

ПРОБЛЕМЫ ВОДОБЕСПЕЧЕННОСТИ АРИДНЫХ РЕГИОНОВ

УДК 556.06

ОЦЕНКА СОБСТВЕННЫХ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА¹

© 2022 г. А. Г. Косицкий^{a, b, *}, Е. М. Богуцкая^{a, b}, М. Г. Гречушникова^{a, b},
В. Ю. Григорьев^{a, b}, А. А. Сазонов^{a, b}, М. А. Харламов^{a, b}, Н. Л. Фролова^{a, b}

^aМосковский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Москва, 19991 Россия

^bИнститут водных проблем РАН,
Москва, 119333 Россия

*e-mail: alexhydro@mail.ru

Поступила в редакцию 10.02.2022 г.

После доработки 21.02.2022 г.

Принята к публикации 21.02.2022 г.

На основе данных о годовом стоке на 15 гидрологических постах, отражающих относительно естественные условия формирования стока, выявлены современные особенности его пространственно-временной изменчивости. Для девяти действующих из них проведен полный статистический анализ многолетних рядов наблюдений. Для некоторых рек характерно увеличение годового стока с 1991 г. Оценены зависимости средних многолетних расходов воды рек, находящихся в условно естественных условиях, от их порядков, определяемых методом А. Шайдеггера. Установлено, что по характеру зависимости крымские реки вписываются в общие закономерности данных соотношений, полученных для других рек России. В частности, средние многолетние расходы воды рек Крыма оказываются выше рассчитанных по нижней огибающей соотношения средних многолетних расходов воды и порядков разных рек России, что позволило с ее помощью получить наименьшее из возможных значений средних многолетних объемов годового стока рек Крыма и, соответственно, объемов возобновляемых водных ресурсов, равное 371 млн м³.

Ключевые слова: Крым, возобновляемые водные ресурсы, недостаток данных наблюдений, незарегулированные реки, естественный режим, однородность рядов, годовой сток, структура гидрографической сети, порядок реки.

DOI: 10.31857/S0321059622040113

ВВЕДЕНИЕ

Крым – один из наиболее воднодефицитных районов РФ. Наряду с малым количеством собственных водных ресурсов сопутствующая проблема – асинхронность их внутригодового распределения с потребностями населения и хозяйства, поскольку значительная их часть формируется в зимний и весенний периоды, в то время как наибольшая необходимость в воде характерна для летнего сезона. После прекращения подачи воды по Северо-Крымскому каналу проблема нехватки воды в Крыму возникла наиболее остро. В связи с этим наиболее важной задачей становится определение количества собственных водных ре-

сурсов Крымского п-ова и оценка их достаточности для оптимального водопользования.

ИСТОРИЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ КРЫМА

Первые сведения о реках и источниках Крыма известны в России с XVII в. В 1790 г. адъютантом Федором Черным была составлена генеральная карта Крыма. На карте была полностью показана гидрографическая сеть полуострова, включая водотоки Южного берега, балки Тарханкутского и Керченского полуостровов, а также озера и береговая линия прол. Сиваш. В первой половине XIX в. режим и условия питания водотоков оставались малоизученными. Спустя три года после сильной засухи (1833 г.) официально была признана малая водообеспеченность Крымского п-ова [20].

В 1860-х гг. начались экспедиционные исследования, которые были связаны с проблемами

¹ Работа выполнена в рамках Государственного задания ИВП РАН (тема 0126-2021-0001, государственная регистрация 121040700170-9). Статистический анализ проведен в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова “Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды”.

обводнения отдельных районов полуострова и изучения местных водных источников. Условия питания рек горной части Крыма впервые рассмотрены Г.Д. Романовским в 1867 г. [20].

А.И. Воейков в работе [8], посвященной классификации рек, пишет об особенностях распределения стока крымских рек в течение года.

Начало гидрометрических работ на реках Крымского п-ова относится к 1887 г. В 1896 г. на р. Черной в устье с целью организации водоснабжения г. Севастополя изучались условия питания колодцев и источников, определялся их дебит и температура воды.

В начале XX в. Комиссией по оздоровлению территории Южного побережья детально изучаются реки южного склона Крымских гор. В 1906 г. на Ай-Петринской яйле сооружались каменные стены для удержания снега с целью последующего повышения водности рек горной части по проекту профессора И.К. Сикорского [20]. Таким образом, к началу XX в. в Крыму были обследованы многие реки горной части полуострова, выявлена гидрологическая особенность карста и возможность артезианского водоснабжения северной части Крыма.

С 1911 г. особое внимание стало уделяться гидрологическим изысканиям. Была создана “Особая Крымская изыскательная партия”, по инициативе которой были установлены первые пять гидрологических постов на реках Барбала, Яузлар, Учан-Су. В 1912 г. по инициативе руководителя отдела земельных улучшений Н.В. Рухлова начались первые гидрометрические наблюдения на реках Крыма.

В 1913 г. инженером путей сообщения Г.В. Федоровым была организована партия Крымских водных изысканий, проводившая исследования на реках до 1924 г. В это время в верховьях р. Салгир проводились гидрологические исследования для последующего сооружения водохранилища и плотины. С 1913 по 1918 г. на реках Крыма устанавливается 80 гидрологических постов. Гидрологические наблюдения в связи с частыми паводками и вынужденным переносом гидропостов велись нерегулярно. Тем не менее в 1916 г. расходы воды определялись уже на 120 реках Крыма [20].

По результатам наблюдений на постах с 1913 по 1919 г. Д.И. Кочерин изучил распределение годового стока р. Салгир и рассчитал изменение коэффициентов стока в зависимости от площади водосбора. В 1922 г. вышла его работа, в которой описаны результаты экспедиционных исследований рек Салгир и Биюк-Карасу [33].

Д.И. Кочерин отмечает, что для рек южных широт, в частности Крыма, влияние площади водосбора не должно быть значительным. Более того, он показывает, что для рек Крыма имеет место

существенное падение слоя стока с уменьшением площади водосбора [17].

В 1931 г. начала проводиться работа по составлению Водного кадастра СССР, в который вошли данные по стоку рек Крыма. В работе Б.Д. Зайкова и С.Ю. Белинкова [11] появились данные по стоку рек Крыма, которые включали в себя рассчитанные среднемноголетние расходы и модули стока по 82 гидропостам. В [11] авторы отмечают, что для большей части полуострова характерны модули стока < 0.5 л/(с км²). Наибольших величин модули стока достигают в наиболее высокой части Крыма (20–25 л/(с км²)), где количество атмосферных осадков увеличивается. Б.Д. Зайков и С.Ю. Белинковым составлена карта среднего многолетнего стока Европейской части СССР. Стоит отметить, что для Крыма карта дает схематическое распределение стока, что связано с резким изменением по территории полуострова условий, влияющих на сток [11]. В 1940 г. вышел “Водный Кадастр СССР”, в котором приведены данные об уровнях воды, а также среднемесячные и характерные расходы воды рек Крыма. В работе [11] описан крымский тип водного режима рек, характеризующийся ярко выраженным летним или летне-осенним меженным периодом, в течение которого паводки случаются редко, а многие реки и вовсе пересыхают.

В 1947 г. в связи с подготовкой к строительству Симферопольского водохранилища П.М. Шликарём составлены в масштабе 1 : 500000 гидрологические карты среднего годового стока, сезонного стока, карты среднегодовой мутности и др. [20].

В 1962 г. К.П. Воскресенский публикует работу [9], в которой приводит значение среднего стока ≤ 0.5 л/(с км²) для рек степных районов и 6–10 л/(с км²) – для рек горной части Крыма. К.П. Воскресенский указывает, что в наиболее высокой части Крымских гор в бассейне р. Черной сток достигает величин 25 л/(с км²), а в верховьях небольших рек южного склона он может достигать до 56 л/(с км²). Таким образом, автор подтверждает данные по стоку рек Крыма, указанные ранее в работе [11].

В 1960-х гг. гидрологическая сеть Крымского п-ова состояла из 55 гидропостов. В издании 1966 г. [24] приведена карта среднего годового стока рек Крыма. Средняя многолетняя величина стока для всей территории составляет 1.04, для горной части – 10, а для равнинной (степной) – 0.1 л/(с км²) [24].

В 1984 г. вышла книга [23], в которой представлена карта среднемноголетнего годового стока рек СССР. Для рек равнинного степного Крыма он составляет 0.2–1.0 л/(с км²), для рек горных районов среднемноголетний годовой сток – 10–

15 л/(с км²) [23]. Эти значения оказываются меньше приведенных К.П. Воскресенским [9].

В 1990-е гг. сократилось число гидрологических постов. Расположены гидропосты по территории Крыма крайне неравномерно, после 1987 г. прекратилась публикация результатов гидрометрических наблюдений.

В атласе “Автономная Республика Крым” [5] представлена карта среднего многолетнего годового стока. Карта также подтверждает полученные ранее данные по стоку рек Крыма на большей равнинной части (≤ 0.5 л/(с км²)) и в горной части (15–20 л/(с км²)).

В XXI в. началось активное изучение влияния леса, карста, высоты и площади водосборов на распределение стока рек Крыма. В статье [4] на примере р. Абдалки выявлено значительное влияние разнообразных карстопроявлений на сток реки. Согласно приведенным расчетам водного баланса реки, 14% годовой суммы атмосферных осадков в виде подземного стока уходит на питание водоносных горизонтов равнинного Крыма. Е.Л. Мырза и В.А. Овчарук в [19] установили, что, с одной стороны, за счет влияния карста снижается максимальный сток рек, с другой – в верховьях мощных карстовых источников происходит мощный сброс, в результате которого минимальный сток повышается. При этом карст может быть причиной перераспределения водных запасов не только по территории одного водосборного бассейна, но и за его пределами.

К современным результатам гидрологических исследований рек Крыма следует отнести работы М.В. Болгова и А.В. Зайцевой, в которых проведено районирование рек Крыма по синхронности колебаний годового стока. Авторами выделено 8 районов с квазисинхронным колебанием стока. Для каждого из районов получены зависимости среднесезонных модулей речного стока от средней высоты водосбора [7]. Однако неясно, как авторы при оценке синхронности учли антропогенное воздействие на речной сток.

В 2014 г. проведена оценка водных ресурсов рек Крыма, согласно которой суммарное годовое количество возобновляемых водных ресурсов составило 0.83 км³, 93% которых приходилось на горную часть полуострова и лишь 7% на равнинную степную. Предполагается, что для обеспечения жизнедеятельности полуострова необходимо ~200 млн м³/год воды. Таким образом, для покрытия потребности требуется <25% собственных возобновляемых водных ресурсов Крыма [13].

В Докладе о состоянии окружающей среды в Республике Крым [10] приведены сведения о водопотреблении за последние годы и о его динамике. По официальным данным, суммарное водопотребление с 2010 по 2016 г. сократилось более

чем в пять раз: потребление на хозяйственно-питьевые нужды осталось примерно на том же уровне, а потребление на производственные нужды увеличилось в среднем в 1.5 раза. Существенное сокращение водопотребления произошло в сельском хозяйстве (в ~8 раз) и на орошение (в 50 раз).

Итоги многолетних исследований водных ресурсов Крыма опубликованы в монографии [29]. Согласно этим данным, к настоящему времени на реках Крыма построены 23 крупных водохранилища и 1045 прудов общим объемом 556 млн м³. Это примерно половина всего поверхностного и подземного годового стока Крыма. По оценке Гидрометслужбы Украины (2009 г.), общие собственные ресурсы речного стока Крыма составляют 910 млн м³, в том числе в горной части 85%, в равнинной степной части 15%.

Систематизацией данных по крымским водным объектам занималось Крымское бассейновое управление водных ресурсов, сотрудники которого в 2011 г. подготовили и опубликовали справочник [22]. В нем приведены данные по норме и изменчивости годового стока для 65-ти гидропостов, рассчитанные как по наблюдаемому ряду, так и по удлиненному ряду с помощью данных рек-аналогов.

В 1960-е гг. проблема водоснабжения Крыма была решена строительством Северо-Крымского канала, по которому вода поступала на территорию полуострова из р. Днепр. В 2014 г. подача воды по каналу была прекращена, и задача обеспечения водными ресурсами стала одной из актуальных региональных проблем.

Рассматривая суммарные водные ресурсы Крыма, авторы работы [14] указывают, что до 2014 г. вклад днепровских вод в общий баланс водных ресурсов Крыма через Северо-Крымского канал составлял в среднем 2.29 км³ (78.3%), естественного речного стока, который аккумулировался в прудах и водохранилищах, – 0.31 км³ (11.8%), забор подземных вод – 0.22 км³ (7.8%), морских – 0.07 км³ (2.1%). Вклад воды через Северо-Крымского канал от года к году варьировал от 70.3 до 85.6%, естественного стока – от 3.1 до 20.7%, подземных вод – от 6.6 до 9.1%, морских – от 0.7 до 3.9%. Основным потребителем пресной воды на полуострове всегда было сельское хозяйство: ~70% пресных вод тратилось на орошение земель (от 65 до 83%), на сельскохозяйственное водоснабжение ~8, на хозяйственно-бытовые нужды – 13, на производство – 6.5% [29].

Оценка местных водных ресурсов Крыма чрезвычайно актуальна в научном и практическом отношении. В настоящее время в ежегодных изданиях Государственного водного кадастра приводятся оценки местных водных ресурсов Крыма начиная с 2014 г. [25]. При средних многолетних значениях водных ресурсов Крыма, оцениваемых

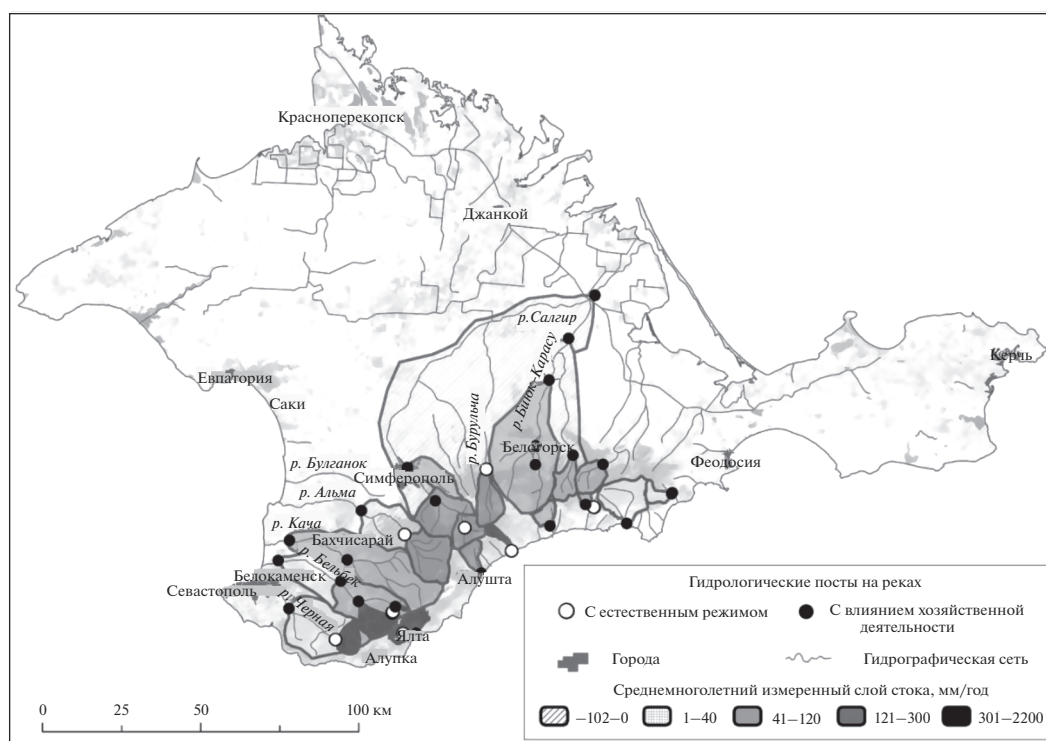


Рис. 1. Среднегодовой слой стока, определенный по частным водосборам, для действующих постов, мм/год.

в $1.0 \text{ км}^3/\text{год}$, наибольшее значение – 2.2 (1945 г.), наименьшее – 0.5 (1972 г.) км^3 . За последние годы эта величина колебалась от 0.8 (в 2014 г.) до $1.2 \text{ км}^3/\text{год}$ (в 2016 г.). С учетом антропогенного воздействия и сложности формирования стока крымских рек требуется уточнение имеющихся оценок.

Цель проведенного исследования – пространственная оценка естественного гарантированного стока крымских рек (являющегося мерой возобновляемых водных ресурсов) в условиях недостатка данных наблюдений. Сток крымских рек искажен вследствие антропогенного влияния, поэтому задача данного исследования – выявление природных составляющих речного стока и основных закономерностей их пространственного распределения. Важнейшей задачей остается оценка и его временной изменчивости для рек, незначительно искаженных хозяйственной деятельностью.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе использованы данные наблюдений на гидрологических постах крымских рек. В разное время на территории полуострова действовало более 100 гидрологических постов. Продолжительность наблюдений на разных постах колеблется от 1 до 85 лет.

В настоящее время в Крыму действуют 33 поста (рис. 1). Большинство из них не в полной мере отражает естественные условия формирования стока, поскольку они находятся на реках, испытывающих сильное антропогенное воздействие. Зарегулированность рек многочисленными прудами и водохранилищами серьезно искажает их режим и характеристики стока. Лишь девять действующих гидрологических постов отражают квазиестественные условия, поскольку расположены в верховьях рек, где выше по течению отсутствуют искусственные водоемы и населенные пункты. Однако они расположены очень компактно, в основном у подножия Крымских гор, где и в основном формируется сток крымских рек. Обширные степные равнины северо-западной части Крыма и Керченского п-ова почти не изучены в гидрологическом отношении.

Другая особенность использования гидрологических данных связана с тем, что данные постов, отражающие естественный режим, расположены исключительно на малых реках, условия формирования стока которых зачастую имеют азональный характер и отражают местные локальные условия водосборов. В связи с этим их данные очень сложно использовать для построения пространственных гидрологических обобщений.

Даже отсутствие водоемов, крупных населенных пунктов, а также сведений о водопользовании в бассейне реки выше створа гидрологиче-

Таблица 1. Выбранные гидрологические посты на реках с условно естественными условиями формирования стока (вдхр – водохранилище)

№	Река	Пост	Период наблюдений, годы
1	Альма	Крымгосзаповедник	1917–1987
2	Альма	Выше вдхр Партизанского	1966, действует
3	Кача	п. Загорское	1955–1975
4	Стиля	с. Лесниковое	1914–1984
5	Манаготра	с. Счастливое	1914–1987
6	Биюк-Узенбаш	То же	1914, действует
7	Кучук-Узенбаш	с. Многоречье	1965, действует
8	Приток р. Кучук-Узенбаш	То же	1965, действует
9	Черная	с. Родниковское	1916, действует
10	Учан-Су	пгт Чехово	1946, действует
11	Улу-Узень	с. Солнечногорское	1914, действует
12	Ай-Серез	с. Междуречье	1971–1978
13	Кизил-Коба	с. Краснопешерное	1913–1987
14	Ангара	с. Перевальное	1913, действует
15	Бурульча	Межгорье	1930, действует

ского поста не дает полной гарантии отсутствия антропогенного влияния на сток. Так, в Крыму имеет место многочисленный систематический несанкционированный забор воды из водных объектов. Забор и сброс сточных вод в крымские реки часто проводится частным образом. Все это также усложняет выявление пространственных закономерностей формирования речного стока.

Данные по всем действующим постам за 1950–2019 гг. (рис. 1) использованы для оценки пространственной изменчивости стока рек. Для анализа и оценки слоя стока использовались частные водосборы. За частный водосбор принимается площадь водосбора между створом замыкающего данный участок гидрологического поста и вышележащими створами. Величина стока R с частного водосбора рассчитывается как изменение стока на этом участке (рис. 1).

На основе анализа полученных данных, сопоставления расположения гидрологических постов на реках с наличием на них гидротехнических сооружений, водохранилищ и на основе результатов собственных экспедиционных исследований выбрано 15 гидрологических постов (табл. 1), данные которых отражают более или менее естественные условия формирования стока. Девять из них действующие, а шесть закрыты в настоящее время, но данные по ним могут быть восстановлены с учетом синхронности колебаний стока. По каждому из выбранных постов использованы ряды средних годовых, а в отдельных случаях и среднемесячных расходов воды. Восстановление данных закрытых гидрологических постов за период отсутствия наблюдений проводилось в соответствии с действующими норма-

тивными документами [21]. С учетом небольшой продолжительности наблюдений на некоторых постах (~10 лет) для построения связи расходов воды по закрытым постам с расходами по действующим использовали не только средние годовые, но и средние месячные расходы воды. Большинство коэффициентов парной корреляции >0.7 даже для наиболее удаленных друг от друга рек (например, рек Альма и Черная).

Предварительный статистический анализ многолетних колебаний годового и сезонного стока был проведен для девяти действующих постов с условно ненарушенными условиями формирования стока. Главным критерием ненарушенности стока было отсутствие крупных по водоносности водотока прудов и водохранилищ в бассейне. Данные этих постов покрывают основной диапазон изменчивости условий формирования стока в горной и предгорной части Крыма с модулями стока от 1.3 л/(с км²) на р. Ай-Серез – с. Междуречье (у северо-восточной оконечности Главной гряды Крымских гор) до 73 л/(с км²) на притоке р. Кучук-Узенбаш – с. Многоречье (берущего начало на склонах Ялтинской яйлы).

Для проверки однородности рядов годового стока по величине среднего и для выявления года перелома использовался тест Петита (“Pettitt’s test”) [38], показавший значимое нарушение однородности. Исходя из общности циркуляции над территорией Крыма, а также из результатов расчета по Петит-тесту, анализа разностных интегральных кривых годового стока в качестве года возможного нарушения стационарности был выбран 1991 г. Пример временно́го ряда и его разностной интегральной кривой приведен на рис. 2.

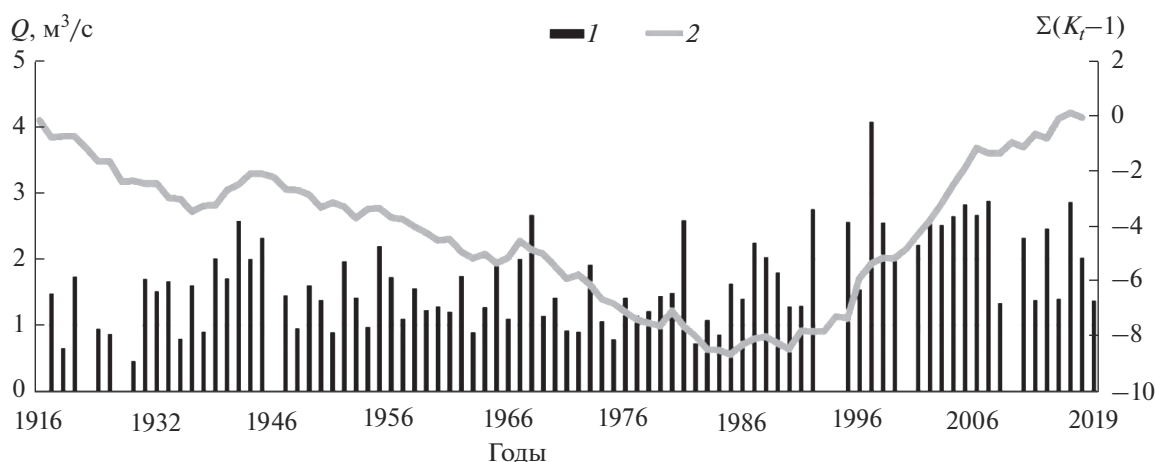


Рис. 2. Годовые расходы воды Q р. Черная – с. Родниковское в 1916–2019 гг. (1) и разностная интегральная кривая годового стока (2). Пунктир – линия линейного тренда.

В соответствии с выбранным годом перелома проведен анализ однородности рядов по величине среднего и среднеквадратического отклонения σ . Для проверки однородности по среднему использовался параметрический t -критерий Стьюдента [34] и непараметрический U -критерий Манна–Уитни [37]. При этом критерий Стьюдента предполагает сравнение средних, а критерий Манна–Уитни – сумм рангов. Для оценки однородности рядов по величине σ рассмотрены два параметрических теста: F -критерий Фишера, наиболее широко используемый в отечественной гидрологии, и критерий Левене [36]. Критерий Левене имеет мощность выше, чем критерий Фишера, для распределений с “тяжелыми хвостами” [18].

Оценка значимости тренда за 1950–2019 гг. проводилась с помощью непараметрического теста Манна–Кендалла [35], а расчет параметров линейной регрессии – с помощью метода наименьших квадратов.

В работе использованы зависимости средних многолетних расходов воды от порядков рек N , определяемых методом А. Шайдеггера: $N = 1 + \log_2 P$ (P – количество водотоков первого порядка в бассейне реки) [1]. Этот метод, по сути, – наиболее усовершенствованное для гидрологических целей определение порядка реки от верхних к нижним звеньям речных систем, развивающее идеи Р. Хортона, А. Страллера, В.П. Философова, Н. А. Ржаницына и др. [26, 30, 32]. Под рекой первого порядка понимается водоток, не имеющий притоков. Слияние двух рек первого порядка приводит к возникновению реки второго порядка, слияние двух рек второго порядка – рождает реку третьего порядка и т.д. В общем случае, если сливаются реки разных порядков, то ниже по течению сохраняется наибольший из порядков сли-

вающихся рек, а при слиянии однопорядковых водотоков – порядок увеличивается на единицу. В отличие от своих предшественников, А. Шайдеггер при определении N учитывает практически все элементы речной сети, что позволяет достичь большего соответствия между порядком реки и другими гидрологическими характеристиками. Кроме того, порядок реки, определенный таким способом, – не обязательно целое число, что приводит к более плавному его изменению по длине главной реки.

Поскольку порядок реки напрямую зависит от количества водотоков первого порядка в бассейне реки, то безусловно его значение при прочих равных условиях отражает размер реки: чем больше площадь водосбора F , тем больше значение N . Однако при одной и той же площади водосбора порядок реки может принимать разные значения. Так, например, в засушливых районах со слабым развитием речной сети N меньше, чем для территорий с сильно расчлененным рельефом и, соответственно, развитой речной сетью (при $F = \text{const}$). Очевидно, что при равенстве F порядок реки будет сильно зависеть от густоты речной сети d . Чем больше d , тем больше водотоков первого порядка на заданной площади и, соответственно, выше порядок главной реки. Проведенные ранее исследования на кафедре гидрологии суши географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова показали, что порядок реки – относительно универсальная функция F и d , которая выражается уравнением [2, 3]:

$$N = \log_2 F + 2 \log_2 d.$$

Следовательно, значение N дает представление, с одной стороны, о размере реки (мерой которого обычно служит площадь водосбора), а с другой –

Таблица 2. Среднегодовой расход воды (m^3/c) до Q_1 и после Q_2 1991 г., его изменение ΔQ , значимость этих изменений по критерию Стьюдента t и Манна–Уитни U . Среднеквадратическое отклонение расходов воды за первый σ_1 и второй σ_2 периоды и его изменение $\Delta\sigma$, значимость этого изменения по критерию Фишера F , Левене lv . Величина линейного тренда $Q - tr$ и его значимость по критерию Манна–Кендалла (значимые при 5%-м уровне величины выделены жирным шрифтом; вдхр – водохранилище)

Река–пост	р. Кучук-Узенбаш– с. Многогорье	Приток р. Кучук-Узенбаш– с. Многогорье	р. Улу-Узень– с. Солнечногорское	р. Ай-Серез– с. Междуречье	р. Черная– с. Родниковское	р. Альма – выше вдхр Партизанского	р. Учан-Су– пгт Чехово	р. Ангара– с. Перевальное	р. Бурульча– Междурье
$Q_1, m^3/c$	0.20	0.21	0.38	0.01	1.42	1.05	0.28	0.28	0.43
$Q_2, m^3/c$	0.19	0.23	0.39	0.02	2.21	1.46	0.28	0.29	0.60
$\Delta Q, \%$	–3.2	13.3	0.9	61.0	55.8	38.9	1.5	6.3	37.3
t	0.761	0.143	0.936	0.125	0.000	0.030	0.922	0.584	0.011
U	0.950	0.092	0.984	0.176	0.000	0.028	0.326	0.627	0.015
σ_1	0.07	0.06	0.15	0.02	0.50	0.54	0.12	0.11	0.21
σ_2	0.07	0.07	0.18	0.02	0.79	0.72	0.22	0.13	0.29
$\Delta\sigma, \%$	0	21	20	38	59	34	93	12	38
f	0.484	0.175	0.149	0.057	0.006	0.083	0.000	0.272	0.036
lv	0.808	0.553	0.549	0.201	0.131	0.344	0.432	0.881	0.144
$tr \%/10$ лет	–0.6	1.9	3.3	8.2	10.1	10.1	–1.3	2.2	7.7
mk	0.957	0.394	0.250	0.394	0.001	0.053	0.240	0.526	0.024

об условиях концентрации стока (мера которой – густота речной сети).

Многие гидрологические характеристики зависят от порядка реки, что обычно выражается экспоненциальным уравнением. Если брать характеристики стока, то наиболее тесные зависимости от порядка реки прослеживаются обычно для средних многолетних расходов воды [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ полученной информации показывает существенную пространственную неоднородность стока рек Крыма, вызванную как природными, так и антропогенными факторами. Наибольший слой стока показали малые реки в южной части Крыма, начинающиеся на Ялтинской и Ай-Пелинской яйлах. Среди относительно крупных рек этого района выделяется р. Черная со слоем годового стока 1150 мм. Отсюда по направлению на СВ слой стока рек Главного хребта постепенно падает до 36 мм (руч. Кизилташский), за исключением р. Улу-Узень ($R = 369$ мм). Наименьшая величина – $R = 102$ мм – выявлена в бас-

сейне р. Альмы ниже Партизанского водохранилища. В пределах степного Крыма в бассейне Салгира происходит существенная потеря стока за счет как природных, так и антропогенных факторов.

Результаты статистического анализа для незарегулированных рек по девяти постам приведены в табл. 2.

Практически для всех рек в последние 30 лет характерно увеличение стока от 0–2 до 40–60% (Ай-Серез, Черная, Альма), однако при 5%-м уровне значимости как по критерию Стьюдента, так и по критерию Манна–Уитни лишь три реки – Черная, Альма и Бурульча – показывают нарушение однородности рядов годового стока. Рост величины σ годового стока составил от нуля на р. Кучук-Узенбаш до 93% на р. Учан-Су. Разные критерии дают разный рост σ . Критерий Фишера допускает нарушение однородности на трех постах, но лишь на одном из них – р. Учан-Су – это не сопровождается значимым ростом Q , что допускает проверку с помощью критерия Фишера. Кроме того, при большей изменчивости и асимметрии рассматриваемых рядов вероятно, что ис-

Таблица 3. Характеристики рек в створах гидрологических постов

№	Река	Пост	Расстояние от устья	F , км ²	L , км	$H_{\text{ср}}$, м	N	Q_0 , м ³ /с	y , мм
1	Альма	Крымгосзаповедник	70	39.7	13	810	3.6	0.72	570
2	Альма	Выше вдхр Партизанского	55	184	28	640	6.0	1.21	210
3	Кача	п. Загорское	51	110	21	800	5.6	1.04	300
4	р. Стиля	с. Лесниково	7	8.8	7.6	870	3.3	0.60	2150
5	Манаготра	с. Счастливое	2.5	5.06	3.7	660	0.5	0.037	230
6	Биюк Узенбаш	То же	1.9	6.55	4	980	1.0	0.23	1110
7	Кучук-Узенбаш	с. Многогоречье	2.8	10	5.5	980	0.5	0.20	630
8	Приток р. Кучук-Узенбаш	То же	0.16	2.46	0.1	530	1.0	0.21	2700
9	Черная	с. Родниковская	32.6	47.6	12	730	3.8	1.75	1160
10	Учан-Су	пгт Чехово	2.9	16.8	4.9	680	3.0	0.26	490
11	Улу-Узень	с. Солнечногорское	1	32.5	12	530	3.8	0.39	380
12	Ай-Серез	с. Междуречье	2.1	12.8	9.4	480	2.1	0.016	39
13	Кизил-Коба	с. Краснопешерное	3	16.8	2	690	2.6	0.23	430
14	Ангара	с. Перевальное	5.8	38.3	8.8	880	4.0	0.28	230
15	Бурульча	Межгорье	58	85	21	520	4.0	0.50	185

пользование критерия Левене более оправданно. Критерий Левене не выявил значимого изменения σ ни на одном из постов.

Реки, показавшие рост среднего по критериям Стьюдента и Манна–Уитни, также показали наличие монотонного тренда по критерию Манна–Кендалла (за 1950–2019 гг.). Скорость роста для них составляет от 7.7% на р. Бурульче до 10.1% на реках Черной и Альме. Меньшее изменение стока, возможно, связано с большей долей подземного питания рек, однако данная гипотеза требует еще подтверждения.

В качестве единого периода осреднения выбран 1963–2019 гг. (за исключением 2011–2013 гг., за который отсутствуют данные в органах Росгидромета), который включает в себя как маловодную (до 1991 г.), так и многоводную (после 1991 г.) фазы. На всех выбранных гидрологических постах с помощью восстановленных данных получены средние многолетние расходы воды Q_0 , приведенные к периоду 1963–2019 гг. Полученные результаты представлены в табл. 3. Здесь же приведены основные физико-географические и гидрографические характеристики рек: гидрографическая длина реки L , площадь F и средняя высота $H_{\text{ср}}$ водосбора, а также порядок реки N , определенный методом А. Шайдеггера.

Средние многолетние стоки выбранных рек меняются в диапазоне от 39 до 2700 мм. Наибольшие значения стока характерны для рек с небольшими водосборами, насыщенными родниками. Эти родники зачастую собирают сток со значительно большей территории, чем поверхностные водосборы рек, что приводит к несовпадению площади поверхностных и подземных водосборов в пользу последних и, как следствие, к увеличению слоев стока, посчитанных формальным делением объемов годового стока на площади поверхностных водосборов.

К сожалению, этих сведений недостаточно для полноценных пространственных обобщений, вследствие чего приходится использовать альтернативные методы оценок. Один из таких методов – индикаторная гидрология, основанная на построении зависимостей характеристик стока от гидрографических характеристик (характеризующих размер реки и развитость речной сети), в том числе и от порядков рек.

Соотношение средних многолетних расходов воды и порядков исследуемых крымских рек представлено на рис. 3. По характеру зависимости реки объединяются в три группы. Большинство рек относится к первой группе. Здесь при одинаковых значениях N средние многолетние расходы воды получаются меньше, чем у рек других групп. Наибольшие значения Q при одинако-

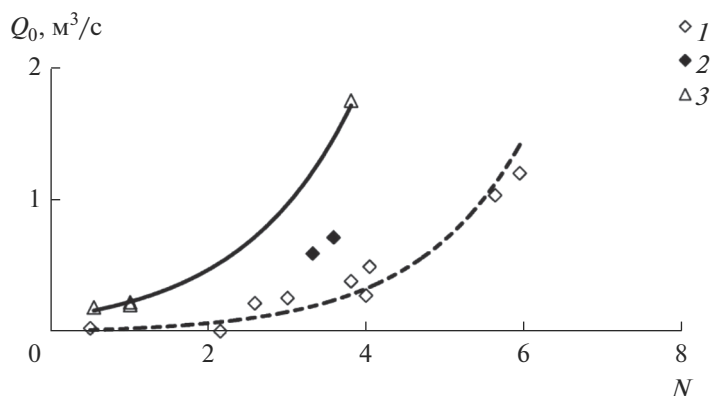


Рис. 3. Соотношение средних многолетних расходов воды Q_0 и порядков рек N Крыма: 1 — Альма (выше водохранилища Партизанского), Кача, Манаготра, Учан-Су, Улу-Узень, Ай-Серез, Кизил-Коба, Ангара, Бурульча; 2 — Альма (Крымгосзаповедник) и Стиля; 3 — Черная и верховья р. Бельбека.

вом N характерны для рек третьей группы. В нее попадают четыре реки: Черная и в верховьях р. Бельбек — Биюк-Узенбаш, Кучук-Узенбаш и его приток в с. Многоречье. Исток р. Биюк-Узенбаш — многоводный карстовый родник. Кучук-Узенбаш и его безымянный приток представляют собой мощные горные потоки с большими уклонами и скоростями течения. Исток рек — источник Кучук-Узенбашский, который находится в непосредственной близости от гидрологического поста в с. Многоречье. Истоком р. Черной считается Скельский источник, находящийся в 200 м выше гидрологического поста в с. Родниковском. Именно этот источник дает основную часть стока реки. Поэтому неудивительно, что при прочих равных условиях расходы воды в этих реках больше, чем в остальных.

Две точки на рис. 3 занимают промежуточное положение: они соответствуют рекам Альма (в створе Крымгосзаповедник) и Стиля. Эти реки условно отнесены ко второй группе. Они обе протекают в предгорной части; следовательно, их водосборы географически также расположены между водосборами рек первой и третьей групп.

С точки зрения природных процессов, средний многолетний сток — предиктор, а порядок реки — функция. Величина стока определяется прежде всего соотношением между осадками и испарением, а также площадью водосбора реки. Речная сеть, которая формируется тысячелетиями, конечно, зависит и от водоносности территории. Чем больше сток, формируемый на определенной площади, тем больше при прочих равных условиях сформируется на ней водотоков и, соответственно, будет больше порядок реки в замыкающем створе. Конечно, водоносность — не единственный фактор формирования речной сети, поэтому зависимость $Q(N)$ (или $N(Q)$) не может иметь универсального характера. В данном случае

гидрологические посты, относящиеся к третьей группе, расположены очень близко к подземным водоисточникам, что не позволяет сформироваться здесь большому количеству водотоков. В данном случае фактором, ограничивающим развитие речной сети, выступает не водоносность, а площадь, на которой данный сток формируется.

Тем не менее водоносность территории — хоть и не единственный фактор формирования речной сети, но, безусловно, также выступает для нее ограничивающим условием, поскольку при недостатке воды речная сеть не сформируется. В связи с этим наиболее актуальным представляется рассмотрение нижней огибающей зависимости $Q(N)$. Именно она показывает, какая наименьшая величина среднего многолетнего расхода воды требуется для того, чтобы сформировалась река порядка N . С точки зрения оценки водных ресурсов нижняя огибающая в данной зависимости дает представление о гарантированной величине среднего многолетнего расхода воды, следовательно — и возобновляемых водных ресурсов, которые должны формироваться при заданном развитии речной сети.

Проведенные ранее исследования по другим рекам России [15] показали, что зависимости между Q_0 и N , построенные для разных рек, хоть и отличаются друг от друга, но при этом имеют общую нижнюю огибающую (рис. 4).

Нижняя огибающая зависимости $Q(N)$ для рек России может быть описана уравнением

$$Q_0 = 0.00204e^{0.84N}. \quad (1)$$

Из рис. 4 видно, что средние многолетние расходы воды рек Крыма также оказываются выше определяемых уравнением (1), причем для всех трех групп рек. Следовательно, уравнение (3) можно использовать для оценки гарантирован-

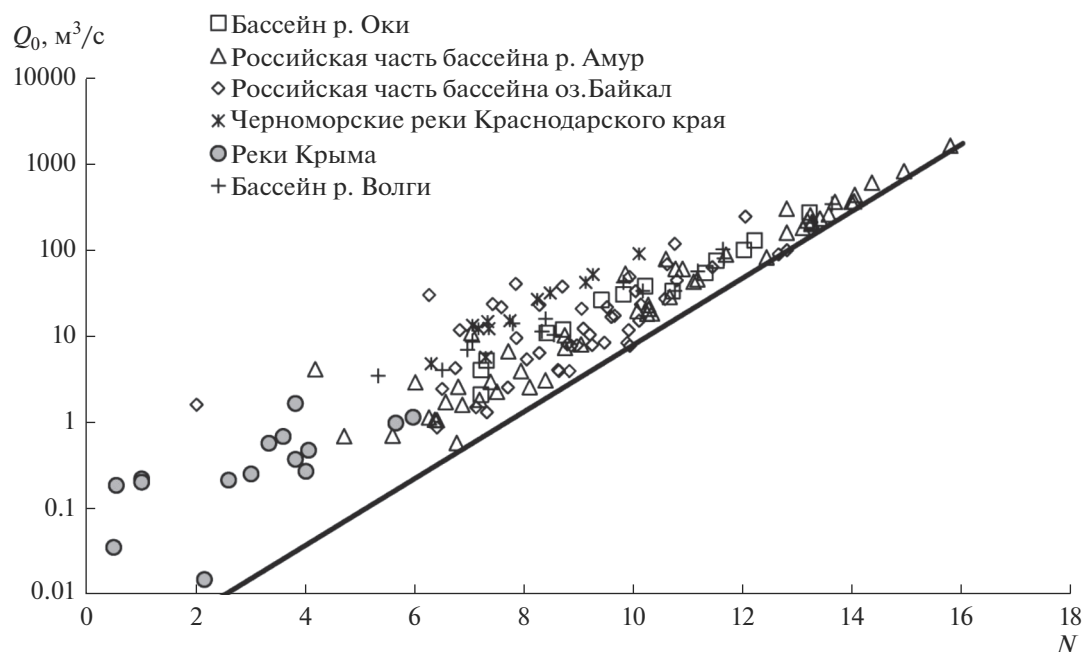


Рис. 4. Соотношение средних многолетних расходов воды Q_0 и порядков N разных рек России с добавлением данных по рекам Крыма.

ного количества естественных водных ресурсов, формируемых в пределах Крымского п-ова. Для их оценки использованы значения N всех Крымских рек, впадающих в Черное или Азовское моря и по уравнению (1) для каждой из них рассчитаны средний многолетний расход воды и объем стока (табл. 4).

Суммарная величина природной составляющей среднего многолетнего объема стока всех рек Крыма получилось 371 млн m^3 /год. Следует подчеркнуть, что фактический суммарный объем стока должен быть больше данной величины, поскольку она получена с использованием нижней огибающей зависимости $Q(N)$, в то время как реальные расходы воды большинства рек, особенно в предгорной части Крымского п-ова, многократно превышают данные значения. Однако для более точной оценки местных водных ресурсов Крыма требуется серьезное сгущение сети гидрологического мониторинга.

Сопоставление полученного гарантированного объема естественных местных возобновляемых водных ресурсов Крымского п-ова с данными о водопользовании [10] свидетельствует о том, что при грамотном распределении воды, минимизации ее потерь при транспортировке и исключении из сельского хозяйства выращивания водоемких культур, воды должно хватить для покрытия всех потребностей населения и хозяйства.

ВЫВОДЫ

Существующей сети гидрологических постов недостаточно для определения закономерностей формирования стока Крымских рек, поскольку из 33 действующих гидрологических постов лишь 9 отражают условно естественные факторы формирования стока. Сток, измеряемый на остальных гидрологических постах, включает значительную антропогенную составляющую. При этом условно-естественные посты расположены на малых реках вблизи Крымских гор, в то время как подавляющая часть площади Крыма остается неизученной в гидрологическом отношении.

Статистический анализ многолетних рядов расходов воды по девяти условно-естественным гидрологическим постам показал, что в последние 30 лет произошло увеличение водности некоторых крымских рек. Статистически значимое увеличение стока выявлено на трех из девяти гидрологических постов.

Зависимости средних многолетних расходов воды от порядков крымских рек, протекающих в естественных условиях, имеют такой же характер, как и для рек, протекающих в других регионах России. Они имеют экспоненциальный характер. Наибольшие расходы воды (при $N = \text{const}$) соответствуют створам рек, расположенным вблизи крупных подземных водоисточников. Установлено, что средние многолетние расходы воды рек Крыма всегда выше полученных по нижней огибающей зависимости $Q(N)$, полученной для раз-

Таблица 4. Расчет гарантированной естественной составляющей среднего многолетнего стока Крымских рек

Название реки	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Порядок реки	Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Средний годовой объем стока, млн м ³
Чатырлык	Каркинитский залив, Черное море	106	2250	5.3	0.18	5.6
Самарчик	То же	42	528	5.4	0.19	5.9
Без названия	Черное море, у с. Морсоке	5.4	6.4	2.0	0.01	0.3
То же	Черное море, у с. Окуневка	5.6	13	3.3	0.03	1.0
Западный Булганак	Каламитский залив, Черное море	49	180	4.3	0.08	2.4
Альма	То же	79	635	7.4	1.05	33.0
Кача	Черное море	64	573	7.2	0.83	26.2
Бельбек	То же	55	505	7.0	0.69	21.9
Черная	»	35	427	6.7	0.56	17.7
Абарка	»	3.6	4.2	1.0	0.005	0.15
Хастабаш	»	3.7	1.6	7.1	0.005	0.15
Загмата	»	6.6	5.6	1.0	0.005	0.15
Учан-Су	Черное море, г. Ялта	7	28.9	3.0	0.025	0.80
Дерекойка	То же	9.6	51	4.3	0.076	2.4
Авунда	Черное море	7.6	24	2.6	0.018	0.56
Путамиш	То же	7.6	14.5	2.6	0.018	0.56
Узень	»	7.8	20.8	4.0	0.058	1.8
Ла-Илья	»	4.1	23	3.3	0.033	1.0
Улу-Узень	»	12	75.7	4.9	0.12	3.9
Джемерджи	»	13	53.4	5.1	0.15	4.6
Семидворье	»	7	10.8	4.7	0.10	3.3
Алака	»	8	19.8	3.6	0.041	1.3
Куру-Узень	»	9	14.4	3.6	0.041	1.3
Улу-Узень	»	12	33.5	4.0	0.058	1.8
руч. Орта-Узень	»	11	26	3.3	0.033	1.0
Андус	»	10	52	3.8	0.050	1.6
б. Канака	»	2.6	19	4.3	0.076	2.4
Уснут	»	11	75.7	6.2	0.38	12.1
Узень	»	7.5	18.4	4.2	0.067	2.1
Шелен	»	10	42	3.3	0.033	1.0
Ворон	»	16	52	3.3	0.033	1.0
Кутлак	»	9	28.2	3.0	0.025	0.80
Таракташ	»	22	161	4.8	0.11	3.6
б. Бугасская	»	10	28.3	5.1	0.15	4.6
Безлы-Давры	»	8	22.3	3.3	0.033	1.0
Отуз	»	4.44	77	4.0	0.058	1.8
б. Янтык	»	10	50	4.3	0.076	2.4
Без названия	Черное море, в 1.5 км севернее с. Бубновка	8.4	18.5	3.8	0.050	1.6
Байбуга	Черное море	20	111	4.8	0.11	3.6
Без названия	Черное море, у с. Берегового	7	9	1.0	0.005	0.15
б. Песчаная	Черное море	12	37.6	3.6	0.041	1.3

Таблица 4. Окончание

Название реки	Куда впадает	Длина, км	Площадь бассейна, км ²	Порядок реки	Средний многолетний расход воды, м ³ /с	Средний годовой объем стока, млн м ³
Без названия	Черное море, в 1 км южнее с. Южное	16	52.1	4.0	0.058	1.8
б. Наиманская	Черное море	9	13.5	3.8	0.050	1.6
Чит-Оба	То же	10	26.1	3.3	0.033	1.0
Мелек-Чесме	Керченский пролив	16	133	6.1	0.348	11.0
Без названия	Керченский пролив, у г. Керчь	7	22.4	4.5	0.086	2.7
То же	Азовское море, в 5 км северо-восточнее с. Красная поляна	5.1	10.8	3.8	0.050	1.6
(б. Каралар)	Азовское море	11	21.2	3.8	0.050	1.6
Без названия	Азовское море, в 4 км северо-восточнее с. Золотого	5.8	17.6	3.6	0.041	1.3
То же	Азовское море, в 0.6 км севернее с. Ново-Отрадного	18	165	5.0	0.13	4.3
То же	Теряется в степи у с. Нижне-Заморского	7.4	11.5	1.0	0.005	0.15
(Зеленый Яр)	Азовское море, в 1.5 км северо-восточнее с. Песочного	14	482	3.3	0.033	1.0
(б. Али-Бай)	Азовское море у с. Набережного	40	182	5.5	0.21	6.6
Без названия	Арабатский залив у с. Каенского	12	47.5	1.0	0.005	0.15
руч. Сухой	зал. Сиваш	14	34.3	4.0	0.058	1.8
Чорох-Су	То же	33	204	5.2	0.16	4.9
Субаш	зал. Сиваш, в 2.5 км северо- восточнее с. Красновка	36	276	4.8	0.11	3.6
Мокрый Индол	зал. Сиваш (Солончаки)*	49	324	5.2	0.16	4.9
Восточный Булганак	То же	44	485	5.3	0.18	5.6
Без названия	зал. Сиваш (Солончаки), в 1.8 км юго-восточнее с. Алексеевка	24	113	1.0	0.005	0.15
Суджилка	зал. Сиваш (Солончаки)	31	102	1.0	0.005	0.15
Салгир	зал. Сиваш	204	3750	9.1	4.22	133.2
Карасу	То же	18	—	2.0	0.011	0.34
Гвардейская	зал. Сиваш у с. Славянского	7.9	122	3.0	0.025	0.80
Зеленая	зал. Сиваш, в 1 км севернее с. Нижние Острожки	5.7	169	1.0	0.005	0.15
Стальная	зал. Сиваш	6.9	134	1.0	0.005	0.15
Победная	То же	18	366	1.0	0.005	0.15
Мирновка	»	15	270	2.0	0.011	0.34
Без названия	зал. Сиваш у с. Завет-Ленинский	10	166	1.0	0.005	0.15
Сумма						371

ных рек России, что позволяет использовать ее для оценки гарантированной естественной составляющей среднего многолетнего стока рек Крыма.

С использованием нижней огибающей зависимости $Q(N)$, построенной для рек, протекающих в разных регионах России, оценена гарантированная естественная составляющая суммарного объема годового стока всех рек Крыма, впадающих в Черное и Азовское моря. Она отражает гарантированный средний объем ежегодно возобновляемых водных ресурсов Крыма, равный 371 млн м³. При этом их фактическая величина должна быть выше, поскольку реальные величины средних многолетних расходов воды большинства крымских рек значительно больше рассчитанных по нижней огибающей зависимости $Q(N)$, что подтверждается более ранними оценками возобновляемых водных ресурсов Крыма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Косицкий А.Г.* Масштабные эффекты изменения стока в русловой сети территории // География, общество, окружающая среда. Т. VI. Динамика и взаимодействие атмосферы и гидросферы. М.: Городец, 2004. С. 443–459.
2. *Алексеевский Н.И., Косицкий А.Г., Носань В.В., Христофоров А.В.* Подобие рек и их систем // Вод. ресурсы. 2013. Т. 40. № 6. С. 531–544.
3. *Алексеевский Н.И., Косицкий А.Г., Христофоров А.В.* Фрактальные свойства речных систем и их использование в гидрологических расчетах // Вестн. Томского гос. ун-та. 2013. № 371. С. 167–170.
4. *Амеличев Г.Н., Олиферов А.Н., Новикова Ф.Н.* Гидрологические особенности р. Абдалки (Симферополь) в области питания артезианского бассейна Равнинного Крыма // Уч. зап. Крымского федерального ун-та. География. Геология. 2017. Т. 3 (69). № 1. С. 160–175.
5. Атлас: Автономная Республика Крым / Под ред. *Н.В. Багрова, Л.Г. Руденко.* Симферополь: Ин-т географии НАН Украины, 2003. 78 с.
6. *Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г., Айбулатов Д.Н., Гречушников М.Г.* Средний многолетний сток рек юго-западной части Крымского полуострова // Вод. хоз-во России: проблемы, технологии, управление. 2020. № 2. С. 37–51.
7. *Болгов М.В., Зайцева А.В.* Оценка местного стока Республики Крым // Сб. тр. конф. “Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения”. М.: Лик, 2017. С. 116–120.
8. *Воейков А.И.* Климаты земного шара, в особенности России. СПб.: Картографическое заведение А. Ильина, 1884. 672 с.
9. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоздат, 1962. 552 с.
10. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории республики Крым в 2016 году. Ижевск: Принт-2, 2017, 300 с.
11. *Зайков Б.Д.* Средний многолетний сток и его распределение в году на территории СССР // Тр. НИУ ГМС. Сер. IV. Вып. 24. Л.: Гидрометеоздат, 1946.
12. *Зайков Б.Д., Белинков С.Ю.* Средний многолетний сток рек СССР. Л.: Гидрометгиздат, 1937. 78 с.
13. *Каюкова Е.П., Барабошкина Т.А., Косинова И.И.* Ресурсный потенциал пресных вод Крыма // Вестн. Воронежского гос. ун-та. Сер. Геология. 2014. № 4. С. 104–109.
14. *Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г.* Водные ресурсы Крыма // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2016. № 1. С. 25–32.
15. *Косицкий А.Г., Гармаев Е.Ж.* Индикационные свойства рек Российской части бассейна оз. Байкал // Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. с международ. участием “Современные проблемы географии и геологии”. Т. 1. Томск: ТГУ, 2017. С. 375–377.
16. *Кочерин Д.И.* Вопросы инженерной гидрологии. Л.: Энергет. изд-во, 1932. 208 с.
17. *Кочерин Д.И.* Колебания стока по площади в горном бассейне южного климата // Вод. транспорт. 1924. № 6. С. 639–643.
18. *Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Горбунова А.А.* О применении и мощности критериев проверки однородности дисперсий. Ч. I // Измерительная техника. 2010. Ч. I. № 3. С. 10–16.
19. *Мырза Е.Л., Овчарук В.А.* Анализ условий формирования паводков холодного периода на реках Крымских гор // Геополитика и экогеодинамика регионов. 2014. Т. 10. Вып 1. С. 740–745.
20. *Олиферов А.Н., Тимченко З.В.* Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.
21. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. СП 33-101-2003. М.: Госстрой России, 2003. 58 с.
22. Поверхностные водные объекты Крыма. Управление и использование водных ресурсов: справочник / Под ред. *А.А. Лисовского.* Симферополь: Крымучпедгиз, 2011. 242 с.
23. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 448 с.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Л.: Гидрометеоздат, 1966. 344 с.
25. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Ежегод. изд. СПб.: Росгидромет, 2014–2019.
26. *Ржаницын Н.А.* Морфологические и гидрологические закономерности строения речной сети. Л.: Гидрометеоздат, 1960. 240 с.
27. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий // Под ред. *Е.А. Позаченюк.* Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. 611 с.
28. *Тимченко З.В.* Среднемноголетние расходы реки Салгир и его притоков Зуя, Биюк-Карасу, Кучук-

- Карасу // Учен. зап. ТНУ. Сер. География. 2004. Т. 17 (56). № 4. С. 71–76.
29. Устойчивый Крым: Водные ресурсы / Под ред. В.С. Тарасенко. Симферополь: Таврида, 2003. 413 с.
30. *Философов В.П.* О значении порядков долин и водораздельных линий при геолого-географических исследованиях // *Вопр. морфометрии*. Вып. 2. Саратов: Изд-во СГУ, 1967. С. 4–6.
31. *Хмара Я.А.* Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Черного и Азовского морей // *Вопросы развития Крыма*. Симферополь: Таврия-Плюс, 2001. 81 с.
32. *Хортон Р.* Эрозионное развитие рек и водосборных бассейнов. М.: Иностран. лит., 1948. 158 с.
33. *Шамов Г.И.* Д.И. Кочерин – основоположник учения о речном стоке. Л.: Гидрометеиздат, 1950. 36 с.
34. *Fundamentals of statistical hydrology* / Ed. *M. Naghettini*. Cham: Springer, 2017. p. 660.
35. *Kendall M.G.* Rank Correlation Methods. London: Charles Griffin, 1975.
36. *Levene H.* Robust tests for equality of variances // *Contributions to Probability and Statistics: Essays in Honor of Harold Hotelling*. Stanford: Stanford Univ. Press, 1960. P. 278–292.
37. *Mann H.B., Whitney D.R.* On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other // *The Annals of Math. Statistics*. 1947. V. 18. № 1. P. 50–60.
38. *Pettitt A.N.* A non-parametric approach to the change point problem // *Appl. Statist.* 1979. V. 28. P. 126–135.