

## Оценка вероятности возникновения опасных для судоходства гидрологических явлений на нижней Волге и Дону

М.В. Георгиевский<sup>1</sup>  , Н.И. Горошкова<sup>1</sup> , А.О. Еремеева<sup>1</sup>,  
Г.Л. Гладков<sup>2</sup> , А.В. Стриженок<sup>1</sup> , Д.А. Семенова<sup>1</sup> 

 mgeorgievsky@hotmail.com

<sup>1</sup> ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова», Санкт-Петербург, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** Изложены основные положения методики оценки вероятностей возникновения опасных гидрологических явлений для судоходства на внутренних водных путях. Предложенная методика проста в использовании и имеет хорошие перспективы дальнейшего применения. **Методы.** Оценка возникновения риска прерывания судоходства (навигации) базируется на вероятностном анализе многолетних данных о ежедневных уровнях воды периода открытого русла и продолжительности ледовых явлений, а также тенденций их изменения во времени путем сравнения полученных за последующие временные интервалы значений с предыдущими. **Результаты.** Выполнена ретроспективная оценка вероятности возникновения неблагоприятных условий для навигации в бассейнах нижней Волги и Дона, связанных с изменением характеристик уровенного и ледового режимов. Полученные результаты демонстрируют, что в исследуемых бассейнах в последние десятилетия уменьшается вероятность неблагоприятных гидрологических явлений, связанных с продолжительностью ледостава. Вероятности, обусловленные изменением режима уровней воды в период открытого русла, имеют разнонаправленные тенденции: в бассейне нижней Волги наблюдается период повышенной водности, в бассейне Дона водность понижается.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водный транспорт, навигация, судоходство, оценка вероятности опасных гидрологических явлений, минимальный уровень воды, ледовые явления, р. Волга, р. Дон.

**Для цитирования:** Георгиевский М.В., Горошкова Н.И., Еремеева А.О., Гладков Г.Л., Стриженок А.В., Семенова Д.А. Оценка вероятности возникновения опасных для судоходства гидрологических явлений на нижней Волге и Дону // Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2023. № 6. С. 44–56. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_6\_4.

Дата поступления 26.06.2023.

**ASSESSMENT OF DANGEROUS HYDROLOGICAL EVENTS PROBABILITY  
FOR NAVIGATION ON THE LOWER VOLGA AND DON BASED  
ON WATER LEVELS AND ICE PHENOMENA DATA**

Mikhail V. Georgievsky<sup>1</sup>  , Natalia I. Goroshkova<sup>1</sup> , Anna O. Ereemeeva<sup>1</sup>,  
Gennady L. Gladkov<sup>2</sup> , Anastasia V. Strizhenok<sup>1</sup> , Daria A. Semenova<sup>1</sup> 

 mgeorgievsky@hotmail.com

<sup>1</sup> State Hydrological Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, St. Petersburg, Russia

**ABSTRACT**

**Relevance.** The article outlines the basic principles of a dangerous hydrological events probability assessment methodology for navigation on inland waterways based on water levels and ice events data. The proposed method is easy to use and has good prospects for further application. **Methods.** Assessment of probability of occurrence of the navigation interruption is based on probabilistic analysis of many-year data on daily water level of the open water channel and duration of ice phenomena, as well as on the trends of their changes in time through the comparison of the obtained subsequent values with the corresponding previous values. **Results.** A retrospective assessment of the probability of occurrence of unfavorable conditions for navigation in the Lower Volga and Don basins, associated with changes in the characteristics of water level and ice regimes, has been performed. The obtained results demonstrate that in both studied basins the risks associated with ice events have been decreasing in recent decades. The probabilities associated with a change in the level regime during the open channel period have multidirectional trends: the probability is decreasing in the Lower Volga basin and increasing in the Don basin.

**Keywords:** inland water transport, navigation, assessment of dangerous hydrological events probability, lowest water levels, ice phenomena, Lower Volga, Don

**For citation:** Georgievsky M.V., Goroshkova N.I., Ereemeeva A.O., Gladkov G.L., Strizhenok A.V., Semenova D.A. Assessment of dangerous hydrological events probability for navigation on the Lower Volga and Don based on water levels and ice phenomena data. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023. No. 6. P. 44–56. DOI: 10.35567/19994508\_2023\_6\_4.

Received 26.06.2023.

**ВВЕДЕНИЕ**

Управление рисками является обязательным для любой современной транспортно-логистической цепочки, включая перевозки по внутренним водным путям (ВВП). Внутренний водный транспорт (ВВТ) – важнейший вид транспорта, поскольку позволяет перевозить большие объемы грузов и в сочетании с ценовыми преимуществами более рентабелен по сравнению с железнодорожными или автомобильными перевозками. Однако водный и ледовый режимы на большинстве судоходных российских рек являются одними из основных риск-факторов для навигации [1, 2].

Согласно [3–6], риск определяется как произведение вероятности возникновения негативного события и его последствий:

$$\text{Риск } (R) = \text{Вероятность } (P) \times \text{Последствия } (C). \quad (1)$$

Таким образом, вероятность, наряду с последствиями – одна из двух основных составляющих, определяющих риски. Из этих двух составляющих именно вероятность поддается объективной научно обоснованной оценке. Оценка

последствий применительно к рискам для судоходства на внутренних водных путях – задача субъективная и трудная, прежде всего, из-за отсутствия утвержденной методики.

Согласно «Методическим рекомендациям по оценке климатических рисков», утвержденным 13 мая 2021 г. Приказом Минэкономразвития России № 267, оценка должна включать ретроспективную оценку риска на основе данных за истекший временной период, превышающий 30 лет<sup>1</sup>. При оценке чувствительности (работоспособности) объекта воздействия рекомендуется применять пороговые (критические) значения характеристик климатического воздействия (интенсивности и продолжительности), превышение которых с высокой степенью вероятности (более 90 %) приведет к потере работоспособности (прекращению нормального функционирования) либо ликвидации объекта воздействия.

Представленная в данной статье методика основана на ретроспективном подходе оценки вероятностей возникновения опасных гидрологических явлений. Методика базируется на данных за временной период, превышающий 70 лет. В проведенных исследованиях использованы последние утвержденные значения проектных уровней.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

За исходную информацию взяты данные о ежедневных уровнях воды периода открытого русла и ледовых явлениях в течение зимнего периода с начала 1950-х годов по настоящее время. Для оценки вероятностей, связанных с возникновением опасных гидрологических явлений в бассейне нижней Волги, использовали данные по четырем гидрологическим постам: г. Волгоград, с. Черный Яр, с. Енотаевка и г. Астрахань.

Для анализа характеристик ледовых явлений в бассейне р. Дон использовали данные наблюдений по шести гидрологическим створам: г. Калач-на-Дону, х. Красноярский, ст. Ложки, пгт Нижний Чир, х. Суворовский, Цимлянская ГЭС (верхний бьеф), а анализ уровней воды осуществлялся на основе данных по замыкающему створу р. Дон – ст. Раздорская. Вся исходная информация получена из базы данных, подготовленной в лаборатории гидрофизики Государственного гидрологического института.

#### **Методика оценки вероятности возникновения опасных гидрологических явлений для судоходства**

Методика оценки вероятности возникновения опасных гидрологических явлений для судоходства, используемая в данной статье, основана на представленных в работах [7, 8] подходах. В частности, в работе [7] предложено использовать вероятности, связанные с глубиной реки и ледовыми явлениями, как один из видов инфраструктурных рисков в базовой структуре управления рисками в цепочках внутреннего водного транспорта.

<sup>1</sup> Приказ Минэкономразвития России от 13 мая 2021 г. № 267 «Об утверждении методических рекомендаций и показателей по вопросам адаптации к изменениям климата», раздел 3.1, стр. 3. [https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz\\_minekonomrazvitiya\\_rossii\\_ot\\_13\\_maya\\_2021\\_g\\_267.html](https://www.economy.gov.ru/material/dokumenty/prikaz_minekonomrazvitiya_rossii_ot_13_maya_2021_g_267.html).

Оценка вероятности возникновения рисков, таких как прерывание судоходства (навигации), базируется на вероятностном анализе многолетних данных о ежедневных уровнях воды периода открытого русла и продолжительности ледовых явлений, а также тенденций их изменения во времени. Оценка вероятностей осуществлялась по соотношению значений вероятности появления исследуемых величин ( $x$ ) ниже/меньше, чем некоторые критические значения ( $X_{\text{крит}}$ ).

В случае с уровнями воды оценивались значения вероятностей наблюдения уровня ниже критического значения, т. е. значения проектного уровня для конкретного створа (проектные уровни – это расчетные уровни воды заданной обеспеченности, по отношению к которым устанавливают гарантированные габариты судового хода), а в случае количества дней с ледовыми явлениями оценивались значения вероятностей выше значений минимального количества дней с ледовыми явлениями в году за весь период наблюдений. Математически для уровней воды это можно представить формулой:

$$F(X_{\text{крит}}) = P(x \leq X_{\text{крит}}), \quad (2)$$

которая является актуальной для ледовых явлений, но только с обратным знаком равенства (аналогично для формул (3) и (4)).

Далее вероятности риска рассчитываются за какой-либо период наблюдений ( $P_{\text{период}}$ ) по отношению к предыдущему периоду ( $P_{\text{пред. период}}$ ). Они представлены либо в численном виде (как показано ниже на графиках):

$$R_{\text{период}} = P_{\text{период}}(x \leq X_{\text{крит}}) / P_{\text{пред. период}}(x \leq X_{\text{крит}}) - 1 \quad (3)$$

либо в процентах (как представлено в дальнейшем в таблицах):

$$R_{\text{период}} = (P_{\text{период}}(x \leq X_{\text{крит}}) / P_{\text{пред. период}}(x \leq X_{\text{крит}}) - 1) \times 100. \quad (4)$$

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены значения вероятности наблюдения годовых минимальных уровней воды ниже проектных уровней (ПУ) для трех основных гидрологических створов нижней Волги (с. Черный Яр, с. Енотаевка и г. Астрахань), рассчитанные на основе нормального закона распределения, а также сравнение значений вероятности последующего подпериода с предыдущим, выраженное в процентах.

Исследование рисков по уровням выполнялось на основе данных по минимальным уровням воды открытого русла за период 1956–2019 гг. Чтобы проследить изменение вероятности наблюдения минимального уровня воды в конкретном створе ниже проектного уровня, анализируемый период был разбит на три приблизительно одинаковых подпериода: 1952 (1956)–1977, 1978–1999, 2000–2019 гг. Таким образом, проводился анализ изменения вероятности по времени на основе рассчитанных значений в наблюдаемых сегментах.

Как следует из полученных результатов (табл. 1), вероятность наблюдения уровней воды ниже значений проектных уровней имеет тенденцию к уменьшению для каждого из трех анализируемых створов. Наименьшая вероятность отмечается в период 1978–1999 гг. Для створа с. Черный Яр она сохраняется и в последующий период 2000–2019 гг. В створе г. Астрахани вероятность

**Таблица 1.** Значения вероятности формирования уровней воды ниже проектных уровней для основных гидростворов нижней Волги  
 Table 1. Probability values of water levels formation below the design levels for the main hydrological gauging stations of the lower Volga

Река – пост	Параметр вероятности	Период		
		1956–1977 гг.	1978–1999 гг.	2000–2019 гг.
		T1	T2	T3
р. Волга – с. Черный Яр ПУ (мБС): –19,96	$P(X < ПУ)^*$ $(T_i/T_{i-1})^*100^{**}$ , %	0,1476	0,0088	0,0006
р. Волга – с. Енотаевка ПУ (мБС): –24,03	$P(X < ПУ)$ $(T_i/T_{i-1})^*100$ , %	0,5036	0,0877	0,0218
р. Волга – г. Астрахань ПУ (мБС): –25,69	$P(X < ПУ)$ $(T_i/T_{i-1})^*100$ , %	0,2871	0,1305	0,1239

*Примечание:* \* – вероятность наблюдения уровня воды ниже значений проектных уровней в долях от единицы; \*\* – сравнение значений вероятности периода по отношению к предыдущему периоду в %.

формирования минимальных уровней наиболее высокая в 2000–2019 гг. по сравнению с предыдущим периодом. В целом, результаты расчетов демонстрируют уменьшение рисков для навигации в периоды открытого русла в исследуемом бассейне, т. к. с уменьшением вероятности наблюдения уровней ниже проектных значений уменьшаются и риски.

В табл. 2 представлены значения вероятности количества наблюдавшихся в году дней с ледовыми явлениями, не превышающих вероятность минимального количества таких же дней в году за весь период наблюдений (по кривой распределения) для каждого из четырех гидрологических створов нижней Волги (г. Волгоград, с. Черный Яр, с. Енотаевка и г. Астрахань), а также, аналогично табл. 1, сравнение значений вероятности последующего подпериода с предыдущим, выраженное в процентах. Данные по ледовым явлениям анализировали за период 1959–2019 гг., соответственно, подпериоды для ледовых явлений незначительно отличались от подпериодов, используемых для анализа минимальных уровней: 1959–1979, 1980–1999 и 2000–2019 гг.

Анализ полученных значений вероятности позволяет сделать вывод об увеличении вероятности наблюдения минимального за весь рассматриваемый период количества дней с ледовыми явлениями на каждом из исследуемых гидрологических постов. Особенно ярко это проявляется при сравнении периода T2 с периодом T1. За период 2000–2019 гг. по сравнению с предыдущим подпериодом рост рассматриваемой вероятности увеличивается. Наиболее интенсивно эта тенденция отмечается в створе г. Астрахани. Исключение составляет створ с. Черный Яр, где рост вероятности уменьшения числа дней с ледовыми явлениями несколько снижается. Полученные результаты свидетельствуют о том, что риски для судоходства на нижней Волге, связанные с ледовыми явлениями, уменьшаются.

**Таблица 2.** Значения вероятности количества дней с ледовыми явлениями в году за отдельные периоды и разница между значениями периодов в процентах  
 Table 2. Probability of the number of days with ice events and the difference between values of periods (per cent)

Река – пост	Минимальное количество дней с ледовыми явлениями	Параметр вероятности	Период		
			1959–1979 гг.	1980–1999 гг.	2000–2019 гг.
			T1	T2	T3
р. Волга – г. Волгоград	20	$P(X < \text{МКДсЛЯ}^*)$ $(T_i/T_{i-1}) * 100, \%$	0,0012	0,0025 102	0,0067 168
р. Волга – с. Черный Яр	52	$P(X < \text{МКДсЛЯ})$ $(T_i/T_{i-1}) * 100, \%$	0,0008	0,0058 582	0,0137 136
р. Волга – с. Енотаевка	59	$P(X < \text{МКДсЛЯ})$ $(T_i/T_{i-1}) * 100, \%$	0,0011	0,0042 294	0,0244 475
р. Волга – г. Астрахань	44	$P(X < \text{МКДсЛЯ})$ $(T_i/T_{i-1}) * 100, \%$	0,0028	0,0024 -14	0,0373 1478

*Примечание:* \* – минимальное количество дней в году с ледовыми явлениями за весь период наблюдений для конкретного створа (МКДсЛЯ).

Для большей наглядности информация из табл. 1 и табл. 2 была обобщена и представлена в графическом виде на рис. 1, где отмечены тенденции изменения рисков, связанных с изменением минимальных уровней воды в реке и продолжительностью ледовых явлений на основных гидрологических постах нижней Волги за отдельные периоды по сравнению с предыдущими периодами.

Анализируя данные рис. 1, можно сделать вывод об уменьшении в исследуемом бассейне вероятности рисков, связанных как с уровнями воды (минимальными уровнями открытого русла), так и с ледовыми явлениями. Отметим, что наиболее существенное изменение (уменьшение) вероятности рисков за последние десятилетия наблюдается для ледовых явлений подпериода 2000–2019 гг. по сравнению с 1980–1999 гг., особенно на г/п у г. Астрахани.

На рис. 2 представлены результаты анализа вероятностей рисков продолжительности ледовых явлений для Цимлянского водохранилища, аналогичные выполненным для нижней Волги (табл. 2, рис. 1). При этом для Цимлянского водохранилища использовали данные о продолжительности периода свободной ото льда акватории (дни) вместо продолжительности ледовых явлений. На основе данных о продолжительности ледостава на водохранилище рассчитывали вероятности возможных климатических рисков. Данные по Цимлянскому водохранилищу были доступны за период 1952–2010 гг., поэтому анализируемые подпериоды имеют следующие градации: 1952–1970, 1971–1990 и 1991–2010 годы.

Как следует из рис. 2, для Цимлянского водохранилища наблюдается аналогичная ситуация с продолжительностью ледовых явлений, что и на гидрологических постах нижней Волги: вероятности связанных с ледовыми явлениями рисков интенсивно уменьшаются в последнее десятилетие.

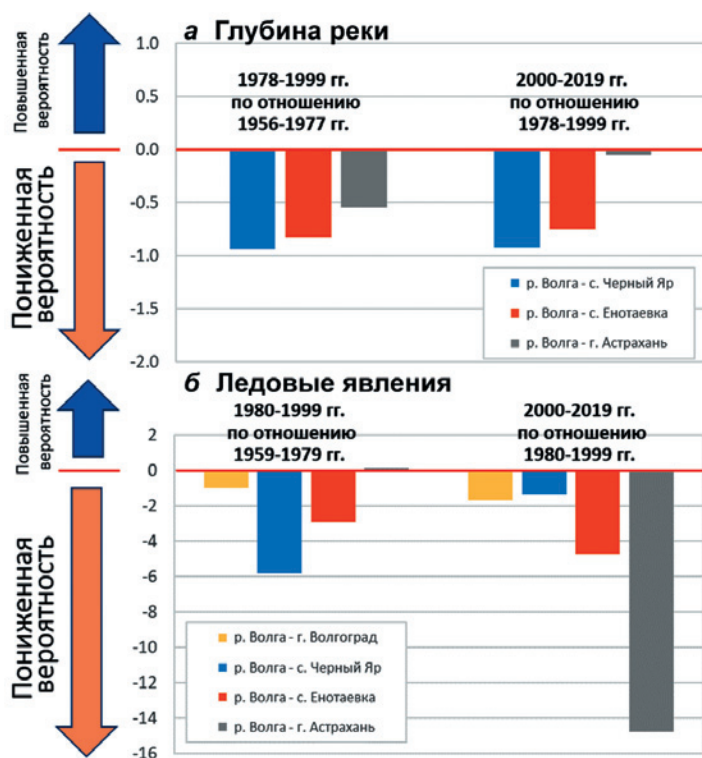


Рис. 1. Изменение вероятностей, связанных с многолетними колебаниями минимальных уровней воды и характеристик ледовых явлений в бассейне нижней Волги.

Fig. 1. Changes in the probabilities associated with long-term fluctuations in the minimum water levels and characteristics of ice phenomena in the lower Volga basin for certain periods compared with previous periods.

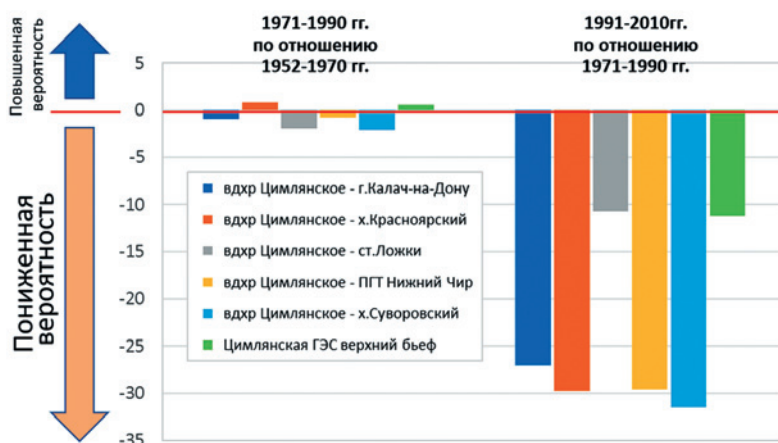


Рис. 2. Изменение вероятностей формирования продолжительности свободного ото льда периода для Цимлянского водохранилища.

Fig. 2. Change in the probabilities of formation of the duration of the ice-free period for the Tsimlyansk reservoir for individual periods compared to previous periods.

Необходимо отметить, что представленный на рис. 1 и в табл. 1 анализ климатических рисков, связанных с уровнями воды (значений минимальных суточных уровней в году ниже величин проектных уровней), не является в полной мере объективным, т. к. основан на анализе ряда минимальных значений уровней воды в течение периода открытого русла, т. е. на выборке единственного значения за год. Для судоходства, прежде всего, интерес представляет количество дней и продолжительность периодов, когда уровни воды находятся ниже определенных критических значений. Согласно перечню опасных явлений (ОЯ), составленному Росгидрометом, опасное гидрологическое явление – «низкая межень» – это понижение уровня воды ниже проектных отметок водозаборных сооружений и навигационных уровней на судоходных реках в конкретных пунктах, которые должны наблюдаться в течение не менее 10 дней.

Для оценки таких рисков (вероятности наблюдения уровня воды ниже определенной критической отметки в течение периода или периодов времени) были выполнены дополнительные исследования, представленные в табл. 3 и на рис. 4.

В табл. 3 приведена характеристика рисков, связанных с количеством дней и продолжительностью периодов, в течение которых наблюдались уровни воды ниже значений проектных. Анализ проведен для трех гидрологических створов: двух в бассейне нижней Волги (с. Черный Яр и с. Енотаевка) и в бассейне р. Дон (ст. Раздорская). Использовали данные по ежедневным уровням воды за период 1952–2020 гг., который был разбит на три приблизительно одинаковых подпериода: 1952–1972 гг. для р. Дон, 1956–1972 гг. для Волги, для обоих бассейнов – 1973–1996 гг. и 1997–2020 гг.

Как следует из представленных в табл. 3 данных, в бассейне нижней Волги риски, связанные с изменениями уровней, уменьшаются, что подтверждают приведенные в табл. 1 результаты. Совершенно противоположной выглядит ситуация в бассейне р. Дон, где отмечается увеличение рисков для судоходства, связанных с уменьшением уровней воды. Особенно сильно это проявляется в последнее десятилетие, когда наблюдается максимальное количество дней с уровнями ниже проектных: в 2015 г. – 230 дней, три периода с опасными явлениями; 2016 г. – 135 дней, четыре периода с опасными явлениями; в 2020 г. – 301 день, пять периодов с опасными явлениями. Результаты дополнительного анализа, позволяющего оценить динамику изменения вероятности рисков во внутригодовом распределении в исследуемых бассейнах за период открытого русла, представлены на рис. 3.

На рис. 3 показано соотношение вероятности наблюдения уровней воды ниже значений проектных уровней для трех вышеуказанных створов за периоды 1986–2020 гг. и 1950–1985 гг. Уровни рассчитаны за каждый день открытого русла (25.IV – 10.IX для нижней Волги, 10.IV – 20.IX для р. Дон) при условии отсутствия пропусков (допускался один пропуск за период) в многолетних рядах. Чем больше разница между значениями вероятности, тем, со-



**Таблица 3.** Характеристики рисков, связанных с негативными последствиями для навигации на ВВП нижней Волги на основе информации по количеству дней и периодов с наблюдаемыми уровнями ниже значений проектных уровней (ПУ)

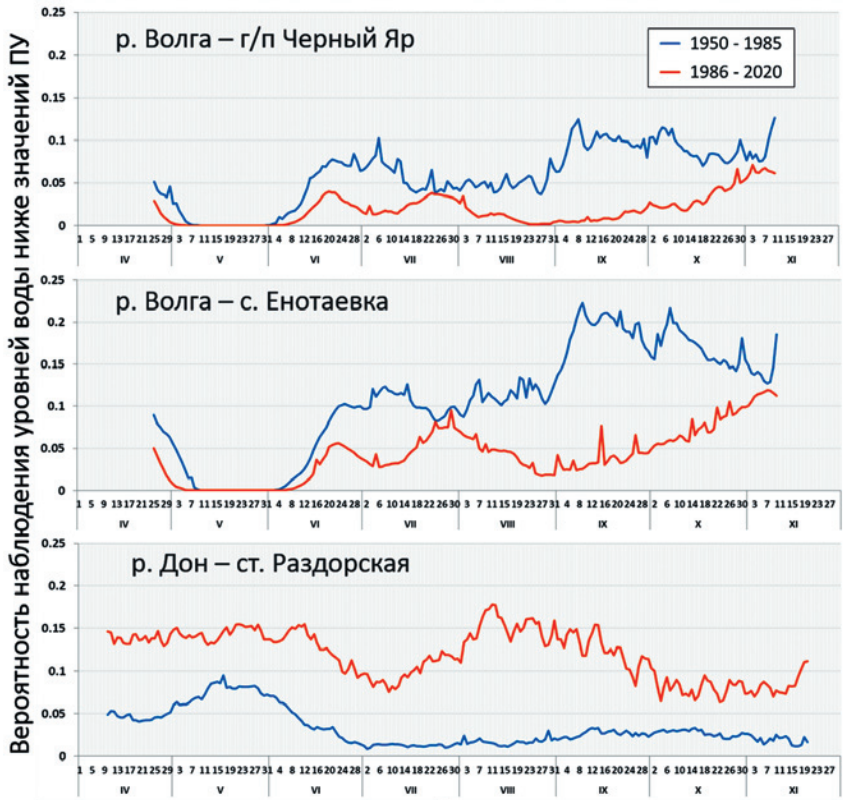
Table 3. Characteristics of risks associated with negative consequences for navigation on the inland waterways of the lower Volga based on information on the number of days and periods with observed levels below the values of the design levels

Гидрологический пост/ период	Общее количество дней с уровнями воды ниже ПУ	Количество периодов наблюдения уровней ниже ПУ	Максимальный период (кол-во дней)	Количество периодов более одного дня	Количество периодов $\geq 10$ дней опасных явлений	Риски для судоходства в последние десятилетия
<b>р. Волга – с. Черный Яр</b>						
1956–1972	<b>347</b>	<b>49</b>	<b>57</b>	<b>21</b>	<b>9</b>	Уменьшаются
1973–1996	169	21	44	8	4	
1997–2020	4	4	1	0	0	
<b>р. Волга – с. Енотаевка</b>						
1956–1972	370	<b>39</b>	88	<b>23</b>	<b>8</b>	Уменьшаются
1973–1996	<b>383</b>	35	<b>118</b>	21	6	
1997–2020	16	12	4	2	0	
<b>р. Дон – ст. Раздорская</b>						
1952–1972	71	16	25	8	2	Увеличиваются
1973–1996	35	16	5	9	0	
1997–2020	<b>844</b>	<b>148</b>	<b>141</b>	<b>89</b>	<b>13</b>	

*Примечание:* жирным шрифтом выделены наибольшие за все три периода значения.

ответственно, больше/меньше рисков. Применение в данном анализе двух периодов вместо трех объясняется тем, что при использовании двух периодов статистический анализ осуществляется по более длинным рядам и полученные значения статистически надежнее.

Анализ данных рис. 3 показывает, что вероятность наблюдения уровней воды ниже проектных значений в бассейне нижней Волги в течение мая минимальна в каждом из исследуемых периодов, т. е. существенных изменений рисков не наблюдается. В остальные месяцы значения вероятностей за период 1956–1985 гг. превышают аналогичные значения за 1986–2020 гг., что свидетельствует о уменьшении рисков и подтверждает выводы, сделанные на основе анализа табл. 3. Наибольшие расхождения между вероятностями (наиболее существенное уменьшение рисков) отмечаются во второй половине июня – начале июля, а также в конце августа – начале сентября.



**Рис. 3.** Вероятность наблюдения уровней воды ниже значений проектных уровней на ВВП нижней Волги и Дона за период 1986–2020 гг. по сравнению с предшествующим многолетним периодом.

Fig. 3. The probability of water levels formation is lower than the values of the design levels on the inland waterways of the lower Volga and the Don for the period 1986–2020 compared to the previous period of 1950–1985.

Результаты, полученные для р. Дон, несмотря на то что анализ выполнен только по одному гидрологическому посту, можно считать достаточно объективными, т. к. расчеты проведены по основному замыкающему створу. Полученное внутригодовое распределение вероятности за два периода наглядно демонстрирует существенное увеличение для судоходства рисков в течение всего периода открытого русла, с максимальными значениями в августе.

Необходимо отметить, что основной и хорошо известной проблемой крупнейшей реки европейской части России – Дона в последние десятилетия является маловодье [9–12]. Бассейн Дона – один из наиболее проблемных в Российской Федерации с точки зрения обеспеченности водными ресурсами [10]. Согласно прогнозным оценкам вероятных будущих изменений речного стока в этом бассейне, выполненным в [13–15], ожидается уменьшение возобновляемых водных ресурсов, которое со временем будет увеличиваться (до 10 % на перспективу 2050 г.).

<sup>2</sup>Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме. 2014 г. // Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет). Москва, 2014. С. 30.

## ВЫВОДЫ

Изменение климата, происходящее на территории Российской Федерации в последние десятилетия, а также увеличение числа экстремальных гидрологических явлений приводят к множеству негативных последствий. Однако с точки зрения надежности навигации на внутренних водных путях в направлении Каспий–Азов через Волго-Донской судоходный канал доля положительных последствий для нижней Волги на данный момент превышает долю отрицательных. Изменения в бассейне р. Дон носят негативный характер и требуют дополнительных исследований.

Обобщая полученные в ходе выполненных исследований результаты, можно сделать следующие основные выводы:

- в бассейнах нижней Волги и Дона в последние десятилетия происходит уменьшение вероятности опасных для судоходства ситуаций, связанных с продолжительностью ледовых явлений, что, в первую очередь, вызвано изменением климата – ростом температуры воздуха в течение холодного периода;
- в бассейне нижней Волги также наблюдается уменьшение вероятности опасных для судоходства ситуаций, связанных с изменением уровней воды;
- анализ вероятностей, связанных с уровнями воды р. Дон, выполненный с использованием данных о ежедневных уровнях воды в период открытого русла по гидрологическому посту р. Дон–ст. Раздорская, продемонстрировал существенный их рост в последние десятилетия.

В статье приведен альтернативный метод оценки изменения гидрологических характеристик во времени, основанный на взаимосравнении вероятностей возникновения критических значений гидрологических характеристик (в большинстве случаев такие критические значения относятся к опасным гидрологическим явлениям) за отдельные периоды. Принимая во внимание тот факт, что результатом произведения вероятности и последствий являются риски, при определенной доработке методике можно адаптировать для оценки гидрологических рисков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горошкова Н.И., Дрегваль М.С., Сикан А.В. Влияние изменений климата на продолжительность навигационного периода на реке лене и ее притоках // Современные проблемы водохранилищ и их водосборов. Труды VIII Всеросс. научно-практ. конф. Пермь, 2021. С. 61–67.
2. Дрегваль М.С., Сикан А.В. Влияние климатических изменений на водность навигационного периода Северной Двины // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ. 2020. С. 343–344.
3. Kaplan S. The words of risk analysis // Risk Analysis. 1997. Vol. 17. No. 4. P. 407–417.
4. Jüttner U., Peck H., Christopher M. Supply chain risk management: outlining an agenda for future research // International Journal of Logistics: Research & Applications. 2003. Vol. 6. No. 4. P. 197–210.
5. Norrman A., Lindroth R. Categorization of Supply Chain Risk and Risk Management // Supply chain risk / Ed. Brindley C. Ashgate Publishing Limited, 2004. P. 14–27.
6. Sulaiman O., Kader A.S.A., Saharuddin A.H. Collision Aversion Model for Inland Water Transportation: Cost Benefit Analysis Model // International Journal of Trade, Economics and Finance. 2011. Vol. 2. No. 1. P. 24–31.

7. Backalic T., Maslaric M. Navigation conditions and the risk management in inland waterway transport on the middle Danube // *Transport Problems*. 2012. No. 4. P. 13–24.
8. Backalic T., Maslaric M., Georgijevic V., Bojic S Analysis of Possible Draught Size of Container Vessels on the Lower Danube. *World Academy of Science // Engineering and Technology*. 2015. No. 9. No. 7. P. 1174–1179.
9. Научно-прикладной справочник: Основные гидрологические характеристики водных объектов бассейна реки Дон / под ред. В.Ю. Георгиевского. СПб.: Свое издательство, 2020. 262 с.
10. Georgievsky M. Water resources of the Russian rivers and their changes // *Proceedings of International Association of Hydrological Sciences*. 2016. 374. P.75–77. DOI: 10.5194/piahs-374-75-2016.
11. Гладков Г.Л., Чалов Р.С., Беркович К.М. Гидроморфология русел судоходных рек. СПб: Лань, 2022. 432 с.
12. Георгиевский В.Ю., Коронкевич Н.И., Алексеевский Н.И. Водные ресурсы и гидрологический режим рек РФ в условиях изменения климата // *Пленарные доклады VII Всероссийского гидрологического съезда, 19–21 ноября 2013 г.* СПб: ГГИ, 2014. С. 79–102.
13. Георгиевский М.В., Голованов О.Ф. Прогнозные оценки изменений водных ресурсов крупнейших рек Российской Федерации на основе данных по речному стоку проекта CMIP5 // *Вестник СПбГУ. Науки о Земле*. 2019. № 64. С. 206–219. DOI: 10.21638/spbu07.2019.203.
14. Georgievsky M., Golovanov, O., Balonishnikova Z., Timofeeva L. Changes in river water resources of the Russian Federation's economic regions forecasted based on the CMIP5 runoff data // *Eco/hydrology & Hydrobiology*. 2021. Vol. 21. No. 4. P. 669–682, DOI: 10.1016/j.echohyd.2021.06.004.

## REFERENCES

1. Goroshkova N.I., Dregval M.S., Sikan A.V. Influence of climate change on the duration of the navigation period on the Lena River and its tributaries. *Modern problems of reservoirs and their watersheds. Proceedings of the VIII All-Russian scientific-practical conference with international participation*. Perm'. 2021. P. 61–67 (In Russ.).
2. Dregval M.S., Sikan A.V. Influence of climatic changes on the water content of the navigation period of the Northern Dvina. *Modern problems of hydrometeorology and environmental monitoring in the CIS*. 2020. P. 343–344 (In Russ.).
3. Kaplan S. The words of risk analysis. *Risk Analysis*. 1997. Vol. 17. N. 4. P. 407–417.
4. Jüttner U., Peck H., Christopher M. Supply chain risk management: outlining an agenda for future research. *International Journal of Logistics: Research & Applications*. 2003. Vol. 6. N. 4. P. 197–210.
5. Norrman A., Lindroth R. Categorization of Supply Chain Risk and Risk Management. *Supply chain risk* / Ed. Brindley C. Ashgate Publishing Limited, 2004. P. 14–27.
6. Sulaiman O., Kader A.S.A., Saharuddin A.H. Collision Aversion Model for Inland Water Transportation: Cost Benefit Analysis Model. *International Journal of Trade, Economics and Finance*. 2011. Vol. 2. № 1. P. 24–31.
7. Backalic T., Maslaric M. Navigation conditions and the risk management in inland waterway transport on the middle Danube. *Transport Problems*. 2012. № 7, 4. P. 13–24.
8. Backalic T., Maslaric M., Georgijevic V., Bojic S Analysis of Possible Draught Size of Container Vessels on the Lower Danube. *World Academy of Science. Engineering and Technology*. 2015. № 9, 7. P. 1174–1179.
9. Scientific and Applied reference book: Basic hydrological characteristics of water bodies of the Don River basin. Ed. V.Y. Georgievsky, 2020 St. Petersburg: Own publishing house. 262 p. (In Russ.).
10. Georgievsky M. Water resources of the Russian rivers and their changes. *Proceedings of International Association of Hydrological Sciences*. 2016. 374. P.75–77. DOI:10.5194/piahs-374-75-2016.
11. Gladkov G. L. Hydro/morphology of the channels of navigable rivers: monograph / Ed. G. L. Gladkov, R.S. Chalov, K. M. Berkovich. 3rd edition. St. Petersburg: Lan. 2022. P. 432 (In Russ.).
12. Georgievsky V.Yu., Koronkevich N.I., Alekseevsky N.I. Water resources and hydrological regime of the russian rivers in the conditions of climate change. *Plenary reports of the VII All-Russian Hydrological Congress, November 19–21. 2013*. St. Petersburg: SHI. 2014. P. 79–102 (In Russ.).

13. Georgievsky M.V., Golovanov O. F., 2019. Forecasting changes in river water resources of Russian Federation based on CMIP5 runoff data. *Bulletin of Saint Petersburg University. Earth Sciences*. 2019. № 64(2). P. 206–218. DOI: 10.21638/spbu07.2019.203 (In Russ.).
14. Georgievsky M., Golovanov, O., Balonishnikova Z., Timofeeva L. Changes in river water resources of the Russian Federation's economic regions forecasted based on the CMIP5 runoff data. *Ecology & Hydrobiology*. 2021. Vol. 21. I. 4. P. 669-682, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2021.06.004>.

**Сведения об авторах:**

**Георгиевский Михаил Владимирович**, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; ORCID: 0000-0001-5654-7476; e-mail: mgeorgievsky@hotmail.com

**Горошкова Наталия Ивановна**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; ORCID: 0000-0002-7488-4852; e-mail: goroshnat@yandex.ru

**Еремеева Анна Олеговна**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; e-mail: eranol@mail.ru

**Гладков Геннадий Леонидович**, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова», Россия, 198035, Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7; ORCID: 0000-0002-4497-5905; e-mail: gladkovgl@mail.ru.

**Стриженок Анастасия Владимировна**, младший научный сотрудник, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199053, Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; ORCID: 0009-0005-1278-8725; e-mail: anastasiastrizenok@mail.ru

**Семенова Дарья Артемиевна**, ведущий инженер, ФГБУ «Государственный гидрологический институт», Россия, 199053, г. Санкт-Петербург, 2-ая линия В.О., д. 23; ORCID: 0009-0007-2358-2524; e-mail: anastasiastrizenok@mail.ru

**About the authors:**

**Mikhail V. Georgievsky**, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, State Hydrological Institute, Vasilyevsky Island, 2nd line, 23, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: mgeorgievsky@hotmail.com

**Natalia I. Gorshkova**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, State Hydrological Institute, Vasilyevsky Island, 2nd line, 23, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: goroshnat@yandex.ru

**Anna O. Eremeeva**, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, State Hydrological Institute, Vasilyevsky Island, 2nd line, 23, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: eranol@mail.ru

**Gennady L. Gladkov**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping, 5/7 Dvinskaya street, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: gladkovgl@mail.ru

**Anastasia V. Strizhenok**, Junior Researcher, State Hydrological Institute, Vasilyevsky Island, 2nd line, 23, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: anastasiastrizenok@mail.ru

**Daria A. Semenova**, Leading Engineer, State Hydrological Institute, Vasilyevsky Island, 2nd line, 23, St. Petersburg, 199053, Russia, e-mail: anastasiastrizenok@mail.ru