

Гидравлика и инженерная гидрология

Научная статья

УДК 532.543:627.131

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>

Н.Р. Ахмедова, В.А. Наумов

АХМЕДОВА НАТАЛЬЯ РАВИЛОВНА – кандидат биологических наук, доцент,
isfendi@mail.ru✉НАУМОВ ВЛАДИМИР АРКАДЬЕВИЧ – доктор технических наук, профессор, van-old@mail.ru
Кафедра техносферной безопасности и природообустройства
Калининградский государственный технический университет
Калининград, Россия**Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса**

Аннотация. В процессе гидрометеорологических изысканий, проектирования инженерных защитных сооружений от наводнений гидрологические характеристики водных объектов являются основой выполняемых расчетов. Качество проектных решений зависит от достаточности и достоверности исходных данных. В качестве нормативных документов в области инженерных изысканий предполагалась разработка региональных научно-прикладных справочников по гидрологии; в отдельных регионах Российской Федерации эта работа уже ведется. Комплексные гидрологические исследования, проведенные в последнее десятилетие в бассейнах рек Северо-Западного региона Европейской части России, практически не затронули рек Калининградской области. В данной статье представлены некоторые результаты исследований основных гидрологических характеристик в бассейне р. Писса (Калининградская область) – восстановлены ряды модулей годового стока. Кроме того, рассмотрена гипотеза о росте водности рек Калининградской области.

Ключевые слова: река Писса, модуль стока, Калининградская область, водность реки

Для цитирования: Ахмедова Н.Р., Наумов В.А. Динамика модуля годового стока в бассейне реки Писса // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. 2022. № 2(51). С. 105–111.

Введение

Калининградская область находится в зоне избыточного увлажнения, имеет существенные гидрологические особенности. В регионе насчитывается более 4000 водотоков протяженностью 12859 км [11], которые относятся к бассейнам рек Неман, Преголя и малых рек, впадающих в Куршский и Калининградский заливы Балтийского моря. Природные условия Калининградской области определяют высокий процент мелиорированных земель, значительное число гидротехнических сооружений комплексного назначения, которые служат для защиты от затопления не только сельскохозяйственных угодий, но и населенных пунктов, объектов инфраструктуры.

Аналізу динаміки стока рек как основы для составления прогнозов водного баланса посвящено большое количество научных публикаций, включая исследования для рек Северо-Западного региона Российской Федерации (СЗР РФ) [2–3, 6–7, 10, 12]. Однако ни в одной из этих работ не учитываются особенности стока рек Калининградской области. Так, на картах СЗР РФ в [7] вообще отсутствует Калининградская область.

При расчете гидрологических характеристик водотоков Калининградской области до сих пор используются карты и обобщающие параметры из монографии, изданной в 1969 г. [9]. Причем изолинии на карте Калининградской области были размещены неоправданно редко

по сравнению с остальной территорией. В другом, более позднем издании – 1988 г., лишь пересчитаны средние и характерные расходы и уровни воды части рек Калининградской области за 1976–1980 гг. [8].

В 2014 г. была утверждена Схема комплексного использования и охраны водных объектов (СКИОВО) бассейна р. Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области) [11]. В СКИОВО расходы воды с начала гидрометрических наблюдений по 2009 г. были использованы для расчета средних значений (нормы) стока, коэффициентов вариации, коэффициентов асимметрии. Они позволили построить теоретические кривые обеспеченности и рассчитать расходы различной обеспеченности, построить карту модулей среднего годового стока рек Калининградской области. Сделан однозначный прогноз о росте водности рек региона на 9–12% за период действия СКИОВО.

К расчетам модуля стока, сделанным в Схеме [11], возникает много вопросов. Рассмотрим их на примере бассейна Писсы. Начнем с того, что для определения модуля стока в указанном бассейне были использованы данные наблюдений только одного пункта – в пос. Зеленый Бор. Он остался единственным действующим, но не были включены данные наблюдений двух закрытых пунктов. Приведены явно завышенные значения среднего многолетнего расхода: 1901–1954 гг. – $11,5 \text{ м}^3/\text{с}$, модуль стока $8,46 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$; 1955–2009 гг. – $10,4 \text{ м}^3/\text{с}$, модуль стока $7,65 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ [11, табл. 63]. Тогда за период 1901–2009 гг. должны получиться значения $10,9 \text{ м}^3/\text{с}$ и $8,01 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ соответственно. Но в Схеме приводится расход $9,72 \text{ м}^3/\text{с}$ и модуль стока $7,15 \text{ л}/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$, что ниже меньшего из двух приведенных значений [11, табл. 6.4]. Норма расхода не согласуется с графиком, где за период 1948–2006 гг. указано $8,82 \text{ м}^3/\text{с}$ [11, рис. 6.7].

Проблема наличия ряда достоверных достаточной длины данных, используемых для составления прогнозов водного баланса, стала еще более актуальной в связи с изменением климата и значительным антропогенным воздействием.

Цель настоящего исследования – восстановить ряды модулей годового стока в бассейне р. Писса и проверить гипотезу о росте водности.

Материалы и методы

Исходные материалы – данные наблюдений на трех гидрологических постах в бассейне Писсы (рис. 1) и пост р. Преголя, Гвардейск (табл. 1).

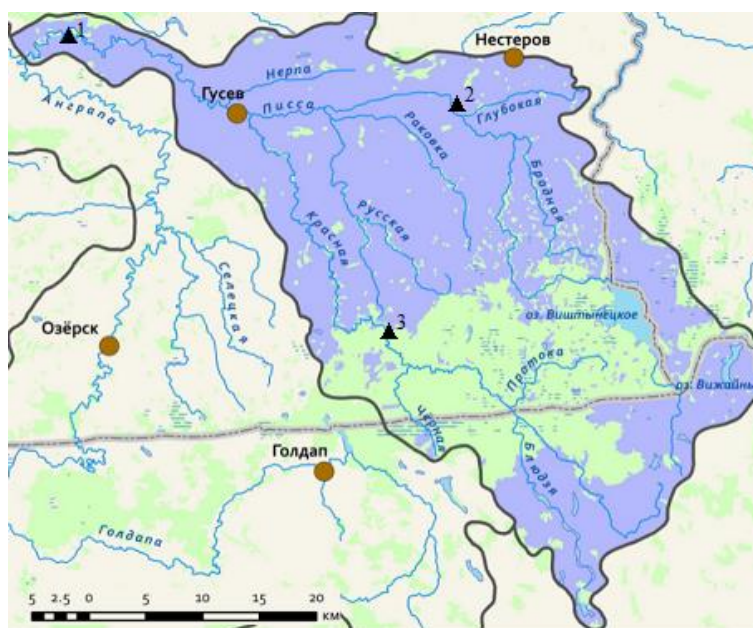


Рис. 1. Расположение гидропостов:
1 – р. Писса (пос. Зеленый Бор); 2 – р. Писса (пос. Илюшино); 3 – р. Красная (пос. Токаревка).
За основу взята карта бассейна р. Писса [13]

Таблица 1

Сведения о гидропостах [11]

№	Река – гидропост	Расстояние (км) от		А, км ²	Годы работы	Данные наблюдений о расходах
		истока	устья			
0	Преголя – Гвардейск	67	56	13600	1869–н/время	1901–15, 1921–30, 1936–42, 1948–н/время
1	Писса – Зеленый Бор	87	11	1360	1894–н/время	1901–02, 1905–13, 1918–39, 1949–2006, 2015–2017
2	Писса – Илюшино	36	62	328	1954–1994	1955–1993
3	Красная – Токаревка	45	38	412	1961–1988	1962–1986

Источники наблюдений: гидрологические ежегодники, СКИОВО [11], Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [1] – с 2008 г.

Данные наблюдений показаны на рис. 2 закрашенными точками. Наибольший годовой модуль стока на р. Писса (Зеленый Бор) был в 2017 г. – 12,3 л/(с·км²), наименьший в 1969 г. – 2,75 л/(с·км²).

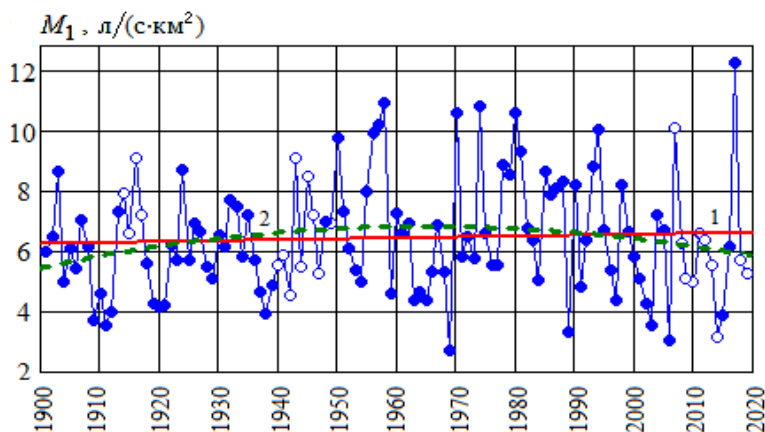


Рис. 2. Динамика модуля среднегодового стока р. Писса (Зеленый Бор). Точки – данные наблюдений; линии – результаты расчета: 1 – линейный тренд, 2 – параболический тренд

Для восстановления пропущенных данных использовались наблюдения на реках- аналогах и метод, предложенный в [4]. Нами показано, что применение данного метода позволяет использовать р. Преголя (гидропост Гвардейск) в качестве аналога для ее притоков [5]. При этом должна учитываться зависимость стоковых характеристик от основных физико-географических и метеорологических факторов.

Так как статистическая связь модулей стока рек Писса M_1 и Преголя M_0 формируется при наличии случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [4]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями M_1 по M_0 (1) и M_0 по M_1 (2) и описывается уравнением (3):

$$M_1 = M_{s1} + r \cdot (M_0 - M_{s0}) \cdot \sigma_1 / \sigma_0, \quad (1)$$

$$M_0 = M_{s0} + r \cdot (M_1 - M_{s1}) \cdot \sigma_0 / \sigma_1, \quad (2)$$

$$M_1 = M_{s1} + (M_0 - M_{s0}) \cdot \sigma_1 / \sigma_0, \quad (3)$$

где r – коэффициент парной корреляции; M_{s1} , M_{s0} – средние значения модулей стока за годы совместных наблюдений; σ_1 , σ_0 – средние квадратичные отклонения.

Особенность уравнения (3) заключается в том, что в указанных условиях оно характеризует связь не исходных величин, а их детерминированных составляющих. Параболический

тренд применяется для более наглядного представления о периодах роста и спада стока. При этом коэффициент детерминации при переходе от линейного тренда к параболическому возрастает примерно в 10 раз.

Результаты и обсуждения

Объем данных совместных наблюдений на р. Преголя (Гвардейск) и р. Писса (Зеленый Бор) $n = 68$. Рассчитанные значения в формулах (1)–(3): $r = 0,758$; $Ms_1 = 6,44 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$, $Ms_0 = 6,36 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$; $\sigma_1 = 1,98 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$, $\sigma_0 = 1,86 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$. Вычисляя величины в формуле (3) и раскрывая скобки, получим связь модулей стока рек Писса и Преголя в виде (рис. 3):

$$M_1 = 1,053 \cdot M_0 - 0,248. \quad (4)$$

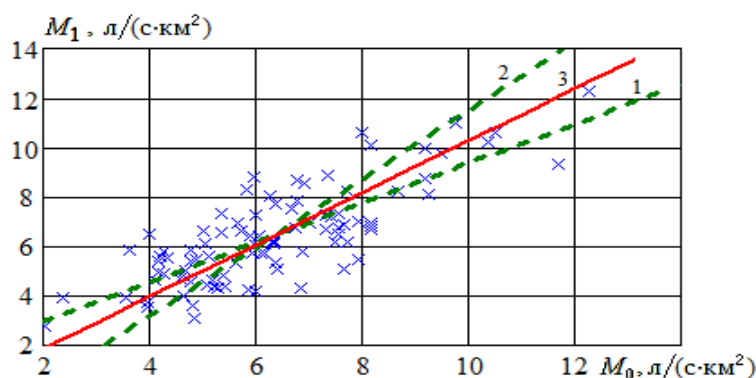


Рис. 3. Связь между модулями годового стока р. Писса (Зеленый Бор) M_1 и р. Преголя (Гвардейск) M_0 . Точки – данные наблюдений; линии результаты расчетов: 1 – по формуле (1), 2 – (2), 3 – (3)

Восстановленные значения модуля годового стока р. Писса (Зеленый Бор) показаны на рис. 2 незакрашенными точками.

Значения модулей годового стока р. Писса (Илюшино) M_2 и р. Красной (Токаревка) были восстановлены по ряду р. Писса (Зеленый Бор). В первом случае количество лет совместных наблюдений – 39, во втором – 25. Коэффициенты парной корреляции имеют очень большое значение: 0,967 и 0,956, что говорит о тесной стохастической связи. Поэтому линии для постов Зеленый Бор и Илюшино, построенные на рис. 4 по формулам (1), (2), практически совпадают с (3):

$$M_2 = 1,167 \cdot M_1 - 0,193. \quad (5)$$

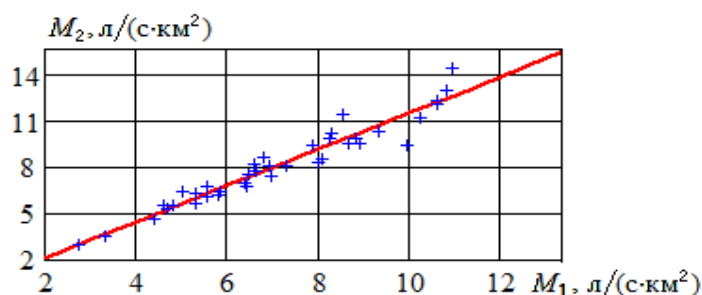


Рис. 4. Связь между модулями годового стока р. Писса в створах Зеленый Бор M_1 и Илюшино M_2 . Точки – данные наблюдений; линия – результат расчета по формуле (5)

Полученный ряд показан на рис. 5. Из данных рисунков 4 и 5 следует, что M_2 больше M_1 , особенно при высокой водности. Например, при $M_1 = 12 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$ уравнение регрессии дает $M_2 = 13,8 \text{ л/(с} \cdot \text{км}^2)$.

Аналогичный расчет был выполнен для стокового ряда р. Красная (Токаревка). Приведены значения модулей годового стока на трех постах в бассейне р. Писса, рассчитанные по восстановленным рядам для трех периодов (табл. 2).

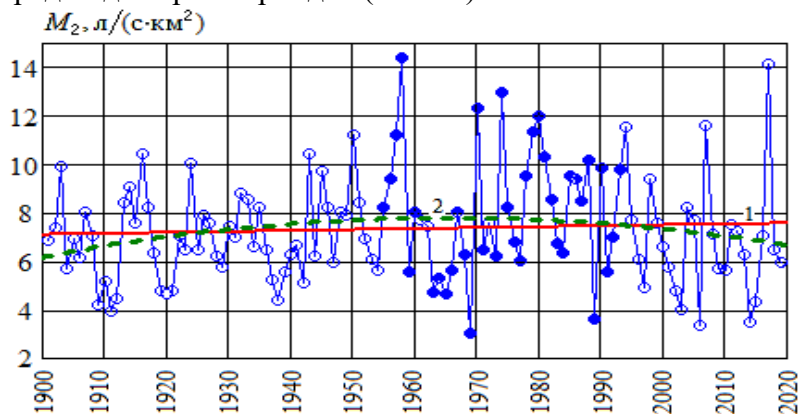


Рис. 5. Динамика модуля среднегодового стока р. Писса (Илюшино).
Обозначения, как на рис. 2

Таблица 2

Модули годового стока в бассейне р. Писса, л/(с·км²)

Река – гидропост	1901–1940	1941–1980	1981–2020	1901–2020
Писса – Зеленый Бор	6,00	6,93	6,40	6,44
Писса – Илюшино	6,80	7,88	7,28	7,32
Красная – Токаревка	7,11	7,89	7,45	7,48

Закключение

Параболические тренды на рисунках 2 и 5, средние значения модулей стока в табл. 2 показывают, что в 1941–1980 гг. наблюдался определенный рост водности, сменившийся небольшим снижением в следующий период. Впрочем, отклонение по периодам от средних многолетних значений модуля стока (последний столбец в табл. 2) не превышает 7,5%, что сравнимо с погрешностью восстановления рядов.

Не подтверждается гипотеза о росте водности рек Калининградской области на 9–12% по сравнению с гидрологическими рядами до 2009 г. [11]. Приведенные в [11] **значения модулей годового стока, например за 1901–1954 гг., завышены на 36%**

Полученные в статье результаты исследований будут использованы при корректировке региональных карт изолиний модуля годового стока, восстановленные ряды могут быть рекомендованы для использования при выполнении инженерно-гидрометеорологических изысканий на территории Калининградской области.

Заявленный вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 08.03.2022).
2. Гайдукова Е.В., Баймаганбетов А., Синкпеун Л., Бонгу Э.С. Сценарная оценка нормы изменений суммарных влагозапасов речных бассейнов // *Ученые записки РГГМУ*. 2018. № 53. С. 113–122.
3. Девятков В.С. Пространственная детализация фрактальной размерности речного стока на территории Северо-Западного региона России // *Ученые записки РГГМУ*. 2012. № 26. С. 34–43.
4. Иванов Е.Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // *Водное хозяйство России*. 2007. № 2. С. 22–26.

5. Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи: монография / В.А. Наумов, Н.Р. Ахмедова. Калининград: КГТУ, 2017. 183 с.
6. Исмаилов Г.Х., Федоров В.М. Прогноз состояния пресноводных ресурсов России в связи с глобальными и региональными изменениями // *Природообустройство*. 2013. № 1. С. 60–64.
7. Малышева Н.Г. Минимальный сток рек Северо-Западного региона Российской Федерации: дисс. канд. географ. наук. Санкт-Петербург: РГГМУ. 2013. 190 с.
8. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки и каналы. Т. 1. РСФСР. Вып. 4. Бассейны рек Калининградской области / Под ред. Н.В. Шаблиевой. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 88 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 4, вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В.Е. Водогрецкого. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 508 с.
10. Сикан А.В., Винокуров И.О., Тесленко Д.Д. Использование метода L-моментов для оценки параметров распределения максимальных расходов весеннего половодья рек Северо-Запада России // *Ученые записки РГГМУ*. 2015. № 38. С. 21–27.
11. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Неман и рек бассейна Балтийского моря (Российская часть в Калининградской области). Утверждена приказом Невско-Ладужского бассейнового водного управления Федерального агентства водных ресурсов от 9 декабря 2014 № 171. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2/> (дата обращения: 08.03.2022).
12. Фролов А.В., Георгиевский В.Ю. Изменение водных ресурсов в условиях потепления климата и их влияние на приток к крупным водохранилищам // *Метеорология и гидрология*. 2018. № 6. С. 67–76.
13. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow, Exlibris Press, 2015. 106 p.

FEFU: SCHOOL of ENGINEERING BULLETIN. 2022. N 2/51

Engineering Hydrologywww.dvfu.ru/en/vestnikis

Original article

<http://doi.org/10.24866/2227-6858/2022-2/105-111>

Akhmedova N., Naumov V.

NATALIA R. AKHMEDOVA, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-3483-3580>, isfendi@mail.ru✉

VLADIMIR A. NAUMOV, Doctor of Technical Sciences, Professor,
<https://orcid.org/0000-0003-0560-5933>, van-old@mail.ru

Department of Technosphere Safety and Environmental Management
 Kaliningrad State Technical University
 Kaliningrad, Russia

Dynamics of the annual runoff module in the basin of the Pissa River

Abstract. In hydrometeorological surveys, the design of engineering flood defenses and the hydrological characteristics of water bodies are the basis of the calculations performed. The quality of design solutions depends on the sufficiency and reliability of the source data. The regional applied reference books in hydrology were to be developed as the regulatory documents in engineering surveys, and this work is currently being carried out in some regions of the Russian Federation. The comprehensive hydrological studies conducted in the last decade in Northwestern river basins of Russia's European part practically have not discussed the rivers of the Kaliningrad region. This paper presents some results of studies of the main hydrological characteristics in the basin of the Pissa river (Kaliningrad region), for example, the series of modules of annual runoff are restored. In addition, the paper presents a hypothesis that the water content of the rivers of the Kaliningrad region is growing.

Keywords: Pissa river, flow module, Kaliningrad region, water content of the river

For citation: Akhmedova N., Naumov V. Dynamics of the annual runoff module in the basin of the Pissa River. FEPU: School of Engineering Bulletin. 2022;(2):105-111. (In Russ.).

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

The authors declare no conflicts of interests.

REFERENCES

1. Automated information system of state monitoring of water bodies. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> – 08.03.2022.
2. Gaidukova E., Baimaganbetov A., Sinkpeun L., Bongu E. Scenario assessment of the rate of changes in total moisture reserves of river basins. *Scientific notes of the RSMU*. 2018;(53): 113–122.
3. Devyatov V. Spatial detailing of the fractal dimension of river flow on the territory of the North-Western region of Russia. *Scientific notes of the RSMU*. 2012;(26):34–43.
4. Ivanov E. On the peculiarities of the formation and methods of describing statistical dependencies in hydrology. *Water Economy of Russia*. 2007;(2):22–26.
5. Engineering surveys in the Pregoli River basin: monograph / V.A. Naumov, N.R. Akhmedova. Kaliningrad, KSTU, 2017. 183 p.
6. Ismayilov G., Fedorov V. Forecast of the state of freshwater resources of Russia in connection with global and regional changes. *Nature management*. 2013;(1):60–64.
7. Malysheva N. Minimum river flow in the North-Western region of the Russian Federation: dissertation of the Candidate of Geographical Sciences. Saint Petersburg, RGGMU, 2013. 190 p.
8. Long-term data on the regime and resources of surface waters of the land. Part 1. Rivers and channels. Vol. 1. RSFSR. Issue 4. River basins of the Kaliningrad region / Edited by N.V. Shablievka. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1988. 88 p.
9. Surface water resources of the USSR. Vol. 4, issue 3. The Lithuanian SSR and the Kaliningrad region of the RSFSR / Edited by V.E. Vodogretsky. Leningrad, Hydrometeoizdat, 1969. 508 p.
10. Sikan A., Vinokurov I., Teslenko D. The use of the L-moments method for estimating the parameters of the distribution of the maximum expenditures of the spring flood of the rivers of the North-West of Russia. *Scientific Notes of the RSMU*. 2015;(38):21–27.
11. The scheme of integrated use and protection of water bodies of the Neman River basin and the rivers of the Baltic Sea basin (the Russian part in the Kaliningrad region). Approved by Order No. 171 of the Nevsky-Ladoga Basin Water Management of the Federal Agency of Water Resources dated December 9, 2014. URL: <http://www.nord-west-water.ru/activities/ndv/page-2> / – 08.03.2022.
12. Frolov A., Georgievsky V. Changes in water resources in the conditions of climate warming and their impact on the inflow to large reservoirs. *Meteorology and hydrology*. 2018;(6):67-76.
13. Domnin D., Chubarenko B., Lewandowski A. Vistula Lagoon Catchment: Atlas of water use. Moscow, Exlibris Press, 2015. 106 p.