

УДК 556.5:627.8

РЯД МАКСИМАЛЬНЫХ ГОДОВЫХ УРОВНЕЙ ВОДЫ МАЛОЙ РЕКИ

А.В. Мойса, В.А. Наумов

**NUMERICAL SERIES OF THE MAXIMUM ANNUAL WATER LEVELS
IN THE SMALL RIVER**

A.V. Moisa, V.A. Naumov

Аннотация. Малые реки играют особую роль среди водных ресурсов. Именно они в наибольшей степени подвержены антропогенным воздействиям. Но постов для систематических наблюдений за малыми реками много меньше, чем за крупными и средними водотоками. При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов. При выборе таких пунктов должны выполняться условия гидрологического подобия. Отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток, является одним из таких условий. У малых рек Калининградской области, которые служат водоприемниками вод мелиоративных осушительных систем, последнее условие часто нарушается. Поэтому при региональных инженерно-гидрометеорологических изысканиях следует особое внимание уделять подбору рек-аналогов. Одной из немногих малых рек Калининградской области, на которой имеется продолжительный ряд наблюдений, является река Злая (село Приозерье). Причем, гидрометрические наблюдения продолжаются в настоящее время. Река Злая имеет длину 62 км, площадь водосборного бассейна 292 кв. км. По опубликованным данным и Интернет-ресурсам сформирован ряд максимальных годовых уровней малой реки. Значения характерных параметров для определения рек-аналогов рассчитаны. Ранее выдвинутая гипотеза о неизменности среднегодовых региональных гидрологических характеристик подтвердилась для максимальных уровней воды исследованных рек за 1961-2015 годы. Установлена значимая стохастическая связь между максимальными годовыми уровнями реки Злой (село Приозерье) и реки Преголи (город Гвардейск). Коэффициент корреляции составил $R=0,732$. Получено уравнение линейной регрессии, связывающее максимальные годовые уровни. Средняя относительная погрешность аппроксимации не превышает 5 %.

Ключевые слова: водные ресурсы; реки; река Злая; река Преголя; гидрология; методы изысканий; гидрометрия; уровни воды; водосборный бассейн; коэффициент корреляции; регрессионный анализ.

Abstract. Small rivers play a special role among water resources. They are the most affected by anthropogenic influences. But posts for the systematic observation of the small rivers is much less than for large and medium-sized watercourses. When failure data of hydrometric observations the curve parameters of the probability distribution of the hydrological characteristics necessary to lead to years with the involvement of observational data points analog. When failure data of hydrometric observations the curve parameters of the probability distribution of hydrological characteristics should be to years with the involvement of observational data points analog. In the selection of these items shall be performed in conditions of hydrological similarity. No factors significantly distorting the natural runoff is one of these conditions. Small rivers of the Kaliningrad region, which serve as the inlet water reclamation drainage systems, the latter condition is often violated. Therefore, when the regional hydro-meteorological engineering survey should pay special attention to the selection of rivers-analogues. One of the few small rivers of the Kaliningrad region, where a long series of observations, is the Zlay River (village of Priozerie). Moreover,

hydrometric observations are ongoing. The Zlay River has a length of 62 km, the watersheds of 292 sq km. Numerical series of the maximum annual water levels of small rivers were formed according to published reports and Internet resources. The values of characteristic parameters of the rivers-analogues were calculated. The hypothesis of constant average regional hydrological characteristics was confirmed for the maximum water levels of studied rivers over 1961-2015 years. The significant stochastic relationship between maximum annual water levels Zlay River (village of Priozerie) and the Pregel River (city of Gvardeysk) was installed. The correlation coefficient amounted to $R=0.732$. The linear regression equation connecting the maximum annual water levels was obtained. The average relative approximation error does not exceed 5 %.

Keywords: water resources, rivers, Zlay River; Pregel River; hydrology; survey methods; hydrometry; water levels; watersheds; correlation coefficient; regression analysis.

Введение

Малые реки играют особую роль среди водных ресурсов. Именно они в наибольшей степени подвержены антропогенным воздействиям [1-3]. Но постов для систематических наблюдений за малыми реками много меньше, чем за крупными и средними водотоками.

При недостаточности данных гидрометрических наблюдений параметры кривых распределения вероятностей гидрологических характеристик, а также основных элементов расчетного гидрографа необходимо приводить к многолетнему периоду с привлечением данных наблюдений пунктов-аналогов. В соответствии со сводом правил [4] при выборе таких пунктов необходимо учитывать следующие условия:

1. Однотипность стока реки-аналога и исследуемой реки;
2. Географическую близость расположения водосборов;
3. Однородность условий формирования стока, сходство климатических условий, однотипность почв (грунтов) и гидрогеологических условий, близкую степень озерности, залесенности, заболоченности и распаханности водосборов;
4. Средние высоты водосборов не должны существенно отличаться;
5. Отсутствие факторов, существенно искажающих естественный речной сток (регулирование стока, сбросы воды, изъятие стока на орошение и другие нужды).

У малых рек Калининградской области, которые служат водоприемниками вод мелиоративных осушительных систем, последнее условие часто не исполняется. Поэтому при региональных инженерно-гидрометеорологических изысканиях следует особое внимание уделять подбору рек-аналогов. Одной из немногих малых рек Калининградской области, на которой имеется продолжительный ряд наблюдений (причем, гидрометрические наблюдения продолжаются), является река Злая. В селе Приозерье находится гидропост Калининградского ЦГМС (см. табл. 1).

Таблица 1 - Пункты наблюдений на реках Преголя и Злая [5]

Название водного объекта и пункта наблюдений	Расстояние (км) от		Отметка нуля поста, м БС	Период действия число, месяц, год	
	истока	устья		открыт	закрит
р. Преголя - г. Гвардейск	67,0	56,0	- 5,17	01.04.1869	Действует
р. Злая - с. Приозерье	50,0	12,0	- 2,31	31.01.1961	Действует

Чаще всего именно указанный пункт выбирают в качестве аналога и при проведении региональных инженерно-гидрометеорологических изысканиях на тех малых реках, на которых отсутствуют систематические гидрологические наблюдения [6].

В данной статье приведены некоторые результаты исследований авторов максимальных уровней воды в реке Злая.

Бассейн реки Злой

Река Злая протекает по Шушепе-Неманскому озерному району, территориям Черняховского, Неманского, Славского районов Калининградской области [7]. Река Злая является правым притоком реки Ржевки (17 км от устья). Река Ржевка является притоком реки Немонин, впадающей в Куршский залив. По берегам реки расположены населенные пункты Воротыновка, Покровское, Вишневое, Жилино, Зайцево, Новоколхозное, Приозерье. Исток реки находится неподалеку от поселка Воротыновка Черняховского района. В реку Злую впадает много небольших рек и ручьев, не имеющих названия. В 3 километрах от устья, по левому берегу в нее впадает река Бударка-Овражная длиной 20 километров [8].

Долина реки Злая пойменная. В устьевой части река Злая протекает по польдерам, где уровень земли находится ниже отметки уровня моря. Здесь она служит водоприемником дренажной системы польдеров [9]. Густота речной сети $1,34 \text{ км/км}^2$. Средний годовой сток 7 л/сек с км^2 . Длина реки $L = 62 \text{ км}$, площадь бассейна $A = 292 \text{ км}^2$, средний уклон водной поверхности $J = 0,97 \text{ ‰}$.

Значения характерных параметров для определения рек-аналогов [4]:

$$L / A^{0,56} = 2,58; \quad J \cdot A^{0,5} = 16,57. \quad (1)$$

Данные о максимальных уровнях реки Злой

Данные о максимальных уровнях реки Злой в 1961-1985 годы были опубликованы в Гидрологических ежегодниках (см. [10] и др.). С 2008 г. по настоящее время данные имеются в Автоматизированной системе государственного мониторинга водных объектов [11]. За остальные годы максимальные уровни были выбраны из таблиц с ежедневными значениями, хранившимися на Интернет-ресурсе [12]. К сожалению, в настоящее время Интернет-ресурс [12] не работает, доступ на него закрыт.

Для сравнения был использован ряд максимальных годовых уровней реки Преголя (город Гвардейск) [13], показанный на рис. 1. Без проверки статистическими методами видно, что линейный тренд, практически, параллелен оси времени.

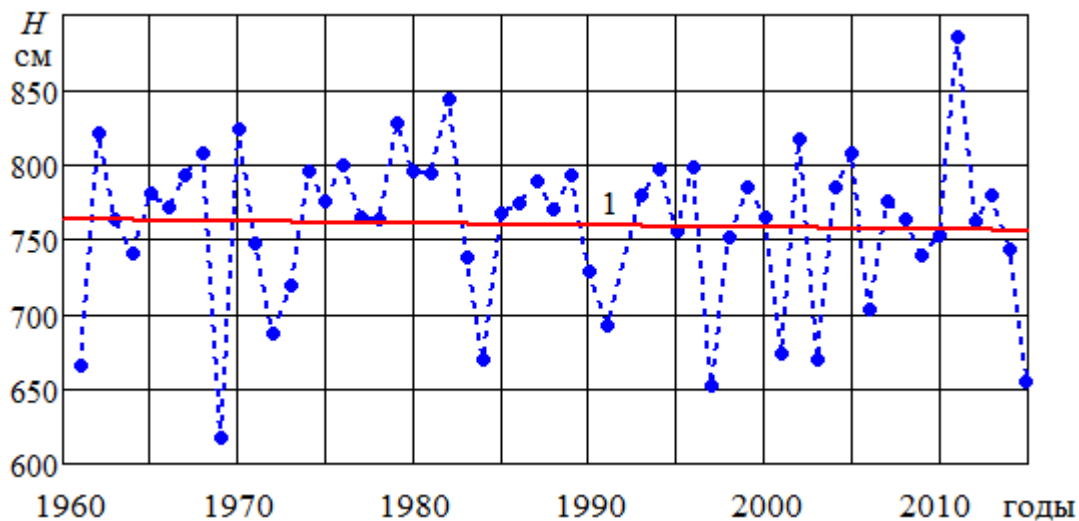


Рисунок 1 – Максимальные уровни реки Преголи (город Гвардейск),
1 – линейный тренд

Казалось бы, на рис. 2 линейный тренд (2) показывает тенденцию возрастания годовых максимальных уровней реки Злой:

$$H = f(t) = -267,8 + 0,442 \cdot t. \quad (2)$$

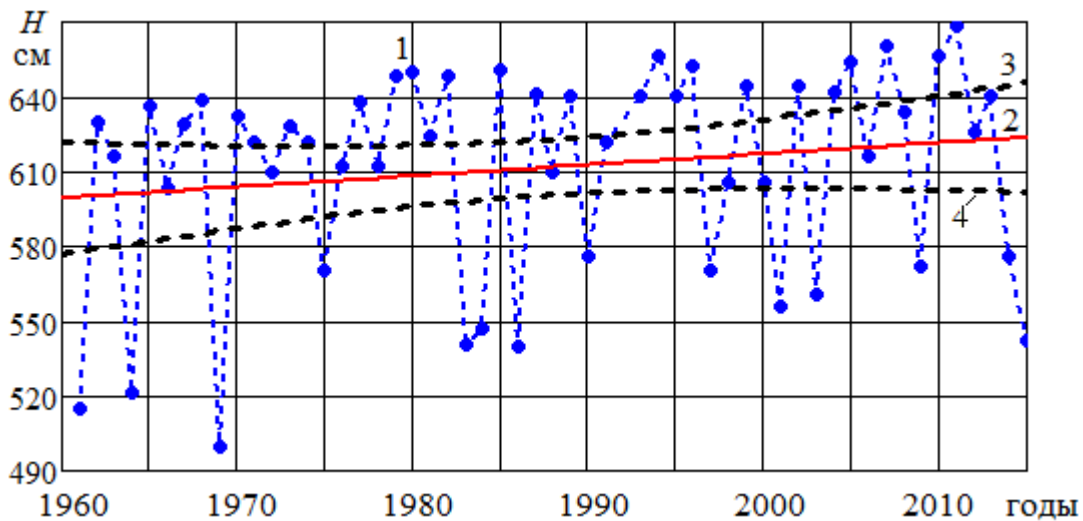


Рисунок 2 – Максимальные уровни реки Злой (село Приозерье),
 1 – результаты наблюдений; 2 – линейный тренд, формула (2); 3 и 4 – верхняя и нижняя границы доверительного интервала линейного тренда, формулы (4)

Построим доверительный интервал для уравнения линейной регрессии (2). По формулам [14]:

$$S_0 = \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2 = 13844, \quad S_1 = \sqrt{\frac{1}{n-2} \cdot \sum_{i=1}^n (HZ_i - f(t_i))^2}; \quad (3)$$

$$f_1(t) = f(t) + t_\gamma \cdot S_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t_i - \bar{t})^2}{S_0}}, \quad f_2(t) = f(t) - t_\gamma \cdot S_1 \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(t_i - \bar{t})^2}{S_0}}. \quad (4)$$

где $n = 55$; t_γ – коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности γ .

Доверительный интервал на рис. 2 показывает, что возможно незначительное убывание максимальных годовых уровней реки Злой или $H(t) = \text{const}$, что согласуется с выводами, сделанными в [6].

Анализ стохастической связи максимальных уровней реки Злой и реки Преголи

Отношение площадей водосборных бассейнов реки Преголи и реки Злой около 50; средний уклон водной поверхности реки Преголи менее 0,1 %. Тем не менее, названные реки находятся в одном гидрологическом районе. Значения характерных параметров для определения рек-аналогов у Преголи примерно в полтора раза меньше (1).

Коэффициент корреляции между максимальными годовыми уровнями реки Злой и реки Преголи составил $R=0,732$. Проверка показала выполнение всех условий использования аналитических методов, основанных на регрессионном анализе [4]:

$$n \geq (6-10); \quad R \geq R_{кр}; \quad R/\sigma_R \geq A_{кр}, \quad k/\sigma_k \geq B_{кр}, \quad (5)$$

где n – число совместных лет наблюдений в приводимом пункте и пунктах-аналогах (в рассматриваемом случае за 1961-2015 годы $n = 55$); R – коэффициент парной или множественной корреляции между значениями стока исследуемой реки и значениями стока в пунктах-аналогах; k – коэффициент уравнения регрессии; σ_k – средняя квадратическая погрешность коэффициента регрессии; $R_{кр}$ – критическое значение коэффициента парной

или множественной корреляции (обычно задается $\geq 0,7$); $A_{кр}$, $B_{кр}$ – критические значения отношений R/σ_R и k/σ_k соответственно (обычно задаются $\geq 2,0$).

В среде Mathcad, как в [15], найдем уравнения прямой и обратной линейной регрессии:

$$HЗ = \overline{HЗ} + R \cdot (HП - \overline{HП}) \cdot \sigma_3 / \sigma_{II}, \quad (6)$$

$$HП = \overline{HП} + R \cdot (HЗ - \overline{HЗ}) \cdot \sigma_{II} / \sigma_3, \quad (7)$$

где $HЗ$, $HП$ максимальные годовые уровни реки Злой (Приозерье) и реки Преголи (Гвардейск), соответственно; $\overline{HП} = 759,5$ см; $\overline{HЗ} = 611,7$ см – средние значения случайных величин $HП$, $HЗ$; $\sigma_{II} = 41,8$ см; $\sigma_3 = 53,4$ см – их среднеквадратические отклонения.

Так как статистическая связь уровней реки Злой (Приозерье) $HЗ$ и реки Преголи (Гвардейск) $HП$ формируется за счет присутствия случайной составляющей в структуре обеих сравниваемых величин, то за ее оценку нужно принимать линию, соответствующую центральной оси эллипса рассеяния переменных [16]. Эта линия занимает среднее положение между регрессиями $HЗ$ по $HП$ (6) и $HП$ по $HЗ$ (7) и описывается уравнением (8) (см. рис. 3):

$$HЗ = \overline{HЗ} + (HП - \overline{HП}) \cdot \sigma_3 / \sigma_{II} \text{ или } \varphi(HП) = 0,784 \cdot HП + 16,5. \quad (8)$$

Особенность приведенного уравнения (8) заключается в том, что в указанных условиях оно характеризует связь не исходных величин (максимальных годовых уровней), а их детерминированных составляющих.

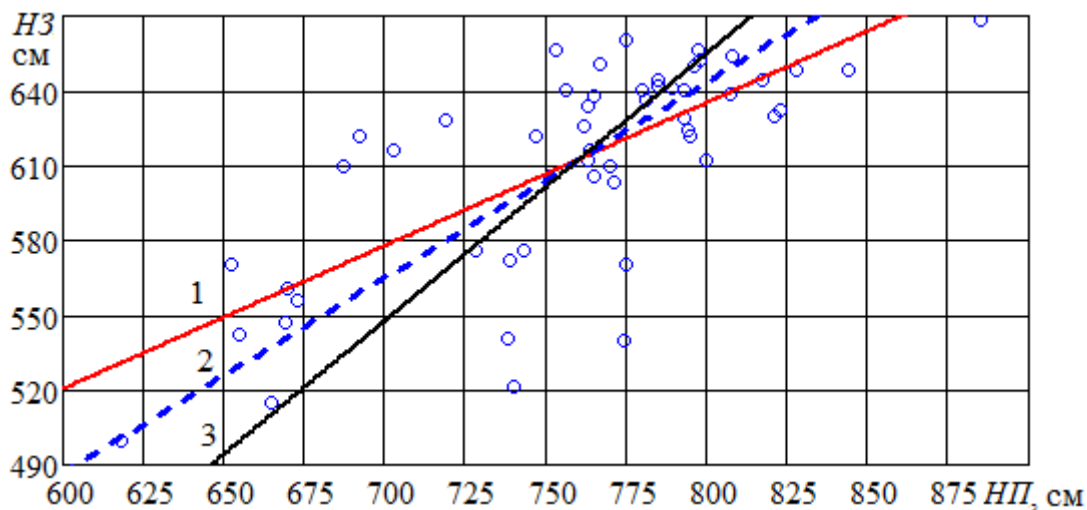


Рисунок 3 – Сравнение максимальных уровней реки Злой и реки Преголи; точки – результаты наблюдений, линии – результаты расчета: 1 по (6), 2 – по (8), 3 – по (7)

На рис. 4 границы доверительного интервала для математического ожидания найдены по формулам [14]:

$$\varphi 1(HП) = \varphi(HП) + t_\gamma \cdot G1 \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(HП - \overline{HП})^2}{G0}}, \quad G0 = \sum_{j=1}^n (HП_j - \overline{HП})^2, \quad (9)$$

$$\varphi 2(HП) = \varphi(HП) - t_\gamma \cdot G1 \cdot \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{(HП - \overline{HП})^2}{G0}}, \quad G1 = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n (HЗ_j - \varphi(HП_j))^2}. \quad (10)$$

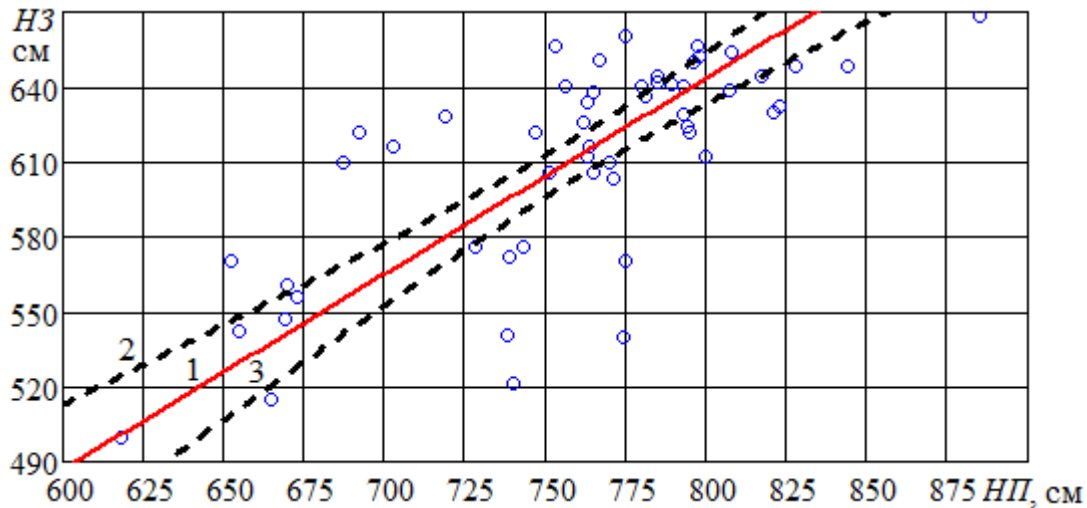


Рисунок 4 – Сравнение максимальных уровней реки Злой и реки Преголи; точки – результаты наблюдений, 1 – результаты расчета по (8), 2 и 3 – верхняя и нижняя границы

Рассчитаем среднюю относительную погрешность аппроксимации по линейной зависимости (8):

$$\varepsilon = 100 \cdot \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{j=1}^n \left(1 - \frac{H3_j}{\varphi(HП_j)} \right)^2} = 5,0\% . \quad (11)$$

Заключение

1. Ранее выдвинутая гипотеза о неизменности среднегодовых региональных гидрологических характеристик подтвердилась для максимальных уровней исследованных рек за 1961-2015 годы.
2. Установлена значимая стохастическая связь между максимальными годовыми уровнями реки Злой (Приозерье) и реки Преголи (Гвардейск); коэффициент корреляции составил $R=0,732$.
3. Получено уравнение линейной регрессии, связывающее максимальные годовые уровни реки Злой и реки Преголи; средняя относительная погрешность аппроксимации не превышает 5 %.
4. Результаты исследований могут быть использованы при проведении инженерно-гидрометеорологических изысканий на малых реках региона.

Статья подготовлена в рамках выполнения государственного задания НИОКР 2017 года по теме: «Определение расходов и уровней воды в малых реках рыбохозяйственного значения».

ЛИТЕРАТУРА

1. Jiang Y., Xu X., Huang Q., Huo Z., Huang G. Optimizing regional irrigation water use by integrating a two-level optimization model and an agro-hydrological model // *Agricultural Water Management*, 2016. V.178, pp. 76–88.
2. van der Valk A., Mushet D.M. Interannual water-level fluctuations and the vegetation of prairie potholes: Potential impacts of climate change // *Wetlands*, 2016. V.36, pp. 397–406.
3. Červeňanská M., Baroková D. Šoltész A. Modeling the groundwater level changes in an area of water resources operations // *Pollack Periodica*, 2016. V.11, No3, pp. 83–92.

4. СП 33-101-2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа постановлением Госстроя России № 218 от 26.12.2003.
5. Каталог гидрологических постов. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.meteo.ru/data_post/ (дата обращения: 03.12.2016).
6. Наумов В.А. Результаты статистического анализа региональных гидрологических и климатических рядов // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2016. Т. 2. № 3. С. 46–56. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf> (дата обращения: 01.02.2017).
7. Нагорнова Н.Н., Берникова Т.А., Цупикова Н.А. Гидрогеохимическая характеристика малых рек Калининградской области // Вестник БФУ им. И. Канта, 2011. Вып.7. С. 160–166.
8. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.4. Вып.3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В.Е. Водограцкого. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 508 с.
9. Пунтусов В.Г. Особенности мелиоративных систем Калининградской области // Водопользование и задачи гидромеханики: сборник научных трудов. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. С. 81–87.
10. Гидрологический ежегодник 1961 г. Т.1. Бассейн Балтийского моря / Под ред. Л.М. Жвирздинене. Вып.5,6. Л.: Гидрометеиздат, 1963. 198 с.
11. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 03.12.2016).
12. ГИС-портал Центра регистра и кадастра [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://gis.waterinfo.ru/> (дата обращения: 01.02.2012).
13. Наумов В.А. Материалы инженерно-гидрометеорологических изысканий в бассейне реки Преголи. Максимальные расчетные уровни воды // Вестник науки и образования Северо-Запада России, 2015. Т.1. №3. С. 42–48. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№3-Наумов.pdf> (дата обращения: 01.02.2017).
14. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
15. Наумов В.А. Методы обработки гидрологической информации // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования, 2015. Вып.7. М.: Изд-во ФГБОУ ВО «РГАУ им. К.А. Тимирязева». С. 144–150.
16. Иванов Е.Г. Об особенностях формирования и способах описания статистических зависимостей в гидрологии // Водное хозяйство России, 2007. №2. С. 22–26.

REFERENCES

1. Jiang Y., Xu X., Huang Q., Huo Z., Huang G. Optimizing regional irrigation water use by integrating a two-level optimization model and an agro-hydrological model. *Agricultural Water Management*, 2016. V.178, pp. 76–88.
2. van der Valk A., Mushet D.M. Interannual water-level fluctuations and the vegetation of prairie potholes: Potential impacts of climate change. *Wetlands*, 2016. V.36, pp. 397–406.
3. Červeňanská M., Baroková D., Šoltész A. Modeling the groundwater level changes in an area of water resources operations. *Pollack Periodica*, 2016. V.11, No3, pp. 83–92.
4. SP 33-101-2003. *Svod pravil. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik* [Set of rules. Determination of basic design hydrological characteristics]. *Odobren*

dlya primeneniya v kachestve normativnogo dokumenta postanovleniem Gosstroya Rossii № 218 ot 26.12.2003.

5. Katalog gidrologicheskikh postov [Catalogue of hydrological stations]. *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii*. Available at: http://www.meteo.ru/data_post/ (date accessed: 03.12.2016).

6. Naumov V.A. *Rezultaty statisticheskogo analiza regional'nykh gidrologicheskikh i klimaticheskikh ryadov* [The results of the statistical analysis of regional hydrological and climate series]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2016. V.2. No 3, pp. 46–56. URL: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2016/08/2016-N3-Naumov.pdf>. (date accessed: 01.02.2017).

7. Nagornova N.N., Bernikova T.A., Tsupikova N.A. *Gidrogeokhimicheskaya kharakteristika malyykh rek Kaliningradskoy oblasti* [Hydrogeochemical characteristics of small rivers in Kaliningrad region]. *Vestnik BFU im. I. Kanta*, 2011. V.7, pp. 160–166.

8. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. Litovskaya SSR i Kaliningradskaya oblast' RSFSR. Pod red. V.E. Vodogretsky* [Surface water resources of the USSR. The Lithuanian SSR and Kaliningrad region of the RSFSR. Ed. by V.E. Vodogretsky]. V.4. Issue.3. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1969. 508 p.

9. Puntusov V.G. *Osobennosti meliorativnykh sistem Kaliningradskoy oblasti* [Characteristics of reclamation systems in Kaliningrad region]. *Vodopol'zovanie i zadachi gidromekhaniki: sbornik nauchnykh trudov*. Kaliningrad: Publishing house FGBOU VPO «KGTU», 2015, pp. 81–87.

10. *Gidrologicheskiy ezhegodnik 1961 g. T. 1. Basseyn Baltiyskogo moraya*. Pod red. L.M. Zhvirzdinene [Hydrological Yearbook 1961. Vol. 1. The Baltic sea basin]. Issue. 5,6. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1963. 198 p.

11. *Avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnykh ob"ektov* [Automated information system of state monitoring of water bodies]. [Electronic resource]. Available at: <https://gmvo.skniivh.ru/> (date accessed: 03.12.2016).

12. *GIS-portal Tsentra registra i kadastra* [The GIS portal of the Central register or inventory]. Available at: <http://gis.waterinfo.ru/> (date accessed: 01.02.2012).

13. Naumov V.A. *Materialy inzhenerno-gidrometeorologicheskikh izyskaniy v bassejne reki Pregoli. Maksimal'nye raschetnye urovni vody* [The materials of engineering-hydrometeorological surveys in the basin of the river Pregolya. The maximum design water levels]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*, 2016. V.1, No 3, pp. 42–48. Available at: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2015/11/2015-№3-Naumov.pdf>. (date accessed: 03.12.2016).

14. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. Moscow: Fizmatlit Publ., 2006. 816 p.

15. Naumov V.A. *Metody obrabotki gidrologicheskoy informatsii* [The methods of processing of hydrological information]. *Vestnik uchebno-metodicheskogo ob"edineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustroystva i vodopol'zovaniya*, 2015. Issue. 7. Moscow: Publishing house «Russian state agrarian University im. K. A. Timiryazev», pp. 144–150.

16. Ivanov E.G. *Ob osobennostyakh formirovaniya i sposobakh opisaniya statisticheskikh zavisimostey v gidrologii* [Peculiarities of formation and ways of describing statistical dependencies in hydrology]. *Vodnoe khozyaystvo Rossii*, 2007. No 2, pp 22–26.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Мойса Алексей Викторович

Муниципальное бюджетное учреждение «Гидротехник», г. Калининград, Россия, директор; Калининградский государственный технический университет, магистрант направления «Природообустройство и водопользование»,

E-mail: gidrotehnik@list.ru



Moisa Alexey Viktorovich

Municipal Budgetary Institution «Hydraulics», Kaliningrad, Russia, Director, Kaliningrad State Technical University, The undergraduate student, field of study «Environmental engineering and Water management»,

E-mail: gidrotehnik@list.ru

Наумов Владимир Аркадьевич

Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, действительный член Российской инженерной академии, действительный член Российской академии естественных наук,

E-mail: van-old@mail.ru

Naumov Vladimir Arkad'evich

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia, Chairman of The Water Resources Department, Doctor of Technical Science, Professor, Member of Russian Engineering Academy, Member of Russian Academy of Natural Science,

E-mail: van-old@mail.ru

Корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи:
236022, Россия, Калининград, Советский пр., 1, КГТУ, ГУК, каб. 372. Наумов В.А.
8(4012)99-53-37