

## Минимальные расходы воды в реках Калининградской области

Н. Р. Ахмедова<sup>1</sup>✉, Е. В. Валл<sup>2</sup>, В. А. Наумов<sup>1</sup><sup>1</sup>Калининградский государственный технический университет,  
Российская Федерация (236022, г. Калининград, Советский пр., 1)<sup>2</sup>ООО «ГЕО инжиниринг»,  
Российская Федерация (236010, г. Калининград, ул. Бассейная, 7)

**Аннотация.** Цель работы – изучить минимальные 30-суточные расходы воды на реках Калининградской области с учетом последних лет и сравнить их с данными, собранными в течение 20-го века.

**Материалы и методы.** Исходный материал – ряды минимальных расходов рек Калининградской области по данным наблюдений на гидропостах за период с 1901 по 1980 годы и с 2008 по 2020 годы. В работе использовались стандартные методы статистической обработки данных в среде Mathcad.

**Результаты и обсуждение.** Для оценки схожести рядов минимальных расходов воды рассчитаны коэффициенты парной корреляции для шести рек Калининградской области (реки Злая, Мамоновка, Инструч, Преголя, Дейма, Матросовка). Построена зависимость модулей средних многолетних минимальных 30-суточных расходов воды рек Калининградской области от площади водосбора. Предложены региональные зависимости минимальных 30-суточных расходов воды для очень малых водотоков и малых рек, которые можно использовать при отсутствии систематических гидрометрических наблюдений.

**Выводы.** За период с 2008 по 2020 годы увеличение минимальных 30-суточных расходов воды в сравнении с данными, полученными за 1901-1980 годы, незначительное, а на реке Мамоновке отмечено снижение данного показателя. На территории Калининградской области закономерности формирования минимальных расходов воды на реках существенно не изменились за последние 120 лет наблюдений. По данным наблюдений 20-го века предложены региональные зависимости минимальных 30-суточных расходов воды, которые заметно различаются для рек с площадью водосбора  $50 \text{ км}^2 < A < 450 \text{ км}^2$  и  $450 \text{ км}^2 < A < 2500 \text{ км}^2$ .

**Ключевые слова:** Калининградская область, гидрологический пост, река, минимальный расход воды, региональные зависимости.

**Источник финансирования:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда и Правительства Калининградской области в рамках научного проекта № 22-27-20016.

**Для цитирования:** Ахмедова Н. Р., Валл Е. В., Наумов В. А. Минимальные расходы воды в реках Калининградской области // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 1, с. 81-89. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/81-89>

## ВВЕДЕНИЕ

Определение минимальных годовых расходов рек весьма важно для проектирования систем водоснабжения из поверхностных источников, определения допустимого сброса сточных вод, оценки антропогенного влияния на водотоки и решения многих экологических проблем. Поэтому определению минимальных расходов рек посвящено большое количество опубликованных работ [3, 4, 8, 11, 12, 13].

Так, в [4] предложена методика определения соотношения расхода сбрасываемых очищенных сточных вод и расхода воды в реке. Было установлено, что расход сбрасываемых очищенных сточных вод города Гусева может достигать 50 % расхода воды в малой реке Нерпе в летние месяцы, а это значительно влияет на разбавляющую и самоочищающую способность водотока. Акту-

альность проблемы обусловлена часто встречающимися на практике случаями сброса сточных вод в малые водотоки, что особенно свойственно малым населенным пунктам. В [11] была исследована динамика осаждения частиц микропластика в период минимальных расходов и уровней воды в реке.

В [12] рассматривался метод расчета минимальных расходов и уровней в районе управления водными ресурсами реки Сент-Джонс (St. Johns River), который, в первую очередь, ориентирован на экологическую защиту бассейнов рек. Главное требование – гарантировать, чтобы не были нарушены минимальные экологические нормы расходов и уровней воды в реках. Метод используется в рамках нормативного управления водными ресурсами для обеспечения того, чтобы забор поверхностных и подземных вод не наносил существенного вреда



водным ресурсам и позволяет выполнять оценку совокупного воздействия водозаборов.

Зависимость минимальных расходов воды (МРВ) от условий землепользования и режима регулирования водными ресурсами в канадской провинции Квебек была исследована в [13]. Рассмотрены различные режимы пропуска воды через плотины на исследованных реках. Было установлено, что ниже по течению рек МРВ в течение года наблюдаются гораздо чаще, чем выше по течению. Метод Ломбарда не выявил какого-либо влияния различий в землепользовании на стационарность рядов характеристик МРВ. Корреляция продолжительности и сроков МРВ с климатическими переменными в [13] не была обнаружена, что кажется довольно странным.

В России в последние 10-летия отмечается [4, 8] беспримечный за период наблюдений рост минимальных расходов воды. На Европейской территории России (ЕТР) увеличились МРВ летне-осенней, но особенно зимней межени. Минимальный зимний сток увеличился практически на всей территории страны. За период 1978 – 2000 годов местами он возрос на 50 ... 120 %. Одной из главных причин такого роста считают участвовавшие оттепели. На реках преобладающей части ЕТР, как правило, в теплый период водность выше, чем в холодный период, что связано с участием жидких осадков в формировании летне-осеннего минимального стока. Так, в [6] был исследован ряд минимальных 30-суточных расходов воды (МРВ-30) (1960-2017) реки Чермасан (приток реки Белой в Башкортостане) с площадью водосбора 3970 км<sup>2</sup>.

По изменению 5-летних скользящих средних МРВ-30 летне-осенней межени выявлены два периода. До середины 1980-х годов наблюдается период без значительных изменений минимальных расходов воды – МРВ-30 находятся в пределах от 0,5 до 4,9 м<sup>3</sup>/с. После 1980-х годов происходит увеличение МРВ-30 в пределах от 1,0 до 8,2 м<sup>3</sup>/с.

Регулирование стока с помощью крупных плотин трансформировало пресноводные и пойменные экосистемы бассейна реки Амур и негативно повлияло на биоразнообразие и рыболовство. Поэтому в [14] были разработаны рекомендации по минимальному экологическому попуску для рек Зея и Буря, который необходим для поддержания устойчивого состояния экосистемы. Расчеты были выполнены на основе анализа результатов наблюдений прошлых лет за расходами воды в указанных реках.

Способы аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей рядов МРВ-30 рек Северо-Запада России (СРЗ) в условиях неоднородных выборок рассмотрены в [7]. Ряды 30-суточного минимального зимнего стока были исследованы по 85 гидрологическим постам (ГП) на реках СЗР (реки Калининградской области не вошли в их число). Проверка выборок с помощью статистических критериев Фишера и Стьюдента выявила опровержение гипотезы об однородности в 70 % случаев при уровне значимости 5 %. Были выявлены случаи значительного расхождения аналитической кривой (Крицкого-Менкеля) и фактических данных. Сделан вывод, что для оценки минимальных расходов воды расчетных обеспеченностей рек СЗР в 30 % неод-

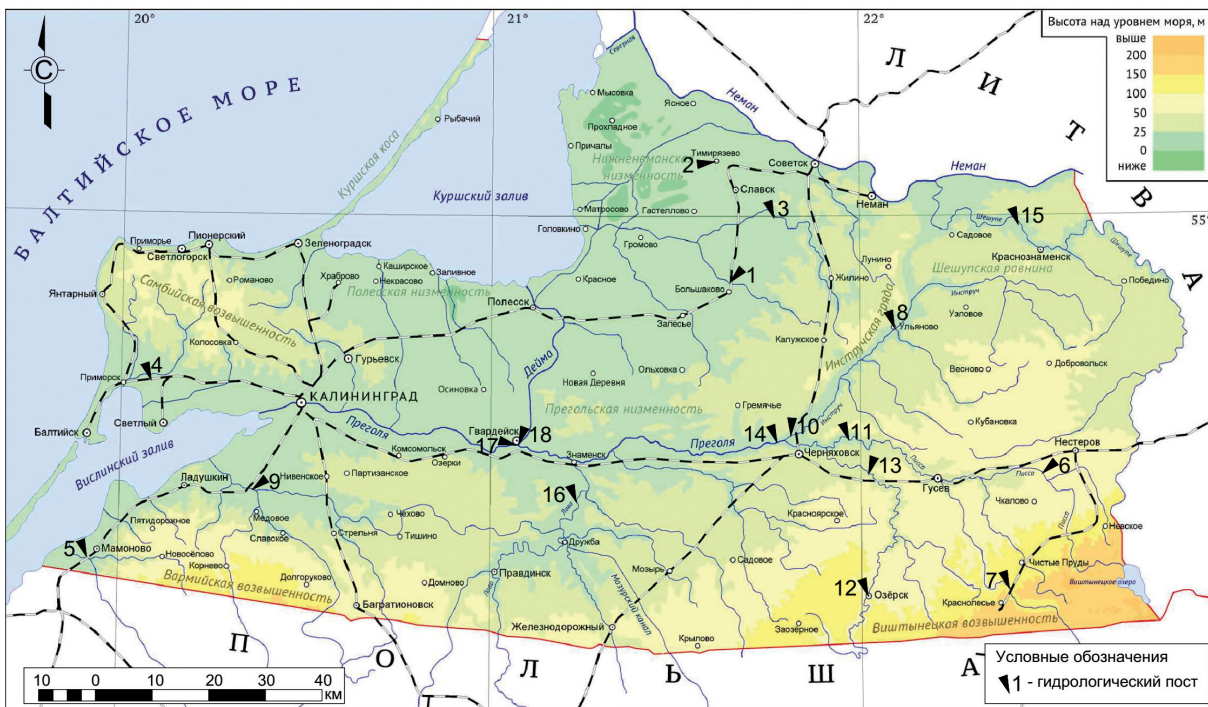


Рис. 1. Схема расположения ГП на реках Калининградской области.

Номер ГП на схеме соответствует номеру в таблице 1

[Fig. 1. The scheme of location of GP on the rivers of the Kaliningrad Region.

The GP number in the scheme corresponds to the number in Table 1]

Средние многолетние МРВ-30 рек Калининградской области  
(за период с 1901 по 1980 годы)  
[Table 1. Average long-term minimum 30-day water discharges of the rivers of the Kaliningrad Region  
(from 1901 to 1980)]

№	Река / River	ГП / GP	A, км <sup>2</sup> / A, km <sup>2</sup>	Период наблюдений / Observation period	Q <sub>S<sub>30</sub></sub> , м <sup>3</sup> /с / Q <sub>S<sub>30</sub></sub> , m <sup>3</sup> /s	M <sub>S<sub>30</sub></sub> , л/(с·км <sup>2</sup> ) / M <sub>S<sub>30</sub></sub> , l/(s km <sup>2</sup> )
1	Оса	Краснознаменское	68,5	1962-72	0,012	0,175
2	Немонинка	Тимириязево	75,0	1963-80	0,059	0,787
3	Злая	Приозерье	142	1961-80	0,041	0,289
4	Нельма	Кострово	163	1964-80	0,38	2,33
5	Мамоновка	Мамоново	300	1960-80	0,66	2,20
6	Писса	Илюшино	328	1955-80	0,84	2,56
7	Красная	Токаревка	412	1962-80	1,26	3,06
8	Инструч	Ульяново	587	1901-80	0,28	0,477
9	Прохладная	Светлое	941	1918-40	1,37	1,46
10	Инструч	Тимириязево	1220	1902-13	1,37	1,12
11	Писса	Зеленый Бор	1360	1901-80	2,40	1,76
12	Анграпа	Озерск	2060	1955-77	3,34	1,62
13	Анграпа	Берестово	2460	1901-80	5,38	2,19
14	Преголя	Черняховск	5210	1901-80	10,5	2,02
15	Шешупе	Долгое	5830	1940-64	5,77	0,99
16	Лава	Родники	7020	1901-80	13,8	1,96
17	Преголя	Гвардейск	13600	1901-80	23,4	1,72
18	Дейма	Гвардейск	-	1960-80	9,26	-

народных рядов может применяться усеченное трехпараметрическое гамма-распределение.

Изучение материалов в перечисленных публикациях показало, что наряду с общими закономерностями для каждого речного бассейна существуют специфические свойства МРВ, обусловленные набором зональных и азональных факторов. Главной особенностью речных бассейнов Калининградской области (КО) является самая высокая в России доля площади мелиорированных (осушаемых) земель. Цель данной статьи – изучить МРВ-30 на реках КО за последние годы и сравнить их с данными, собранными в течение 20-го века.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

ЦГМС КО в послевоенный период продолжила эксплуатацию и развитие гидрометрической сети Восточной Пруссии. Были открыты дополнительные ГП, их количество в конце 1970-х годов превысило 20. Данные в таблице 1 о средних многолетних МРВ-30 рек КО (рис. 1) Q<sub>S<sub>30</sub></sub> и их модулях M<sub>S<sub>30</sub></sub> с 1901 по 1980 год были взяты из [5]. Необходимо учесть, что в период (1901-1980) отсутствуют результаты наблюдений за ряд лет во время и сразу после Мировых войн. В таблице 1 и на рисунке 1 не указаны ГП, на которых не проводились наблюдения за расходами воды, например, ГП Советск на реке Неман.

Заметим, из ГП, приведенных в таблице 1, к 1980 году не действовало всего три: река Оса (ГП Краснозна-

менское), река Инструч (ГП Тимириязево), река Прохладная (ГП Светлое). На 15 ГП продолжались наблюдения за расходами воды. К сожалению, в настоящее время количество действующих ГП заметно уменьшилось, к тому же часть из них представляют данные только по уровням. Начиная с 2008 года, данные наблюдений за расходами на реках России представляются для обработки и анализа в Автоматизированную информационную систему государственного мониторинга водных объектов (АИС ГМВО) [2]. На начало 2023 года после обработки и корректировки в открытом доступе АИС ГМВО находились данные 2008-2020 годов. За указанные 13 лет в АИС ГМВО имеются результаты наблюдений расходов только по пяти ГП, представленным в таблице 2: река Злая, река Мамоновка, река Инструч (ГП Ульяново), река Преголя (ГП Гвардейск), река Дейма, река Матросовка (ГП Мостовое). Последние две реки являются рукавами, соответственно, Преголи и Немана.

В большинстве опубликованных работ ряды минимальных расходов за теплый и холодный период рассматриваются раздельно (например, в [7]). Ледовый покров на реках Калининградской области может быть неустойчивым, а в отдельные годы он отсутствовал совершенно. К тому же, для экологических расчетов указанное разделение не представляется целесообразным, поэтому в данной статье был проведен анализ МРВ, независимо от времен года.

Таблица 2

Средние годовые расходы воды рек Калининградской области, м<sup>3</sup>/с (за период с 2008 по 2020 годы)  
 [Table 2. Average annual water discharges of the rivers of the Kaliningrad Region, m<sup>3</sup>/s (from 2008 to 2020)]

Год / Year	Название реки / River name					
	Злая / Zlaya	Мамоновка / Mamonovka	Инструч / Instruch	Преголя / Pregolya	Дейма / Deima	Матросовка / Matrosovka
2008	1,97	6,18	3,29	83,8	38,1	120,0
2009	1,94	3,88	2,76	68,1	29,2	114,0
2010	1,41	2,93	2,61	67,7	30,0	140,4
2011	2,49	4,27	4,80	87,2	30,1	134,5
2012	2,97	3,38	4,81	86,2	36,1	109,7
2013	1,92	3,14	3,06	74,4	31,2	131,0
2014	1,07	2,14	2,12	44,1	20,3	94,7
2015	0,901	1,57	1,47	32,1	17,3	78,4
2016	1,47	2,23	5,22	86,1	39,4	101,9
2017	1,81	4,51	5,19	167,5	66,9	158,4
2018	0,585	2,29	1,10	76,5	32,9	108,5
2019	0,607	1,83	1,49	71,3	22,6	76,0
2020	0,841	1,59	1,78	57,7	27,2	69,6
Среднее	1,54	3,07	3,13	77,1	33,2	110,5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В таблице 3 представлены минимальные годовые суточные, а в таблице 4 30-суточные расходы. Последние были рассчитаны в среде Mathcad, как в [9], по формулам:

$$j = 1 \dots n - 29 \quad Q_{c30j} := \frac{1}{30} \sum Q_i \quad Q_{30} = \min(Q_{c30})$$

где  $n$  – количество дней в году;  $Q_{c30j}$  – средний расход воды за 30 суток, начиная  $j$ -го дня с начала года.

Для сравнения в последней строке таблицы 4 приведены средние многолетние МРВ-30 из таблицы 1. Можно выполнить сравнение только по четырем створам. В [5] отсутствуют какие-либо изменения по реке

Матросовке. Видно, что существенно возросло значение МРВ-30 реки Мамоновки (почти на 55 %). Изменения в остальных створах не столь существенны, составляют менее 10 %.

Для оценки аналогичных рядов МРВ разных рек КО были рассчитаны коэффициенты парной корреляции (КПК) между ними (табл. 5).

В таблице 5 выше главной диагонали размещены значения КПК между МРВ-30, ниже – между средними годовыми расходами. Видно, что значимой можно считать стохастическую связь лишь между МРВ-30 рек Инструч и Злая ( $r = 0,76$ ), у остальных  $r < 0,6$ .

Таблица 3

Минимальные годовые суточные расходы рек Калининградской области, м<sup>3</sup>/с (за период с 2008 по 2020 годы)  
 [Table 3. Minimum annual daily discharges of the rivers of the Kaliningrad Region, m<sup>3</sup>/s (from 2008 to 2020)]

Год / Year	Название реки / River name					
	Злая / Zlaya	Мамоновка / Mamonovka	Инструч / Instruch	Преголя / Pregolya	Дейма / Deima	Матросовка / Matrosovka
2008	0,002	1,74	0,066	12,7	5,41	61,8
2009	0,008	1,05	0,14	17,3	6,35	56,6
2010	0,040	0,52	0,18	7,59	7,86	63,1
2011	0,030	2,00	0,26	22,3	10,0	59,6
2012	0,015	1,44	0,13	7,26	3,05	67,9
2013	0,020	0,65	0,20	19,9	5,10	42,5
2014	0,002	0,80	0,35	9,69	4,37	44,1
2015	0,001	0,30	0,027	8,80	1,28	32,5
2016	0,005	0,17	0,12	11,0	2,92	29,2
2017	0,041	0,61	0,23	22,1	4,13	37,3
2018	0,003	0,76	0,041	15,2	2,72	53,5
2019	0,002	0,49	0,054	18,2	8,74	40,0
2020	0,009	0,33	0,13	22,7	8,14	34,1
Среднее	0,014	0,835	0,148	15,0	5,47	45,6

Таблица 4

Минимальные годовые 30-суточные расходы рек Калининградской области, м<sup>3</sup>/с (за период с 2008 по 2020 годы)  
 [Table 4. Minimum annual 30-day discharges of the rivers of the Kaliningrad Region, m<sup>3</sup>/s (from 2008 to 2020)]

Год / Year	Название реки / River name					
	Злая / Zlaya	Мамоновка / Mamonovka	Инструч / Instruch	Преголя / Pregolya	Дейма / Deima	Матросовка / Matrosovka
2008	0,0045	1,95	0,106	15,7	6,84	61,8
2009	0,0412	1,59	0,158	19,9	10,3	69,2
2010	0,0881	0,913	0,265	11,4	11,4	68,1
2011	0,0758	2,31	0,364	29,4	13,6	76,0
2012	0,141	1,56	0,792	25,7	10,9	47,6
2013	0,0786	0,955	0,265	23,4	9,73	53,8
2014	0,0028	0,863	0,399	13,9	5,94	40,9
2015	0,0011	0,360	0,0395	11,5	3,69	31,3
2016	0,0780	0,352	0,245	15,6	6,12	41,2
2017	0,0616	0,809	0,471	30,6	6,61	62,1
2018	0,0099	0,939	0,0561	18,7	5,72	42,2
2019	0,0152	0,696	0,0849	31,9	11,0	35,8
2020	0,0198	0,390	0,193	33,0	14,6	34,4
Среднее	0,0474	1,02	0,264	21,6	8,93	51,1
$Q_{s_{30}}$ из табл. 1	0,041	0,66	0,28	23,4	9,26	-

Таблица 5

Результаты расчета коэффициентов парной корреляции на реках Калининградской области  
 [Table 5. The results of calculating the pair correlation coefficients on the rivers of the Kaliningrad Region]

Год / Year	Название реки / River name					
	Злая / Zlaya	Мамоновка / Mamonovka	Инструч / Instruch	Преголя / Pregolya	Дейма / Deima	Матросовка / Matrosovka
Злая	1	0,26	<b>0,76</b>	0,18	0,39	0,39
Мамоновка	0,68	1	0,27	0,11	0,32	0,55
Инструч	0,78	0,53	1	0,27	0,23	0,26
Преголя	0,39	0,61	0,71	1	0,59	0,02
Дейма	0,38	0,56	0,68	0,96	1	0,32
Матросовка	0,58	0,69	0,60	0,70	0,69	1

Совершенно иная картина у КПК средних годовых расходов. Здесь из 15 пар у десяти  $r > 0,6$ . Например, КПК между средними годовыми расходами рек Преголя и Инструч  $r = 0,71$ , что в соответствии с нормативным документом [10] позволяет использовать Преголю в качестве реки-аналога для восстановления ряда средних годовых расходов реки Инструч. Тогда как КПК между МРВ-30 названных рек всего  $r = 0,27$ . Таким образом, аналогичность рядов МРВ-30 в КО является не правилом, а исключением. Можно предположить, что причиной такой ситуации, является различная степень антропогенного влияния [8].

В [10] указано, что основной расчетной характеристикой является МРВ-30, МРВ-1 должен определяться по связи с МРВ-30. В табл. 6 представлены значения рассчитанных отношений МРВ-1 к МРВ-30 по шести ГП КО.

Наименьшее среднее значение рассчитанного отношения в таблице 6 у реки Злой, наибольшее – у Матросовки. Но у Матросовки размах варьирования

невелик (коэффициент вариации  $C_v=0,05$ ), тогда как у реки Злой минимальное отношение в 2016 году было всего 0,06;  $C_v=0,65$ . У остальных рек коэффициент вариации отличается не столь значительно: от 0,18 у реки Мамоновки до 0,29 у реки Инструч.

При отсутствии систематических гидрометрических наблюдений метод определения МРВ-30 зависит от категории реки: малая, средняя или большая. По [10] к малым следует отнести реки, у которых модуль минимального стока изменяется с возрастанием площади водосбора. В зависимости от района к малым относят реки с верхним пределом площади водосбора  $A$  от 1000 до 5000 км<sup>2</sup>. Нижние пределы  $A$  отмечены в зонах избыточного (как минимум, достаточного) увлажнения. Как известно, КО является территорией с избыточным увлажнением.

На рисунке 2 по данным таблицы 1 построена зависимость модулей средних многолетних МРВ-30 рек КО от площади их водосбора. КПК между МРВ-30 и  $A$  по всему массиву составляет всего 0,11. Но, только на

Отношение МРВ-1 к МРВ-30 (за период с 2008 по 2020 годы)  
 [Table 6. Ratio MPV-1/ MPV-30 (from 2008 to 2020)]

Год / Year	Название реки / River name					
	Злая / Zlaya	Мамоновка / Mamonovka	Инструч / Instruch	Преголя / Pregolya	Дейма / Deima	Матросовка / Matrosovka
2008	0,444	0,892	0,632	0,809	0,791	0,916
2009	0,194	0,660	0,886	0,869	0,617	0,912
2010	0,454	0,570	0,679	0,666	0,689	0,875
2011	0,396	0,866	0,714	0,759	0,735	0,893
2012	0,106	0,923	0,164	0,282	0,280	0,894
2013	0,254	0,681	0,755	0,850	0,524	0,820
2014	0,714	0,927	0,877	0,697	0,736	0,795
2015	0,909	0,833	0,684	0,765	0,347	0,933
2016	0,064	0,483	0,490	0,705	0,477	0,905
2017	0,666	0,754	0,488	0,722	0,625	0,862
2018	0,303	0,809	0,731	0,813	0,476	0,948
2019	0,132	0,704	0,636	0,571	0,795	0,953
2020	0,455	0,846	0,674	0,688	0,558	0,924
Min	0,064	0,483	0,164	0,282	0,280	0,795
Среднее	0,392	0,765	0,646	0,707	0,588	0,894
Max	0,909	0,927	0,886	0,869	0,795	0,953
Cv	0,65	0,18	0,29	0,21	0,28	0,05

первый взгляд, на рисунке 2 нет никакой закономерности. Если ввести градацию, имея в виду площадь бассейна до соответствующего створа: очень малые реки

КО ( $A < 450 \text{ км}^2$ ) и малые реки КО ( $450 < A < 2500 \text{ км}^2$ ), то можно отметить рост  $Ms_{30}$  в указанных интервалах, близкий к линейному.

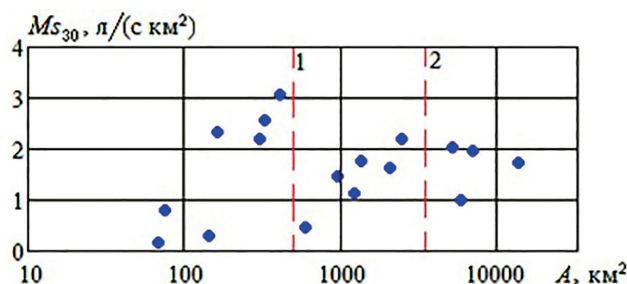


Рис. 2. Связь средних многолетних минимальных 30-суточных модулей расходов воды рек Калининградской области и площади водосбора: 1 – граница между площадями очень малых и малых рек Калининградской области, 2 – малых и средних рек Калининградской области

[Fig. 2. Correlation between the average multi-year minimum 30-day modules of water discharge of the rivers of the Kaliningrad Region and the catchment area: 1 – the boundary between the areas of very small and small rivers of the Kaliningrad Region, 2 – small and medium rivers of the Kaliningrad Region]

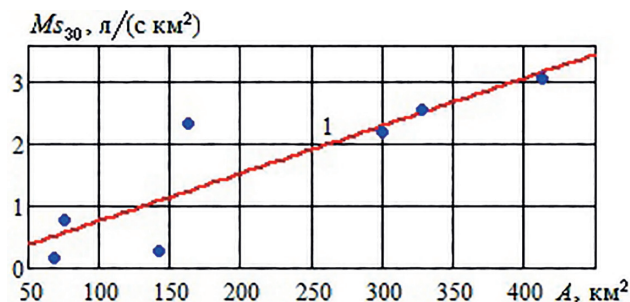


Рис. 3. Связь средних многолетних минимальных 30-суточных модулей расходов воды очень малых рек Калининградской области и площади водосбора. Точки – данные многолетних наблюдений из таблицы 1 – линейная аппроксимация  
 [Fig. 3. Correlation between the average multi-year minimum 30-day modules of water discharges of very small rivers of the Kaliningrad Region and the catchment area. Points – data of long-term observations from Table 1 – linear approximation]

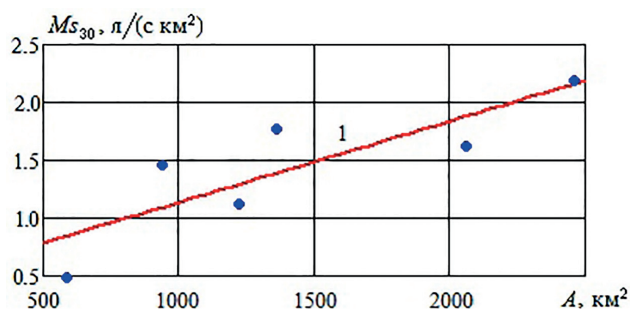


Рис. 4. Связь средних многолетних минимальных 30-суточных модулей расходов воды малых рек Калининградской области и площади водосбора. Обозначения, как на рисунке 3 [Fig. 4. Relationship between the average multi-year minimum 30-day modules of water discharges of small rivers in the Kaliningrad Region and the catchment area. Designations as in figure 3]

При отсутствии систематических гидрометрических наблюдений можно рекомендовать региональные зависимости: для очень малых водотоков, являющихся водоприемниками мелиоративных осушительных систем ( $50 \text{ км}^2 < A < 450 \text{ км}^2$ ):  $M_{s_{30}} = 0,00768 \cdot A - 0,00347$ ; для малых рек ( $450 \text{ км}^2 < A < 2500 \text{ км}^2$ ):  $M_{s_{30}} = 0,000705 \cdot A + 0,423$ .

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в АИС ГМВО за последние 13 лет (2008-2020) доступны данные о расходах воды только по шести створам рек КО. По этим рекам увеличение МРВ-30 в сравнении с данными, полученными за 1901-1980 годы, незначительное, не превышает 10 %, а на реке Мамоновке отмечено снижение МРВ-30. В отличие от остальной ЕТР, на территории КО уже с начала века наблюдались частые зимние оттепели и летне-осенние паводки, поэтому закономерности формирования МРВ на реках существенно не изменились за 120 лет наблюдений.

По данным наблюдений 20-го века в 18 створах предложены региональные зависимости МРВ-30, заметно различающиеся для рек КО с площадью водосборного бассейна  $50 \text{ км}^2 < A < 450 \text{ км}^2$  и  $450 \text{ км}^2 < A < 2500 \text{ км}^2$ . Можно предположить, что обнаруженная разница связана с влиянием на малые водотоки, которые наиболее восприимчивы к внешним воздействиям, стока с осушаемых земель.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмедова Н.Р., Кочкарева А.С., Наумов В.А. Гидрологические ряды малых рек Славского района Калининградской области // *Вестник Удмуртского университета. Серия Биология. Науки о Земле*, 2022, т. 32, № 3, с. 335-343.
2. Автоматизированная информационная система государственного мониторинга водных объектов. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (дата обращения: 06.02.2023). – Текст: электронный.
3. *Водные ресурсы России и их использование: монография* / под ред. И.А. Шикломанова. Санкт-Петербург: ГГИ, 2008. 600 с.
4. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Сброс сточных вод в малые водотоки // *Вода: химия и экология*, 2017, № 10, с. 86-93.

5. *Государственный водный кадастр. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 4. Бассейны рек Калининградской области* / под ред. Н.В. Шаблиевой. Ленинград: Гидрометеиздат, 1988. 88 с.

6. Лешан И.Ю. Изучение минимального стока малых и средних рек как значимого гидрологического показателя (на примере р. Чермасан) // *«CHRONOS» Естественные и технические науки*, 2020, № 5 (33), с. 11-14.

7. Малышева Н.Г. Способы аппроксимации эмпирических кривых обеспеченностей в условиях неоднородных выборок // *Ученые записки РГГМУ*, 2011, № 21, с. 25-32.

8. Молдахметов М.М., Махмудова Л.К., Курмангазы Е. Минимальный сток рек Есильского водохозяйственного бассейна // *Гидрометеорология и экология*, 2020, № 1, с. 64-78.

9. Наумов В.А. Расчет коэффициента естественной зарегулированности стока реки Преголи // *Вестник научно-методического совета по природообустройству и водопользованию*, 2020, № 19, с. 55-60.

10. *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.* Москва: Гидрометеиздат, 2004. 73 с.

11. Akhmedova N.R., Naumov V.A. Research microplastics – Hydraulic size of microplastic particles of regular shape and their distribution over the depth of watercourse // *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering series. Springer Cham*, 2022, pp. 31-40.

12. Neubauer C. P., Hall G. B., Lowe E. F. et al. Minimum flows and levels method of the St. Johns River water management district, Florida, USA // *Environmental Management*, 2008, vol. 42, pp. 1101-1114.

13. Sylvain j.-M., Assani A., Landry R. et al. Minimum daily extreme flow characteristics as a function of land use and dam management mode in Quebec, Canada // *Water*, 2015, vol. 7, pp. 1232-1245.

14. Nikitina O.I., Dubinina V.G., Bolgov M.V. et al. Environmental flow releases for wetland biodiversity conservation in the Amur River basin // *Water*, 2020, vol. 12, no. 10, pp. 2812.

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

Поступила в редакцию: 21.03.2023  
Принята к публикации: 01.03.2024

## Minimum Water Consumption in the Rivers of the Kaliningrad Region

N. R. Akhmedova<sup>1</sup>✉, E. V. Wall<sup>2</sup>, V. A. Naumov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kaliningrad State Technical University,  
Russian Federation (1, Soviet ave., Kaliningrad, 236022)

<sup>2</sup>LLC «GEO engineering»,  
Russian Federation (7, Basseynaya str., Kaliningrad, 236010)

**Abstract.** The purpose of this work is to study the minimum 30-day water flow on the rivers of the Kaliningrad region, taking into account recent years and compare them with data collected during the 20th century.

**Materials and methods.** The source material is the series of minimum flow rates of the rivers of the Kaliningrad Region according to observations at gauging stations for the period from 1901 to 1980 and from 2008 to 2020. The work used standard methods of statistical data processing in the Mathcad environment.

**Results and discussion.** To assess the similarity of the series of minimum water discharges, the pair correlation coefficients were calculated for six rivers of the Kaliningrad region (the Zlaya River, the Mamonovka river, the Instruch River, the Pregolya River, the Deima River, and the Matrosovka River). The dependence of the modules of the average multi-year minimum 30-day water discharges of the rivers of the Kaliningrad Region on the catchment area is constructed. Regional dependences of the minimum 30-day water discharges for very small streams and small rivers are proposed, which can be used in the absence of systematic hydrometric observations.

**Conclusion.** For the period from 2008 to 2020, the increase in the minimum 30-day water flow in comparison with the data obtained for 1901-1980 is insignificant, and a decrease in this indicator was noted on the Mamonovka River. On the territory of the Kaliningrad Region, the patterns of formation of minimum water discharges on rivers have not changed significantly over the past 120 years of observations. According to observations of the 20th century, regional dependences of the minimum 30-day water discharges are proposed, which differ markedly for rivers with a catchment area of  $50 \text{ km}^2 < A < 450 \text{ km}^2$  and  $450 \text{ km}^2 < A < 2500 \text{ km}^2$ .

**Key words:** Kaliningrad Region, hydrological post, river, minimum water discharge, regional dependencies.

**Funding:** The work was carried out with the financial support of the Russian Science Foundation and the Government of the Kaliningrad Region within the framework of scientific project No. 22-27-20016.

**For citation:** Akhmedova N. R., Wall E. V., Naumov V. A. Minimum Water Consumption in the Rivers of the Kaliningrad Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 1, pp. 81-89. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/81-89>

### REFERENCES

- Ahmedova N. R., Kochkareva A. S., Naumov V. A. Gidrologicheskie rjady malyh rek Slavskogo rajona Kaliningradskoj oblasti [Hydrological series of small rivers of the Slavsky district of the Kaliningrad region]. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya Biologiya. Nauki o Zemle*, 2022, vol. 32, no. 3, pp. 335-343. (In Russ.)
- Automated information system for state monitoring of water bodies. – URL: <https://gmvo.skniivh.ru/> (accessed 06.02.2023). – Text: electronic. (In Russ.)
- Vodnye resursy Rossii i ih ispol'zovanie: monografija [Water resources of Russia and their use: monograph] / pod red. I. A. Shiklomanova. Saint Petersburg: GGI, 2008. 600 p. (In Russ.)
- Velikanov N. L., Naumov V. A., Sbrosovych vod v male vodotoki [Discharge of wastewater into small watercourses]. *Voda: himija i jekologija*, 2017, no. 10, pp. 86-93. (In Russ.)
- Gosudarstvennyj vodnyj kadastr. Mnogoletnie dannye o rezhime i resursah poverhnostnyh vod sushi. T. 1. RSFSR. Vyp. 4. Bassejnyj rek Kaliningradskoj oblasti [State water cadastre. Long-term data on the regime and resources of land surface waters. T. 1. RSFSR. Vol. 4. River basins of the Kaliningrad region] / pod red. N. V. Shabljevoj. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1988. 88 p. (In Russ.)
- Leshan I. Ju. Izuchenie minimal'nogo stoka malyh i srednih rek kak znachimogo gidrologicheskogo pokazatelja (na primere r. Chermasan) [Study of the minimum flow of small and medium-sized rivers as a significant hydrological indicator (using the example of the Chermasan River)]. *«CHRONOS» Estestvennye i tehniczeskie nauki*, 2020, no. 5 (33), pp. 11-14. (In Russ.)
- Malysheva N. G. Sposoby approksimacii jempiricheskikh krivyh obespechennostej v uslovijah neodnorodnyh vyborok [Methods for approximating empirical supply curves in conditions of heterogeneous samples]. *Uchenye zapiski RGGMU*, 2011, no. 21, pp. 25-32. (In Russ.)
- Moldahmetov M. M., Mahmudova L. K., Kurmangazy E. Minimal'nyj stok rek Esil'skogo vodohozjajstvennogo bassejna [Minimum river flow of the Yesil watershed]. *Gidrometeorologija i jekologija*, 2020, no. 1, pp. 64-78. (In Russ.)
- Naumov V. A. Raschet koeficienta estestvennoj zaregulirovannosti stoka reki Pregoli [Calculation of the coefficient





of natural regulation of the Pregolya river flow]. *Vestnik nauchno-metodicheskogo soveta po prirodoobustroystvu i vodopol'zovaniju*, 2020, no. 19, pp. 55-60. (In Russ.)

10. *Svod pravil SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh harakteristik. Odobren dlja primenenija v kachestve normativnogo dokumenta postanovleniem Gosstroja Rossii № 218 ot 26 dekabrya 2003 g.* [Set of rules SP 33-101-2003. Determination of the main calculated hydrological characteristics. Approved for use as a regulatory document by Decree of the State Construction Committee of Russia No. 218 of December 26, 2003]. Moscow: Gidrometeoizdat, 2004. 73 p. (In Russ.)

11. Akhmedova N.R., Naumov V.A. Research microplastics – Hydraulic size of microplastic particles of regular shape and their distribution over the depth of watercourse. *Sustainable Fisheries and Aquaculture: Challenges and Prospects for the Blue Bioeconomy. Environmental Science and Engineering series. Springer Cham*, 2022, pp. 31-40.

Ахмедова Наталья Равиловна  
кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности и природообустройства Калининградского государственного технического университета, г. Калининград, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3483-3580, e-mail: isfendi@mail.ru

Валл Евгений Валерьевич  
заместитель директора по инженерным изысканиям ООО «ГЕО инжиниринг», г. Калининград, Российская Федерация, ORCID: 0009-0008-3883-7128, e-mail: wall\_ewgen@mail.ru

Наумов Владимир Аркадьевич,  
доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности и природообустройства Калининградского государственного технического университета, г. Калининград, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-0560-5933, e-mail: van-old@mail.ru

12. Neubauer C.P., Hall G.B., Lowe E.F. et al. Minimum flows and levels method of the St. Johns River water management district, Florida, USA. *Environmental Management*, 2008, vol. 42, pp. 1101-1114.

13. Sylvain j.-M., Assani A., Landry R. et al. Minimum daily extreme flow characteristics as a function of land use and dam management mode in Quebec, Canada. *Water*, 2015, vol. 7, pp. 1232-1245.

14. Nikitina O.I., Dubinina V.G., Bolgov M.V. et al. Environmental flow releases for wetland biodiversity conservation in the Amur River basin. *Water*, 2020, vol. 12, no. 10, pp. 2812

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

Received: 21.03.2023

Accepted: 01.03.2024

Natalya R. Akhmedova  
Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof. at the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3483-3580, e-mail: isfendi@mail.ru

Evgeny V. Wall  
Deputy Director for Engineering Surveys of GEO Engineering LLC, Kaliningrad, Russian Federation, ORCID: 0009-0008-3883-7128, e-mail: wall\_ewgen@mail.ru

Vladimir A. Naumov  
Dr. Sci. (Tech.), Prof. at the Department of Technosphere Safety and Environmental Engineering, Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-0560-5933, e-mail: van-old@mail.ru