

## ГИДРОЛОГИЯ

Научная статья

УДК 556.53

doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-81-93

EDN: HVJXDS

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОВРЕМЕННОГО ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА  
НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЕДОВОГО РЕЖИМА РЕК  
БАСЕЙНА СЕВЕРНОЙ ДВИНЫВладимир Алексеевич Лобанов<sup>1</sup>, Наталья Ивановна Горошкова<sup>2</sup>, Анастасия Владимировна Стриженок<sup>3</sup>,  
Дарья Артемиевна Семенова<sup>4</sup><sup>1</sup> Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия<sup>2,3,4</sup> Государственный гидрологический институт, г. Санкт-Петербург, Россия<sup>1</sup> va\_lobanov56@mail.ru, Scopus Author ID: 0009-0007-0094-2865, РИНЦ Author ID: 58204<sup>2</sup> goroshnat@yandex.ru<sup>3</sup> anastasiastrizenok@mail.ru<sup>4</sup> Darya.dsa@yandex.ru

**Аннотация.** Основную опасность на реках Северо-Западного Федерального округа, в котором расположен бассейн Северной Двины, представляют мощные заторы льда, высшие уровни которых одновременно являются и максимальными годовыми. Многолетние ряды характеристик ледового режима на исследуемых реках – даты начала, окончания, продолжительность ледостава, максимальная толщина льда, наивысшие уровни воды начала ледостава и периода ледохода – аппроксимируются моделями нестационарного среднего с целью выявления влияния современного изменения климата. Разработана методика оценки эффективности и устойчивости параметров моделей нестационарного среднего. Установлено, что продолжительность ледостава в среднем уменьшилась на 17 дней, дата начала ледостава наблюдается позже на 12 дней, а окончания – раньше на 5 дней. Максимальная толщина льда на реках уменьшилась на 9 см, максимальные уровни ледохода в среднем снизились на 71 см, а уровни начала ледостава практически не изменились. Суммы отрицательных температур зимнего периода как основного фактора, обуславливающего максимальные толщины льда и продолжительность ледостава, на метеостанциях бассейна Северной Двины уменьшились в среднем на 320 °С, или на 21 %. На юго-западе территории это уменьшение произошло еще в конце 1980-х гг. из-за усиления зимнего индекса САК, а на остальной части в начале XXI в. из-за начавшегося потепления Арктики. При этом в нескольких пунктах изменения превышают естественную изменчивость.

Влияние изменения климата на характеристики ледовых явлений происходит с запаздыванием и возможным искажением ввиду инерционности криосферных процессов. Этот период запаздывания зависит от локальных особенностей створа и участка русла реки. Поэтому годы, когда эти изменения скажутся на характеристиках ледового режима в разных пунктах наблюдений, могут отличаться.

**Ключевые слова:** ледовые явления, уровни воды, бассейн Северной Двины, методика оценки долгопериодных изменений

**Для цитирования:** Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженок А.В., Семенова Д.А. Оценка влияния современного изменения климата на характеристики ледового режима рек бассейна Северной Двины // Географический вестник=Geographical bulletin. 2025. № 2 (73). С. 81–93. doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-81-93. EDN: HVJXDS



## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженок А.В., Семенова Д.А.

## HYDROLOGY

Original article

doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-81-93

EDN: HVJXDS

ASSESSMENT OF THE MODERN CLIMATE CHANGE IMPACT  
ON THE ICE REGIME CHARACTERISTICS ON THE RIVERS IN THE NORTHERN DVINA BASINVladimir A. Lobanov<sup>1</sup>, Natalia I. Goroshkova<sup>2</sup>, Anastasia V. Strizhenok<sup>3</sup>, Daria A. Semenova<sup>4</sup><sup>1</sup> Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia<sup>2, 3, 4</sup> State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia<sup>1</sup> va\_lobanov56@mail.ru, Scopus Author ID: 0009-0007-0094-2865, RSCI Author ID: 58204<sup>2</sup> goroshnat@yandex.ru<sup>3</sup> anastasiastrizhenok@mail.ru<sup>4</sup> Darya.dsa@yandex.ru

**Abstract.** The main danger on the rivers of the Northwestern Federal District, in which the Northern Dvina River basin is located, is posed by powerful ice jams, the highest levels of which are also the maximum annual levels. Long-term series of characteristics of the ice regime on the rivers of the Northern Dvina basin – the dates of the beginning and end of the freeze-up period, its duration, maximum ice thickness, the highest water levels at the beginning of ice formation and during the period of ice drift – are approximated by models of a non-stationary mean in order to identify the impact of modern climate change. In the course of the study was developed a methodology for evaluating the effectiveness and stability of the parameters of non-stationary mean models. It has been found that over the observation period the freeze-up duration decreased by 17 days on average, the date of the beginning of the freeze-up period started to be observed 12 days later, and the date of its end – 5 days earlier. The maximum ice thickness on the rivers decreased by 9 cm, the maximum levels of ice drift decreased by 71 cm on average, while the levels of the beginning of ice formation practically have not changed. The sums of negative temperatures in the winter period, as the main factor determining the maximum thickness of ice and the duration of the freeze-up, decreased at meteorological stations in the Northern Dvina River basin by an average of 320 °C, or by 21%. In the southwest of the territory, this decrease occurred back in the late 1980s due to the strengthening of the winter NAO index, and in the rest of the territory – in the early 21st century due to the beginning of the warming in the Arctic. The changes exceed the natural variability in several points.

The impact of climate change on the characteristics of ice phenomena occurs with a delay and possible distortion due to the inertia of cryospheric processes. This delay period depends on the local characteristics of the observation section and the section along the river bed. Therefore, the years when these changes will affect the ice regime characteristics at different observation points may differ.

**Keywords:** ice phenomena, water levels, Northern Dvina basin, methodology for assessing long-period changes

**For citation:** Lobanov, V.A., Goroshkova, N.I., Strizhenok, A.V., Semenova, D.A. (2025). Assessment of the modern climate change impact on the ice regime characteristics on the rivers in the Northern Dvina basin. *Geographical Bulletin*. No. 2(73). Pp. 81–93. doi: 10.17072/2079-7877-2025-2-81-93. EDN: HVJXDS

## Введение

Современные изменения климата оказывают влияние на характеристики криосферы, к которым относится ледовый режим рек [12, 17–18].

Основную опасность в рассматриваемом районе представляют мощные заторы льда, высшие уровни которых одновременно являются и максимальными годовыми. Происходящее при заторе затопление пойм, расположенных на них населенных пунктов и объектов инфраструктуры приводит к большим материальным ущербам. Исследованию характеристик ледовых явлений на реках севера ЕТР, влиянию на них изменений климата и методам их прогнозов посвящены многочисленные работы российских ученых [2–3, 13, 24, 28]. Однако эта проблема актуальна и сейчас, поскольку увеличение продолжительности гидрометеорологических наблюдений, привлечение большего количества створов на реках бассейна Северной Двины, имеющих особенности в формировании ледовых явлений, а также учет продолжающихся изменений климата, позволяют уточнять степень влияния обуславливающих их факторов.

Опасными и лимитирующими гидрологическими характеристиками, влияющими на водоснабжение, сроки навигации, функционирование зимников и другие виды хозяйственной деятельности, являются также даты начала, окончания, продолжительность ледостава и наибольшая толщина льда.

Влияние современного изменения климата на разные группы опасных явлений может быть разным. Высшие уровни в большей степени зависят от местных, или локальных, факторов (особенности пропускной способ-

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

ности русла на участке и в створе, кинематические свойства потока и т.д.), чем от более инерционных, климатических. Это проявляется и в более высоких коэффициентах вариации, асимметрии эмпирических распределений максимальных расходов и уровней воды по сравнению, например, со среднегодовыми и среднемесячными аналогичными характеристиками. Как следует из национальных оценочных докладов об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации, существенные изменения наблюдаются в характеристиках минимального и годового стока, а в максимальных отсутствуют [9].

Влияние изменения климата на характеристики ледовых явлений происходит с запаздыванием и возможным искажением ввиду инерционности криосферных процессов. Этот период запаздывания зависит от локальных особенностей створа и участка русла реки. Поэтому годы, когда эти изменения скажутся на характеристиках ледового режима в разных пунктах наблюдений, могут отличаться.

Если рассматривать общую концепцию совместного влияния зональных и азональных факторов, то на максимальные уровни воды оказывают преимущественное влияние азональные факторы, а на характеристики ледового режима имеет место влияние как зональных (климатических), так и азональных факторов.

Еще одна особенность изменений в гидрологических характеристиках – это ступенчатый или резкий переход от одних стационарных условий к другим, что наглядно иллюстрируется в [17–18]. Поэтому помимо наиболее распространенных в настоящее время моделей трендов при аппроксимации временных рядов следует применять и модель ступенчатых изменений.

## Исходные данные

В данном исследовании рассматривалось 20 пунктов наблюдений на реках бассейна Северной Двины с различными площадями водосборов и периодами наблюдений. Схема размещения пунктов наблюдений с кодами ГВК приведена на рис. 1.



Рис. 1. Расположение пунктов наблюдений за характеристиками ледового режима на реках бассейна Северной Двины

Fig. 1. Location of observation points on the rivers of the Northern Dvina basin

Основные характеристики пунктов и водосборов ( $\varphi$ ,  $\lambda$  – широта и долгота пункта в градусах;  $F$  – площадь водосбора в км<sup>2</sup>;  $L_{уст.}$ , в км – расстояние пункта от устья реки), а также периоды и продолжительности наблюдений ( $n$  в годах) приведены в табл. 1.

Как следует из данных табл. 1, площади водосборов варьируются в очень широких пределах – от 179 до 285 000 км<sup>2</sup>. Только 6 пунктов находятся на р. Северная Двина, а 14 – на ее притоках. Периоды наблюдений практически одинаковы. При небольшом различии года начала наблюдений последний год во всех пунктах – 2020. В качестве максимальных уровней воды рассматривались: высшие уровни весеннего ледохода ( $H_{лhx}$  в см над «0» поста) и высшие уровни начала ледостава ( $H_{лдет}$  в см над «0» поста), под которыми понимались высшие уровни, наблюдающиеся в течение одной-двух недель после образования ледостава. Во второй группе «медленных инерционных» характеристик были выбраны такие характеристики ледового режима, как максимальная толщина льда ( $h_{max}$  в см), даты начала ( $T_{нач}$  в днях от начала года), окончания ( $T_{кон}$  в днях от начала года) и продолжительность ледостава ( $T_{лед}$  в днях) за период с начала наблюдений по 2020 г.

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

Таблица 1

Table 1

Характеристики пунктов и периодов наблюдений  
Characteristics of observation points and periods

Код	Пост	φ	λ	F	L <sub>уст</sub>	Период наблюдений	n
70061	Северная Двина – г. Котлас	61,15	46,37	88300	663	1950–2020	71
70066	Северная Двина – д. Абрамково	62,05	45,07	220000	520	1950–2020	71
70067	Северная Двина – с. Нижняя Тойма	62,22	44,16	227000	455	1949–2020	72
70069	Северная Двина – д. Сидоровская	62,43	43,18	236000	380	1950–2020	71
70070	Северная Двина – р.п. Березник	62,52	42,43	278000	346	1949–2020	72
70072	Северная Двина – д. Звоз	63,17	42,04	285000	279	1949–2020	72
70091	Сухона – г. Тотма	59,58	42,46	34800	277	1950–2020	71
70098	Сухона – д. Каликино	60,41	45,5	49200	38	1950–2020	71
70101	Сухона – г. Великий Устюг	60,46	46,17	50300	36	1950–2020	71
70129	Ема – д. Новое	59,07	39,4	179	19	1950–2020	71
70152	Юг – с. Кичменский городок	59,59	45,49	8890	244	1950–2020	71
70182	Вычегда – с. Сторожевск	61,93	52,33	38200	558	1950–2020	71
70184	Вычегда – г. Сыктывкар	61,43	50,49	6690	424	1950–2020	71
70203	Вычегда – г. Сольвычегодск	61,2	46,56	120000	23	1950–2020	71
70275	Вага – д. Филиевская	61,07	42,11	13200	355	1950–2020	71
70281	Вага – г. Шенкурск	62,06	42,54	38400	158	1950–2020	71
70284	Вага – с. Усть-Сюма	62,3	42,49	43900	57	1956–2020	65
70331	Пинега – д. Засурье	63,35	45,35	17100	402	1950–2020	71
70332	Пинега – с. Усть-Покшеньга	64,01	44,15	31300	277	1950–2020	71
70334	Пинега – с. Кулогоры	64,42	43,25	36700	129	1950–2020	71

## Методика исследований

Методика оценки долгопериодных изменений в многолетних временных рядах включала в себя:

- расчет коэффициента корреляции зависимости характеристики ледового режима со временем (R) и оценка его статистической значимости [14];

- определение года наиболее существенного изменения среднего значения [19], расчет средних значений за выбранные квазистационарные периоды до (ср1) и после (ср2) этого года, причем год перехода от одних однородных условий к другим определяется итерациями методом «расширяющегося окна» при достижении минимального значения сумм квадратов отклонений двух частей временного ряда:

$$\sigma_1^2(n_1-1) + \sigma_2^2(n_2-1) = \min, \quad (1)$$

где  $n_1, n_2$  – объемы каждой из двух частей временного ряда;  $\sigma_1^2, \sigma_2^2$  – дисперсии этих частей ряда, при этом задается минимальный объем первой части ряда, например  $n_1=10$ , при котором  $n_2 = n - n_1$  и затем последовательно нужно увеличивать  $n_1$  до  $m = n - 10$ , при котором  $n_2=10$ , т.е.  $n_1=11, 12, \dots, m$ ;

- оценка стационарности двух средних значений (ср1 и ср2) по статистическому критерию Стьюдента [22];

- вычисление разности двух средних, которая характеризует изменение характеристики ледового режима ( $\Delta$ ) за последние 70 лет;

- расчет среднего квадратического отклонения (СКО), характеризующего естественную изменчивость ( $\sigma$ ) и определение изменений в долях СКО как  $\Delta/\sigma$ .

Результаты оценки изменений  $T_{\text{нач}}$ ,  $T_{\text{кон}}$ ,  $T_{\text{пр}}$  по каждому створу и в среднем для всех постов приведены в табл. 2, в которой жирным шрифтом выделены статистически значимые коэффициенты R и случаи, когда установленное изменение средних ( $\Delta$ ) превышает естественную изменчивость:  $\Delta/\sigma > 1$ . Из данных табл. 2 следует, что наибольшие изменения имеют место в  $T_{\text{пр}}$ , которая уменьшилась в среднем на 17 дней (минимально на 8 и максимально на 26 дней).

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

При этом практически все коэффициенты  $R$  статистически значимы (исключение составляет пункт 70184 р. Вычегда – г. Сыктывкар, где велико влияние антропогенного фактора) при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ , как и по критерию Стьюдента, когда имеет место статистически значимое отличие двух средних значений –  $sr1$  и  $sr2$ . Также в половине случаев установленные уменьшения периода ледостава превышают естественную изменчивость и в среднем по всем пунктам практически равны ей при  $\Delta/\sigma = 0,95$ . Уменьшение периода ледостава обусловлено тем, что даты начала ледостава наблюдаются позже, а даты окончания – раньше, чем в годы до начала климатических изменений. Причем более существенно изменились даты начала ледостава, которые в среднем на реках теперь отмечаются на 12 дней позже (при изменении от 5 до 21 дней), что связано с более продолжительным периодом положительных осенних температур [23].

Окончание ледостава наступает раньше в среднем примерно на 5 дней (чаще на 2 дня и только в створе р. Пинега – с. Усть-Покшенга на 10 дней).

Таблица 2

Table 2

Показатели изменения дат начала ( $T_{нач}$ ), окончания ( $T_{кон}$ ) продолжительности ( $T_{пр}$ ) ледостава на реках бассейна Северной Двины  
Indicators of changes in the dates of the beginning ( $T_{нач}$ ) and end ( $T_{кон}$ ) of the freeze-up period and its duration ( $T_{пр}$ ) on the rivers of the Northern Dvina basin

Код поста	$T_{нач}$				$T_{кон}$				$T_{пр}$			
	$R$	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$	$R$	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$	$R$	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$
70061	<b>0,24</b>	8	16,1	0,50	-0,15	2	6,78	0,74	<b>-0,27</b>	10	17,9	0,56
70066	<b>0,31</b>	12	13,6	0,88	<b>-0,27</b>	4	6,96	0,57	<b>-0,37</b>	17	16,1	<b>1,06</b>
70067	<b>0,28</b>	11	13,1	0,84	-0,20	2	7,19	0,28	<b>-0,32</b>	13	15,0	0,87
70069	<b>0,29</b>	11	13,1	0,84	<b>-0,27</b>	4	7,30	0,55	<b>-0,37</b>	15	15,3	0,98
70070	<b>0,27</b>	10	13,7	0,73	<b>-0,24</b>	2	7,28	0,27	<b>-0,32</b>	12	15,7	0,76
70072	<b>0,30</b>	11	13,4	0,82	-0,18	3	7,89	0,38	<b>-0,33</b>	14	15,1	0,93
70091	<b>0,36</b>	21	20,6	<b>1,02</b>	-0,23	4	7,61	0,52	<b>-0,38</b>	25	22,6	<b>1,11</b>
70098	<b>0,44</b>	18	19,0	0,95	<b>-0,27</b>	3	8,06	0,37	<b>-0,47</b>	21	21,0	<b>1,00</b>
70101	<b>0,40</b>	20	17,8	<b>1,12</b>	<b>-0,30</b>	6	6,96	0,86	<b>-0,45</b>	26	20,2	<b>1,29</b>
70129	0,22	11	15,3	0,72	-0,16	5	8,96	0,56	<b>-0,24</b>	16	20,1	0,80
70152	<b>0,31</b>	14	14,8	0,95	-0,23	5	9,09	0,55	<b>-0,38</b>	19	17,1	<b>1,11</b>
70182	<b>0,39</b>	13	12,0	<b>1,08</b>	<b>-0,29</b>	7	9,25	0,76	<b>-0,47</b>	20	15,4	<b>1,30</b>
70184	0,08	5	11,4	0,44	-0,17	3	8,39	0,36	-0,18	8	14,2	0,56
70203	0,20	7	14,1	0,50	<b>-0,28</b>	8	10,8	0,74	<b>-0,28</b>	15	19,0	0,79
70275	<b>0,30</b>	13	16,6	0,78	<b>-0,34</b>	6	7,42	0,81	<b>-0,36</b>	19	19,6	0,97
70281	0,13	9	14,4	0,62	<b>-0,29</b>	4	7,44	0,54	<b>-0,23</b>	13	16,7	0,78
70284	<b>0,31</b>	14	17,3	0,81	<b>-0,34</b>	4	7,22	0,55	<b>-0,39</b>	18	20,2	0,89
70331	<b>0,34</b>	14	15,4	0,91	<b>-0,35</b>	6	9,23	0,65	<b>-0,45</b>	20	17,9	<b>1,12</b>
70332	<b>0,35</b>	11	13,5	0,81	<b>-0,45</b>	10	9,23	<b>1,08</b>	<b>-0,49</b>	21	17,1	<b>1,17</b>
70334	<b>0,36</b>	12	14,3	0,84	<b>-0,24</b>	5	10,6	0,47	<b>-0,43</b>	17	16,6	<b>1,02</b>
Среднее	<b>0,29</b>	12	15,0	0,81	<b>-0,26</b>		8,18	0,58	<b>-0,36</b>	17	17,6	0,95

На рисунках 2 и 3 приведены графики нестационарных временных рядов дат начала ледостава (в днях от начала года) и продолжительности периода ледостава (в днях) для трех створов: р. Северная Двина – с. Сидоровская, р. Северная Двина – с. Звоз, р. Сухона – г. Тотьма. Модели ступенчатых изменений во всех случаях эффективнее, чем модели линейного тренда, и год перехода от одних стационарных условий к другим обычно относится к началу 2000-х гг. для  $T_{нач}$  и  $T_{пер}$ .

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

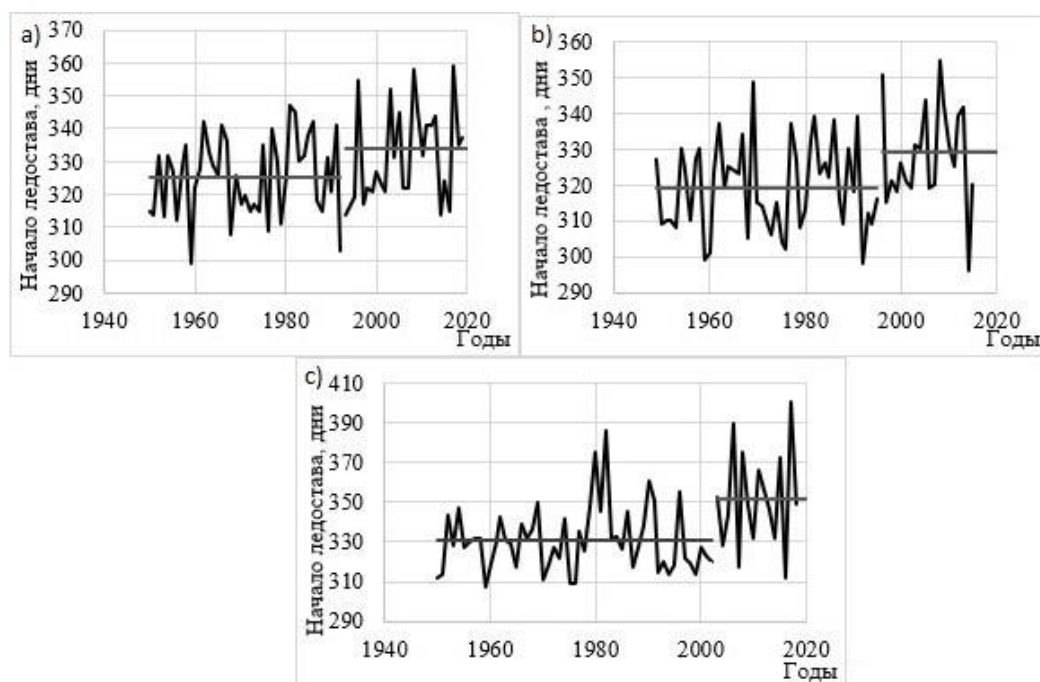


Рис. 2. Графики нестационарных временных рядов дат начала ледостава (в днях от начала года) для трех створов на реках: а) Северная Двина – с. Сидоровская, б) Северная Двина – с. Звоз, в) Сухона – г. Тотма  
 Fig. 2. Graphs of non-stationary time series of dates of the beginning of the freeze-up period (in days from the beginning of the year) for three sections on the rivers: a) Severnaya Dvina –Sidorovskaya village, b) Severnaya Dvina –Zvoz village, c) Sukhona – Totma town

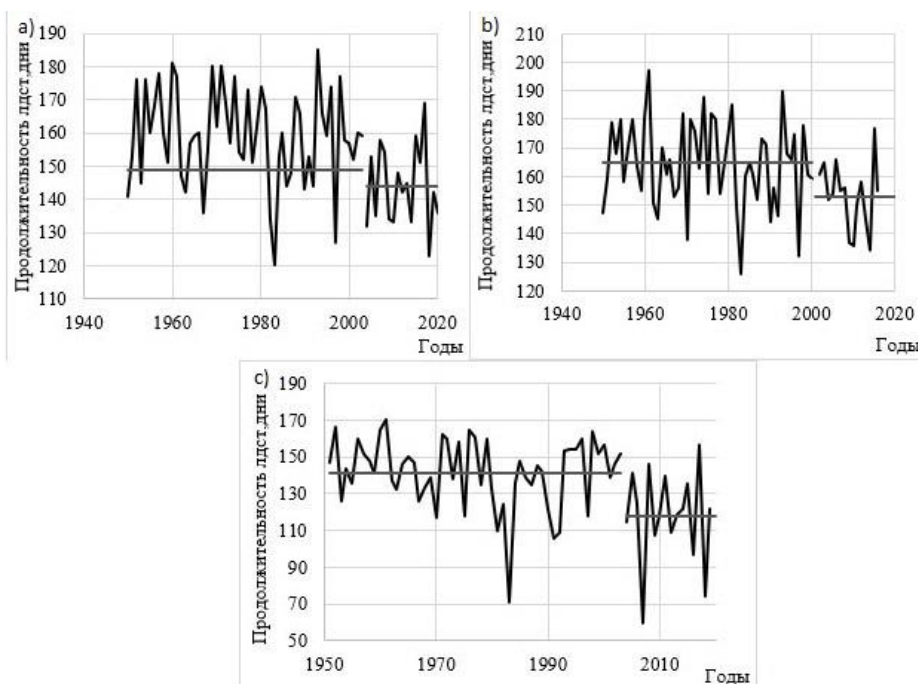


Рис. 3. Графики нестационарных временных рядов продолжительности периода ледостава (в днях) для трех створов на реках: а) Северная Двина – с. Сидоровская, б) Северная Двина – с. Звоз, в) Сухона – г. Тотма  
 Fig. 3. Graphs of non-stationary time series of the duration of the freeze-up period (in days) for three sections on the rivers: a) Severnaya Dvina –Sidorovskaya village, b) Severnaya Dvina –Zvoz village, c) Sukhona –Totma town

В табл. 3 приведены полученные показатели изменений максимальной толщины льда и максимальных уровней в начале ледостава и при ледоходе. Как следует из табл. 3, наиболее существенно уменьшилась максимальная толщина льда, и в среднем это уменьшение составило 9 см, но при изменении значений от 0 до 20 см.

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

Таблица 3

Table 3

Показатели изменения максимальных уровней в начале ледостава ( $H_{\text{лост}}$ ), при ледоходе ( $H_{\text{лх}}$ ) и наибольшей толщины льда ( $h_{\text{max}}$ ) на реках бассейна Северной Двины  
 Indicators of changes in maximum levels at the beginning of the freeze-up period ( $H_{\text{лост}}$ ), during ice drift ( $H_{\text{лх}}$ ), and the greatest ice thickness ( $h_{\text{max}}$ ) on the rivers of the Northern Dvina basin

Код поста	$H_{\text{лост}}$ (см)				$H_{\text{лх}}$ (см)				$h_{\text{max}}$ (см)			
	R	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$	R	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$	R	$\Delta$	$\sigma$	$\Delta/\sigma$
70061	-0,09	-8	62,4	0,13	<b>-0,42</b>	-146	105	<b>1,39</b>	<b>-0,35</b>	-12	10,8	<b>1,11</b>
70066	-0,07	-22	58,0	0,38	-0,10	-78	118	0,66	-0,08	-2	11,3	0,18
70067	-0,09	-27	75,0	0,36	<b>-0,24</b>	-98	134	0,73	0,02	0	10,8	0
70069	-0,09	-36	85,4	0,42	-0,03	-52	142	0,37	0,01	0	15,4	0
70070	0,15	+56	114	0,49	-0,12	-83	166	0,50	<b>-0,25</b>	-12	12,3	0,98
70072	0,11	+20	135	0,15	-0,12	-81	188	0,43	<b>-0,52</b>	-16	11,5	<b>1,39</b>
70091	-0,12	-9	64,5	0,14	<b>-0,27</b>	-136	120	<b>1,13</b>	<b>-0,54</b>	-14	10,9	<b>1,28</b>
70098	0,07	+20	123	0,16	-0,05	0	174	0	<b>-0,39</b>	-15	16,0	0,94
70101	0,07	+8	92,6	0,09	-0,11	-14	155	0,09	<b>-0,63</b>	-20	14,8	<b>1,35</b>
70129	0,13	+5	23,2	0,22	-0,15	-33	43,9	0,75	0,02	0	10,5	0
70152	0,14	+21	46,6	0,45	<b>-0,33</b>	-146	126	<b>1,16</b>	<b>-0,41</b>	-8	8,8	0,91
70182	<b>0,45</b>	+44	41,1	<b>1,07</b>	0,22	+37	70,5	0,52	-0,11	0	10,8	0
70184	<b>-0,39</b>	-62	65,6	0,94	-0,16	-33	84,4	0,39	—	—	—	—
70203	<b>-0,31</b>	-70	75,2	0,93	-0,18	-66	108	0,61	—	—	—	—
70275	-0,12	-31	62,9	0,49	<b>-0,32</b>	-93	126	0,74	<b>-0,44</b>	-9	10,2	0,88
70281	-0,16	-23	59,0	0,39	<b>-0,34</b>	-116	122	0,95	<b>-0,64</b>	-19	13,5	<b>1,41</b>
70284	-0,05	-16	63,9	0,25	-0,17	-94	131	0,72	<b>-0,41</b>	-19	10,4	<b>1,83</b>
70331	-0,08	-5	33,4	0,15	-0,18	-62	86,7	0,72	<b>-0,40</b>	-13	8,7	<b>1,49</b>
70332	-0,03	-10	45,2	0,22	<b>-0,33</b>	-114	113	<b>1,01</b>	<b>-0,32</b>	-11	10,0	<b>1,10</b>
70334	0,05	0	37,4	0	-0,18	-16	104	0,15	0,21	0	9,4	0
Среднее	-0,02	-7	68,2	0,37	-0,18	-71	121	0,65	-0,29	-9	11,4	0,82

Наиболее значительные уменьшения толщины льда, превышающие естественную изменчивость, имеют место в пунктах на р. Сухоне (70091, 70098, 70101), р. Ваге (70281, 70284) и р. Пинеге (70331, 70332, 70334) (рис. 4). Как следует из результатов анализа изменений сумм отрицательных температур (табл. 4), самое существенное влияние изменений климата отмечается в южной части бассейна Северной Двины, а именно на реках бассейна р. Сухоны, хотя это влияние сказывается, но в менее интенсивной форме, и в более северных частях бассейна.

Поскольку для всех рассматриваемых речных створов характерны заторы льда, высшие уровни которых часто бывают и высшими годовыми, для их снижения проводятся предупредительные мероприятия, в число которых входит, например, зачернение ледяного покрова. Оно применяется в местах потенциально возможного заторообразования, где задержка вскрытия происходит вследствие увеличения толщины и прочности ледяного покрова [3].

Более кардинально борьба с заторами осуществляется в местах, где их формирование угрожает затоплением обширных территорий, большими материальными потерями, например в г. Великий Устюг затор ликвидируют подрывом его головной части, располагающейся ниже по течению р. Сухоны.

Наименьшие изменения имеют место в значениях наибольших уровней воды начала ледостава, которые в среднем составляют только 1/3 от естественной изменчивости, и только в одном случае (пункт 70182 р. Вычегда – Сторожевск) эти изменения превышают естественную изменчивость (табл. 3). При этом в одних случаях уровень растет, в других понижается, что вряд ли связано с влиянием изменения климата. Эта характеристика зависит от продолжительности периода от начала ледовых явлений до образования ледостава, ему могут предшествовать шугоходы. Шуга заполняет русло реки, уровень воды перед началом ледостава повышается [4]. Вместе с тем увеличение периода предзимья приводит к удлинению времени формирования устойчивого ледостава и повышению уровней воды в реках за счет осенних осадков и талой воды, образующейся во время оттепелей, которые в период происходящих климатических изменений участились [7, 19]. Этому же способствуют полыньи, образующиеся в местах выпусков промышленных и бытовых стоков.

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

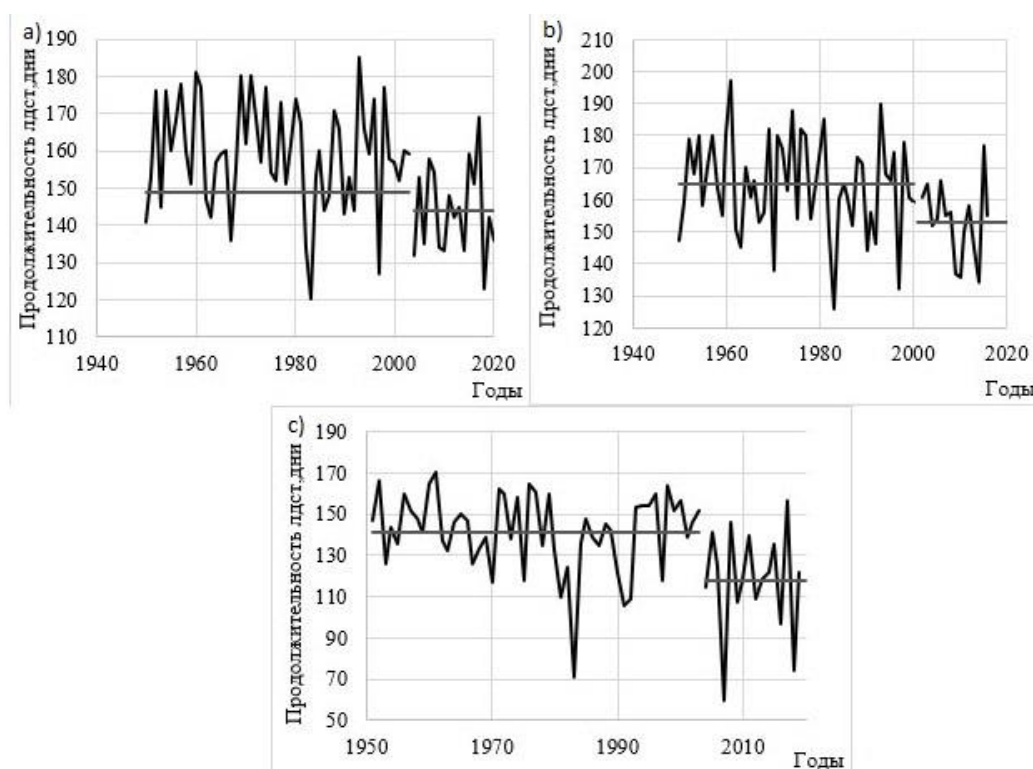


Рис. 4. Графики нестационарных временных рядов максимальной толщины льда на реках:

а) Северная Двина – с. Звоз, б) Пинега – с. Усть – Покшеньга, в) Сухона – г. Тотма

Fig.4. Graphs of non-stationary time series of maximum ice thickness on the rivers:

a) Severnaya Dvina – Zvoz village, b) Pinega – Ust-Pokshenga village, c) Sukhona – Totma town

Анализ данных по характеристикам ледовых явлений на реках бассейна Северной Двины, приведенный в [10], показывает, что заторы и после начала климатических изменений отмечаются достаточно часто. Годы, когда их максимальные уровни являются и максимальными годовыми, наблюдались, например, в створе р. Вага – г. Шенкурск в 2005, 2008, 2009, 2013 гг. Хотя в целом значения их максимальных уровней несколько снижаются.

Наивысшие уровни ледохода практически во всех случаях уменьшаются, что обусловлено как уменьшением толщины льда, так и расходов весеннего половодья. В среднем это уменьшение составляет 71 см при очень большой вариации – от 14 до 146 см.

Причем превышение естественной изменчивости имеет место только на 4-х постах: 70061 р. Северная Двина – г. Котлас, 70091 р. Сухона – г. Тотма, 70152 р. Юг – п. Кичменский Городок и 70332 р. Пинега – с. Усть-Покшеньга.

Для пункта 70061 р. Северная Двина – г. Котлас приоритетным является антропогенное влияние [7].

Для пунктов 70091 р. Сухона – г. Тотма, 70152 р. Юг – п. Кичменский Городок этот фактор связан с более значительным влиянием изменений климата, как отмечалось выше, приводящим к уменьшению снеготазов в период их формирования [7].

Таким образом, наиболее существенные изменения, превышающие естественную изменчивость, имеют место в продолжительности периода ледостава и в наибольшей толщине льда. Основным метеорологическим фактором для двух этих характеристик можно считать сумму отрицательных температур воздуха за холодный период года [8, 15]. Для количественной оценки климатических изменений в сумме отрицательных зимних температур ( $\Sigma T_z$ ) был проведен анализ их многолетних рядов на 13 метеостанциях, расположенных на водосборе Северной Двины за период 1949–2024 гг. Основные результаты анализа приведены в табл. 4, где  $R$  – коэффициент корреляции модели линейного тренда;  $T_{ст}$  – год наиболее существенного изменения среднего значения,  $cp1$ ,  $cp2$ ;  $\Delta$  – суммы отрицательных температур за два временного ряда до и после  $T_{ст}$  и разность между ними в  $^{\circ}C$ .



## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

Таблица 4

Table 4

Показатели изменения сумм отрицательных температур (в °C) на метеостанциях в бассейне Северной Двины  
 Indicators of changes in the sum of negative temperatures (in °C) at weather stations in the Northern Dvina basin

№п/п	Название	R	T <sub>ст</sub>	cp1	cp2	Δ	Δ/СКО
1	Мезень	<b>-0,40</b>	2004	1703	1343	360	<b>1,12</b>
2	Архангельск	<b>-0,38</b>	2004	1447	1150	297	0,90
3	Пинега	<b>-0,37</b>	2014	1371	985	386	<b>1,17</b>
4	Щенкурск	<b>-0,37</b>	2014	1372	985	387	<b>1,17</b>
5	Верх.Тойма	<b>-0,41</b>	2004	1545	1227	318	0,97
6	Котлас	<b>-0,42</b>	2014	1440	1050	390	<b>1,21</b>
7	Сыктывкар	<b>-0,45</b>	2004	1653	1325	328	<b>1,02</b>
8	Тотьма	<b>-0,46</b>	1989	1368	1084	284	0,90
9	Никольск	<b>-0,47</b>	1989	1439	1152	287	0,90
10	Великий Устюг	<b>-0,48</b>	1989	1514	1237	277	0,87
11	Ухта	<b>-0,35</b>	2004	1969	1666	303	0,95
12	Вендинга	<b>-0,40</b>	2004	1820	1567	253	0,84
13	Каргополь	<b>-0,43</b>	1989	1371	1070	301	0,95

Как следует из табл. 4, все коэффициенты корреляции линейных трендов являются статистически значимыми при уровне значимости  $\alpha = 5\%$ , годы наиболее существенного изменения среднего группируются около двух основных лет: 1989 г. и в начале XXI в. (2004 и 2014 гг.). Изменение  $\Delta$  по отношению к СКО или приближается к 1, или превышает ее. Пространственные закономерности R и T<sub>ст</sub> показаны на рис. 5, из которых следует, что уменьшение сумм зимних температур раньше произошло на юго-западе бассейна Северной Двины (1989 г.), а затем уже в северной и восточной частях (2004 и 2014 гг.). Поэтому основные изменения в продолжительности ледостава и максимальной толщине льда, как было отмечено ранее, также произошли в начале XXI в. Коэффициент корреляции линейного тренда на станциях южной части выше, потому что эти изменения длятся дольше. Как показано в работе [20], причиной увеличения зимних температур является резкое усиление индекса САК в конце 1980-х гг., которое в большей степени сказалось в южной части. Северная же часть бассейна Северной Двины находится под влиянием арктических воздушных масс, и потепление Арктики проявилось только в начале XXI в. [21].

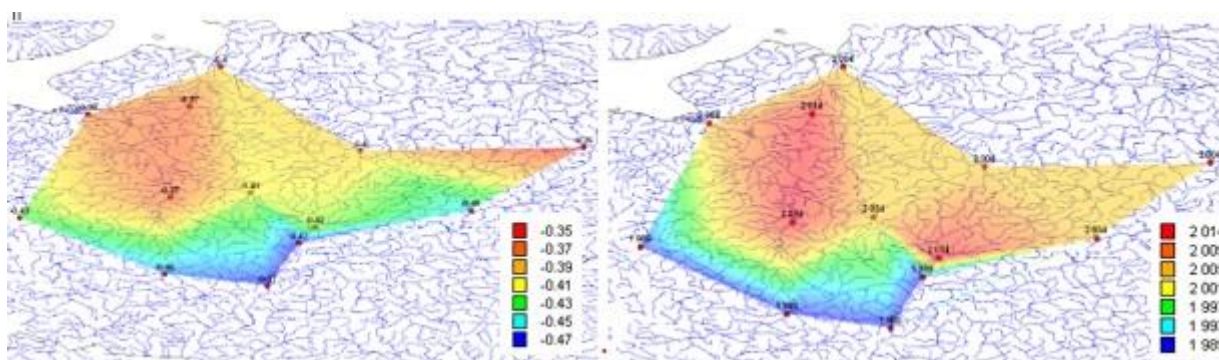


Рис. 5. Пространственные распределения коэффициентов корреляции модели линейного тренда (R, слева) и лет наиболее существенного изменения средних значений сумм отрицательных температур (T<sub>ст</sub>, справа)

Fig. 5. Spatial distributions of the correlation coefficients of the linear trend model (R, left) and the years of the most significant change in the average values of the sums of negative temperatures (T<sub>st</sub>, right)

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

Примеры графиков нестационарных временных рядов сумм отрицательных температур приведены на рис. 6.

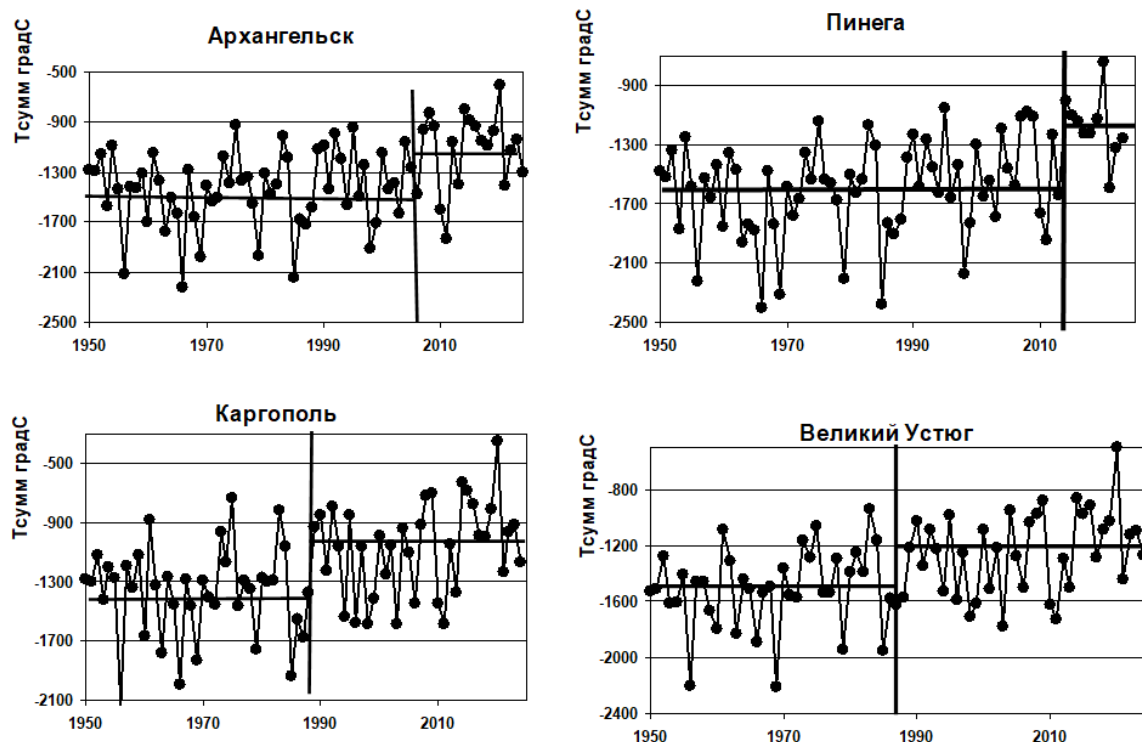


Рис. 6. Графики нестационарных временных рядов сумм зимних отрицательных температур воздуха на метеостанциях бассейна Северной Двины

Fig. 6. Graphs of non-stationary time series of sums of winter negative air temperatures at meteorological stations of the Northern Dvina basin

## Заключение

Выполненные детальные исследования оценки проявления влияния современного изменения климата на многолетние ряды характеристик ледового режима на реках бассейна Северной Двины позволяют сделать следующие выводы:

1. Изменение климата по-разному влияет на разные по инерционности гидрологические характеристики. Так, в максимальных уровнях весеннего ледохода и максимальных уровнях начала ледостава изменения практически не проявляются, и многолетние колебания пока еще соответствуют модели стационарной выборки. Для инерционных характеристик, таких как показатели ледового режима рек, влияние изменения климата имеет место, и в большинстве случаев оно статистически значимо;
2. Оценка устойчивости показателей нестационарных моделей во времени позволила установить, что изменения имели место в конце 1990 – начале 2000 гг., и, как правило, эти изменения имели вид не направленного тренда, а ступенчатых переходов от одного стационарного режима к другому;
3. Наибольшие изменения имели место в максимальной толщине льда, и эти изменения в половине случаев превысили стандартное отклонение, связанное с естественной изменчивостью, а уменьшение максимальной толщины льда составило в среднем 9 см, но при достаточно большой вариации – от 0 до 20 см;
4. Наиболее существенно изменились даты начала ледостава, который в среднем на реках бассейна Северной Двины теперь отмечается на 12 дней позже (при вариации от 5 до 21 дня). Окончание ледостава наступает раньше в среднем примерно на 5 дней (при вариации от 2 до 10 дней). Продолжительность ледостава ( $T_{лр}$ ) уменьшается в среднем на 17 дней (при вариации от 8 до 26 дней);
5. Суммы отрицательных температур зимнего периода как основного фактора, обуславливающего максимальные толщины льда и продолжительности ледостава, на метеостанциях бассейна Северной Двины уменьшились в среднем на 320 °С, или на 21 %, причем на юго-западе территории это уменьшение произошло еще в конце 1980-х гг. из-за усиления зимнего индекса САК, а на остальной части – в начале XXI в. века из-за начавшегося потепления Арктики.

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А.

## Библиографический список

1. Борщ С.В., Асарин А.Е., Болгов М.В., Полунин А.Я. Методы оценки последствий изменения климата для физических и биологических систем // Наводнения. М.: Росгидромет, 2012. С. 87–125.
2. Бузин В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В. Максимальные заторные уровни воды северных рек России в условиях изменения климата и антропогенного воздействия на процесс заторообразования // Метеорология и гидрология. 2014. № 12. С. 55–61. EDN: TACMSD
3. Бузин В.А. Зажоры и заторы льда на реках России. СПб, 2015. С. 167–168. ISBN: 978-5-94432-141-1 EDN: QPOYIA
4. Бузин В.А. Факторы образования и прогноз заторов льда на реках севера европейской территории России // Метеорология и гидрология. 2010. № 4. С. 63–74. EDN: MTDETH
5. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. М.: изд-во ИГКЭ, 2015. 1008 с. Обнинск: изд-во ИГКЭ, 2015. 1008 с.
6. Георгиевский В.Ю., Грек Е.А., Марков М.Л., Молчанова Т.Г. Опасные гидрологические явления на реках арктической зоны Российской Федерации // Метеорология и гидрология. 2019. № 4. С. 89–98. EDN: GRJFHU
7. Георгиевский М.В., Горошкова Н.И., Хомякова В.А., Стриженко А.В. Оценка изменений характеристик водного, снежного и ледового режимов в бассейне Малой Северной Двины в современных условиях и их возможные изменения в будущем // Природообустройство. 2021. № 3. С. 117–127. DOI: 10.26897/1997-6011-2021-3-117-127 EDN: XTRCIC
8. Георгиевский Ю.М. Краткосрочные гидрологические прогнозы. Л.: ЛГМИ, 1982. С. 99.
9. Гинзбург Б.М., Солдатова И.И. Многолетняя изменчивость сроков ледовых явлений на реках как индикатор колебаний климата переходных сезонов // Метеорология и гидрология. 1997. № 11. С. 99–107.
10. Горошкова Н.И., Георгиевский Д.В., Стриженко А.В. База данных: «Многолетние данные по характерным уровням и расходам воды, максимальным и минимальным ежемесячным уровням, и максимальной толщине льда реки Северная Двина от г. Котласа до с. Усть-Пинега». 2020 г.
11. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Ожидаемые и наблюдаемые изменения климата России: температура воздуха // Обнинск: ВНИИГМИ. МЦД, 2012. 194 с.
12. Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метеорология и гидрология. 2009. № 9. С. 92–99. EDN: KWCCWB
13. Донченко Р.В. Ледовый режим рек СССР. Л.: Гидрометеониздат, 1987. 247 с.
14. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
15. Калинин В.Г. Оценка пространственно-временной динамики толщины ледяного покрова на реках водосбора Воткинского водохранилища // Географический вестник. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2009. № 1 (9). С. 5–9. EDN: NDARNX
16. Кобышева Н.В., Наровлинский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. Л.: Гидрометеониздат, 1978. 295 с.
17. Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженко А.В., Семенова Д.А. Влияние изменения климата на экстремальные гидрологические характеристики в бассейне р. Печоры // Гидрометеорология и экология. СПб: изд-во РГГМУ Санкт-Петербург, 2022. № 68. С. 435–452. DOI: 10.33933/2713-3001-2022-68-435-452 EDN: EBHEDJ
18. Лобанов В.А., Горошкова Н.И. Характеристики ледового режима рек Саха (Якутия) и их климатические изменения // Ученые записки РГГМУ. 2019. № 55. С. 86–98. DOI: 10.33933/2074-2762-2019-55-86-98 EDN: ULXOAJ
19. Лобанов В.А., Наурызбаева Ж.К. Влияние изменения климата на ледовый режим Северного Каспия // СПб: изд-во РГГМУ, 2021. 140 с.
20. Лобанов В.А., Тоцакова Г.Г. Особенности и причины современных климатических изменений в России // Географический вестник. Пермь: Пермский государственный национальный исследовательский университет, 2016. № 3 (38). С. 79–89.
21. Лобанов В.А., Самсоненкова П.И., Григорьева А.А. Оценка современного потепления Арктики как возможного климатического риска: тезисы Международной конференции и Школы молодых ученых, посвященных памяти Нины Константиновны Кононовой, «Климатические риски и климатическая погода» Иркутск, 14–17 июня 2021 г. Иркутск. С. 45. ISBN: 978-5-9624-1924-4
22. Малинин В.Н. Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб: изд-во РГГМУ, 2008. 408 с. ISBN: 978-5-86813-213-1 EDN: QKIFPF
23. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке // Метеорология и гидрология. 2008. № 6, Ч. 1. С. 5–19. EDN: NXJWBB
24. Нежиховский Р.А., Бузин В.А. Условия образования и прогнозы заторов льда на реках // Метеорология и гидрология. 1977. № 5. С. 70–75.
25. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно-временных колебаний речного стока. Л.: Гидрометеониздат, 1984. 78 с.
26. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеониздат, 1974. 424 с.
27. Свод правил по проектированию и строительству. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.
28. Терский П.Н., Панченко Е.Д., Горин С.Л., Агафонова С.А., Василенко А.Н., Куликова Ж.М., Попрядухин А.А., Алабян А.М. Исследования зимнего режима устьев рек Белого моря в 2017–2020 гг. // Океанология. 2021. Т. 61, № 6. С. 1006–1008. DOI: 10.31857/S0030157421060162 EDN: AEZXYG

## Гидрология

Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженок А.В., Семенова Д.А.

## References

1. Borshch, S.V., Asarin, A.E., Bolgov, M.V., Polunin, A.Ya. (2012), "Methods of assessing the effects of climate change on physical and biological systems", *Floods*, pp. 87-125.
2. Buzin, V.A., Goroshkova, N.I., Strizhenok, A.V. (2014), "Maximum stagnant water levels of the northern rivers of Russia in the context of climate change and anthropogenic impact on the process of flood formation", *Meteorology and hydrology*, No. 12, pp. 55-61.
3. Buzin, V.A. (2015), "Ice jams and congestion on the rivers of Russia", pp. 167-168.
4. Buzin, V.A. (2010), "Factors of formation and forecast of ice congestion on the rivers of the north of the European territory of Russia", *Meteorology and hydrology*, No.4. pp. 63-74.
5. "The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation", 2015. pp.1008.
6. Georgievsky, V.Yu., Grek, E.A., Markov, M.L., Molchanova, T.G. (2019), "Dangerous hydrological phenomena on the rivers of the Arctic zones of the Russian Federation", *Meteorology and hydrology*, No. 4. pp. 89-98.
7. Georgievsky, M.V., Goroshkova, N.I., Khomyakova, V.A., Strizhenok, A.V. (2021), "Assessment of changes in the characteristics of water, snow and ice regimes in the basin of the Small Northern Dvina in modern conditions and their possible changes in the future", *Nature management*, No. 3. pp. 117 – 127.
8. Georgievsky, Yu.M. (1982), "Short-term hydrological forecasts", P. 99.
9. Ginzburg, B.M., Soldatova, I.I., (1997), "Long-term variability of the timing of ice phenomena on rivers as an indicator of climate fluctuations of transitional seasons", *Meteorology and hydrology*, No. 11. pp. 99-107.
10. Goroshkova, N.I., Georgievsky, D.V., Strizhenok, A.V. (2020), Database: "Long-term data on characteristic levels and water consumption, maximum and minimum monthly levels, and maximum ice thickness of the Severnaya Dvina River from Kotlas to S.Ust-Pinega".
11. Gruza, G.V., Rankova, E.Ya. (2012), "Expected and observed climate changes in Russia: air temperature", pp. 194.
12. Gurevich, E. V. (2009), "Influence of air temperature on winter river flow (on the example of the Aldan river basin)", *Meteorology and hydrology*, No. 9. pp. 92-99.
13. Donchenko, R.V. (1987), "Ice regime of the rivers of the USSR", p. 247.
14. Zaks, L. (1976), *Statistical evaluation*, Statistics, Moscow, USSR.
15. Kalinin, V.G. (2009), "Assessment of the spatial and temporal dynamics of the thickness of the ice cover on the rivers of the watershed of the Votkinsk reservoir", *Geographical Bulletin*, No.1 (9). pp. 5-9.
16. Kobysheva, N.V. and Narovlinsky, G.Ya. (1978), *Climatological processing of meteorological information*, Hydrometeoizdat, Leningrad, USSR.
17. Lobanov, V.A., Goroshkova, N.I., Strizhenok, A.V., Semenova, D.A. (2022), "Influence of climate change on extreme hydrological characteristics in the Pechora River basin", *Hydrometeorology and Ecology*, No. 68. pp. 435-452.
18. Lobanov, V. A., Goroshkova, N. I. (2019), "Characteristics of the ice regime of the Sakha (Yakutia) rivers and their climatic changes", *Scientific notes of RGGMU*, No. 55. pp. 86-98.
19. Lobanov, V.A. and Naurozbayeva, Zh.K. (2021), *The influence of climate change on the ice regime of the Northern Caspian Sea*, St. Petersburg, Russia.
20. Lobanov, V.A., Toshchakova, G.G. (2016), "Features and causes of modern climatic changes in Russia", *Geographical Bulletin*, No. 3(38). pp. 79-89.
21. Lobanov, V.A., Samsonenkova, P.I., Grigorieva, A.A. (2021), "Assessment of modern Arctic warming as a possible climate risk", *International Conference and School of Young Scientists dedicated to the memory of Nina Konstantinovna Kononova "Climate risks and climatic weather"*, Irkutsk, Russia, 14-17 June 2021, pp.45.
22. Malinin, V.N. (2008), *Statistical methods of analysis of hydrometeorological information*, publishing house of the Russian State State Medical University, St. Petersburg, Russia, p. 408.
23. Meleshko, V.P., Kattsov, V.M., Mirvis, V.M., Govorkova, V.A., Pavlova, T.V. (2008), "The climate of Russia in the XXI century", *Meteorology and hydrology*, No. 6. pp. 5-19.
24. Nezhikhovskiy, R.A., Buzin, V.A. (1977), "Conditions of formation and forecasts of ice jams on rivers", *Meteorology and hydrology*, No. 5. pp. 70-75.
25. *Recommendations on statistical methods for analyzing the homogeneity of spatial and temporal fluctuations of river flow*, Hydrometeoizdat, Leningrad, USSR, 1984, P. 78.
26. Rozhdestvensky, A.V., Chebotarev, A. I. (1974), *Statistical methods in hydrology*, Hydrometeoizdat, Leningrad, USSR, p. 424.
27. Gosstroy of Russia (2004), *SP 33-101-2003: Code of rules for design and construction. Determination of the main calculated hydrological characteristics*, Moscow, Russia, p. 73.
28. Tersky, P.N., Panchenko, E.D., Gorin, S.L., Agafonova, S.A., Vasilenko, A.N., Kulikova, Zh.M., Popryadukhin, A.A., Alabyan, A.M. (2021), "Studies of the winter regime of the mouths of the rivers of the White Sea in 2017-2020", *Oceanology*, Vol. 61, No. 6, pp. 1006-1008.

Статья поступила в редакцию: 13.05.24, одобрена после рецензирования: 16.12.24, принята к опубликованию: 13.06.25.

The article was submitted: 13 May 2024; approved after review: 16 December 2024; accepted for publication: 13 June 2025.

*Гидрология**Лобанов В.А., Горошкова Н.И., Стриженок А.В., Семенова Д.А.*

## Информация об авторах

**Владимир Алексеевич Лобанов**

доктор технических наук,  
старший научный сотрудник, профессор,  
Российский государственный  
гидрометеорологический университет;  
192007, Россия, г. Санкт-Петербург,  
ул. Воронежская, 79

## Information about the authors

**Vladimir A. Lobanov**

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Professor, Russian State Hydrometeorological  
University;  
79, Voronezhskaya st., St. Petersburg, 192007, Russia

e-mail: va\_lobanov56@mail.ru

**Наталья Ивановна Горошкова**

кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник  
Государственный гидрологический институт;  
199053, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я линия  
В.О., 23

**Natalia I. Goroshkova**

Candidate of Technical Sciences,  
Senior Researcher,  
State Hydrological Institute;  
23, Line 2, Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 199053,  
Russia

e-mail: goroshnat@yandex.ru

**Анастасия Владимировна Стриженок**

научный сотрудник  
Государственный гидрологический институт;  
199053, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я линия  
В.О., 23

**Anastasia V. Strizhenok**

Researcher,  
State Hydrological Institute;  
23, Line 2, Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 199053,  
Russia

e-mail: anastasiastrizhenok@mail.ru

**Дарья Артемиевна Семенова**

младший научный сотрудник  
Государственный гидрологический институт;  
199053, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я линия  
В.О., 23

**Daria A. Semenova**

Junior Researcher,  
State Hydrological Institute;  
23, Line 2, Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 199053,  
Russia

e-mail: Darya.dsa@yandex.ru

**Вклад авторов**

Лобанов В.А. – идея, написание статьи, методика оценки долгопериодных изменений в многолетних временных рядах, построение графиков, рисунки.

Горошкова Н.И. – идея, написание статьи, научное редактирование текста.

Стриженок А.В. – сбор, анализ и обработка материалов, редактирование текста.

Семенова Д.А. – сбор, анализ и обработка материалов, редактирование текста.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:**

Vladimir A. Lobanov – the idea; writing of the article; methodology for assessing long-period changes; construction of graphs, figures.

Natalia I. Goroshkova – the idea; writing of the article; scientific editing of the text.

Anastasia V. Strizhenok – material collection, analysis, and processing; editing of the text.

Daria A. Semenova – material collection, analysis, and processing; editing of the text.

The authors declare no conflict of interest.