogo nauch. tsentra RAN, 2012, no. 3 (10), pp. 98—110. (In Russian).
6. Sikan A. V., Malysheva N. G., Vinokurov I. O. Statistical methods for the analysis of hydrometeorological information. St. Petersburg, RSHU, 2014, 76 p. (In Russian).
7. Sumachev A. E., Banshchikova L. S. Ice regime of the Pechora river and features of forecasting the highest ice drift level. Gidrometeorologiya i Ekologiya, 2020, no. 61, pp. 446—459. DOI: 10.33933/2074-2762-2020-61-446-459. (In Russian).
8. Frolova N. L., Magritskii D. V., Kireeva M. B., Agafonova S. A., Povalishnikova E. S. Runoff and ice phenomena dynamics of the rivers of Russian Arctic due to anthropogenic and climate changes. Vopr. geografii, 2018, no. 145, pp. 233—251. (In Russian).
9. Vasilenko A. N. Modern and future ice regime of rivers of the Arctic zone of Russia. Tret'i Vinogradovskiyeh chteniya. Grani gidrologii. St. Petersburg, 2018, pp. 25—29. (In Russian).
10. Agafonova S. A., Frolova N. L., Vasilenko A. N. et al. Ice regime and dangerous hydrological phenomena on rivers of the Arctic zone of European Russia. Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 5. Geografiya, 2016, no. 6, pp. 41—49. (In Russian).

Information about the authors

Banshchikova, Lyubov' Svyatoslavovna, PhD of Geography, Head of the Department of Scientific and Technical Information, Senior Researcher, State Hydrological Institute (23, Vasilyevsky Island, 2nd line, St. Petersburg, Russia, 199004), e-mail: balju@rambler.ru.

Sumachev, Alexander Eduardovich, Postgraduate, State Hydrological Institute (23, Vasilyevsky Island, 2nd line, St. Petersburg, Russia, 199004), assistant, St. Petersburg State University (7-9, Universitetskaya nab., St. Petersburg, Russia, 199034), e-mail: a-sumachev@mail.ru.

Bibliographic description of the article

Banshchikova, L. S., Sumachev, A. E. The air temperature variability during the cold period on the Kola Peninsula as modification factor of the ice regime. *Arktika: ekologiya i ekonomika*. [Arctic: Ecology and Economy], 2021, vol. 11, no. 3, pp. 397—405. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-3-397-405.

© Banshchikova L. S., Sumachev A. E., 2021