

УДК 556.166

## РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК СЗФО РФ

И. О. ВИНОКУРОВ \*, Е. В. ГАЙДУКОВА \*\*

*Российский государственный гидрометеорологический университет,  
Санкт-Петербург, Россия*

В работе представлено исследование максимального стока рек на примере некоторых северных регионов Северо-Западного федерального округа Российской Федерации в современных условиях. Показано, что выявленные климатические изменения не находят отражения в максимальном стоке рек рассматриваемой территории. Рассчитаны параметры распределения максимальных расходов, получены параметры, необходимые для проведения гидрологических расчетов на неизученных реках полуострова.

<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2023.57.3.204>

**Keywords:** climatic variations, spring flood, probability, hydrological study.

**Введение.** Задачей настоящего исследования является изучение современного состояния максимального стока рек и анализ его возможных изменений в условиях меняющегося климата на примере нескольких регионов Российской Федерации – Республики Коми, Вологодской и Мурманской областей [1–3]. Выбор объектов для исследования обусловлен тем, что с начала XX столетия в Европе наблюдается потепление, охватившее главным образом именно ее северные районы.

Проведенный анализ метеорологической информации по 18 метеостанциям (3 на территории Республики Коми, 7 – Вологодской области и 8 – Мурманской области) показал постепенное увеличение среднегодовой температуры воздуха. Анализ хронологического графика средней температуры воздуха за год выявил положительные тренды температур. Проверка трендов показала, что на большей части метеорологических станций они являются статистически значимыми. Для оценки значимости линейных трендов использовался критерий значимости выборочного коэффициента корреляции для зависимости рассматриваемой величины от времени.

Все реки рассматриваемой территории по характеру режима относятся к типу рек с весенним половодьем, которое является основным фактором,

---

\* E-mail: [igor.o.vinokurov@gmail.com](mailto:igor.o.vinokurov@gmail.com)

\*\* E-mail: [oderiut@mail.ru](mailto:oderiut@mail.ru)

определяющим их водность. Хотя реки рассматриваемых регионов и отличаются некоторыми местными особенностями, проявляющимися в их водном режиме, они обладают многими общими природными чертами, что позволяет рассматривать их в комплексе в данной работе.

**Методы исследования и исходные данные.** Расчет максимального стока рек, согласно нормативной документации (СП 33-101-2003 [4]), следует выполнять различными методами в зависимости от полноты исходной информации. При этом важно постоянное уточнение средних значений основных гидрометеорологических характеристик и выявление тенденций их изменения за последние десятилетия [5–6].



Схема расположения гидрологических постов.

При наличии длинного ряда наблюдений расчет параметров распределения следует выполнять методом наибольшего правдоподобия (в некоторых случаях допускается методом моментов), продолжительность периода наблюдений считают достаточной, если рассматриваемый период представительен, а относительная средняя квадратическая погрешность расчетного значения исследуемой гидрологической характеристики не превышает пороговых значений. С использованием полученных параметров по соответствующим

таблицам определяются ординаты аналитических кривых обеспеченностей Крицкого–Менкеля или Пирсона III типа. Если аналитические кривые обеспеченностей хорошо согласуются с эмпирическими точками, то полученные значения рекомендуют в качестве расчетных.

При исследовании максимального стока рек обычно используют не только значения максимальных расходов воды, но и слоев стока за период весеннего половодья. При этом отметим, что данные по слоям стока весеннего половодья не публикуются в открытых источниках. Для расчета слоев весеннего половодья в данной работе использовался графический метод. Были построены гидрографы за каждый год, на каждом гидрографе выделялась общая продолжительность половодья, затем производились расчеты слоя весеннего половодья.

В итоге был собран следующий массив исходной информации: на территории Вологодской области в расчет были приняты 17 гидрологических постов на водосборах рек Сухона, Вага и Кубена, на территории Республики Коми – 17 гидрологических постов на реках бассейна р. Печора, а также по 31 гидрологическому посту на реках Кольского полуострова, равномерно распределенных по территории Мурманской области (см. рисунок). Реки, использованные для расчета, имеют различные площади водосборов, что позволяет определить, как климатические изменения влияют на водный режим малых и средних рек.

**Результаты исследования.** Проведен анализ исходных рядов. Сток весеннего половодья в целом остается неизменным, лишь на некоторых реках отмечается тренд на повышение максимальных расходов воды, следовательно, можно считать, что рассматриваемые ряды являются стационарными. Исключение составили два случая со значимым трендом на понижение, на такую изменчивость расхода воды во времени могут значительно влиять локальные факторы в связи с тем, что площади водосборов данных рек не превышают  $100 \text{ км}^2$ , что значительно меньше остальных, принятых в расчет.

Проверка рядов на однородность проводилась при помощи критериев Фишера и Стьюдента и показала, что большинство рядов как максимальных расходов, так и слоев весеннего половодья являются однородными.

Был произведен расчет основных статистических характеристик рядов максимальных расходов воды и слоев весеннего половодья рек, относительные погрешности полученных величин не превышают допустимых значений.

Затем построены эмпирические и аналитические кривые обеспеченностей максимальных расходов и слоев весеннего половодья. В некоторых случаях на графиках были обнаружены резко отклоняющиеся от аналитической кривой эмпирические точки в области малых обеспеченностей. В связи с этим проведена дополнительная проверка рядов по критериям Диксона и Смирнова–Граббса. Гипотеза об однородности рядов максимальных расходов воды и слоев весеннего половодья не опровергается, таким образом, полученные обеспеченные значения можно использовать для дальнейших расчетов при инженерно-изыскательских работах и проектировании гидротехнических объектов [7].

Максимальные расходы воды 1%-ой обеспеченности (в м<sup>3</sup>/с)

Реки Мурманской области									
Печенга– ст. Печенга	Ура– с. Ура–Губа	Лотта– пор. Каллокоски	Лотта– пор. Ловнакоски	Акким– 6 км от устья	Аннама– 2 км от устья	Шовна– 2 км от устья	Ена– пос. Ена	Куреньга– г. Оленегорск	Толва–исток
443	239	478	837	135	103	116	243	87,7	287
Юкспорйок– г. Кировск	Гольцовка– ст. Имандра	Кола–исток	Кола–1429-й км Октябрьской ж.д.	Кица– ст. Лопарская	Териберка–60-й км Серебрянской дороги	Воронья–исток	Чудзйок–4 км от устья	Нивка–устье	Лунь–устье
25,6	61,1	50,4	929	423	322	291	181	73,2	97,3
Туманная– пос. Туманный	Сергевань–3 км от устья	Умба–исток	Умба– пор. Паялка	Чаванья– с. Чаванья	Варзуга– с. Варзуга	Малая Беляя– ст. Хибинь	Поной– с. Краснощелье	Поной– с. Каневка	Печа– с. Падун
64,4	38,5	149	505	286	2100	39,4	580	1090	290
Реки Вологодской области									
Сухона– д. Рабаньга	Сухона– г. Тотьма	Двинца– д. Котлакса	Сямжена– с. Сямжа	Юг– п. К. Городок	Шарженга– д. Калининно	Кичменга– д. Захарово	Кипшенга– д. Кипшенга	Дорожковка– д. Дорожково	Вологда– д. Макарово
841	3398	517	373	1775	315	454	222	35,1	116
Леленга– п. Юрманга	Старая Тотьма– д. Демьяновский погост	Стрельна– д. Анисимово	Кубена– с. Гроинце– Енальское	Юг– д. Подосиновец	Вага– д. Глуборецкая	Уфтога– с. Богородское			
124	487	206	396	2558	435	245			
Реки Республики Коми									
Печора– с. Усть-Унья	Печора– д. Якша	Печора– с. Троицко- Печорск	Печора– с. Усть- Щугор	Ильч–кордон Шежимдикост	Сойва– д. Нижняя Омра	Уса– с. Петрунь	Адзьва– д. Харута	Колва– с. Хорей-Вер	Ижма–свх. Извильский
1697	2334	7124	2287	3031	332	12013	4472	2824	533
Ижма– с. Усть-Ухта	Ижма– д. Каргайоль	Сель-Ю– пос. Селью	Ухта– г. Ухта	Пижма– д. Боровая	Пильма– с. Трусово	Сула– д. Коткина			
3866	5499	639	948	982	4681	1460			

При отсутствии данных гидрометрических наблюдений в соответствии с СП 33-101-2003 расчет максимальных расходов весеннего половодья производится по формуле:

$$Q_p = \frac{k_0 h_p \mu_p F}{(F + c)^n} \delta \delta_1 \delta_2,$$

где  $Q_p$  – максимальный расход воды весеннего половодья  $p\%$  обеспеченности,  $m^3/c$ ;  $k_0$  – коэффициент, характеризующий дружность весеннего половодья;  $h_p$  – слой, половодья  $p\%$  обеспеченности, мм;  $\mu_p$  – коэффициент, учитывающий неравенство статистических параметров рядов максимальных расходов воды и слоев половодья;  $F$  – площадь водосбора,  $км^2$ ;  $c$  – коэффициент, учитывающий снижение интенсивности редукиции модуля максимального стока с уменьшением площади водосбора,  $км^2$ ;  $n$  – районный коэффициент редукиции;  $\delta, \delta_1, \delta_2$  – коэффициенты, учитывающие снижение максимального расхода под влиянием озер, лесов и болот.

Для исследования пространственной изменчивости характеристик слоя весеннего половодья выполнено картирование значений нормы слоя весеннего половодья  $h_0$ , коэффициента вариации  $C_v$  и соотношения  $C_s/C_v$ . Полученные карты сравнивались с картами, приведенными в пособии к нормативной документации середины 1980-х годов. В целом можно сделать вывод, что значительных изменений в значениях нормы слоя и коэффициентов вариации средне-многолетнего слой стока весеннего половодья не произошло, в некоторых районах отметим лишь изменение соотношения коэффициентов  $C_s/C_v$ . С целью уточнения районных зависимостей и параметров для исследуемых рек с учетом всей доступной информации за последние годы были рассчитаны значения районных коэффициентов редукиции; коэффициентов, характеризующий дружность весеннего половодья и переходных коэффициентов  $\mu_p\%$ .

Анализ произведенных расчетов показал, что рекомендованное значение районного показателя остается примерно таким, как и было приведено в пособии к СНиПу 1983 г.:  $n=0,22$  для рек бассейна Печоры,  $n=0,17$  для рек Кольского полуострова, также практически не наблюдается различия в коэффициентах  $\mu_p\%$  в диапазоне обеспеченностей от 0,1 до 10%. Новые расчетные рекомендуемые значения коэффициентов дружности весеннего половодья составили  $k_0=0,011$  для рек бассейна Печоры,  $k_0=0,0087$  для рек Кольского полуострова.

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. На всей рассматриваемой территории происходит заметное потепление, но выявленные климатические изменения не находят значительного отражения в максимальном стоке рек. Получены новые значения как обеспеченных расходов воды, так и параметров для расчета максимального стока при отсутствии данных наблюдений.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ № F SZU-2023-0002.*

*Поступила 18.10.2023*

*Получена с рецензии 03.12.2023*

*Утверждена 15.12.2023*

ЛИТЕРАТУРА

1. Демин В.И., Священников П.Н., Иванов Б.В. Изменения крупномасштабной циркуляции атмосферы и современное потепление климата на Кольском полуострове. *Вестник Кольского научного центра РАН. Естественные и точные науки* **2** (2014), 101–105.
2. Сумачев А.Э., Банщикова Л.С. Изменение климата и его влияние на ледовый режим рек Арктической зоны РФ. *Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития: труды III Всероссийской конференции*. Санкт-Петербург, Химиздат (2019), 816–819.
3. Кичигин А.Н. Геоморфологическое районирование Вологодской области. *Геология и география Вологодской области* (2007), 65–87.
4. СП 33-101-2003. *Определение основных расчетных гидрологических характеристик*. Москва, Госстрой России (2004) 73.
5. Мисакян А.Э., Аракелян А.А. и др. Оценка уязвимости максимальных расходов воды реки Агстев в условиях изменения климата. *Ученые записки ЕГУ. Геология и география* **56** (2022), 25–36 (на армянском яз.).  
<https://doi.org/10.46991/PYSU:C/2022.56.1.025>
6. Margaryan V., Azizyan L., et al. Features of the Maximum Water Flows of the Arpa River under Modern Conditions. *E3S Web Conf.* **333** (2021) 02006.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202133302006>
7. Рождественский А.В., Лобанова А.Г. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик*. Ленинград, Гидрометеоздат (1984), 447.

Ի. Օ. ՎԻՆՈՎՈՐՈՎ, Ե. Վ. ԳԱՅԴՈՒԿՈՎԱ

ՌՈՒՄԱՍՏԱՆԻ ԴԱՇՆՈՒԹՅԱՆ ՀՅՈՒՄԻՍԱՐԵՎՄՅԱՆ ԴԱՇՆԱՅԻՆ ՇՐՋԱՆԻ ԱՌԱՎԵԼԱԳՈՒՅՆ ՀՈՍՔԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա մ փ ո փ ու մ

Աշխատանքում ներկայացվում է գետերի առավելագույն հոսքի ուսումնասիրություն՝ Ռուսաստանի Դաշնության Հյուսիսարևմտյան դաշնային շրջանի որոշ հյուսիսային շրջանների օրինակով՝ ժամանակակից պայմաններում: Ցույց է տրվում, որ հայտնաբերված կլիմայական փոփոխությունները չեն արտացոլվում դիտարկվող տարածքի գետերի առավելագույն հոսքի վրա: Հաշվարկվել են առավելագույն ծախսի բաշխման պարամետրերը, ստացվել են թերակղզու չուսումնասիրված գետերի ջրաբանական հաշվարկներ կատարելու համար անհրաժեշտ պարամետրեր:

I. O. VINOKUROV, E. V. GAIDUKOVA

CALCULATION OF MAXIMUM FLOW OF NORTHWESTERN FEDERAL DISTRICT OF THE RUSSIAN FEDERATION

Summary

The paper provides a study of the peak runoff of some northern rivers of the Northwestern Federal District of Russian Federation in the present context. It demonstrates that the observed climatic variations are not reflected in the peak runoff of the rivers within the studied area. Distribution parameters are calculated for peak discharges; value plots required for hydrological study of unexplored rivers of territory are compiled.