

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

METHODOLOGY AND RESEARCH METHODS

УДК 556.53

DOI: 10.34753/HS.2019.1.3.003

МИНИМАЛЬНЫЙ СТОК РЕК
ЧЕРНОМОРСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ
РОССИИMINIMUM FLOW OF RIVERS OF
THE BLACK SEA COAST OF THE
RUSSIAМ.Л. Марков¹, Е.В. Гуревич¹, А.Ю. Виноградов²Mikhail L. Markov¹, Elena V. Gurevich¹,
Alexey Yu. Vinogradov²¹Государственный гидрологический инсти-
тут, г. Санкт-Петербург, Россия;¹State Hydrological Institute, St. Peters-
burg, Russia; ²Scientific and Industrial Re-
search Association Gidrotehproekt,²ООО НПО «Гидротехпроект»,

Valday, Russia

г. Валдай, Россия

Valday, Russia

2014mml@gmail.com

2014mml@gmail.com

Аннотация. На реках Черноморского побережья России в настоящее время функционирует всего 8 гидрологических постов. Десятки рек региона не освещены данными наблюдений, что осложняет расчеты минимального стока рек для решения вопросов охраны и использования водных ресурсов. Цель работы заключается в определении характеристик минимального стока неизученных рек Черноморского побережья и выявлении его пространственной неоднородности.

В исследованиях использованы данные наблюдений на 24 постах Росгидромета (действующих и закрытых за период 1926-2011 гг.) и результаты летних меженных гидрометрических

Abstract. There are currently only 8 hydrological posts on the rivers of the Black Sea coast of Russia. Dozens of rivers in the region are not covered by observational data, making it difficult to calculate the minimum flow of rivers to address the protection and use of water resources. The aim of the work is to determine the characteristics of the minimum flow of unexplored rivers of the Black Sea coast and to identify its spatial heterogeneity.

The studies use observation data at 24 posts of Roshydromet (active and closed in the period 1926-2011) and results of summer intergenerational hydrometric surveys carried out in 2007 and 2008 by the State Hydrological Institute on 44 rivers.

съемок, выполненных в 2007 и 2008 гг. Государственным гидрологическим институтом на 44 реках.

В качестве основных расчетных характеристик для района приняты минимальный в году 10-ти суточный и суточный расходы воды. Расчет минимального стока неизученных рек выполнен на основе данных эпизодических измерений и результатов наблюдений на постах Росгидромета.

Установлено, что до средней высоты водосбора около 700 м минимальные средние 10-ти суточные расходы воды изменяются в небольшом диапазоне (до 3 л/с·км²). С повышением высоты местности выше 700 м в речных бассейнах наблюдается заметный рост минимального речного стока. Выполнено географо-гидрологическое районирование территории по минимальному 10-ти суточному стоку рек. При районировании выделены 4 основных района и 2 подрайона с разными физико-географическими и гидрогеологическими условиями формирования минимального стока рек.

Оценена повторяемость маловодных лет – числа случаев минимального стока рек вероятностью превышения $\geq 80\%$. Наиболее часто повторяющаяся категория маловодных лет – «одиноким годом» ($\approx 78\%$ случаев). Неблагоприятная гидрологическая ситуация складывается, когда маловодные летние периоды повторяются через 1-2 года или два-три года подряд. В

A minimum of 10 daily and daily water consumption per year has been adopted as the main design characteristics for the area. The calculation of the minimum drain of unexplored rivers is made on the basis of the data of occasional measurements and the results of observations at the posts of Roshydromet. It has been found that up to an average catchment height of about 700 m, the minimum average 10-daily water flow rates vary in a small range (up to 3 l/s·km²). With the elevation of the terrain rising above 700 m, there is a marked increase in minimal river runoff in river basins. Geographical and hydrological zoning of the territory by the minimum 10-day river flow was performed. During zoning 4 main areas and 2 sub-districts with different physical-geographical and hydrogeological conditions of formation of minimum river flow have been identified.

The repeatability of shallow years - numbers of cases of the minimum drain of the rivers the probability of excess of $\geq 80\%$ is estimated. The most often repeating category of shallow years – "single year" ($\approx 78\%$ of cases). An unfavourable hydrological situation occurs when low-water summer periods are repeated after 1-2 years or two-three years in a row. These years tend to see low winter intergenerational and spring floorage.

эти годы, как правило, наблюдаются низкие зимняя межень и весеннее половодье.

Ключевые слова: реки Черноморское побережье России; минимальный сток рек; статистические расчеты; измеренные расходы воды; районирование; повторяемость маловодий

Keywords: rivers of the Black sea coast of Russia; unexplored rivers, minimum river flow; statistical calculations; measured water consumption; zoning; repeatability of low water

Введение

Минимальные расходы воды, определяющие собой водные ресурсы рек в самое маловодное время года, представляют большой практический интерес. Они учитываются при решении разнообразных водохозяйственных задач: водоснабжение населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий, а также при разработке мероприятий по охране водных ресурсов. В настоящее время перечисленные задачи чрезвычайно актуальны для Черноморского побережья России. Здесь в последние два десятилетия ведется активное строительство рекреационных, спортивных и лечебно-оздоровительных объектов. Поэтому увеличивается водопотребление и, соответственно, антропогенная нагрузка, особенно на малые реки¹. Вместе с тем, изученность минимального стока многих рек этого района не позволяет получить надежные расчетные гидрологические характеристики для обеспечения устойчивого водопользования и разработки мероприятий по охране водных объектов, на большинстве которых нет гидрологических наблюдений. Стационарные наблюдения за гидрологическим режимом рек проводились нерегулярно, в разные периоды менялось количество постов и они неравномерно распределены по территории. Всего в разные годы действовало 34 поста наблюдений, входящих в государственную сеть наблюдений. В настоящее время функционирует 8 постов наблюдений. Поэтому являются актуальными вопросы расчета минимального стока рек при отсутствии данных наблюдений, учитывающих пространственные особенности его формирования в горах.

По территории Черноморского побережья последние обобщения минимального стока были выполнены при разработке [Пособие ..., 1984] с использованием данных до середины 1970-х годов. Приведенные в указанной работе данные не позволяли определять расчетные значения минимального стока многочисленных малых неизученных рек этого района.

¹ Оценка воздействия на окружающую среду по теме «Разработка проекта СКИОВО бассейнов рек Черного моря». Краснодар: 2010. 44 с.

Поэтому основная цель данной работы заключалась в определении характеристик минимального стока рек Черноморского побережья и выявлении его пространственной неоднородности на основе привлечения дополнительных данных к данным наблюдений на постах Росгидромета – меженных гидрометрических съемок, выполненных в Государственном гидрологическом институте (далее – ФГБУ «ГГИ»).

Материалы и методы исследования

Для достижения цели решались следующие задачи: расчет многолетних характеристик минимального стока рек в пунктах наблюдений, выполнение меженной гидрометрической съемки на малых неизученных реках, оценка пространственного распределения характеристик минимального стока и анализ повторяемости минимальных расходов воды редкой вероятности превышения.

Посты Росгидромета расположены на равнинных или предгорных участках сравнительно больших рек Черноморского побережья России. Наблюдения на них проводились нерегулярно, в разные периоды менялось количество постов. Для анализа изменений многолетнего режима минимального стока рек использованы данные наблюдений на 24 постах Росгидромета, расположенных в разных районах Черноморского побережья. Продолжительность периода наблюдений изменяется от 2 до 85 лет за совместный период 1926-2011 гг., на 17 постах наблюдения велись более 10 лет.

В качестве основных расчетных характеристик для района приняты минимальный в году 10-ти суточный и суточный расходы воды, так как на исследуемой территории редко бывают периоды более 10-ти суток без выпадения осадков, или интенсивного таяния снежного покрова и ледников в горах [Владимиров, 1970]. Использование же в территориальном обобщении характеристики минимального 30-суточного стока не исключает влияния паводков, что не только завышает эту величину, но и обуславливает генетическую неоднородность минимального стока разных по водности лет, то есть сочетание различных вкладов подземных и поверхностных вод в формирование минимального стока рек.

По результатам наблюдений на постах Росгидромета выполнен расчет минимального в году 10-ти суточного и суточного стока рек с периодом наблюдений более 10 лет (для 17 постов). Определение расчетных минимальных расходов воды рек произведено согласно

требованиям СП 33-101-2003². В процессе статистической обработки рядов минимального стока выполнялась проверка данных на однородность (оценка экстремальных значений по статистическим критериям Диксона и Смирнова-Граббса) и стационарность (по критериям Стьюдента и Фишера). Из 17 постов с периодом наблюдений более 10 лет 9 пунктов имеют статистически неоднородные ряды. Для минимального стока рек вопрос неоднородности рядов наблюдений не имеет существенного значения, поскольку уже сама методика определения минимального периода предусматривает выделение генетически однородных величин стока. Если в продолжение всего сезона на реке проходят частые паводки, то соблюдения указанный принцип выделения периодов минимального стока невозможно и однородность ряда наблюдений нарушается. Минимальный сток в такие годы, как правило, наибольший. Его эмпирическая обеспеченность весьма мала, а соответствующие точки на клетчатке вероятностей отклоняются резко вверх от общего направления. Поэтому при наведении эмпирических кривых распределения вероятностей такие сильно отклоняющиеся точки учитывать нецелесообразно, тем более что при расчетах минимального стока верхняя часть кривой обеспеченности не представляет практического интереса, поскольку отражает наиболее благоприятные случаи в отношении водообеспечения. Но значительно отклоняющиеся точки в нижней части кривой обеспеченности после проверки их надежности и с учетом длительности ряда наблюдений, необходимо полностью учитывать. Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2.

Режимные гидрологические посты на реках Черноморского побережья расположены крайне неравномерно и без учета гидрологических особенностей изучаемых районов. Поэтому для получения дополнительной информации по неизученным малым рекам и уточнения пространственной неоднородности минимального стока по рассматриваемой территории были выполнены в 2007 и 2008 гг. ФГБУ «ГГИ» две меженные гидрометрические съемки в 44 пунктах на реках, расположенных от г. Анапы до г. Адлера. Перечень рек с определенными площадями и средними высотами водосборов, а также результаты измерений расходов воды приведены в таблице 3.

² СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М. Госстрой РФ, 2004. (далее – СП 33-101-2003)

Таблица 1. Минимальный 10-ти суточный расход воды по постам Росгидромета
 Table 1. Minimum 10-day water consumption at Roshydromet stations

№	Река-пост	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Число лет наблюдений	Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Cv	Cs/Cv	Расходы воды различной вероятностью превышения, м ³ /с		
									80%	90%	95%
1	р. Гастогой – ст-ца Гастоговская		106	1951-2000, 2009, 2010	50	0,032	1,04		0	0	0
2	р. Дюрсо – п. Абрау-Дюрсо	190	51,9	1948-76	29	0,047	0,55	2,0	0,025	0,018	0,017
3	р. Адебра – п. Светлый		59,7	1966-96	24	0,053	0,53	-1	0,03	0,006*	0*
4	р. Вулан – п. Архипо-Осиловка	240	265	1948-2002, 2009, 2010	56	0,29	0,65	2,5	0,14	0,097	0,071
5	р. Туапсе – г. Туапсе	390	351	1937-99, 2009, 2010	51	0,42	0,92		0,11*	0*	0*
6	р. Аше – п. Аше	570	282	1955-89	33	1,05	0,91	2	0,27	0,12	0,012
7	р. Куапсе – ущелье Мамедова Щель	380	14,6	1946-2010	57	0,034	0,78	2,5	0,013	0,009	0,007
8	р. Псеуапсе – с. Татьяновка	760	255	1955-91	36	1,41	0,34	-1	1,01	0,79	0,59
9	р. Шахе – с. Солох-аул	1010	423	1936-2010	67	6,27	0,34	4	4,43	3,93	3,61
10	р. Псый – с. Тух-аул	700	20,4	1946-87	41	0,19	0,42	1	0,10*	0,08*	0,068
11	р. Западный Дагомыс – п. Дагомыс	380	49	1974-2006, 2009	32	0,19	0,62	1,5	0,09	0,05	0,027
12	р. Сочи – с. Пластунка	840	238	1936-2011	72	3	0,33	2	2,16	1,8	1,55
13	р. Сочи – г. Сочи	720	296	1936-2010	72	2,04	0,59	0	1,03	0,51	0,08
14	р. Хоста – п. Хоста	410	98,5	1936-2011	71	1,2	0,37	1	0,82	0,65	0,57*
15	р. Мзымта – п. Красная поляна	1670	510	1945-2003, 2011	59	9,5	0,19	3	7,9	7,21	6,7
16	р. Мзымта – п. Кеш	1380	798	1936-67	32	13,3	0,28		8,7*	8,3*	8,25*
17	р. Мзымта – п. Казачий брод	1340	839	1967-2010	40	17,5	0,3	1,5	13,1	11,1	6,86*

Примечание: * – значение снято с эмпирической кривой обеспеченности

Таблица 2. Минимальный суточный расход воды по постам Росгидромета
Table 2. Minimum daily water consumption at Roshydromet stations

№	Река-пост	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км ²	Период наблюдений	Число лет наблюдений	Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Cv	Cs/Cv	Расходы воды различной вероятностью превышения, м ³ /с		
									80%	90%	95%
1	р. Гасгогай – ст-ца Гасгогаевская		106	1951-2000, 2009, 2010	50	0,02	1,32		0	0	0
2	р. Дюрсо – п. Абрау-Дюрсо	190	51,9	1948-76	29	0,045	0,59	2	0,022	0,015	0,01
3	р. Адебра – п. Светлый		59,7	1966-96	24	0,04	0,71		0,06	0	0
4	р. Вулан – п. Архипо-Осиповка	240	265	1948-2002, 2009, 2010	56	0,26	0,80	2	0,09	0,047	0,018
5	р. Туапсе – г. Туапсе	390	351	1937-99, 2009, 2010	50	0,23	1,1		0*	0*	0*
6	р. Аше – п. Аше	570	282	1955-89	33	0,86	1,07	2,5	0,17	0,13	0,101
7	р. Куапсе – ущелье Мамедова Щель	380	14,6	1946-2010	57	0,027	0,79	2	0,01	0,005	0,003
8	р. Пезуапсе – с. Тагьяновка	760	255	1955-91	36	1,22	0,37	0	0,84	0,65	0,49
9	р. Шахе – с. Солох-аул	1010	423	1926-2010	77	5,42	0,28	2,5	4,1	3,6	3,21
10	р. Псеи – с. Тух-аул	700	20,4	1946-87	41	0,17	0,39	1	0,09*	0,08*	0,067
11	р. Западный Дагомыс – п. Дагомыс	380	49	1974-006, 2009	32	0,13	0,77	1,5	0,051	0,022	0,003
12	р. Сочи – с. Пластунка	840	238	1927-2011	81	2,65	0,29		1,7*	1,52*	1,37
13	р. Сочи – г. Сочи	720	296	1936-2010	72	1,61	0,66	1	0,71	0,32	0,043
14	р. Хоста – п. Хоста	410	98,5	1936-2011	68	1,07	0,37	0,5	0,74	0,57	0,44
15	р. Мзымга – п. Красная поляна	1670	510	1945-2003, 2011	59	8,7	0,18	2	7,37	6,75	6,25
16	р. Мзымга – п. Кепш	1380	798	1936-67	31	12,1	0,27		8,22*	7,27*	7,11*
17	р. Мзымга – п. Казачий брод	1340	839	1967-2010	40	14,7	0,38		7,83*	6,64*	5,0*

Примечание: * - значение снято с эмпирической кривой распределения

Таблица 3. Измеренные расходы воды в меженные периоды 2007 и 2008 годов

Table 3. Measured water consumption in the 2007 and 2008 interannual periods

Водоток	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км ²	2007 год		2008 год	
			Дата	м ³ /с	Дата	м ³ /с
Левый приток Бешенки (ГЭС)	1534	3,64	19.10	0,13		
Бешенка (у моста)	1393	4,89	19.10	0,005		
Левый приток Бешенка (а/мост)	1381	6,3	19.10	0,19	20.10	0,42
Правый приток Бешенки (0,1 км от левого)		6			20.10	0,088
Бешенка – ниже моста 200м	1327	13,7	19.10	0,34	20.10	0,56
Бешенка – у водозабора	1293	14,8	19.10	0,27		
Ачипсе – устье		141,2			20.10	9,49
Ачипсе – кордон Лаура (р-н гм/поста)	1520	135,17	19.10	3,74		
Хоста – г. Хоста	410	94,85	20.10	1,11	20.10	3,9
Сочи – п. Пластунка	840	249,9	20.10	3,17	20.10	11,4
Кудепста у старого а/д моста	372	86,1	20.10	0,23	21.10	0,96
Мацеста у а/м моста	344	68,7	20.10	0,22	21.10	0,76
Хобза у а/м моста	253	21,42	20.10	0,06	21.10	0,37
б/н – у въезда в с. Солоники у а/м	367	1,9	20.10	0,005		
Чухухт у а/м моста	389	14,4	20.10	0,061	21.10	0,17
Цухведж у а/м моста	474	28,1	20.10	0,096	21.10	0,28
Неожиданная у а/м моста		9,36			21.10	0,04
Макопсе у а/м моста	372	39	21.10	0,054	21.10	0,24
Водопадный у а/м моста	225	2,3	21.10	0,0002	21.10	0
Вишневая у а/м моста		3,5			21.10	0,0035
Шуюк у а/м моста	342	10,9	21.10	0,019	21.10	0,037
Магри у а/м моста	191	4,33	21.10	0,0001	21.10	0,0035
Туапсе – Индюк	386	78,2			22.10	1,66
Туапсе – п.Индюк у ж.д.моста	386	111,5	21.10	0,095		
Туапсе – проезд под ж.д ниже ПЦ		240,5			22.10	3,10
Туапсе – 4км от ГЭС вверх по теч.	398	313,7	21.10	0,38		
Кабак у а/м моста	267	21,9			22.10	0,06
Ту у а/м моста	282	18,2			22.10	0,079
Бжид у а/м моста	213	7,35	21.10	0,007	22.10	0,020
Тешебс у а/м моста	233	13,47	21.10	0,004	22.10	0,0035
Текос – Архипо-Осиповка	224	86,8	21.10	0,043	22.10	0,23
Бетта у а/м моста		23,8			22.10	0
Аберда – п. Светлый		59,7			22.10	0
Хотецай – п. Джанхот	219	11,7	22.10	0,002	22.10	0,007
Джанхот – д. Прасковеевка	283	34,1	22.10	0,011	22.10	0,021
Джанхот – устье		49,3			22.10	0,013
Широкая Балка у а/м моста	205	15,3	23.10	0	22.10	0,0025
Озерейка у а/м моста		70,2	22.10	0,005	22.10	0,006
Дюрсо у а/м моста	194	51,9	22.10	0,031	22.10	0,003
Сукко у а/м моста	189	87,6	22.10	0,037	22.10	0,020
Деберкай у а/м моста	413	17,2			22.10	0,013
Шепси (150 м выше а/м моста)	365	54,5	21.10	0,039	22.10	0,14
Дедерка у а/м моста	413	17,2	21.10	0,013		
Шахе – Солох-аул	423				22.10	10,0

Одновременно с измерениями стока на неизученных реках выполнены измерения расходов воды на постах Росгидромета с длительным периодом наблюдений, расположенных на реках Хоста, Сочи, Дюрсо. Это позволило определить водность периода проведения гидрометрической съемки по отношению к её многолетней изменчивости и осуществить приводку эпизодических измерений стока к расчетным значениям в соответствии с методикой, изложенной в работе³. Метеорологические условия проведения меженной гидрометрической съемки более благоприятные были в 2007 г, когда в течение сентября и октября почти не выпадали осадки (за исключением верховьев р. Мзымты). В 2008 г. дожди в период межени проходили периодически и на разных водосборах. Поэтому в приведении эпизодических данных измерений расходов воды к многолетним характеристикам использованы в основном результаты 2007 г., а результаты съемки 2008 г. использованы для корректировки оценки стока рек при районировании.

Результаты и обсуждения

По данным многолетних наблюдений на постах Росгидромета выполнен расчет минимального 10-ти суточного и суточного стока рек – среднего многолетнего; 80%, 90% и 95%-ной вероятностей превышения. Расчет стока неизученных рек выполнен по графикам связи измеренных расходов воды со средними многолетними, 80% и 95%-ной вероятности превышения минимальными 10-ти суточными расходами воды на реках-аналогах (постах Росгидромета) с коэффициентом корреляции 0,9. Результаты расчета характеристик минимального 10-ти суточного стока приведены в таблице 4.

³ Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб: Нестор-История, 2009. 194 с.

Таблица 4. Минимальный 10-ти суточный расход воды

Table 4. Minimum 10-day water consumption

Водоток	Средняя высота водосбора, м	Площадь водосбора, км ²	Измеренный расход воды, м ³ /с	Расход воды, м ³ /с		Модуль, л/(с·км ²)	
				средний много-летний	95%-ной вероятности превышения	средний много-летний	95%-ной вероятности превышения
Левый приток Бешенки (ГЭС)	1534	3,64	0,13	0,133	0,064	36,4	17,7
Правый приток Бешенки у моста (стоянка а/м)	1381	6,3	0,19	0,194	0,094	30,8	14,9
Бешенка – ниже моста 350м осн. русло после впадения притоков справа	1327	13,65	0,34	0,347	0,168	25,4	12,3
Бешенка – у водозабора	1293	14,7	0,27	0,275	0,134	18,6	9,0
Ачипсе – кордон Лаура (р-н гм/поста)	1520	135,1	3,74	3,81	1,85	28,2	13,7
Кудепста у а/м (город)	372	86,1	0,23	0,235	0,114	2,7	1,3
Мацеста у а/м моста	344	68,7	0,22	0,224	0,109	3,3	1,6
Хобза у а/м моста	253	21,42	0,06	0,061	0,030	2,9	1,4
Чухухт у а/м моста	389	14,41	0,061	0,062	0,030	4,3	2,1
б/н -у въезда в с.Солоники у а/м	367	1,9	0,005	0,005	0,002	2,7	1,3
Цуххведж у а/м моста	474	28,0	0,096	0,098	0,048	3,5	1,7
Макопсе (выше а/м дороги)	372	39	0,054	0,055	0,027	1,4	0,7
Шуюк у а/м моста	342	10,9	0,019	0,019	0,009	1,8	0,9
Водопадный у а/м моста	225	2,3	0,0002	0	0	0,1	0
Магри (у поста ГАИ)	191	4,33	0,0001	0	0	0	0
Шепси (150м выше а/м моста)	365	54,4	0,039	0,040	0,019	0,7	0,4
Дедерка у а/м моста	413	17,2	0,013	0,013	0,006	0,8	0,4
Кабак у а/м моста	267	21,8		0	0	0	0
Ту у а/м моста	282	18,2		0	0	0	0
Бжид у а/м моста	213	7,35	0,007	0,007	0,003	1,0	0,5
Тешебс	233	13,4	0,004	0,004	0,002	0,3	0,1
Текос на выезде из Архипо-Осиповки	224	86,7	0,043	0,044	0,021	0,5	0,2
Хотецай – п. Джемхот у а/м моста	219	11,7	0,002	0,002	0,001	0,2	0,1
Джанхот – п. Прасковецкий	283	34,1	0,011	0,011	0,005	0,3	0,2
Озерейка – п. Глебовка	165	32,4	0,005	0,005	0,002	0,2	0,1
Дюрсо	194	51,9	0,031	0,032	0,015	0,6	0,2
Сукко – п. Сукко у а/м моста	189	87,6	0,037	0,038	0,018	0,4	0,2
Широкая Балка – устье	205	15,3	0	0	0	0	0

В распределении величин минимального стока рек по территории Черноморского побережья отмечены закономерности, имеющие общий характер, вытекающий из высотной зональности. Особенностью формирования минимального стока рек Черноморского побережья России является увеличение меженного стока с запада на юго-восток, что связано с изменением общей обводненности территории в этом направлении. Влияние гидрогеологического и климатического факторов проявляется при анализе величин и характера изменения низкого стока рек с высотой местности. Установлено, что до высоты водосбора около 700 м минимальные средние 10-ти суточные расходы воды изменяются в небольшом диапазоне (до 3 л/с·км²). С повышением высоты местности выше этой отметки в речных бассейнах наблюдается заметный рост минимального речного стока, закономерно обусловленный ростом глубины эрозионного вреза русла и, соответственно, увеличением объемов дренирования реками бассейнов подземных вод, питание которых зависит от инфильтрации атмосферных осадков, растущих с высотой.

Полученная зависимость речного стока в маловодный период от средней высоты водосбора (рисунок 1) и увеличение речного стока с запада на восток взяты за основу географо-гидрологического районирования территории по минимальному 10-ти суточному стоку рек 80%-ной вероятности превышения.

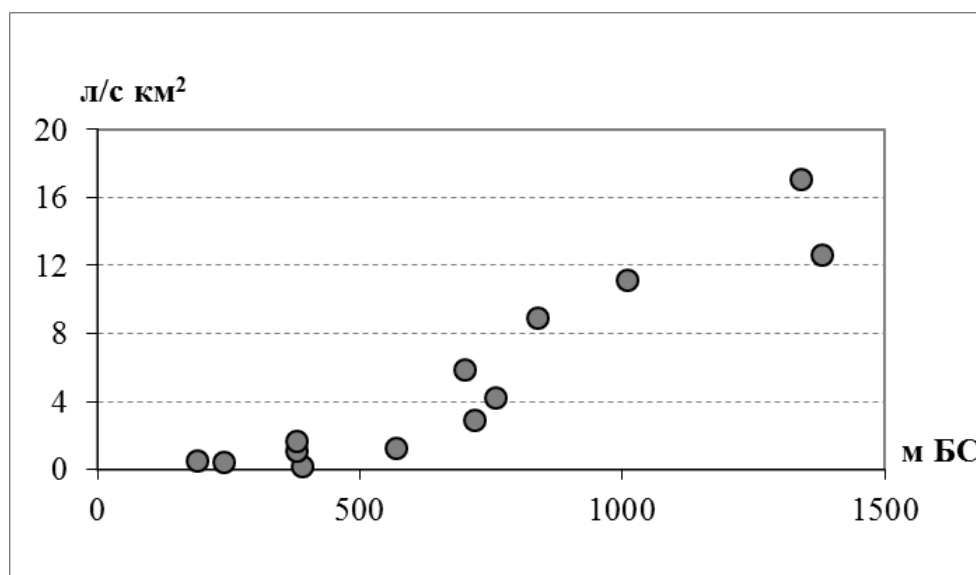


Рисунок 1. Графики связи модуля минимального 10-ти суточного стока рек

80%-ной вероятности превышения ($M_{10\text{-сут } 80\%}$) со средней высотой водосбора (H_{cp})

Figure 1. Graphs of the connection module of the minimum 10-day river flow 80% probability of exceeding ($M_{10\text{-day } 80\%}$) with an average catchment height of (H_{av})

В результате серий расчетов по определению площадей и средних высот водосборов на измеренных реках, расчетов обеспеченных значений стока рек на постах Росгидромета и измеренных реках по методике из работы⁴ был получен набор данных по 45 пунктам.

На первом этапе районирования было выполнено выделение районов по однотипности физико-географических и климатических условий формирования стока рек. Второй этап включал в себя корректировку границ районов и выделение подрайонов с учетом пространственного изменения величины модулей речного стока. Так как большая часть территории не была охвачена полевыми работами, полученная связь $M_{10\text{-сут } 80\%}=f(H_{\text{ср}})$ была использована для оценок пространственного изменения величин стока необследованных рек путем определения их средней высоты водосбора. Неоднородность рельефа и высотно-климатическая зональность являются причинами существенных отличий в условиях формирования стока рек Черноморского побережья. Широкий диапазон изменений модулей минимального стока рек из-за сложности гидрогеологических и гидрографических условий горных районов и их слабая гидрологическая изученность не позволяет выполнить детальное районирование территории способом изолиний. Поэтому районирование произведено способом количественного фона [Топчилов, Ромашова, Николаева, 2009]. Проведение границ районов осуществлялось с учетом границ водоразделов и высоты местности, а также исходя из гидрологической изученности территории.

Согласно с п. 7.63 в СП 33-101-2003 «в горных районах минимальный сток следует определять по графической зависимости модуля минимального 30-суточного стока от средней высоты водосбора. Дополнительным параметром для водосборов со средней высотой до 2 500 м может служить площадь водосбора». Как показал анализ исходной информации по изученным рекам удовлетворительная связь минимального стока с площадью водосбора отсутствует. Сравнение результатов расчета минимального 10-ти суточного стока для неизученных рек, выполненного по его связи со средней высотой водосбора на изученных реках (рисунок 1) с расчетами, в которых учтены эпизодические измерения меженных расходов воды, показало на существенное уточнение (в 1,5-2 раза) характеристик минимального стока на неизученных реках.

Полученные результаты расчетов по данным гидрологических наблюдений на постах Росгидромета и меженных гидрометрических съемок позволили выполнить районирование

⁴ Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. СПб: Нестор-История, 2009. 194 с.

территории по величине модулей минимального в году 10-ти суточного стока рек 80%-ной вероятности превышения (рисунок 2).

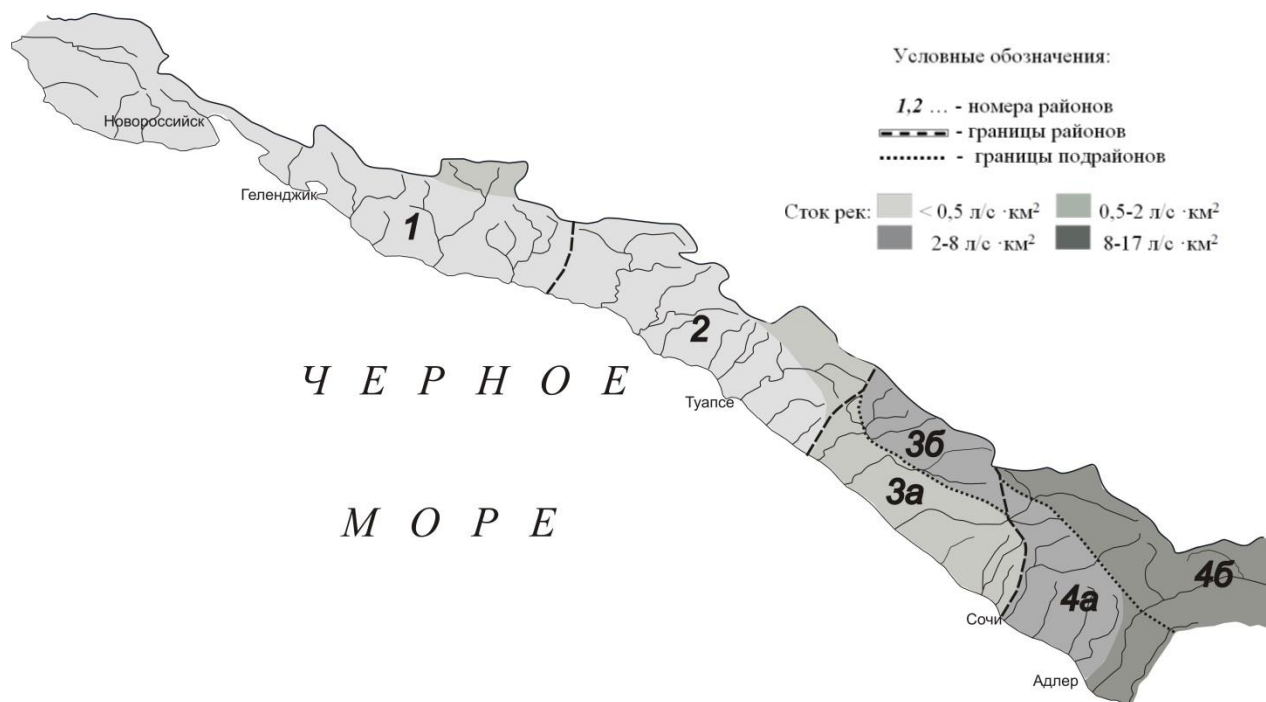


Рисунок 2. Районирование территории по минимальному в году 10-ти суточному стоку рек 80%-ной вероятности превышения ($\text{л/с} \cdot \text{км}^2$)

Figure 2. Zoning of the territory by the minimum annual 10-day river flow of 80% probability of exceeding ($\text{l/s} \cdot \text{km}^2$)

Всего на территории было выделено 4 района, разделенные на две высотные зоны по высоте местности до 700 м и выше. Большие величины минимального стока рек наблюдаются в высокогорных районах. Ниже приводится краткое описание гидрологических районов и оценка их водообильности из работ [Гидрогеология СССР, 1968; Клименко, 1979; Гуревич, Виноградов, 2009].

Район 1 занимает узкую полосу вдоль Черного моря – от р. Сукко до междуречья рек Небуг и Агой. Район отличается низкими величинами атмосферных осадков и значительным испарением. Годовое количество осадков изменяется от 400 до 1000 мм. В режиме осадков выделяется зимний максимум. Здесь характерна летне-осенняя межень. Модуль минимального стока рек в маловодные годы составляет обычно меньше $0,5 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$. Коэффициент вариации (C_v) минимального 10-ти суточного стока изменяется в большом диапазоне 0,5-1,1, что свидетельствует о неравномерном питании рек.

Район 2 занимает низкогорную часть рассматриваемой территории, которая отличается достаточно низкой обводненностью по сравнению с высокогорными районами. Доля меженного стока от общего речного составляет около 1%. Коэффициент вариации (C_v) минимального 10-ти суточного стока изменяется от 0,8 до 1,0. Территория района является пограничной между двумя климатическими зонами: субтропического средиземноморского типа и субтропического влажного.

Причиной формирования этих двух различных типов климата является рельеф, точнее – высота гор. До города Туапсе их высота не поднимается выше 1000 м, и они не являются серьезным орографическим барьером для влагонесущих потоков воздушных масс с юго-запада. После Туапсе высота гор достигает 3000 и более метров. На западных наветренных склонах гор этого района весь год выпадает большое количество осадков [Клименко, 1979; Гуревич, Виноградов, 2009]. Однако, причиной малой водности рек Туапсинского района являются не только высотный фактор, но и влияние интенсивной эксплуатации ресурсов подземных вод на Туапсинском и Сочинском водозаборах. В результате водохозяйственных мероприятий с середины 60-х годов прошлого века здесь наблюдалось снижение уровней подземных вод, вследствие чего в летнее время происходило соединение депрессионных воронок обоих водозаборов и образование общей депрессионной воронки, снижающей речной сток [Клименко, 1979].

Район 3 – междуречье р. Шепси и р. Сочи. Эта часть побережья является более увлажненной. Годовое количество осадков колеблется от 1500 до 2300 мм. Восточнее Туапсе диапазон высот больше, поэтому в районе 3 выделены предгорная зона с высотой до 700 м (район 3а) и горная зоны со средней высотой водосбора более 700 м (район 3б). Как и в районах 1 и 2, реки района имеют смешанное питание при преобладании атмосферного. Модуль минимального 10-ти суточного стока 80%-ной вероятности превышения в предгорном районе составляет 1-2 л/с/км², $C_v = 0,3-0,7$. В горном районе наблюдается его увеличение до 8 л/с км².

Район 3, разделенный на две основные высотные зоны, в целом характеризуется повышенным подземным питанием рек. Хорошо развитая дренирующая гидрографическая сеть и интенсивная трещиноватость создают здесь наиболее благоприятные условия питания рек подземными водами в маловодный период. Коэффициент вариации минимального стока рек здесь низкий – 0,2-0,3 и изменяется в небольшом диапазоне. Из-за разнообразия климатических и физико-географических условий сроки наступления и продолжительность меженного периода на реках различны.

В низко- и среднегорной части района 4 – междуречье р. Сочи и р. Псоу, преобладает летне-осенняя межень с $M_{10-сут\ 80\%}=3-9$ л·с/км². В пределах Большого Сочи, в междуречье Мацеста-Хоста располагается Ахунский карстовый массив. Поэтому режим минимального стока местных рек находится под влиянием карстовых явлений, что выражается в интенсивном поглощении поверхностных вод зонами тектонических нарушений и развития карста. Кроме того, отдельные водосборные бассейны отличаются специфическим рельефом, создающим неравномерность в распределении осадков по территории и значительные различия в увлажнении по отдельным участкам рек. Для высокогорной части бассейна р. Мзымта района 4 характерна осенне-зимняя межень. На хребте Ачишхо выпадает наибольшее количество осадков – до 3200 мм в год, толщина снега достигает 10 м. Снежный покров обычно устанавливается в конце сентября – начале октября и лежит 6-7 месяцев. Среди бассейнов черноморских рек данный район отличается значительным подземным питанием.

Сроки маловодных периодов на реках очень разнообразны [Владимиров, 1970; Wrzesiński, 2015]. Для анализа возможности наступления маловодья на реках и в практике планирования использования водных ресурсов могут возникать вопросы о повторяемости очень маловодных периодов [Шикломанов, 1988; Medeiros, Maia, Medeiros, 2019]. Для района исследований выполнен анализ повторяемости минимальных 10-ти суточных расходов воды вероятности превышения $\geq 80\%$. Строгой повторяемости экстремумов минимального стока рек не проявляется, но есть общие тенденции. В целом по территории очень низкий сток рек наблюдался до 1980 года, но отдельные реки выпадают из общего правила. Например, на р. Шахе почти 70% случаев низкой межени проходили после 1980 г. Рисунок 3 показывает повторяемость количества случаев маловодных лет (в %) с расходами воды вероятностью превышения $\geq 80\%$, которые наблюдались на реках в отдельный год, через год, 2 года подряд, 3 года подряд.

Полученная величина представляет собой отношение суммарного в группе рек числа случаев минимального стока рек вероятности превышения $\geq 80\%$ в данной категории (1 год, 2 года и т.д.) к общему числу случаев низкого стока в реках в межень. Наиболее часто повторяющаяся категория маловодных лет – «одиноким год» ($\approx 78\%$ случаев). Очень редко наблюдаются годы с низкой водностью в категориях 2-3 года подряд (5-8% случаев).

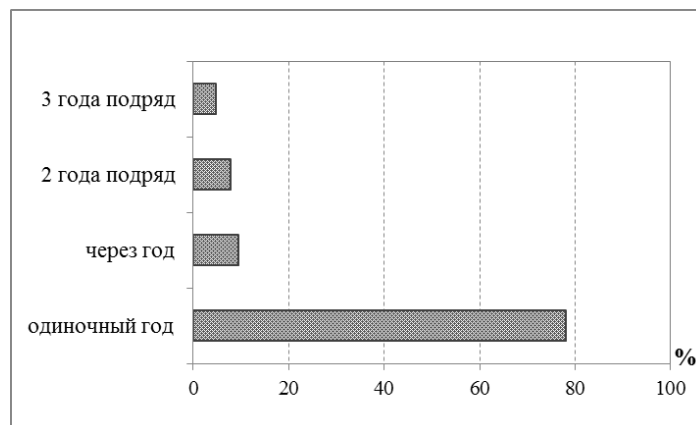


Рисунок 3. Повторяемость минимального 10-ти суточного стока рек вероятностью превышения $>80\%$

Figure 3. Repeatability of minimum 10-day river flow probability of exceeding $P>80\%$

Неблагоприятная гидрологическая ситуация складывается, когда маловодные летние периоды повторяются через 1-2 года или два-три года подряд. В эти годы, как правило, наблюдаются низкие зимняя межень и весеннее половодье.

Заключение

На реках Черноморского побережья в настоящее время функционирует всего 8 гидрологических постов. Десятки рек этого региона не освещены данными наблюдений. Метод аналогии для определения расчетных гидрологических характеристик при отсутствие данных наблюдений здесь использовать сложно, так как природные условия формирования стока, особенно минимального, существенно различаются в горных речных бассейнах.

Отличительные черты в формировании минимального стока на 25 реках района выявлены на основе гидрометрической съемки, выполненной в период устойчивой межени. Использование этих данных позволило уточнить расчетные значения минимального 10-ти суточного стока основных неизученных рек Черноморского побережья.

На основе данных гидрологических наблюдений на постах Росгидромета и результатов меженных гидрометрических съемок выполнено районирование территории по величине модулей минимального в году 10-ти суточного стока 80%-ной вероятности превышения.

Это районирование позволяет оценить пространственное разнообразие стока неизученных рек и получить оценки состояния водных ресурсов в маловодный период. Результаты исследований могут быть использованы при оценке не только минимального стока

неизученных рек, но и для гидрологического обоснования оценки естественных ресурсов подземных вод отдельных речных бассейнов Причерноморья.

Литература

Владимиров А.М. Минимальный сток рек СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 214 с.

Гидрогеология СССР: в 46 т. Том 9: Северный Кавказ / Под ред. Н.А. Григорьева. М.: Недра, 1968. 488 с.

Гуревич Е.В., Виноградов А.Ю. Анализ минимального стока рек Черноморского побережья Кавказа в связи с возрастающей антропогенной нагрузкой // *Естественные и технические науки*. 2009. №4(42). С. 175-178.

Клименко В.И., Куканов В.М., Прокофьев С.С. Подземные воды Черноморского побережья Кавказа и их охрана. М: Наука, 1979. 100 с.

Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 448 с.

Топчилов М.А., Ромашова Л.А., Николаева О.Н. Картография: учебно-метод. пособие. Новосибирск: СГГА, 2009. 109 с.

References

Gidrogeologiya SSSR: v 46 t. Tom 9: Severnyi Kavkaz [Hydrogeology of the USSR: in 46 vol. Volume 9: Northern Caucasia]. N.A. Grigor'ev (ed.). Moscow, Publ. Nedra, 1968. 488 p. (In Russian).

Gurevich E.V., Vinogradov A.Yu. Analiz minimal'nogo stoka rek Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza v svyazi s vozrastayushchei antropogennoi nagruzkoi [Analysis of the minimum flow of rivers of the black sea coast of the Caucasus in connection with the increasing anthropogenic load]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences]. 2009, no. 4(42), pp. 175-178. (In Russian).

Klimenko V.I, Kukanov V.M., Prokof'ev S.S. *Podzemnye vody Chernomorskogo poberezh'ya Kavkaza i ikh okhrana* [Underground waters of the black sea coast of the Caucasus and their protection]. Moscow, Nauka Publ., 1979. 100 p. (In Russian).

Posobie po opredeleniyu raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [A guide to the determination of calculated hydrological characteristics]. Leningrad, Hydro-meteoizdat Publ., 1984. 448 p. (In Russian).

Topchilov M.A., Romashova L.A., Nikolaeva O.N. *Kartografiya* [Mapping]. Novosibirsk, Publ. of SSGA, 2009. 109 p. (In Russian).

Shiklomanov I.A. *Issledovanie vodnykh resursov sushii: itogi, problemy, perspektivy* [Land water resources Re-

Шикломанов И.А. Исследование водных ресурсов суши: итоги, проблемы, перспективы. Л.: Гидрометеиздат, 1988. 152 с.

Medeiros, G.C.S. de, Maia, A.G., Medeiros, J.D.F. de Assessment of Two Different Methods in Predicting Hydrological Drought from the Perspective of Water Demand. *Water Resources Management*. 2019. Vol. 33. Iss. 5. P. 1851-1865.

DOI: [10.1007/s11269-019-02218-7](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02218-7)

Wrzesiński D. Stability of high and low flow periods on European rivers. *Badania Fizjograficzne. Seria A. Geografia Fizyczna*. 2015. Vol. 66. P. 183-194.

DOI: [10.14746/bfg.2015.6.14](https://doi.org/10.14746/bfg.2015.6.14)

search: results, problems, prospects]. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1988. 152 p. (In Russian; abstract in English).

Medeiros, G.C.S. de, Maia, A.G., Medeiros, J.D.F. de Assessment of Two Different Methods in Predicting Hydrological Drought from the Perspective of Water Demand. *Water Resources Management*, 2019, vol. 33, iss. 5, pp. 1851-1865. DOI: [10.1007/s11269-019-02218-7](https://doi.org/10.1007/s11269-019-02218-7)

Vladimirov A.M. *Minimal'nyi stok rek SSSR [Minimum flow of the rivers of the USSR]*. Leningrad, Hydrometeoizdat Publ., 1970. 214 p. (In Russian).

Wrzesiński D. Stability of high and low flow periods on European rivers. *Badania Fizjograficzne. Seria A. Geografia Fizyczna*, 2015, vol. 66, pp. 183-194.

DOI: [10.14746/bfg.2015.6.14](https://doi.org/10.14746/bfg.2015.6.14)