

## СРЕДНИЙ МНОГОЛЕТНИЙ СТОК РЕК ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

**Е.М. Богущкая, А.Г. Косицкий, Д.Н. Айбулатов, М.Г. Гречушникова**

E-mail: alexhydro@mail.ru

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия*

**АННОТАЦИЯ:** На основе данных гидрологических постов исследованы закономерности формирования среднего многолетнего стока рек на северо-западных склонах Крымских гор. Для всех постов, в т. ч. закрытых, данные приведены к единому многолетнему однородному периоду, для которого рассчитаны средние многолетние расходы воды и модули стока. Установлено, что средние многолетние модули стока, в отличие от большинства малых рек России, уменьшаются с ростом площади водосбора и гидрографической длины реки, что связано с влиянием испарения. Выявлена также убывающая зависимость средних многолетних модулей стока от удаленности водосбора от моря и возрастающая зависимость от средней высоты водосбора.

Установлено, что именно вышеперечисленные факторы оказывают решающее влияние на формирование стока рек Кача, Бельбек и Черная, имеющих площади водосборов более 250 км<sup>2</sup>, в т. ч. и в нижнем течении, где водотоки испытывают антропогенное воздействие. Влияние антропогенных факторов на формирование среднего многолетнего стока не столь существенно, как для рек с меньшими площадями водосборов, однако данные гидрологических постов, подтверждающие этот факт, отсутствуют.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** водные ресурсы, водосбор, сток, гидрологический пост, модуль стока, природные факторы, антропогенные факторы, гидрографическая длина, испарение.

Крымский полуостров испытывает дефицит водных ресурсов. Речной сток, являющийся мерой возобновляемых водных ресурсов, крайне неравномерно распределен как по территории полуострова, так и во времени. Причем неравномерность его распределения зачастую асинхронна потребностям населения. Так, основная часть стока крымских рек формируется в зимний и весенний периоды, когда потребности населения и хозяйства в воде минимальны. В летний период, когда водопотребление достигает своего максимума, сток воды сокращается до минимума в связи с очень малым количеством осадков и большим испарением. Неравномерностью отличается и пространственное распределение стока крымских

© Богущкая Е.М., Косицкий А.Г., Айбулатов Д.Н., Гречушникова М.Г., 2020

рек. Основное его формирование происходит в горах, где находятся истоки основных рек Крыма. На обширных степных равнинных территориях слои и модули стока существенно снижаются, вследствие чего водообеспеченность полуострова крайне низкая.

### **История изучения формирования стока крымских рек**

Первые сведения о реках и источниках Крыма были известны в России в XVII в. В XVIII в. появились карты причерноморских степей Крыма, на которых была нанесена гидрографическая сеть. В 1833 г. после сильной засухи официально была признана малая водообеспеченность Крымского полуострова. В 1860-х годах начались экспедиционные исследования по изучению местных водных источников. В 1867 г. выходит работа Г.Д. Романовского «Геологический очерк Таврической губернии и обзор Крымского полуострова относительно условий для артезианских колодцев», где рассматриваются условия питания рек горной части Крыма.

Начало гидрометрических работ на реках Крыма относится к концу XIX в. В начале XX в. Комиссией по оздоровлению территории Южного побережья детально изучаются реки южного склона Крымских гор. В 1906 г. на Ай-Петринской яйле по проекту профессора И.К. Сикорского сооружены каменные стены для удержания снега с целью повышения водности рек горной части [1]. Таким образом, к началу XX в. в Крыму были обследованы многие реки горной части полуострова, выявлена гидрологическая особенность карста и возможности артезианского водоснабжения северной части Крыма.

В 1911 г. «Особая Крымская изыскательная партия» организовала первые пять гидрологических постов на реках Барбала, Яузлар, Учан-Су, где с 1912 г. велись гидрометрические наблюдения. С 1913 по 1918 гг. на реках Крыма устанавливается 80 гидрологических постов. Однако в связи с частыми паводками и, как следствие, переносом гидрологических постов, наблюдения велись нерегулярно. Тем не менее, в 1916 г. расходы воды определялись уже на 120 реках Крыма [1].

В 1920-е годы Д.И. Кочерин на примере верхнего течения р. Салгир определяет изменение стока по площади водосборного бассейна и устанавливает уменьшение стока крымских рек после выхода с гор на равнину [2]. В начале 1930-х годов оценены максимальные и минимальные расходы вод рек, уменьшение стока при движении к устью [2]. Во второй половине 1930-х годов Б.Д. Зайков и С.Ю. Белинков опубликовали данные по стоку рек Крыма, включающие рассчитанные средние многолетние расходы и модули стока по 82 гидрологическим постам. Отмечалось, что для большей части полуострова характерны очень низкие модули стока – менее 0,5 л/(с·км<sup>2</sup>), за исключением района Крымских гор, где модули стока могут увеличиваться до 20–25 л/(с·км<sup>2</sup>) [3]. Впоследствии Б.Д. Зайков разрабаты-

вает классификацию водного режима рек СССР, в которой один из типов называется «крымский», характеризующийся паводочным режимом с преобладанием паводков в холодное время года. На долю летнего периода, по его данным, приходится не более 10 % годового стока крымских рек [4]. В начале 1960-х годов К.П. Воскресенский публикует работу «Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза», где приведены данные и по крымским рекам. Эти данные близки к оценкам Б.Д. Зайкова [5]. К этому времени гидрологическая сеть Крымского полуострова состояла из 55 гидрологических постов, которые в большинстве своем проработали до конца 1980-х годов. В 1990-е годы произошло их сокращение. В настоящее время на территории Крымского полуострова действует 33 гидрологических поста, ведущих наблюдения за стоком вод.

В начале XXI в. вышел атлас «Автономная Республика Крым» [6], в котором представлена карта среднего многолетнего годового стока. Значения для равнинной части Крыма по ней составляют 0,5 и менее л/(с·км<sup>2</sup>), что согласуется с более ранними данными Б.Д. Зайкова и К.П. Воскресенского, для горной 15–20 л/(с·км<sup>2</sup>), что несколько меньше ранее представленных значений. В XXI в. отдельное внимание в проведенных исследованиях уделяется влиянию леса, карста, высоты и площади водосборов на распределение стока рек Крыма. В частности, Г.Н. Амеличев и др. на примере р. Абдалки выявили значительное влияние разнообразных карстопроявлений в виде воронок и поноров в русле на сток реки. Согласно расчетам водного баланса реки 14 % годовой суммы атмосферных осадков в виде подземного стока уходит на питание водоносных горизонтов равнинного Крыма [7]. Е.А. Мырза и В.А. Овчарук 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 [8]. При этом карст может являться причиной перераспределения водных запасов не только по территории одного водосборного бассейна, но и за его пределами. Рассматривая антропогенные факторы, воздействующие на максимальный сток рек (в холодный период), авторы отмечают влияние вырубки лесов.

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 квази-синхронным колебанием стока. Для каждого из районов получены зависимости среднемноголетних модулей речного стока от средней высоты водосбора [9].

В 2014 г. проведена оценка водных ресурсов рек Крыма, согласно которой суммарное годовое количество возобновляемых водных ресурсов со-

ставило 0,83 км<sup>3</sup>, из которых 93 % приходилось на горную часть полуострова и лишь 7 % на равнинную степную. Для обеспечения жизнедеятельности полуострова необходимо около 200 млн м<sup>3</sup>/год воды. Таким образом, для покрытия потребности требуется менее 25 % собственных возобновляемых водных ресурсов Крыма [10]. Аналогичные данные по водопотреблению представлены и в Докладе о состоянии окружающей среды Республики Крым [11]. По официальным данным, суммарное водопотребление с 2010 по 2016 гг. 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 (примерно в 8 раз) и на орошение (в 50 раз).

В 1960-е годы 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. В настоящее время необходимо представлять, можно ли восстановить водопользование в полном масштабе, используя только местные ресурсы, или необходимо искать дополнительные внешние источники воды. Цель проведенного исследования – выявление основных природных закономерностей формирования среднего многолетнего стока рек Крыма. Именно средний многолетний сток является мерой возобновляемых водных ресурсов. Однако его значение для крымских рек искажено вследствие антропогенного влияния, поэтому задачами данного исследования является выявление природных составляющих речного стока и основных закономерностей их пространственного распределения.

#### **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В работе рассмотрена юго-западная часть Крымского полуострова. В географическом отношении исследуемый район относится к северо-западным склонам северного макросклона Крымских гор. Данная территория занимает около 10 % Крымского полуострова, однако здесь протекают значительные по протяженности и водности реки – Западный Булганак, Альма, Кача, Бельбек, Черная и их притоки [1]. Реки начинают свое течение на юго-западных склонах крымских гор, далее протекают в западно-северо-западном направлении и впадают в Черное море на участке между пгт Николаевка и г. Севастополем.

Для оценки закономерностей формирования среднего многолетнего стока использованы данные наблюдений на гидрологических постах. Следует отметить, что гидрологические посты на реках Крыма распределены крайне неравномерно и сосредоточены преимущественно в южной

части полуострова. Так, самый северный действующий гидрологический пост находится на р. Бююк-Карасу в с. Зыбины, расположенном на широте  $45^{\circ}13'$  с.ш., примерно посредине между северной и южной точками Крымского полуострова. Таким образом, северная половина Республики Крым не охвачена гидрологическими наблюдениями. Самый восточный действующий гидрологический пост размещен на руч. Кизилташском в пгт Щebetовка, между городами Судак и Феодосия. Территория восточнее данного населенного пункта, включая Керченский полуостров, также не имеет пунктов гидрологических наблюдений. Таким образом, большая часть Крымского полуострова, расположенная в его северной и восточной частях, недостаточно изучена в гидрологическом отношении. В исследуемом юго-западном районе находится 12 действующих гидрологических постов, что составляет более трети их общего числа на Крымском полуострове.

Использование данных гидрологических постов осложнено тем, что сток многих рек в связи с антропогенным влиянием искажен. Вследствие дефицита водных ресурсов значительная часть стока рек изымается, особенно в летний период. На подавляющей части рек сток зарегулирован многочисленными прудами и водохранилищами для перераспределения водных ресурсов во времени, что серьезно искажает водный режим рек. В связи с этим расходы воды, наблюдаемые на гидрологических постах, несут в себе не только природную, но и значительную антропогенную составляющую. Последняя чаще уменьшает водность реки, однако для некоторых рек, например, являющихся объектами водоотведения, она может и увеличивать сток. Следует подчеркнуть, что изъятие стока крымских рек зачастую носит несанкционированный характер, в связи с чем очень сложно установить его масштабы. Это в значительной степени затрудняет пространственный анализ закономерностей формирования стока. Исходя из вышесказанного, при анализе среднего многолетнего стока рек использованы данные лишь тех постов, выше которых в бассейнах рек отсутствуют искусственные водоемы, а хозяйственная деятельность минимальна. Очевидно, что такие посты расположены в верхних звеньях речных систем. Условно можно считать, что они отражают именно природную составляющую речного стока.

К сожалению, на исследуемой части Крыма расположено лишь пять действующих гидрологических постов, удовлетворяющих этим критериям. Поэтому для пространственного анализа привлечены данные других гидрологических постов, закрытых в настоящее время. В целом в разное время на данной территории работало 28 гидрологических постов, отражающих естественные условия формирования стока. Большинство из них имеют очень маленький совместный с действующими гидрологическими постами период наблюдений. В общей сложности помимо пяти действующих постов в исследовании использовано еще восемь, данные по которым

восстановлены за современный период (табл. 1, рис. 1). Некоторые из закрытых гидрологических постов были расположены на участках рек, которые в период их действия не были подвержены антропогенной нагрузке, а в настоящее время испытывают ее воздействие. Например, русло р. Кача в районе с. Загорское в настоящее время затоплено водами Загорского водохранилища. Поскольку для восстановления данных по таким постам использовался период совместных наблюдений, соответствующий естественному состоянию рек, то и восстановленные современные данные по ним можно считать соответствующими естественным условиям.

Все данные постов приведены к единому периоду осреднения. Для этого проведено восстановление данных закрытых гидрологических постов за период отсутствия наблюдений в соответствии с действующими нормативными документами [12]. С учетом того, что продолжительность наблюдений на некоторых постах составляет всего несколько лет, для построения связи расходов воды закрытых постов с действующими использовали не только средние годовые, но и средние месячные расходы воды. Коэффициенты корреляции средних месячных расходов воды гидрологических постов представлены в табл. 2. Большинство коэффициентов парной корреляции превышают 0,7, даже для наиболее удаленных друг от друга рек (например, рек Альма и Черная). Это свидетельствует о синхронности колебаний стока рек в исследуемой юго-западной части Крымского полуострова.

**Таблица 1.** Данные по гидрологическим постам  
Table 1. The hydrological stations data

№	Река	Пост	Период наблюдений, гг.
1	Альма	Крымгосзаповедник	1917 – 1987
2	Альма	выше вдхр Партизанское	1966 – действует
3	Кача	с. Шелковичное	1948 – 1984
4	Кача	п. Загорское	1955 – 1975
5	Марта	выше впадения р. Финарос	1914 – 1940
6	Биюк-Узенбаш	с. Счастливое	1914 – действует
7	Кучук-Узенбаш	с. Многогорчье	1965 – действует
8	Приток р. Кучук-Узенбаш	с. Многогорчье	1965 – действует
9	Чёрная	с. Родниковская	1916 – действует
10	Узунджа	с. Колхозное	1962 – 1971
11	Боса	с. Родниковское	1927 – 1935
12	Бага Нижняя	с. Ново-Бобровское	1927 – 1935
13	Уркуста	с. Передовое	1926 – 1935





**Рис. 1.** Схема расположения гидрологических постов (номера постов соответствуют данным табл. 1).

**Fig. 1.** The hydrological station location scheme (the station numbers correspond to the Table 1 data).

**Таблица 2.** Корреляционная матрица средних месячных расходов воды по данным гидрологических постов

**Table 2.** The correlation matrix of the average monthly water flows according the hydrological stations data

Номера постов (соответствуют табл. 1)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	1	0,92	0,84	0,90	0,60	0,88	0,92	0,86	0,70	0,79	0,61	0,58	0,67
2		1	0,81	0,90	–	0,80	0,82	0,74	0,81	0,84	–	–	–
3			1	–	–	0,85	0,83	0,81	0,74	–	–	–	–
4				1	–	0,85	0,77	0,80	0,65	0,85	–	–	–
5					1	0,43	–	–	0,71	–	–	1,00	0,14
6						1	0,91	0,91	0,72	0,81	–	0,54	0,61
7							1	0,91	0,79	0,87	–	–	–
8								1	0,74	0,82	–	–	–
9									1	0,93	0,69	0,63	0,68
10										1	–	–	–
11											1	0,92	0,91
12												1	0,79
13													1

Для гидрологических постов, имеющих наиболее продолжительные периоды наблюдений (реки Черная, Биюк-Узенбаш), проведена проверка на однородность рядов средних годовых расходов воды с использованием критериев Фишера и Стьюдента [13]. Установлено, что при использовании полного периода наблюдений гипотеза об однородности рядов не подтверждается. Поэтому данные осредняли за период с 1963 по 2017 гг. (за исключением периода с 2011 по 2013 гг., за который данные в Росгидромете отсутствуют). В соответствии с критериями Фишера и Стьюдента за данный период ряды могут считаться однородными. Восстановление данных для закрытых гидрологических постов также проводили для этого периода.

В итоге для каждого из 13 гидрологических постов получены средние многолетние расходы воды, приведенные к периоду 1963–2017 гг. (за исключением 2011–2013 гг.). С использованием данных о площадях водосборов рек в створах гидрологических постов для них получены средние многолетние модули стока (М).

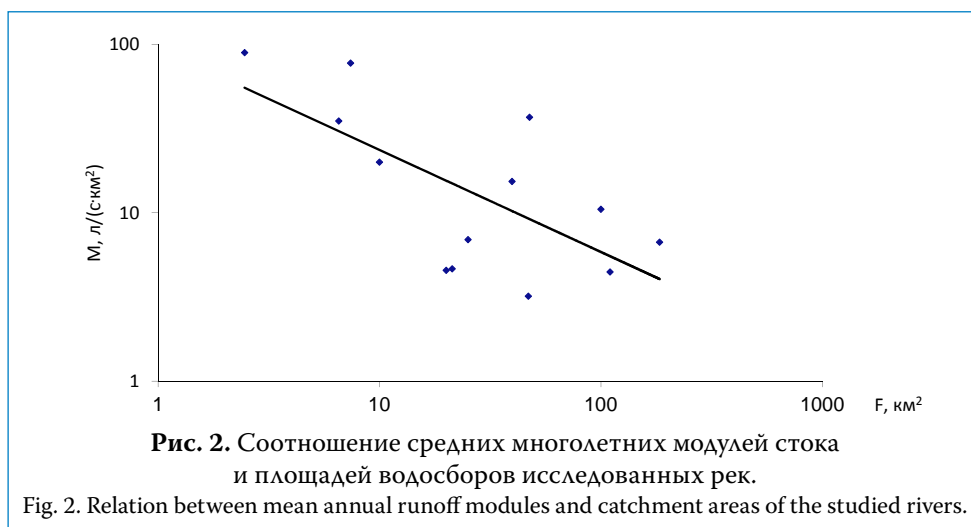
### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные значения модулей стока изменяются в широком диапазоне: от 3,2 для р. Марта до 89 л/(с·км<sup>2</sup>) для притока р. Кучук-Узенбаш. Это больше, чем в ранее опубликованных данных [3, 5, 6]. Более высокие нижние значения связаны с тем, что используемые гидрологические посты не отражают в полной мере данных степной равнинной части Крыма, где модули стока значительно меньше. Высокие верхние значения относятся к рекам, имеющим площади водосборов менее 10 км<sup>2</sup>, в формировании стока которых велика роль аazonальных факторов. Для рек с площадью водосбора более 10 км<sup>2</sup> модули стока не превышают 20 л/(с·км<sup>2</sup>), что согласуется с данными других авторов. Исключение составляет р. Черная в с. Родниковское, где величина среднего многолетнего модуля стока достигает 37 л/(с·км<sup>2</sup>). Здесь также проявляется один из аспектов аazonальности, связанный с неравномерностью распределения мест разгрузки подземных вод. По данным [14], в верховьях бассейна р. Черная сосредоточено много подземных водоисточников.

Средние модули стока обнаруживают тенденцию уменьшения с ростом площадей водосборов (F) рек (рис. 2). Следует подчеркнуть, что для большинства малых рек России модули стока обычно увеличиваются с ростом площади водосбора в связи с последовательным увеличением числа разгружаемых водоносных горизонтов.

Однако в засушливых регионах тенденция может быть и обратная [5, 15]. Учитывая, что Крым безусловно относится к засушливым регионам, неудивительно, что здесь также имеет место убывающая связь. К тому же, основной сток крымских рек формируется в горах, т. е. ближе к истокам.





Поскольку в данном случае увеличение площади водосбора автоматически означает уменьшение его средней высоты ( $H_{cp}$ ), то с ростом площади модули стока будут уменьшаться.

Вторым важным фактором является испарение. При протекании по равнинной территории Крыма часть воды в реках испаряется, что и приводит к уменьшению модулей стока, а в некоторых случаях и расходов воды. Так, между двумя рассматриваемыми постами на р. Альма площадь бассейна возрастает с 39,7 до 184 км<sup>2</sup>, т. е. в 4,5 раза, а средние многолетние расходы воды при этом увеличиваются всего лишь в два раза: с 0,61 до 1,23 м<sup>3</sup>/с. Для двух используемых гидрологических постов на р. Кача площадь водосбора увеличивается незначительно – с 100 до 110 км<sup>2</sup>, а средние многолетние расходы воды уменьшаются в два раза – от 1,05 до 0,49 м<sup>3</sup>/с. Следует подчеркнуть, что в данном случае рассматриваются реки, находящиеся в близких к естественным условиям формирования стока, поэтому уменьшение расходов воды не может объясняться антропогенным изъятием воды.

Важным предиктором здесь выступает не столько площадь водосбора, сколько гидрографическая длина реки (L). Чем дальше вода находится в русле реки, тем больше ее испаряется и тем сильнее проявляется сокращение модулей стока. Примечательно, что корреляционное отношение среднего многолетнего модуля стока исследованных рек со средней высотой водосбора составляет 0,27, а с гидрографической длиной 0,66. Таким образом, расстояние, на протяжении которого вода находится в открытом русле реки, является важным фактором уменьшения стока в связи с испарением.

Еще одним важным предиктором выступает удаленность водосбора реки от Черного моря. Поскольку главным источником поступления влаги в ат-

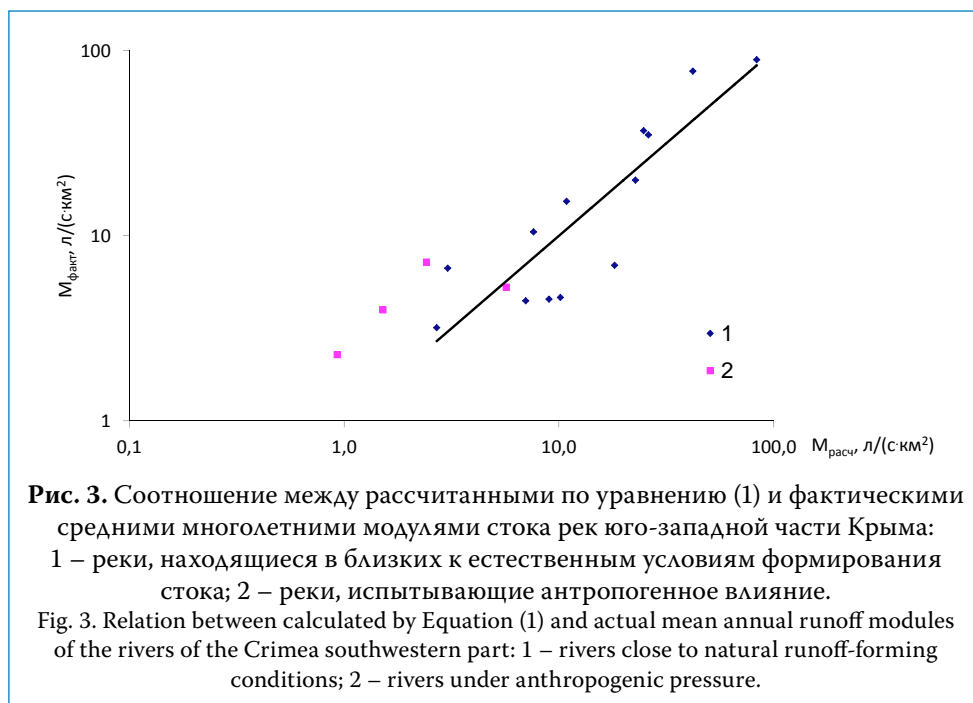
мосферу является Мировой океан, то при прочих равных условиях, чем ближе водосбор реки расположен по отношению к морской акватории, тем больше на его поверхность будет выпадать атмосферных осадков и, соответственно, больше будет средний многолетний модуль стока. Так, для рассматриваемых рек корреляционное отношение между средним многолетним модулем стока и удаленностью центра водосбора от моря ( $S$ ) составляет 0,71.

С применением трех основных предикторов ( $L$ ,  $H_{cp}$ ,  $S$ ) проведен множественный регрессионный анализ зависимости среднего многолетнего модуля стока от указанных переменных, которая может быть описана уравнением:

$$M = 0,91 \cdot L^{-0,44} \cdot H_{cp}^{0,75} \cdot e^{-0,11 \cdot S}. \quad (1)$$

Множественный коэффициент корреляции в данном случае равен 0,87.

Соотношение между фактическими средними многолетними модулями стока и рассчитанными по уравнению (1) представлено на рис. 3. Отклонения фактических модулей стока от рассчитанных могут достигать существенных значений для самых маленьких водосборов вследствие влияния азональных факторов, в частности, несовпадения поверхностных и подземных водосборов. Для рек с площадями водосборов более 25 км<sup>2</sup> отклонения, как правило, не превышают 50 %.



**Рис. 3.** Соотношение между рассчитанными по уравнению (1) и фактическими средними многолетними модулями стока рек юго-западной части Крыма: 1 – реки, находящиеся в близких к естественным условиям формирования стока; 2 – реки, испытывающие антропогенное влияние.

Fig. 3. Relation between calculated by Equation (1) and actual mean annual runoff modules of the rivers of the Crimea southwestern part: 1 – rivers close to natural runoff-forming conditions; 2 – rivers under anthropogenic pressure.

Отметим, что при нанесении на рис. 3 данных действующих гидрологических постов, расположенных на реках Кача, Бельбек и Черная ниже прудов и водохранилищ и, соответственно, испытывающих антропогенное влияние, получается, что они вполне вписываются в полученные закономерности, выявленные для находящихся в близких к естественным условиям рек. Фактические модули стока для них, полученные также осреднением расходов воды за период с 1963 по 2017 гг. (исключая 2011–2013 гг.) оказались не меньше рассчитанных по уравнению (1), несмотря на дополнительные потери воды, вызванные наличием прудов и водохранилищ, а также возможным антропогенным изъятием стока. Таким образом, антропогенное изменение среднего многолетнего стока играет значительно меньшую роль по сравнению с природными процессами, прежде всего, испарением. Однако следует подчеркнуть, что в данном случае речь идет о реках с площадями водосборов более 250 км<sup>2</sup>. Не исключено, что для имеющих меньшие размеры рек антропогенные факторы могут играть более существенную роль. Так, например, в нижнем течении р. Западный Булганак даже в зимний период, когда водность рек максимальна, сток может отсутствовать. При этом выше по течению сток есть. К сожалению, по р. Западный Булганак и другим рекам с малыми площадями бассейнов отсутствуют современные данные гидрологических наблюдений, что не позволяет сделать полноценные выводы о возможных изменениях стока за счет антропогенных факторов.

### ВЫВОДЫ

Проведен анализ условий формирования стока с использованием данных гидрологических постов, отражающих естественные природные условия формирования стока либо минимальное влияние хозяйственной деятельности. Новизна проведенных исследований заключается в выявлении естественных составляющих среднего многолетнего стока рек.

Установлено, что реки, протекающие в юго-западной части Крымского полуострова, имеют синхронные колебания водности. Коэффициенты парной корреляции между средними месячными расходами воды для большинства гидрологических постов превышают 0,7. Средние многолетние модули стока данных рек, рассчитанные за однородный 50-летний период, включающий современные данные, близки к ранее полученным оценкам. Исключение составляют реки с площадью водосбора менее 10 км<sup>2</sup>.

Впервые для Крымского региона проведен множественный корреляционный анализ средних многолетних модулей стока со средними высотами водосборов, гидрографическими длинами рек и удаленностью водосборов от моря. Получено уравнение множественной регрессии, связывающее модули стока с вышеперечисленными характеристиками. Увеличение средней высоты водосбора традиционно приводит к росту модулей стока, а увели-

чение гидрографической длины реки и удаленности водосбора от моря – к обратному изменению модулей стока. Убывающая зависимость модулей стока от гидрографической длины рек, вероятно, связана с испарением с водной поверхности.

Для выявления возможного влияния хозяйственной деятельности на средний многолетний сток рек проведено сопоставление фактических и рассчитанных по полученной зависимости модулей стока рек, испытывающих антропогенный прессинг. Полученные отклонения для рек с площадью водосбора более 250 км<sup>2</sup> вполне укладываются в разброс значений, соответствующий рекам, находящимся в естественных условиях. Однако не следует исключать серьезного антропогенного влияния на средний многолетний сток более малых рек.

Выявленные закономерности могут быть использованы для оптимизации водопользования в исследованном районе.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Олиферов А.Н., Тимченко З.В.* Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 216 с.
2. *Кочерин Д.И.* Вопросы инженерной гидрологии, НКТП СССР: Энергетическое издательство, 1932. 208 с.
3. *Зайков Б.Д., Белинков С.Ю.* Средний многолетний сток рек СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1937. Вып. 2 (56). 78 с.
4. *Зайков Б.Д.* Средний многолетний сток и его распределение в году на территории СССР // Труды НИУ ГМС. 1946. Сер. IV. Вып. 24. 148 с.
5. *Воскресенский К.П.* Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. Л.: Гидрометеоиздат, 1962. 552 с.
6. *Багров Н.В., Руденко Л.Г.* Атлас: Автономная Республика Крым. Институт географии НАН Украины, 2003. 80 с.
7. *Амеличев Г.Н., Олиферов А.Н., Новикова Ф.Н.* Гидрологические особенности р. Абдалки (Симферополь) в области питания артезианского бассейна равнинного Крыма // Уч. записки Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3 (69). № 1. С. 160–175.
8. *Мырза Е.А., 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.
9. *Болгов М.В., Зайцева А.В.* Оценка местного стока Республики Крым // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. 2017. С. 116 – 120.
10. *Каюкова Е.П., Барабошкина Т.А., Косинова И.И.* Ресурсный потенциал пресных вод Крыма // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология. 2014. № 4. С. 104–109.
11. Доклад о состоянии и охране окружающей среды на территории Республики Крым в 2016 году. Ижевск: ООО «Принт-2», 2017. 300 с.
12. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик.

13. Христофоров А.В., Юмина Н.М. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: АПР, 2017. 151 с.
14. Джамалов Р.Г., Егоров Ф.Б., Сафронова Т.И. Ресурсы поземных вод и их роль в водоснабжении Крыма // Водные ресурсы. 2018. Т. 45. № 6. С. 596 – 602.
15. Болгов М.В., Трубецкова М.Д. Особенности формирования и оценка стока реки Амударья в условиях неопределенности климатических изменений // Природообустройство. 2011. № 1. С. 63–67.

*Для цитирования:* Богуцкая Е.М., Косицкий А.Г., Айбулатов Д.Н., Гречушникова М.Г. Средний многолетний сток рек юго-западной части Крымского полуострова // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 37–51.

**Сведения об авторах:**

**Богуцкая Екатерина Михайловна**, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: katebogutskaya@yandex.ru

**Косицкий Алексей Григорьевич**, канд. геогр. наук, доцент, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: alexhydro@mail.ru

**Айбулатов Денис Николаевич**, канд. геогр. наук, научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: gidroden@mail.ru

**Гречушникова Мария Георгиевна**, канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: allavis@mail.ru

---

MEAN ANNUAL RUNOFF OF THE RIVERS  
OF THE CRIMEAN PENINSULA SOUTHWEST

**Ekaterina M. Bogutskaya, Aleksey G. Kositskiy, Denis N. Aybulatov,  
Maria G. Grechushnikova**

E-mail: alexhydro@mail.ru

*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

**Abstract:** The authors have studied the regularities of the mean annual runoff of the rivers at the Crimean Mountains Northwestern slopes on the basis of the hydrological stations' data. For all station, including the closed ones, that data were unified against a single many-year uniform period for which we calculated mean annual water flows and runoff modules. It has been stated that mean annual runoff modules, in contrast with the most of small rivers of Russia are decreasing with the increase of catchment areas and the river hydrographic length, and this is associated with the evaporation effects. In addition, we have found diminishing dependence of mean many-year runoff modules on remoteness from the sea and increasing dependence on the catchment average height.

We have stated that it were these above factors that decisively effect on the Kacha, Belbek, and Chernaya rivers runoff formation, particularly in the downstream were the watercourses face anthropogenic impact. These rivers have catchment areas exceeding 250 km<sup>2</sup>. The anthropogenic factors impact upon formation of the mean annual runoff is not so significant in comparison with that for rivers with lesser catchment areas. However, any hydrological station data supporting this fact are not available.

**Key words:** water resources, catchment, runoff, hydrological station, runoff module, nature factors, anthropogenic factors, hydrographic length, evaporation.

#### About the authors:

Ekaterina M. Bogutskaya, M.V. Lomonosov Moscow State University Geographical Department Chair of the Land Hydrology, Leninskiye Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: katebogutskaya@yandex.ru

Aleksey G. Kositskiy, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, M.V. Lomonosov Moscow State University Geographical Department Chair of the Land Hydrology, Leninskiye Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: alexhydro@mail.ru

Denis N. Aybulatov, Candidate of Geographical Sciences, Researcher, M.V. Lomonosov Moscow State University Geographical Department Chair of the Land Hydrology, Leninskiye Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: gidroden@mail.ru

Maria G. Grechushnikova, Candidate of Geographical Sciences, Leading Researcher, M.V. Lomonosov Moscow State University Geographical Department Chair of the Land Hydrology, Leninskiye Gory, 1, Moscow 119991 Russia M.V. Lomonosov Moscow State University Geographical Department Chair of the Land Hydrology, Leninskiye Gory, 1, Moscow 119991 Russia; e-mail: allais@mail.ru

**For citation:** Bogutskaya E.M., Kositskiy A.G., Aybulatov D.N., Grechushnikova M.G. Mean Annual Runoff of the Rivers of the Crimean Peninsula Southwest // *Water Sector of Russia*. 2020. No. 2. P. 37–51.

#### REFERENCES

1. *Olifereov A.N., Timchenko Z.V.* Reki i ozera Kryma [Rivers and lakes of the Crimea]. Simferopol: Dolya, 2005. 216 p.
2. *Kocherin D.I.* Voprosy inzhenernoy gidrologiyi [Issues of engineering hydrology], NKTP SSSR. Energeticheskoye izdatelstvo, 1932. 208 p.
3. *Zaykov B.D., Belinkov S.Y.* Sredniy mnogoletniy stok rek SSSR [Mean annual runoff of the rivers of the USSR]. L.: Gidrometeoizdat, 1937. Vyp. 2 (56). 78 p.
4. *Zaykov B.D.* Sredniy mnogoletniy stok i yego raspredeleniye v godu na territoriyi SSSR [Mean annual runoff and its distribution in a year on the territory of the USSR] // *Trudy NIU GMS*. 1946. Ser. IV. Vyp. 24. 148 p.
5. *Voskresenskiy K.P.* Norma i izmenchivost godovogo stoka rek Sovetskogo Soyuza [Norm and variability of the annual runoff of the rivers of the Soviet Union]. L.: Gidrometeoizdat, 1962. 552 p.
6. *Bagrov N.V., Rudenko L.G.* Atlas: Avtonomnaya Respublika Krym [Autonomous Republic of Crimea]. Institut geografii NAN Ukrainy, 2003. 80 p.
7. *Amelichev G.N., Oliferov A.N., Novikova F.N.* Gidrologicheskiye osobennosti r. Abdalki (Simferopol) v oblasti pitaniya artezianskogo basseyna ravninnogo Kryma [Hydrological features of the Abdalka River (Simferopol) in the sphere of replenishing of the plain Crimea artesian basin] // *Uch. zapiski Krymskogo federalnogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya*. 2017. Vol. 3 (69). No. 1. Pp. 160–175.



8. *Myrza E.L., Ovcharuk V.A.* Analiz usloviy formirovaniya pavodkov kholodnogo perioda na rekakh Krymskikh gor [Analysis of the cold period floods formation at the Crimea Mountains rivers] // Geopolitika i ekodinamika regionov. 2014. Vol. 10. Vyp 1. Pp. 740–745.
9. *Bolgov M.V., Zaytseva A.V.* Otsenka mestnogo stoka Respubliki Krim [Estimation of the local runoff of the Republic of Crimea] // Vodniye resursy: noviyе vyzovy i puti resheniya. 2017. Pp. 116–120.
10. *Kayukova E.P., Baraboshkina T.A., Kosinova I.I.* Resursniy potentsial presnykh vod Krima [Resources potential of the Crimea fresh waters] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Geologiya. 2014. No. 4. Pp. 104–109.
11. Doklad o sostoyaniyi i okhrane okruzhayushchey sredy na territoriyi Respubliki Krym v 2016 godu [Report on the status and protection of environment on the territory of the Republic of Crimea in 2016]. Izhevsk: ООО «Print-2», 2017. 300 p.
12. SP 33-101-2003 Opredeleniye osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik [Determination of main rated hydrological characteristics].
13. *Khristoforov A.V., Yumina N.M.* Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika [Probability theory and mathematical statistics]. M.: APR, 2017. 151 p.
14. *Dzhamalov R.G., Yegorov F.B., Safronova T.I.* Resursy podzemnykh vod i ikh rol v vodosnabzheniyi Kryma [Groundwater resources and their role in water supply of the Crimea]. // Water resources. 2018. Vol. 45. No. 6. Pp. 596 – 602.
15. *Bolgov M.V., Trubetskova M.D.* Osobennosti formirovaniya i otsenka stoka reki Amudaryi v usloviyakh neopredelennosti klimaticheskikh izmeneniy [Special features of the Amudarya River runoff formation and estimation in the conditions of climate changes uncertainty] // Prirodoobustroystvo. 2011. No. 1. Pp. 63–67.