


## Расчет максимального стока по региональным коэффициентам

Г. А. Сенчуков , В. Д. Гостищев, Т. С. Пономаренко, А. В. Бреева

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации,  
Новочеркасск, Российская Федерация  
(346421, Ростовская область, г. Новочеркасск, Баклановский проспект, 190)

**Аннотация:** Цель – произвести расчет региональных коэффициентов модуля стока и их районирование по всей протяженности исследуемых водотоков.

**Материалы и методы.** Исходными материалами послужили расчетные результаты, представленные в монографии научных обобщений данных о режиме водных объектов и справочные данные гидрометеорологической службы (ряды наблюдений максимальных расходов воды). Общее количество расчетных створов составило 56. Заимствованные материалы подвергнуты анализу в целях выявления закономерных связей гидрологических и ландшафтно-морфометрических характеристик с использованием программы компьютерной статистической обработки данных, разработанной и зарегистрированной авторами статьи.

**Результаты и обсуждение.** Детальное изучение массива точек, используемого для построения кривой зависимости, позволило для исследуемых бассейнов Черноморского побережья на основе решения обратной задачи вычислить региональные коэффициенты ( $k_m$ ), характеризующие формирование максимального стока. По полученным коэффициентам выполнено районирование территории. Для рек, на которых зафиксировано значительное изменение модуля стока по направлению течения, выполнено также внутрибассейновое ранжирование коэффициентов. Проверка достоверности полученных данных подтвердилась кривой зависимости модуля стока при  $P = 1\%$ , которая показала высокую корреляционную связь. Произведено сопоставление значений справочных величин расходов воды при  $P = 1\%$  с расчетными с учетом полученных коэффициентов.

**Выводы.** Установлено, что при использовании региональных коэффициентов в расчете максимального стока, погрешность, в среднем, не превышает 10 %. Это значит, что применение полученных коэффициентов позволит выполнять расчеты заданного параметра с более высокой точностью.

**Ключевые слова:** модуль стока, обеспеченность, площадь водосбора, расход, высота водосбора, расчетный створ.

**Для цитирования:** Сенчуков Г. А., Гостищев В. Д., Пономаренко Т. С., Бреева А. В. Содержание хлоридных ионов в воде реки Волга // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География, Геоэкология*, 2021, № 4, с. 42-49. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3749>

### ВВЕДЕНИЕ

За последние десятилетия отмечается тенденция к росту числа и утяжелению последствий чрезвычайных ситуаций природного характера, в том числе наводнений. В зарубежных странах и в России созданы и совершенствуются системы по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций (ЧС) [5, 7]. Важнейшим этапом предотвращения негативных последствий наводнений является определение границ потенци-

ально затопляемых территорий при прохождении максимальных расходов редкой повторяемости. В России такие исследования проводятся в рамках Постановления № 360 «О зонах затопления, подтопления» от 18.04.2014 года. Одно из требований данного постановления – определение зон затопления при вероятности превышения стока 1 %.

Нормативные документы содержат методический подход к расчету данного параметра, но все они были разработаны во второй половине 20



века. В настоящее время требуется их пересмотр или, по крайней мере, пересчет используемых в них требований.

Черноморское побережье Краснодарского края (на территории Российской Федерации) – один из наиболее подверженных наводнениям регионов. Такая ситуация объясняется сложным рельефом местности и недостаточной изученностью гидрологического режима рек. Наши исследования показали, что сеть действующих гидрологических постов гидрометеорологической службы охватывает не более 10 % водных объектов исследуемого района [1, 3, 5]. Поэтому основная часть расчетов выполняется по методике при отсутствии натуральных наблюдений [5, 7]. Такая методика допускает использование различных региональных зависимостей и формул.

Модуль стока – одна из характеристик гидрологического режима реки, зависящая от различных факторов, среди которых выделяются абсолютная высота и площадь водосбора. В статье представлены региональные коэффициенты модуля стока, учитывающие величину погрешности при расчете модуля стока по формуле, указанной в нормативных документах [4].

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходными материалами послужили расчетные результаты, представленные в монографии

научных обобщений данных о режиме водных объектов [6] и справочные данные гидрометеорологической службы (ряды наблюдений максимальных расходов воды). Общее количество принятых к расчету створов составило 56.

Заемствованные материалы подвергнуты анализу в целях выявления закономерных связей гидрологических и ландшафтно-морфометрических характеристик с использованием программы компьютерной статистической обработки данных, разработанной и зарегистрированной авторами статьи (свидетельство о регистрации № 2019612722).

Расчет модуля стока 1% обеспеченности выполнен по формуле [2], которая для решения поставленной задачи имеет вид:

$$A = M_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^n,$$

где  $M$  – модуль максимального расхода воды,  $\text{м}^3/(\text{с км}^2)$  с вероятностью превышения 1 %, приведенный к площади водосбора 200  $\text{км}^2$ ;  $F$  – площадь водосбора,  $\text{км}^2$ ;  $n$  – показатель степени редукции (уменьшения) модуля максимального расхода воды.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам расчета построена кривая зависимости, выведено расчетное уравнение и среднеквадратическая погрешность (рис. 1).

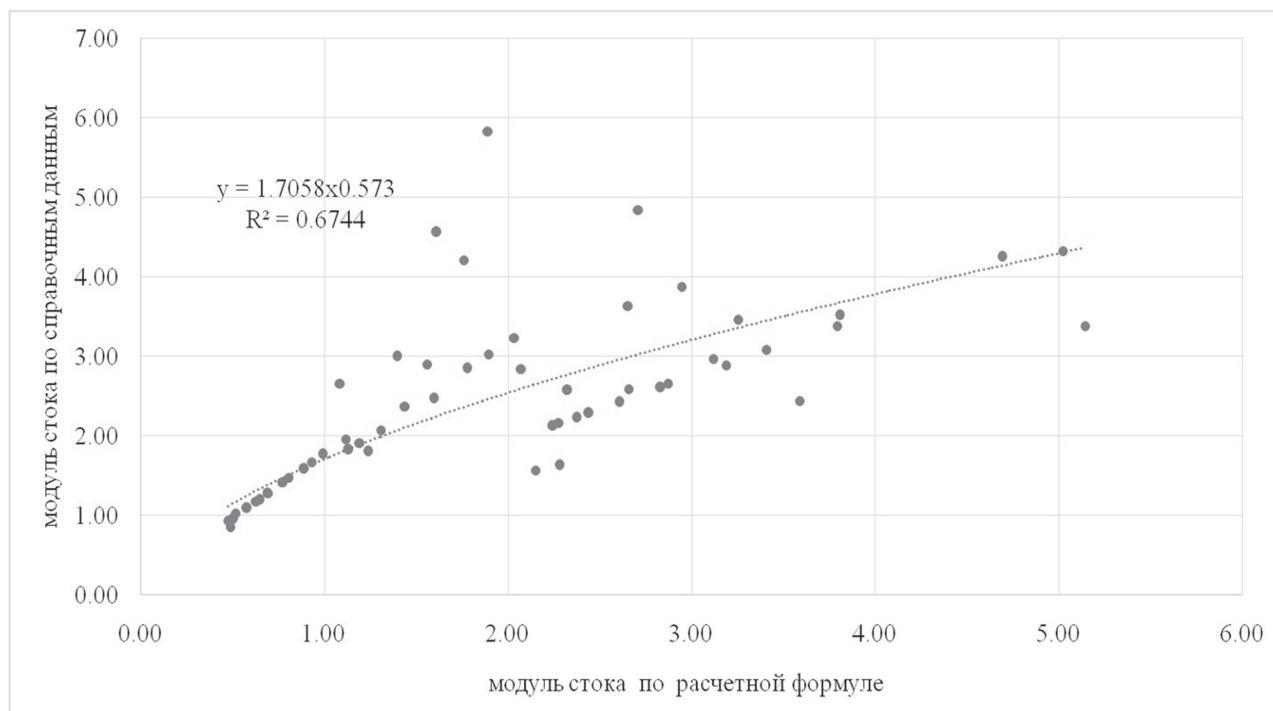


Рис. 1. Кривая зависимости модуля стока (расчетные и справочные данные)  
[Fig. 1. The graph of the flow modulus dependence (calculated and reference data)]

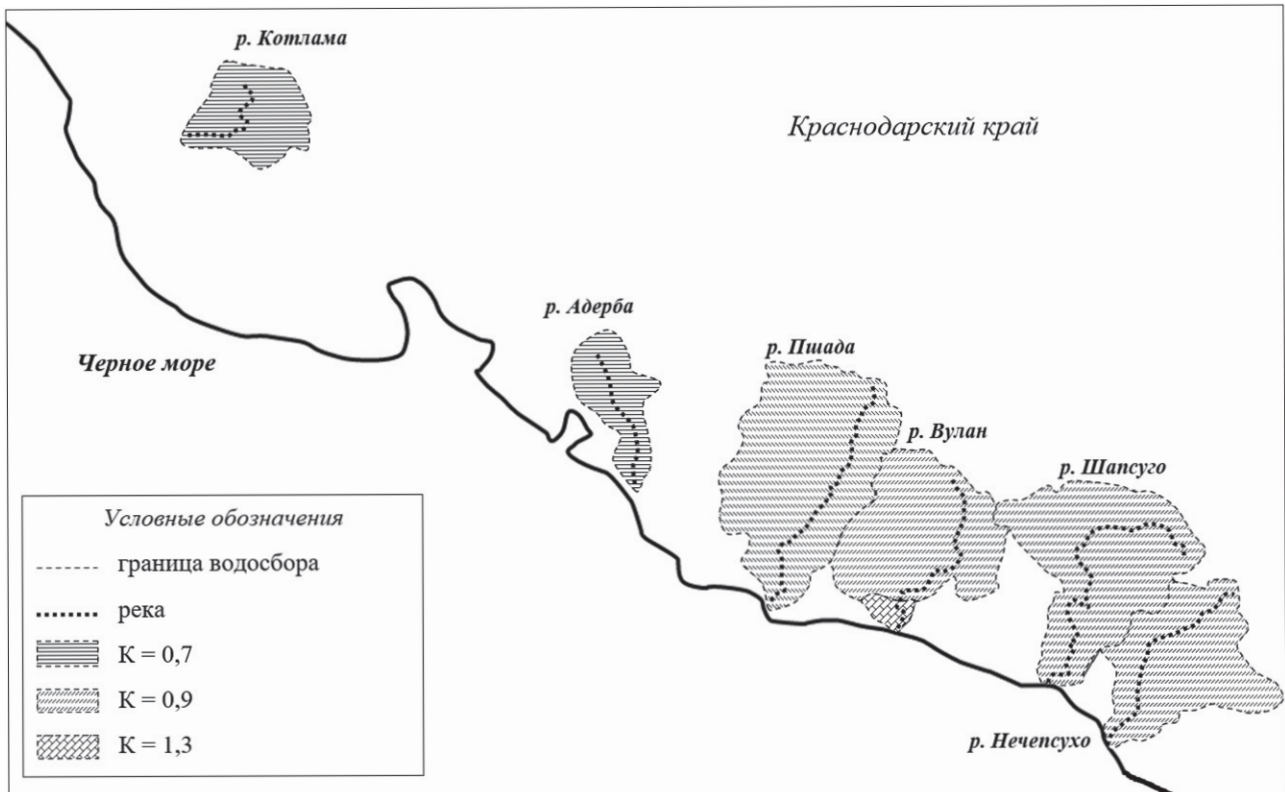


Рис. 2. Графическое отображение внутрибассейнового ранжирования коэффициентов  
 [Fig. 2. The graphical representation of intra-basin ranking of coefficients]

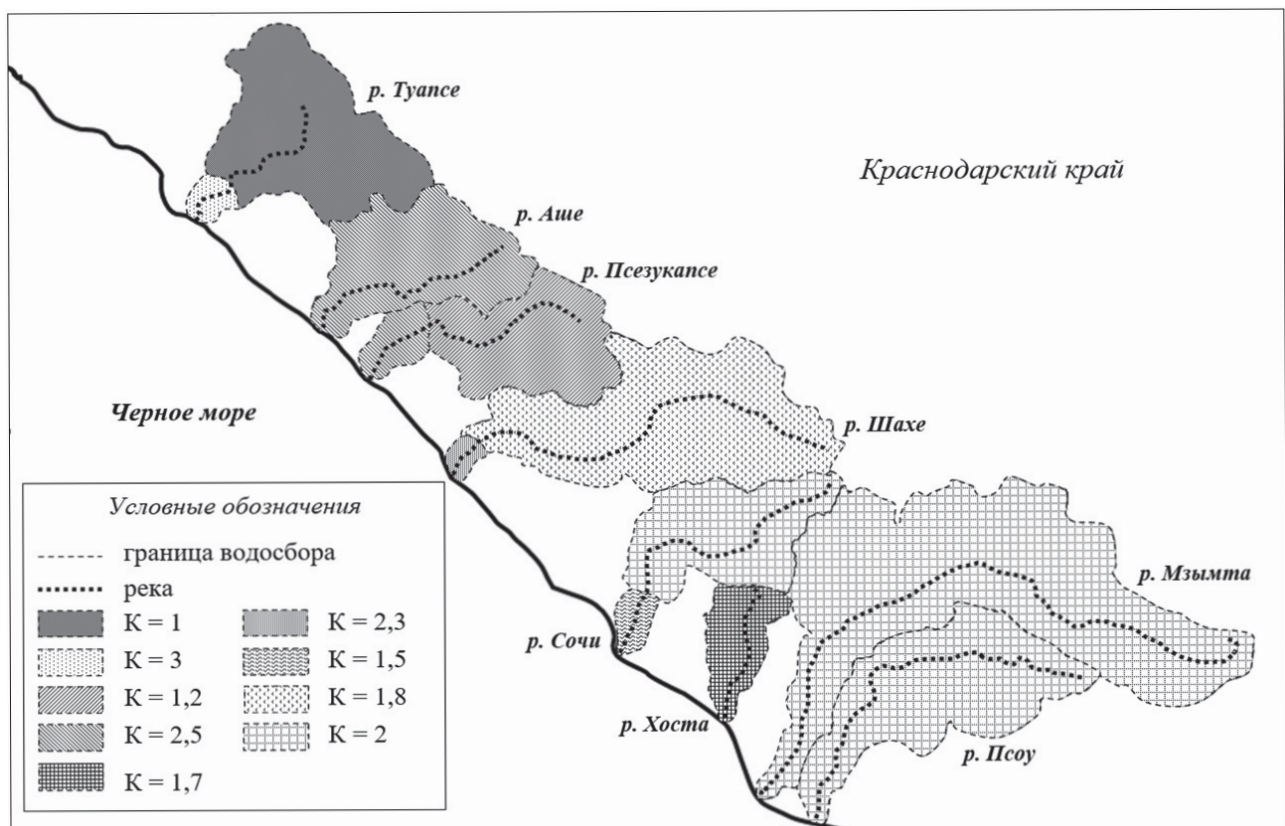


Рис. 3. Графическое отображение внутрибассейнового ранжирования коэффициентов  
 [Fig. 3. The graphical representation of intra-basin ranking of coefficients]

Анализ полученных результатов свидетельствует о значительной погрешности при построении кривой порядка 35 %, что является недопустимым условием. Детальное изучение данного массива точек позволило выделить определенные районы и вычислить на основе решения обратной задачи региональные коэффициенты (км), характеризующие формирование максимального стока.

Коэффициенты получены для каждого бассейна и графически представлены на рисунках 2, 3. Для рек, на которых зафиксировано значительное изменение модуля стока по длине русла выполнено внутрибассейновое ранжирование коэффициентов.

Установлено, что для рек Вулан, Туапсе, Шахе, Псезукапсе и Сочи наблюдается увеличение значения коэффициента ближе к устьевой части водотока. Практически на каждом водотоке, представленном в данном исследовании, имеется несколько расчетных створов, что позволило оценить изменение модуля стока по всей протяженности реки и соответственно вычислить достоверные региональные коэффициенты. Отметим, что на реках Аше и Хоста использованы данные только по одному створу в устьевой части водотоков.

Достоверность вычисленных коэффициентов подтверждается высокой корреляционной связью заданных параметров (рис. 4).

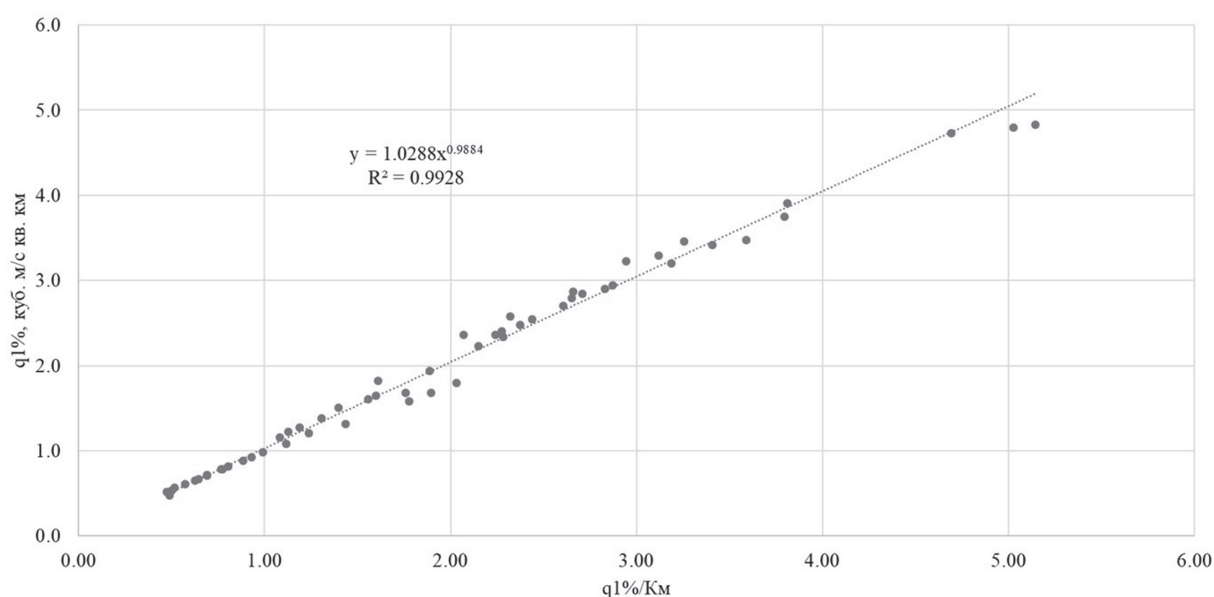


Рис. 4. Кривая зависимости модуля стока при P = 1 % от q1%/Км  
[Fig. 4. The graph of the flow modulus dependence at P = 1 % on q1%/Км]

Для проверки достоверности полученных данных выполнен расчет максимального расхода 1 %

обеспеченности стока [4] с учетом полученных коэффициентов (табл.).

Таблица

Результаты сопоставления расчетных и справочных данных  
[Table. Results of comparing calculated and reference data]

№ створа / № section line	Река / River	Расчетный створ / Calculating section line	Расход 1 % (справочные данные) / Consumption 1% (reference data) /	Расход 1% (расчетные данные с учетом вычисленных коэффициентов) / Consumption 1% (data including calculated coefficients)	Погрешность, % / Accuracy, %
1	2	3	4	5	6
1	Котлама	устье	422	406,66	3,6
2	Котлама	после впадения р. Маскага	393	383,41	2,4
3	Котлама	до впадения р. Маскага	236	243,75	-3,3



1	2	3	4	5	6
4	Шапсуго	устье	694	664,66	4,2
5	Адерба	п. Светлый	229,86	244,96	-6,6
6	Вулан	после впадения р. Текос (п. Архипо-Осиповка)	644	621,59	3,5
7	Вулан	до впадения р. Текос	510	508	0,4
8	Нечепсухо	до впадения р. Псебе	422	426,91	-1,2
9	Вулан	п. Архипо-Осиповка	929,45	882,47	5,1
10	Нечепсухо	устье	588	572,76	2,6
11	Шапсуго	до впадения р. Гремучая	495	468,77	5,3
12	Шапсуго	после впадения р. Гремучая	594	550,13	7,4
13	Вулан	после впадения р. Левая Щель	477	475,38	0,3
14	Нечепсухо	п. Новомихайловский	578	563,78	2,5
15	Вулан	до впадения р. Левая Щель	308	322,42	-4,7
16	Пшада	устье	762	722,47	5,2
17	Пшада	с. Береговое	752	712,31	5,3
18	Пшада	у слияния с рекой Дугуаб	712	681,98	4,2
19	Туапсе	г. Туапсе	2043	1987,15	2,7
20	Шапсуго	до впадения р. Синявка	314	311,62	0,8
21	Туапсе	до впадения р. Пшенахо	408	384,06	5,9
22	Туапсе	после впадения р. Пшенахо	598	538,52	9,9
23	Пшада	в 300 м ниже впадения р. Папай	394	383,89	2,6
24	Хоста	п. Хоста	476,45	453,35	4,8
25	Аше	п. Аше	1273	1121,96	11,9
26	Сочи	г. Сочи	889,29	827,26	6,9
27	Сочи	с. Навагинское (4 км от устья)	663	724,13	-9,2
28	Псезукапсе	п. Татьянаовка	1087,65	1137,44	-4,6
29	Псезукапсе	до впадения р. Хаджике	357	325,91	8,7
30	Сочи	х. Пластунка	689,26	667,61	3,1
31	Шахе	устье	1468	1376,82	6,2
32	Псезукапсе	после впадения р. Хаджике	530	464,14	12,4
33	Сочи	до впадения р. Агва	522	585,41	-12,2
34	Шахе	после впадения р. Кичмай	932	861,47	7,6
35	Шахе	до впадения р. Кичмай	873	817,17	6,4
36	Сочи	после впадения р. Ац	486	549,10	-12,9

1	2	3	4	5	6
37	Сочи	до впадения р. Ац	452	512,04	-13,3
38	Шахе	после впадения р. Бзыч	784	743,36	5,2
39	Шахе	до впадения р. Бзыч	628	608,55	3,1
40	Шахе	п. Солох-Аул	765,04	785,32	-2,7
41	Псоу	устье	540	522,31	3,3
42	Псоу	с. Леселидзе	536	521,69	2,7
43	Псоу	до впадения р. Хипста	472	465,92	1,3
44	Мзымта	устье	824	757,28	8,1
45	Мзымта	п. Кепш	765	719,10	6,0
46	Псоу	после впадения р. Ах-Чха	405	406,50	-0,4
47	Мзымта	после устья р. Чвежипсе	765	697,14	8,9
48	Мзымта	х. Казачий Брод	714,17	737,34	-3,2
49	Псоу	до впадения р. Беш	312	321,99	-3,2
50	Псоу	после впадения р. Беш	360	362,69	-0,8
51	Мзымта	до устья р. Чвежипсе	664	627,17	5,6
52	Мзымта	п. Красная Поляна	597	574,87	3,7
53	Мзымта	после устья р. Лаура	576	557,71	3,9
54	Мзымта	до устья р. Лаура	478	468,69	1,9
55	Мзымта	после устья р. Пслух	453	446,75	1,4
56	Мзымта	до устья р. Пслух	384	386,90	-0,8

Выполненные расчеты показали: в среднем погрешность не превышает 10 %.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследования получены региональные коэффициенты ( $k_m$ ), которые можно использовать при расчете максимального расхода 1 % обеспеченности по формуле 7.21 [4]. Высокая достоверность полученных коэффициентов подтверждена путем сопоставления справочных величин с расчетными.

Применение полученных коэффициентов позволяет выполнять расчеты заданного параметра с более высокой точностью и ускоряет процесс математической обработки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурахманова Г. Дж. Влияние высотной дифференциации ландшафтов на речной сток (на примере Северо-Восточного склона Большого Кавказа) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2019, № 3, с. 40-49. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2322>
2. Железняков Г. В. *Гидрология, гидрометрия и регулирование стока* / Под ред. Железнякова. М.: Колос, 1984. 205 с.

3. Лурье П. М. *Водные ресурсы и водный баланс Кавказа*. СПб: Гидрометеиздат, 2002. 506 с.

4. *Определение основных расчетных гидрологических характеристик*: СП 33-101-2003: утв. постановлением Госстроя России № 218 от 26.12.2003. М.: Госстрой России, 2004. 85 с.

5. Панов В. Д., Базелюк А. А., Лурье П. М. *Реки Черноморского побережья Кавказа: Гидрография и режим стока*. Ростов-на-Д.: Донской издательский дом, 2012. 605 с.

6. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 9. Закавказье и Дагестан*. Вып. 1. Западное Закавказье / Под ред. Г. Н. Хмаладзе. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 424 с.

7. Магрицкий Д. В., Алексеевский Н. И., Крыленко И. Н., Юмина Н. М., Ефремова Н. А., Школьный Д. И. Риски наводнений в низовьях и устьях рек Черноморского побережья России // *Материалы всероссийской научной конференции «Водная стихия: опасности, возможности прогнозирования, управления и предотвращения угроз»*, 2013. с. 181-187.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 01.04.2021

Принята к публикации 23.11.2021

## Calculation of Maximum Flow by the Regional Coefficients

G.A. Senchukov✉, V.D. Gostishchev, T.S. Ponomarenko, A.V. Breeva

*Russian Research Institute of Land Reclamation Problems,  
Novocherkassk, Russian Federation  
(190, Baklanovsky Prospekt, Rostov Region, Novocherkassk, 346421)*

**Abstract:** The purpose is to calculate regional flow modulus coefficients and their zoning along the entire length of the watercourses under study.

**Materials and methods.** The calculation results presented in the monograph of scientific summaries of data on regime of water bodies and reference data of Hydrometeorological Service (series of observations of maximum water discharges) served as the initial materials. The total number of design sections was 56. The borrowed materials have been analyzed in order to reveal regular relations of hydrological and landscape-morphometric characteristics using the program of computer statistical data processing developed and registered by the authors of the article.

**Results and discussion.** A detailed study of the array of points used to construct the dependence curve made it possible, for the studied basins of the Black Sea coast, to calculate regional coefficients (km), characterizing the formation of the maximum flow, by solving an inverse problem. Based on the coefficients obtained, zoning of the area was carried out. Within-basin ranking of the coefficients has also been carried out for the rivers showing a significant change in flow modulus in the flow direction. Verification of the validity of the obtained data was confirmed by the runoff modulus curve at  $P = 1\%$ , which showed a high correlation relationship. Comparison of reference water discharge values at  $P = 1\%$  with calculated values taking into account obtained coefficients has been made.

**Conclusions.** It was found that when using regional coefficients in calculating the maximum flow, the error, on average, does not exceed 10%. It means that application of the received coefficients will allow performing calculations of the given parameter with higher accuracy.

**Key words:** flow modulus, possibility, water catchment area, flow rate, water catchment height, river lines.

**For citation:** Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Breeva A.V. Calculation of Maximum Flow by the Regional Coefficients. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologia*, 2021, no. 4, pp. 42-49 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.4/3749>

### REFERENCES

1. Abdurahmanova G. Dzh. Vliyanie vysotnoj differenciacii landshaftov na rechnoj stok (na primere Severo-Vostochnogo sklona Bol'shogo Kavkaza) [The influence of high-altitude differentiation of landscapes on river flow (on the example of the North-Eastern slope of the Greater Caucasus)]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija. Geoekologia*, 2019, no. 3, pp. 40-49. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2019.3/2322>
2. Zheleznyakov G.V. *Gidrologiya, gidrometriya i regulirovanie stoka* [Hydrology, hydrometry and flow regulation]. Pod red. Zheleznyakova. M.: Kolos, 1984. 205 p. (In Russ.)
3. Lur'e P.M. *Vodnye resursy i vodnyj balans Kavkaza* [Hydrology, hydrometry and flow regulation]. SPb: Gidrometeoizdat, 2002. 506 p. (In Russ.)
4. *Opreделение osnovnyh raschetnyh gidrologicheskikh charakteristik: SP 33-101-2003: utv. postanovleniem Gosstroya Rossii № 218 ot 26.12.2003* [Determination of the main calculated hydrological characteristics: SP 33-101-2003: approved by the Resolution of Gosstroy of Russia No. 218 of 12/26/2003]. M.: Gosstroj Rossii, 2004. 85 p. (In Russ.)
5. Panov V.D., Bazelyuk A.A., Lur'e P.M. *Reki Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza: Gidrografiya i rezhim stoka* [Rivers of the Black Sea coast of the Caucasus: Hydrography and flow regime.]. Rostov-on-Don: Donskoj izdatel'skij dom, 2012. 605 p. (In Russ.)

© Senchukov G.A., Gostishchev V.D., Ponomarenko T.S., Breeva A.V., 2021

✉ German A. Senchukov, e-mail: [rosniipmvpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmvpvapk@yandex.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

6. *Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 9. Zakavkaz'e Dagestan. Вып. 1. Zapadnoe Zakavkaz'e* [Surface water resources of the USSR. Vol. 9. Transcaucasia and Dagestan. Issue 1. Western Transcaucasia]. Pod red. G.N. Hmaladze. L.: Gidrometeoizdat, 1974. 424 p. (In Russ.)

7. Magrickij D. V., Alekseevskij N. I., Krylenko I. N., Yumina N. M., Efremova N. A., Shkol'nyj D. I. Riski navodnenij v nizov'yah i ust'yah rek Chernomorskogo poberezh'ya Rossii [flood risks in the lower reaches and estuaries of the rivers of the Black Sea coast of Russia].

Сенчуков Герман Александрович  
кандидат технических наук, заместитель директора по науке в области водных ресурсов федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации», г. Новочеркасск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-4185-3520, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Гостищев Вячеслав Дмитриевич  
ведущий научный сотрудник, начальник отдела решений водных проблем в агропромышленном комплексе, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» г. Новочеркасск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0868-0712, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Пономаренко Таисия Сергеевна  
научный сотрудник начальник отдела решений водных проблем в агропромышленном комплексе федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» г. Новочеркасск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-2003-1686, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Бреева Анна Викторовна  
младший научный сотрудник отдела решений водных проблем в агропромышленном комплексе федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации» г. Новочеркасск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-5835-1231, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

*Materialy vsrossijskoj nauchnoj konferencii «Vodnaya stihiya: opasnosti, vozmozhnosti prognozirovaniya, upravleniya i predotvrashcheniya ugroz»*, 2013, pp. 181-187. (In Russ.)

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 01.04.2021

Accepted: 23.11.2021

German A. Senchukov  
Cand. (Tech.) Sci., Deputy Director for Science in the field of Water Resources of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Land Reclamation Problems” Novocherkassk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4185-3520, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Vyacheslav D. Gostishchev  
Leading researcher, Head of the Department of solutions to water problems in the agro-industry, Cand. (Agric.) Sci., Associate Professor of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Land Reclamation Problems” Novocherkassk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0868-0712, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Taisiya S. Ponomarenko  
Researcher, Head of the Department of solutions to water problems in the agro-industry of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Land Reclamation Problems” Novocherkassk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-2003-1686, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)

Anna V. Breana  
Junior researcher of the Department of solutions to water problems in the agro-industry of the Federal State Budgetary Scientific Institution “Russian Research Institute of Land Reclamation Problems” Novocherkassk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-5835-1231, e-mail: [rosniipmovpvapk@yandex.ru](mailto:rosniipmovpvapk@yandex.ru)