

IV. НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

DOI: <https://doi.org/10.26897/2618-8732-2020-19-55-61>

УДК 004.9: 556.53

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТА ЕСТЕСТВЕННОЙ ЗАРЕГУЛИРОВАННОСТИ СТОКА РЕКИ ПРЕГОЛИ

Наумов В.А.

Для анализа внутригодового распределения стока рек используют кривые обеспеченности среднесуточных расходов. Долю базисного стока оценивают с помощью коэффициента естественной зарегулированности стока (КЕЗС). Величину КЕЗС определяют по графику указанной кривой или иным приближенным методом. В статье представлен простой метод расчета КЕЗС в среде Mathcad. Рассчитаны значения КЕЗС реки Преголи за последние 12 лет. Особенности гидрологического режима рек Южной Прибалтики заключаются в наличии паводков (дождевых летне-осенних и связанных с зимней оттепелью). Увеличение водности реки Преголи происходит, главным образом, из-за паводков. В отдельные годы паводковый сток превышает сток весеннего половодья. Поэтому рост водности реки Преголи не приводит к снижению КЕЗС, как у рек других регионов Северо-Запада России.

Ключевые слова: река Преголя; внутригодовое распределение стока; среднесуточные расходы воды; гидрограф; информационные технологии.

CALCULATION OF THE NATURAL FLOW REGULATION COEFFICIENT OF THE PREGEL RIVER

Naumov V.A.

The average daily expenditure security curves are used to analyze the intra-annual flow distribution of rivers. The share of basic runoff is estimated using the natural flow regulation coefficient (NFRC). The value of NFRC is determined by the graph of the specified curve or another approximate method. The simple Mathcad-method for calculating NFRC is presented in the article. NFRC of The Pregel River over the past 12 years have been calculated. The presence of floods (summer-autumn rain and winter thaw) is a feature of the hydrological regime of the Southern Baltic rivers. The increase in the water content of the Pregel River is mainly due to floods. Flood flows greater than the runoff of spring floods in some years. Therefore, the increase in the water content of the Pregel River does not lead to a decrease in NFRC, as in other rivers in the North-West of Russia.

Keywords: Pregel River, intra-annual flow distribution, average daily water consumption; hydrograph; information technologies.

Научно обоснованное планирование комплексного использования водных ресурсов бассейна реки требует знания закономерностей внутригодового распределения стока. Этой цели служат типовые (характерные) гидрографы – графики изменения расхода по времени, которые строят для различных природно-географических условий. Кроме гидрографов, для анализа внутригодового распределения стока используют кривые обеспеченности среднесуточных расходов ($k-P$), где k – модульный коэффициент среднесуточного расхода, P – вероятность его превышения в рассматриваемый год. Д.Л. Соколовский ввел понятие коэффициент естественной зарегулированности стока (КЕЗС) [1], который, обычно обозначают буквой ϕ . Величина ϕ рассчитывается как площадь под кривой ($k-P$), ограниченная горизонталью $k = 1$. КЕЗС представляет собой базисную часть стока в рассматриваемом году.

КЕЗС широко используется при решении инженерных и научных задач. В [2] представлена зависимость КЕЗС от площади бассейна рек Северо-Запада России (СЗР) (рис. 1). Автор [2] полагает, что КЕЗС отражает экологически значимую точку на кривой $k-P$, так как КЕЗС может служить оценкой стоковой способности реки в период сработки водных ресурсов бассейна.

Речной бассейн в [3], как и в [4], полагается сложной нелинейной динамической системой, которая генерирует ряд стока в замыкающем створе реки. Показано, что значения динамических параметров бассейнов семи сибирских рек сильно зависят от КЕЗС. Исследование влияния степени озерности f_{oz} бассейнов рек СЗР на КЕЗС проведено в [5]. При увеличении f_{oz} растет значение КЕЗС (коэффициент парной корреляции больше 0,7). Получена эмпирическая зависимость КЕЗС рек СЗР от степени озерности (при $f_{oz} > 3\%$) [5]:

$$\varphi = 1 - 0,5 \cdot \exp(-0,061 \cdot f_{oz}). \quad (1)$$

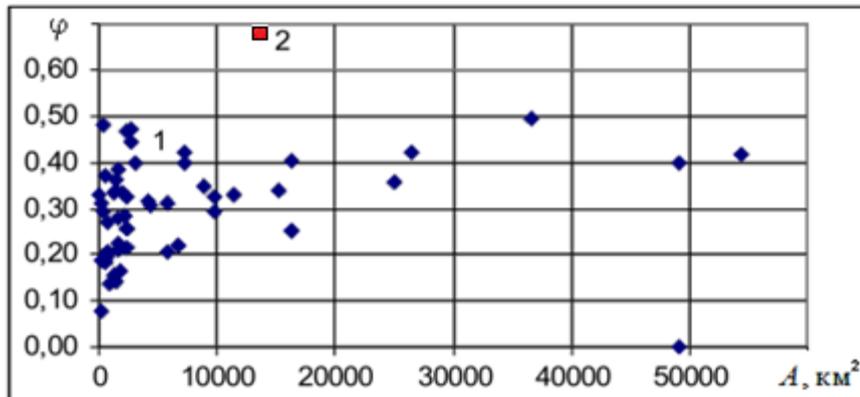


Рисунок 1- Зависимость КЕЗС от площади бассейна рек: 1 – по 62 рекам СЗР из [2]; 2 – среднее значение, рассчитанное в данной статье для реки Преголи за последние 12 лет

Зависимость КЕЗС рек Кыргызстана от водности изучена в [6]. Водность года рек Кыргызстана определяется, главным образом, объемом стока во время весеннего половодья. Поэтому увеличение водности приводит к уменьшению доли базисного стока и снижению КЕЗС. В маловодные годы пик половодья понижается, возрастает доля меженного стока, КЕЗС возрастает.

Зависимость КЕЗС от гидрографических, морфометрических, климатических и ландшафтных факторов исследована в [7]. Проведено районирование территории России по данным более чем 900 гидрометрических постов. Интересно, что на карте (рис. 2) помечено, что для Калининградской области нет данных. Кстати, и в [2, 5] характеристики рек Калининградской области не учитывались.

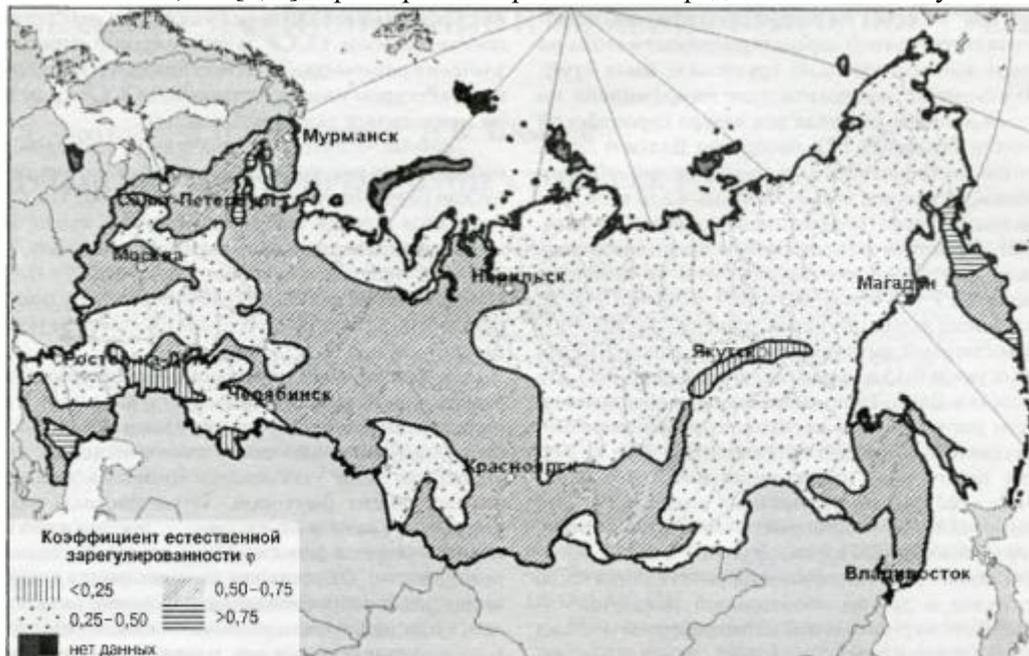


Рисунок 2-Распределение значений КЕЗС по территории России [7]

Авторы [7] отмечают: «так как способы определения значений КЕЗС по судочным данным довольно трудоемки, была предпринята попытка вычислить этот коэффициент по месячным данным». Понятно, что при обработке ежедневных данных 900 постов без применения современных информационных технологий объем расчетов показался чрезвычайно большим, и от него отказались. При использовании среднемесячных значений ошибка расчета КЕЗС достигала 10%. Наши расчеты показали, что для калининградских рек указанная ошибка будет еще больше.

Цель данной статьи – расчет КЕЗС реки Преголи с помощью современных информационных технологий и анализ его особенностей. Площадь бассейна реки Преголи 15,5 тысяч км². Собственно Преголя образуется слиянием рек Инструча и Анграпы и имеет длину всего 123 км, но от истока на территории Польши самого крупного притока, реки Лавы (Лыны) – 412 км [8].

Расчет КЕЗС с применением современных информационных технологий включает несколько этапов. Первый из них – это подготовка массива суточных расходов. Начиная с 2008 года, можно получить такие данные из Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [9]. Как работать с указанным Интернет-ресурсом и скачивать массивы с гидрологической информацией, подробно раскрыто в [10]. На 01.09.200 в АИС ГМВО были размещены данные по 2018 год. Пример массива показан в табл. 1.

Таблица 1

Среднесуточные расходы воды реки Преголи в створе города Гвардейска в 2018 году [9] м³/с

Число	Месяц											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	356^	273	73.8	84.7	93.1	39.5	23.1	21.0	20.1	21.9_	25.5	22.3_
2	339	301	73.2	136	89.4	37.6	24.6^	22.2	18.0	22.8	27.9	24.2
3	323	353	65.7	164	84.0	37.6	22.6	24.5	17.4	26.9	28.4	25.1
4	309	383^	70.2	174	84.7	39.1	21.8	25.7	17.4	28.1	29.1	25.9
5	299	378	70.8	171	78.5	41.5	20.8	27.5	16.9	26.8	28.4	37.3
6	290	335	70.8	178^	75.2	41.8	20.8	31.2	16.5	22.8	29.3	35.6
7	286	295	69.5	176	72.7	37.0	21.0	31.8	15.9	24.2	29.5	33.3
8	278	271	70.1	173	64.4	33.7	22.0	29.8	16.3	26.2	29.1	42.3
9	266	245	71.3	170	61.3	32.7	21.3	28.1	16.5	23.0	31.3^	46.7
10	254	221	75.0	168	57.0	29.9	21.0	28.7	16.4	23.6	29.5	51.7
11	244	206	81.9	164	53.8	27.7	20.8	31.4	15.2_	24.1	26.2	60.4
12	226	184	92.9	162	50.1	28.3	20.6	37.2	17	24.6	22.6	62.4
13	212	172	111	156	46.7	27.3	21.3	37.5	17.9	25.3	20.4_	65.7
14	197	159	117	148	44.5	27.1	21.3	37.8	17.9	23.6	24.6	59.7
15	197	144	114	144	41.4	24.6	22	42.2	18.1	22.2	23.9	56.7
16	188	134	111	136	38.3	22.7	21.8	41.6	21.5	23.7	22.5	55.4
17	226	126	105	130	37	22.1	22.7	37.9	21.9	24.7	21.9	47.1
18	262	118	123	140	39.3	21.2	23.4	38.9	19.8	25.4	24.3	45.4
19	261	111	116	149	41.6	20.5	23.6	38.2	20.1	27.6	22.5	40.5
20	256	102	99	138	39.8	21.2	23.9	31.9	18.7	27.9	22.1	40.5
21	248	94.1	92.2	127	37.6	19.4	24.6	35.6	18.3	29.3	20.8	37.7
22	234	87.8	90.3	119	34.7	23.3	22.8	32.2	20.1	27.7	21.3	41.6
23	226	85.1	86.6	110	35.5	22.8	21.8	24.6	23.0	33.1	20.8	47.2
24	214	100	84.7	105	35.4	22.8	21.1	21.9	23.5	43.3^	20.3	48.3
25	218	102	82.2	100	36.1	23.2	20.2	22.3	25.7	42.9	21.7	50.2
26	233	94.9	83.4	102	36.8	22.5	20.2	20.5	27.5^	39.5	23.0	54.4

27	257	83.9	88.8	103	40.1	20.5	20.2	20.0	27.3^	37.7	26.1	57.7
28	281	79.4	87.4	100	47.5	20.3	20.3	19.8	27.0	40.3	27.1	72.3
29	293	-	81.9	98.1	49.2	21.2	20.0	20.0	26.5	36.8	24.5	83.2
30	264	-	84.6	94.2	45.0	23.9	19.6_	19.1	23.3	29.3	25.0	90.1
31	264	-	85.5	-	42.5	-	20.3	19.2	-	25.8	-	101

Обозначения в табл. 1: – наибольшее значение среднесуточного расхода за месяц, _ – наименьшее значение среднесуточного расхода за месяц.

Данные из табл. 1 в среде Mathcad преобразуем в матрицу-столбец Q . В качестве примеров на рис. 3 представлены гидрографы в годы разной водности. За 12 лет (2007-2018) наибольшая водность была в 2017 году (среднегодовой расход $167 \text{ м}^3/\text{с}$), 2014 – год низкой водности ($44,3 \text{ м}^3/\text{с}$), средняя водность была зафиксирована, например, в 2012 году ($85,8 \text{ м}^3/\text{с}$).

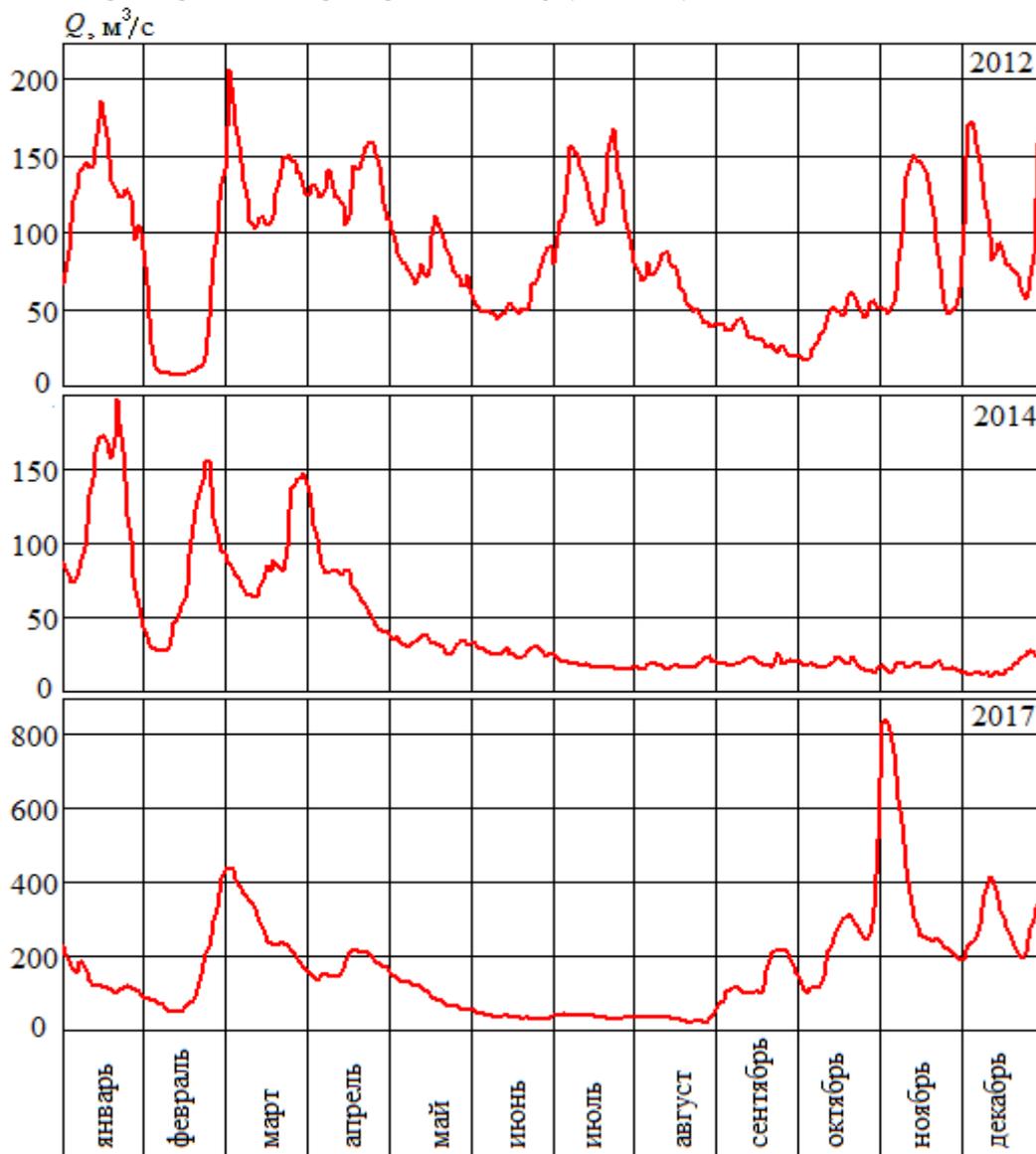


Рисунок 3 - Гидрографы реки Преголи в створе города Гвардейска за годы разной водности

Как и в [11, 12], используем универсальное программное обеспечение. Эмпирическая зависимость $k-P$ в среде Mathcad формируется несколькими операторами. Вероятности превышения и модульные коэффициенты среднесуточных расходов рассчитываем по формулам из свода правил [13]:

$$P_i := \frac{i}{n+1}, \quad Q_s := \text{mean}(Q), \quad k1_i := \frac{Q_i}{Q_s}. \quad (2)$$

где $i = 1, 2, 3, \dots, n$; n – количество дней в году

Сортируем значения модульных коэффициентов по убыванию:

$$k_2 := \text{sort}(k_1), \quad k_i := k_{2_{n-i+1}}. \quad (3)$$

Примеры эмпирических зависимостей, построенные по формулам (2)-(3), показаны на рис. 4.

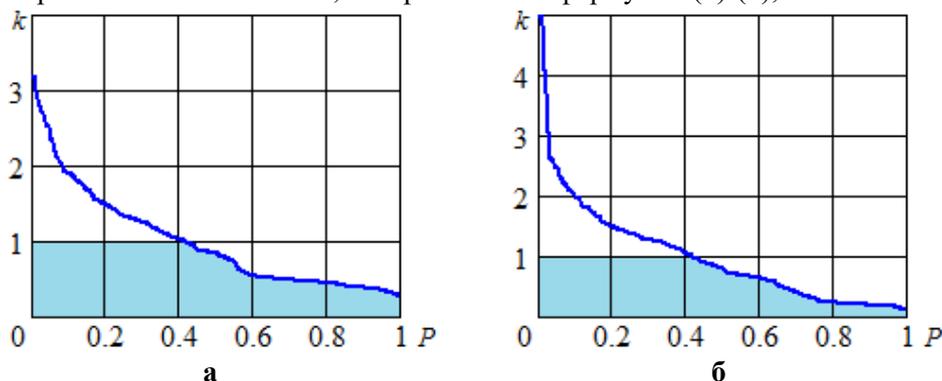


Рисунок 4 - Эмпирические кривые k - P реки Преголи (Гвардейск):

а – маловодный 2014 год, б – многоводный 2017 год

Как известно, один из методов определения КЕЗС это расчет по рис. 4 площади закрашенной фигуры под кривой k - P . ниже горизонтали $k = 1$. Опубликованы и другие приближенные методы расчета, например [14]. Нет необходимости использовать их в среде Mathcad. Можно определить КЕЗС точно, непосредственно по исходным данным с помощью операторов из [15]:

$$Q_{\varphi_i} := \begin{cases} Q_i & \text{if } Q_i \leq Q_s \\ Q_s & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$S := \sum_i Q_i \quad S_{\varphi} := \sum_i Q_{\varphi_i} \quad \varphi := \frac{S_{\varphi}}{S}$$

Разумеется, имеется погрешность самих исходных данных и совсем небольшая погрешность вычислений. Рассчитаем в среде Mathcad минимальные 30-дневные расходы в 2007-2018 годы:

$$j := 1..n - 29 \quad Q_{30_j} := \frac{1}{30} \cdot \sum_{i=j}^{j+29} Q_i \quad Q_{m30} := \min(Q_{30})$$

К рассчитанным характеристикам добавим максимальный годовой расход Q_{max} и поместим в таблицу 2.

Таблица 2

Характеристики реки Преголи (Гвардейск) в 2007-2018 годы

Год	φ	$Q_s, \text{M}^3/\text{c}$	$Q_{30min}, \text{M}^3/\text{c}$	$Q_{max}, \text{M}^3/\text{c}$
2007	0,732	134	45,4	413
2008	0,672	84,2	15,7	344
2009	0,701	68,2	19,9	326
2010	0,712	67,5	11,4	362
2011	0,670	88,5	29,4	795
2012	0,769	85,8	25,7	217
2013	0,718	75,0	23,4	433
2014	0,639	44,3	13,9	202
2015	0,738	32,2	11,5	104
2016	0,632	86,4	15,6	274
2017	0,685	167	30,6	849
2018	0,604	77,1	18,7	387

По табл. 2 были рассчитаны коэффициенты парной корреляции. Коэффициент корреляции φ со средними расходами оказался близким к нулю (0,049), с максимальными расходами – небольшим отрицательным (–0,166), с минимальными 30-дневными – небольшим положительным (0,290).

Таким образом, величина КЕЗС реки Преголи заметно выше, чем у рек других регионов СЗР (см. рис. 1). У реки Прегли не получилось заметного убывания КЕЗС с ростом водности, в отличие от результатов [6, 7]. Это связано с особенностями гидрологического режима рек Южной Прибалтики, в частности, Преголи. Как видно из гидрографов на рис. 3, водность реки Преголи увеличивается,

главным образом, за счет паводков (летне-осенних дождевых или зимних, связанных с оттепелью). В отдельные годы паводковый сток превышает сток весеннего половодья. Так было в 2017 году. Тогда как при анализе КЕЗС рек со значительным преобладанием весеннего половодья вкладом паводков, нередко, пренебрегают (см., например, [2]). Для Преголи и других калининградских рек такой подход неприемлем.

Литература

1. Соколовский Д.Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов): учебник. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 539 с.
2. Иофин З.К. Экологически допустимые изъятия речного стока // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе. Международная научная конф. (Москва, 19-20 октября 2006 г.). Т. 6. С. 252-254 [Электронный ресурс]. URL: <http://caspi.ru/HTML/Conf/Trud-r-6/Iofin.pdf> (дата обращения 30.08.2020).
3. Юшкина О.А., Земцов В.А. Влияние режима стока рек и степени его естественной зарегулированности на параметры динамических систем речных бассейнов // Вестник Томского государственного университета. 2008. № 316. С.213-218.
4. Islam M.N., Sivakumar B. Characterization and prediction of runoff dynamics: a nonlinear dynamical view // Advances in Water Resources. 2002. Vol. 25, No. 2. P. 179-190.
5. Сикан А.В., Малышева Н.Г. Исследование показателей инерционности речных систем // Ученые записки РГГМУ. 2008. № 7. С. 23-28.
6. Эгизов И. А., Ордобаев Б. С., Пархоменко Ю. Ф. Зависимость естественной зарегулированности стока рек Кыргызстана от водности года // Сб. науч. тр. ВНИИ овцеводства и козоводства. 2013. Т. 3, № 6. С. 411-415.
7. Фролова Н.Л., Нестеренко Д.П., Шенберг Н.В. Глобальные и региональные изменения природной среды // Вестник Московского университета. Серия География. 2010. № 6. С. 8-12.
8. Наумов В.А., Ахмедова Н.Р. Инженерные изыскания в бассейне реки Преголи: монография. Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. 183 с.
9. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов [Электронный ресурс]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 01.09.2020).
10. Наумов В.А. Подбор и первичная обработка гидрологической онлайн информации о водохранилищах ГЭС // Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию. 2019. № 15. С. 44-51.
11. Корсак В.В., Прокопец Р.В. Применение свободного программного обеспечения при изучении дисциплин профессионального цикла студентами по направлению подготовки «Природообустройство и водопользование» // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2015. № 8 (8). С. 23-26.
12. Наумов В.А. Методы обработки гидрологической информации // Вестник учебно-методического объединения по образованию в области природообустройства и водопользования. 2015. № 7 (7). С. 144-150.
13. Свод правил СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Одобрен для применения в качестве нормативного документа. Постановлением Госстроя России № 218 от 26 декабря 2003 г.
14. Комлев А.М., Проскурина Г.В. Аналитический способ вычисления коэффициента естественной зарегулированности речного стока // Метеорология и гидрология. 1977. № 10. С. 95-99.
15. Наумов В.А. Методы обработки гидрологической информации. Лабораторный практикум для студентов вузов. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. 115 с.

References

1. Sokolovskij D.L. Rechnoj stok (Osnovy teorii i metodiki raschetov): uchebnik. L.: Gidrometeoizdat, 1968. 539 s.
2. Iofin Z.K. Ekologicheski dopustimye iz'yatiya rechnogo stoka // Ekstremal'nye gidrologicheskie sobytiya v Aralo-Kaspijskom regione. Mezhdunarodnaya nauchnaya konf. (Moskva, 19-20 oktyabrya 2006 g.). T. 6. S. 252-254 [Elektronnyj resurs]. URL: <http://caspi.ru/HTML/Conf/Trud-r-6/Iofin.pdf> (data obrashcheniya 30.08.2020).
3. YUshkina O.A., Zemcov V.A. Vliyanie rezhima stoka rek i stepeni ego estestvennoj zaregulirovannosti na parametry dinamicheskikh sistem rechnyh bassejnov // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. 2008. № 316. S.213-218.
4. Islam M.N., Sivakumar B. Characterization and prediction of runoff dynamics: a nonlinear dynamical view // Advances in Water Resources. 2002. Vol. 25, No. 2. R. 179-190.
5. Sikan A.V., Malysheva N.G. Issledovanie pokazatelej inercionnosti rechnyh sistem // Uchenye zapiski RGGMU. 2008. № 7. S. 23-28.
6. Egizov I. A., Ordobaev B. S., Parhomenko YU. F. Zavisimost' estestvennoj zaregulirovannosti stoka rek Kirgызstana ot vodnosti goda // Sb. nauch. tr. VNII ovcevodstva i kozovodstva. 2013. T. 3, № 6. S. 411-415.
7. Frolova N.L., Nesterenko D.P., SHenberg N.V. Global'nye i regional'nye izmeneniya prirodnoj sredy // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya Geografiya. 2010. № 6. S. 8-12.
8. Naumov V.A., Ahmedova N.R. Inzhenernye izyskaniya v bassejne reki Pregoli: monografiya. Kaliningrad: Izd-vo FGBOU VO «KGTU», 2017. 183 s.

9. Avtomatizirovannaya informacionnaya sistema gosudarstvennogo monitoringa vodnyh ob'ektov [Elektron-nyj resurs]. URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (data obrashcheniya: 01.09.2020).
10. Naumov V.A. Podbor i pervichnaya obrabotka gidrologicheskoy onlajn informacii o vodohranilishchah GES // Vestnik nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustrojstvu i vodopol'zovaniyu. 2019. № 15. S. 44-51.
11. Korsak V.V., Prokopec R.V. Primenenie svobodnogo programmnoho obespecheniya pri izuchenii disciplin professional'nogo cikla studentami po napravleniyu podgotovki «Prirodoobustrojstvo i vodopol'zovanie» // Vestnik uchebno-metodicheskogo obedineniya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustrojstva i vodopol'zovaniya. 2015. № 8 (8). S. 23-26.
12. Naumov V.A. Metody obrabotki gidrologicheskoy informacii // Vestnik uchebno-metodicheskogo ob"edine-niya po obrazovaniyu v oblasti prirodoobustrojstva i vodopol'zovaniya. 2015. № 7 (7). S. 144-150.
13. Svod pravil SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh harakteristik. Odobren dlya primeneniya v kachestve normativnogo dokumenta. Postanovleniem Gosstroya Rossii № 218 ot 26 dekabrya 2003 g.
14. Komlev A.M., Proskurina G.V. Analiticheskij sposob vychisleniya koefficienta estestvennoj zareguliro-vannosti rechnogo stoka // Meteorologiya i gidrologiya. 1977. № 10. S. 95-99.
15. Naumov V.A. Metody obrabotki gidrologicheskoy informacii. Laboratornyj praktikum dlya studentov vuzov. – Kaliningrad: Izd-vo FGBOU VPO «KGTU», 2014. 115 s.

Данные об авторе:

Наумов Владимир Аркадьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования.

НЭБ РИНЦ SPIN-код автора: 1788-8843; AuthorID: 3113.

E-mail: van-old@rambler.ru

*Калининградский государственный технический университет
Советский проспект, 1, 236022, Калининград, Россия*

Data about the author

Naumov Vladimir Arkad'evich, doctor of technical Sciences, Professor,
Head of chair of Water resources and Water management,
*Kaliningrad State Technical University,
Sovetsky Avenue, 1, 236022, Kaliningrad, Russia*

Рецензент: Ханов Н.В., д.т.н., профессор, РГАУ-МСХА им.К.А.Тимирязева

DOI: <https://doi.org/10.26897/2618-8732-2020-19-61-68>

УДК 628. (1-21):628.113

ПРИРОДООХРАННЫЕ АСПЕКТЫ КАПТАЖА РОДНИКОВ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

Черных О.Н.

Рассмотрены особенности проектирования и природоохранных мероприятий каптажных устройств на территории мегаполиса и в природном ландшафте московского региона, их роль при выполнении дипломных и квалификационных выпускных работ при ландшафтном проектировании водных объектов и обустройстве рекреационных территорий. Показана необходимость комплексного многофакторного мониторинга водных объектов региона.

Ключевые слова: подземные воды, каптаж природных источников, природоохранные мероприятия, элементы обустройства каптажа родника, мониторинг и визуальные обследования, зона санитарной охраны.

ENVIRONMENTAL ASPECTS OF SPRING HARVESTING IN THE MOSCOW REGION

Chernikh O.N.

The article considers the features of designing and environmental protection measures for captcha devices on the territory of the megalopolis and in the natural landscape of the Moscow region, their role in the implementation of diploma and qualification graduation works in the landscape design of water bodies and the