

ЭВОЛЮЦИЯ ГИДРОСФЕРЫ THE EVOLUTION OF THE HYDROSPHERE

УДК 556.535

DOI: 10.34753/HS.2022.4.1.38

ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА РЕК КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX – НАЧАЛЕ XXI ВЕКОВ

В.А. Обязов^{1,2,3}, А.Ю. Виноградов^{1,2,4}
¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай,
Россия; ²Институт водных проблем РАН,
г. Москва, Россия; ³ФГБОУ ВО «Российский
государственный гидрометеорологический
университет», г. Санкт-Петербург, Россия;
⁴ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова», г. Санкт-Петербург,
Россия
td@npogtp.ru

CHANGES IN THE FLOW OF RIVERS OF THE CRIMEAN PENINSULA IN THE SECOND HALF OF THE XX – EARLY XXI CENTURIES

Victor A. Obyazov^{1,2,3},
Alexey Yu. Vinogradov^{1,2,4}
¹Scientific and Industrial Research Association
Gidrotehproekt, Valday, Russia; ²Water Problems
Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow,
Russia; ³Russian State Hydrometeorological
University, Saint-Petersburg, Russia; ⁴Saint
Petersburg State Forest Technical University, Saint-
Petersburg, Russia
td@npogtp.ru

Аннотация. Крым относится к регионам с существенным недостатком водных ресурсов. Поэтому для обеспечения водоснабжения населенных пунктов, промышленных и сельскохозяйственных предприятий в Крыму создано 23 водохранилища и около 2 000 оросительных прудов. В этих условиях важным вопросом становится рациональное использование речного стока, в том числе учет закономерностей его пространственно-временного распределения. В связи с достаточно контрастным делением территории полуострова на горную и равнинную части пространственное распределение стока отличается крайней неравномерностью. Наиболее высокие значения среднего годового модуля речного стока (более 20 л/с·км²) отмечаются в горных районах, а наименьшие (около 0,1 л/с·км²) – в степных. Выявлено существенное влияние на речной сток изъятия воды для различных нужд, которое сопоставимо с остающимися после него расходами воды, а в некоторых случаях и превосходящее их. Многолетние изменения стока происходят на всех реках Крыма

Abstract. Crimea belongs to the regions with a significant shortage of water resources. Therefore, 23 reservoirs and about 2,000 irrigation ponds have been created in Crimea to provide water supply to settlements, industrial and agricultural enterprises. Under these conditions, an important issue is the rational use of river flow, including consideration of the regularities of its spatial and temporal distribution. Due to a rather contrasting division of the peninsula's territory into mountainous and plain parts, the spatial distribution of runoff is extremely uneven. The highest values of the average annual modulus of river runoff (more than 20 l/s·km²) are observed in mountain areas and the lowest ones (about 0.1 l/s·km²) – in steppe areas. There is a significant impact on the river flow of water withdrawal for various needs, which is comparable with the remaining water discharge after it, and in some cases even exceeds them. Multiyear changes in runoff occur in all rivers of the Crimea in a fairly consistent manner. The correlation coefficients between the series of average annual water discharge in all cases are statistically reliable. Cyclicity is revealed in the fluctuations of the annual runoff.

достаточно согласованно. Коэффициенты корреляции между рядами средних годовых расходов воды во всех случаях статистически достоверны. В колебаниях годового стока выявлена цикличность. На многих реках с длительным периодом наблюдений отмечаются статистически достоверные ритмы длительностью 7–8 лет. В режиме стока рек Крымского полуострова отмечены разнонаправленные тенденции. Наибольшее увеличение средних годовых расходов произошло в равнинной части бассейна реки Салгир. На большинстве рек западного склона Крымских гор средние годовые расходы воды понизились. Увеличение стока на реках бассейна реки Салгир не подтверждается режимом атмосферных осадков, в котором отсутствуют положительный тренд и их повышенные значения в 1990-е и в начале 2000-х годов, что отчетливо проявляется в режиме стока этих рек. Выявленные тенденции изменения стока и на многих других реках не могут быть признаны естественными, поскольку на большинство рек Крымского полуострова оказывается существенное антропогенное воздействие.

Ключевые слова: Крым; речной сток; цикличность; тренды; водозабор; антропогенное влияние.

Введение

Крым относится к регионам с существенным недостатком водных ресурсов. На большей части его территории средний годовой сток не превышает 1 л/с·км². В летний период многие реки пересыхают. При этом для обеспечения водоснабжения населенных пунктов, промышленных предприятий и удовлетворения потребности в воде сельского хозяйства в Крыму создано 23 водохранилища и около 2 000 оросительных прудов [Гафарова, Хаирова, 2018]. По данным 2ТП (водхоз), водозабор из поверхностных источников в период с 2014 по 2020 год ежегодно составлял от 150 до 240 млн. м³. В этих условиях важным вопросом становится рациональное использование речного стока, в том числе учет закономерностей его

Statistically reliable rhythms lasting 7–8 years are observed on many rivers with a long observation period. Divergent trends have been noted in the flow regime of the rivers of the Crimean Peninsula. The greatest increase in the average annual flow rates occurred in the plain part of the Salgir River basin. On most rivers of the western slope of the Crimean mountains, the average annual water discharge has decreased. Increased flow of the rivers of the Salgir basin is not confirmed by the regime of atmospheric precipitation, in which there is no positive trend and its increased values in the 1990s and early 2000s, which is clearly evident in the flow regime of these rivers. The identified trends of flow changes in many other rivers cannot be recognized as natural, because most of the rivers of the Crimean peninsula have a significant anthropogenic impact.

Keywords: Crimea; river runoff; cyclicality; trends; water withdrawal; anthropogenic impact.

пространственно-временного распределения. К числу важных задач относятся оценка согласованности многолетних изменений стока, выявление длительных тенденций и циклической их структуры.

Материалы и методы

В работе использованы материалы инструментальных наблюдений на 27 гидрологических постах Крымского полуострова. Данные представлены в виде временных рядов средних месячных и годовых расходов воды за период с начала непрерывных наблюдений до 2019 года. В рядах отсутствуют данные за период с 2011 по 2013 год в связи с невозможностью их получения. Кроме того, были использованы данные наблюдений за

атмосферными осадками на метеостанции Симферополь.

В исследовании применены различные количественные методы. Выявление циклической структуры изменения стока производилось с помощью спектрального анализа, а также вейвлет-анализа, все более активно используемого в последние годы при изучении временных рядов [Астафьева, 1996]. Для непрерывного вейвлет-преобразования использовался вейвлет Морле. Параметры линейных трендов во временных рядах определялись методом наименьших квадратов. Для оценки пространственно-временной согласованности речного стока применялся корреляционный анализ. Оценка статистической достоверности значений коэффициентов корреляции и спектральной плотности выполнялась с помощью критериев Стьюдента и хи-квадрат соответственно. Достоверность выявляемых трендов не оценивалась ввиду наличия пропусков в рядах данных.

Объект исследования

В гидрографическом отношении Крымский полуостров разделяют на две неравные по площади части: равнинную и горную [Ресурсы поверхностных вод, 1966]. На равнинной территории, которая занимает большую часть полуострова, речная сеть развита очень слабо. Реки протекают преимущественно в горных районах.

Сток рек Крыма определяется несколькими природными факторами, среди которых рельеф имеет ключевое значение. Его стокоформирующее значение проявляется не только в высотной поясности, но и в перераспределении потоков воздушных масс. Расположение Крымских гор на юге и юго-западе

полуострова обуславливает хорошую влагообеспеченность юго-западных и южных их склонов. Влажные воздушные массы слабо проникают вглубь территории.

В связи с этим пространственное распределение стока отличается крайней неравномерностью. Наиболее высокие значения среднего годового модуля стока, достигающие $20 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$, отмечаются в верховьях рек Черная, Бельбека (река Бююк-Узенбаш, река Кучук-Узенбаш), бассейны которых расположены на северном склоне западной части Крымских гор (таблица 1, рисунок 1). Относительно высокий модуль стока характерен для рек Дерекойка и Улу-Узень, стекающих с южного склона Главной гряды (более $10 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$). При продвижении на север и восток сток понижается, особенно в северном направлении при смене рельефа с горного на равнинный. В северо-восточном направлении уменьшение модуля происходит медленнее, достигая в нижнем течении реки Салгир значений около $0,8 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$. В степной части полуострова, за исключением бассейна реки Салгир, оценить величину стока не представляется возможным в связи с отсутствием гидрологических постов. По оценке, выполненной в [Ресурсы поверхностных вод, 1966], для равнинной территории Крыма характерны значения модуля стока около $0,1 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$.

В распределении стока по территории существенное изменение вносит весьма распространенный в Крыму карст. В частности, сток может перераспределяться подземным путем по длине реки и даже из одного водосбора в другой под местными поверхностными водоразделами [Ресурсы поверхностных вод, 1966].

Таблица 1. Средние годовые расходы воды и модули стока рек в среднем за период с 1981 по 2010 год.
Table 1. Average annual water flow rates and river runoff modules averaged for 1981–2010.

Наименование поста	Площадь водосбора, км ²	Расход воды, м ³ /с	Модуль стока, л/с·км ²
Бассейн Черного моря			
река Альма – выше водохранилища Партизанское	184	1,37	7,45
река Альма – поселок городского типа Почтовое	374	0,69	1,84
река Кача - село Суворово	525	1,16	2,21
река Бельбек – поселок городского типа Куйбышево	270	2,02	7,48
река Бельбек – село Фруктовое	493	2,05	4,16
река Биюк-Узенбаш – село Счастливое	6,55	0,25	38,2
река Кучук-Узенбаш – село Многоречье	10,0	0,20	20,0
река Черная – село Хмельницкое	342	1,87	5,47
река Черная – село Родниковское	47,0	1,96	41,7
река Дерекойка – город Ялта	49,7	0,69	13,9
река Демерджи – город Алушта	53,0	0,26	4,91
река Улу-Узень – село Солнечногорское	32,5	0,44	13,5
река Ускут – село Приветное	42,3	0,13	3,07
река Ворон – село Ворон	10,3	0,038	3,69
река Ай-Серез – село Междуречье	12,8	0,035	2,73
река Таракташ – город Судак	156	0,15	0,96
ручей Кизилташский – поселок городского типа Щебетовка	35,0	0,051	1,46
Бассейн Азовского моря			
река Салгир – село Пионерское	261	1,43	5,47
река Салгир – село Лиственное	3540	2,97	0,84
река Ангара – село Перевальное	38,3	0,30	7,83
река Малый Салгир – город Симферополь	96	0,32	3,33
река Бурульча – село Межгорье	85	0,57	6,71
река Биюк-Карасу – село Зыбины	601	1,94	3,23
река Биюк-Карасу – село Заречье	1140	1,22	1,07
река Кучук-Карасу – село Богатое	89	0,34	3,82
река Су-Индол – село Тополевка	71	0,31	4,37

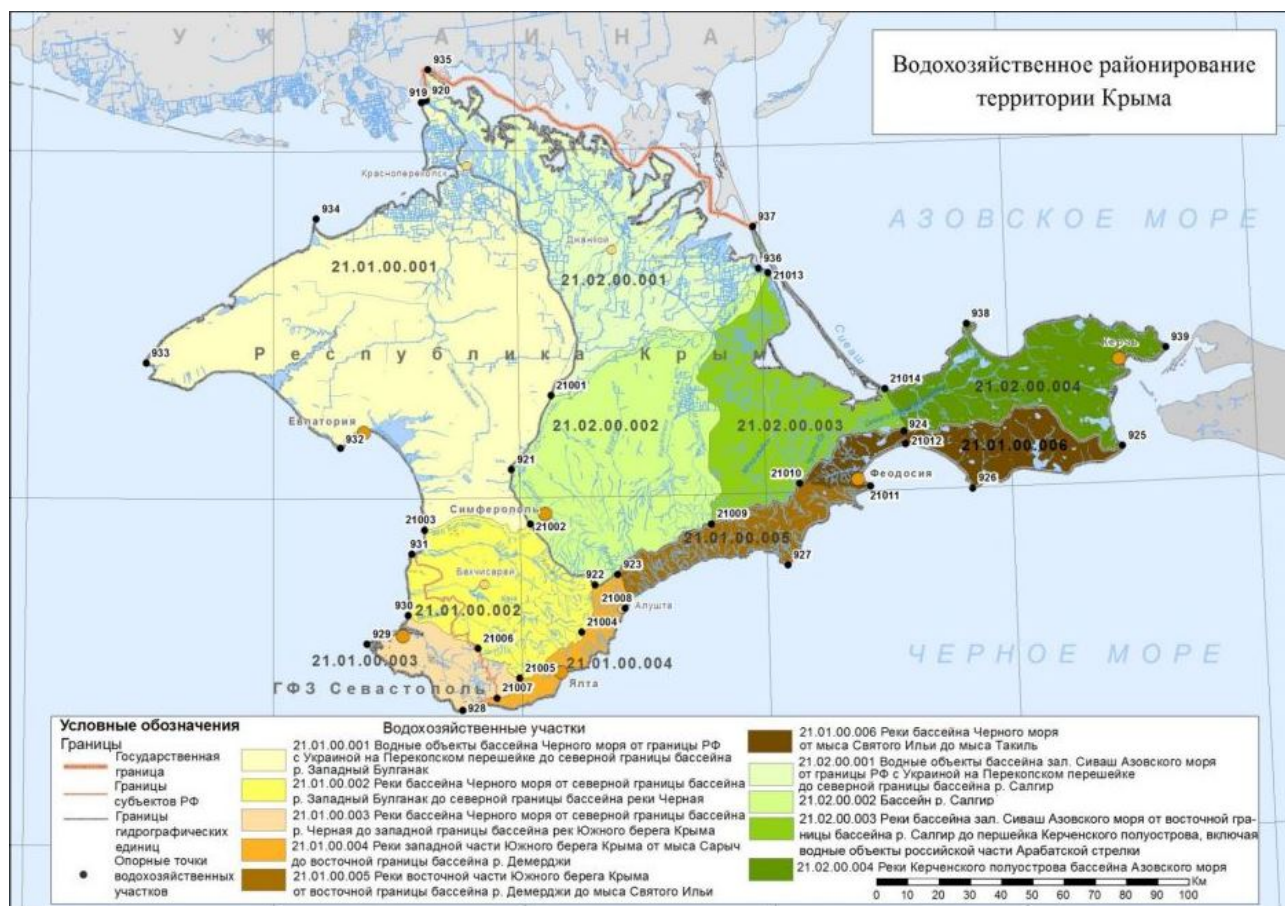


Рисунок 1. Водохозяйственное районирование территории Крыма¹.

Figure 1. Water management zoning of the territory of Crimea.

Результаты и обсуждение

Большое влияние на пространственно-временное распределение стока в Крыму оказывает водозабор для питьевого, хозяйственно-бытового и производственного водоснабжения, а также орошения, который ввиду недостатка в данном регионе пресной воды достаточно велик. По данным 2-ТП (водхоз) выполнена оценка воздействия водозабора на сток рек Салгир, Альма, Бельбек, Улу-Узень. Для бассейна реки Салгир использованы также данные, опубликованные в [Иванютин, Подовалова, Кременской, 2016]. Данная оценка носит приближенный характер, поскольку неизвестны все места забора воды относительно гидрологических постов. Если для реки Салгир есть основания полагать, что практически весь

водозабор осуществляется выше поста в селе Лиственный, так как он находится ниже по течению всех основных водохранилищ и Северо-Крымского канала, в которой отбирается вода реки Биюк-Карасу – основного притока реки Салгир, то для рек Альма, Бельбек, Улу-Узень для подобного утверждения недостаточно информации. Тем не менее и приближенная оценка полезна для понимания степени антропогенного воздействия на сток.

В период с 2006 по 2010 год объем водозабора в бассейне реки Салгир изменялся в пределах от 20 до 40 млн м³ в год (рисунок 2), что составило от суммарной величины (сток плюс водозабор) от 15 до 30%. По информации, изложенной в [Иванютин, Подовалова, Кременской, 2016], водозабор начал возрастать в

¹Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Книга 1. Общая характеристика речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым [Электронный ресурс].

URL: https://gkvod.rk.gov.ru/uploads/gkvod/attachments//d4/1d/8c/d98f00b204e9800998ecf8427e/phpXMIGfT_1.pdf.

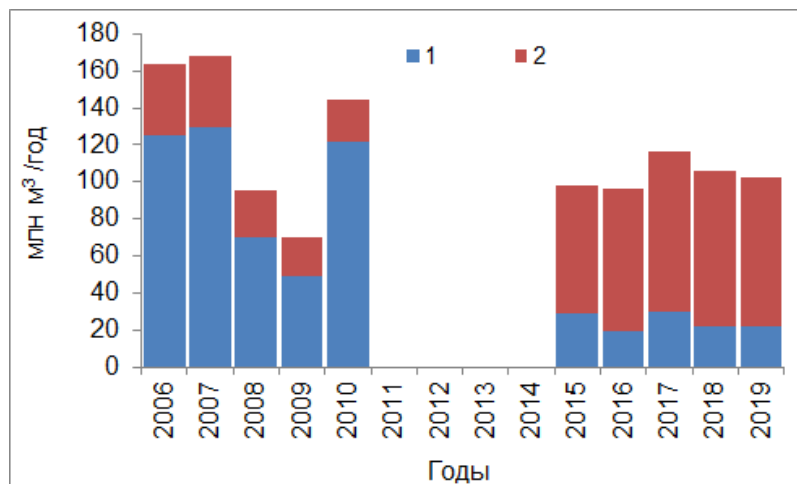


Рисунок 2. Сток в створе гидрологического поста река Салгир – село Лиственное (1) и водозабор в бассейне реки Салгир (2).

Figure 2. Runoff at the site of the hydrological post of the Salgir river – Listvennoe village (1) and water intake in the basin of the Salgir river (2).

2011 году, однако наибольшее его увеличение приходится на 2015 год. Этому способствовало перекрытие Украиной в 2014 году Северо-Крымского канала, по которому вода из реки Днепр поставлялась на Керченский полуостров и в Феодосию. Для обеспечения водоснабжения этой территории в 2014 году была организована переброска значительной части стока реки Биюк-Карасу в Северо-Крымский канал, после чего он возобновил свою работу. Доля забора воды с этого времени существенно возросла и достигла 70–80%.

На реке Альма, на которой сооружено водохранилище для обеспечения водой города Симферополь, величина водозабора составляет существенную часть речного стока (рисунок 3а). Доля водозабора от суммарной величины в разные годы составила от 40 до 84%.

В бассейне реки Бельбек доля водозабора достаточно стабильна (рисунок 3б). За рассматриваемые пять лет она составляла 50–51%. С несколько большей изменчивостью осуществлялся водозабор в бассейне реки Улу-Узень (рисунок 3в).

Таким образом, следует констатировать, что доля водозабора составляет существенную часть стока рек, оказывая тем самым значительное влияние на их гидрологический режим.

Многолетние изменения стока происходят на всех реках Крыма достаточно согласованно. Коэффициенты корреляции между рядами средних годовых расходов воды во всех случаях статистически достоверны при 5%-ном уровне значимости. Примерно в половине случаев они превышают значение 0,7. При районировании Крымского полуострова по синхронности колебаний годового стока М.В. Болговым и А.В. Зайцевой выделено 15 районов [Болгов, Зайцева, 2017]. Синхронность колебаний водности рек юго-западной части исследуемого региона ранее отмечалось в [Богуцкая и др., 2020]. В среднем согласованность межгодовых изменений стока выше в холодный период года. Наибольшая коррелированность отмечается в апреле, когда повсеместно наблюдается половодье. В летне-осеннюю межень согласованность изменений стока снижается и между некоторыми рядами значимая корреляция отсутствует.

В многолетних изменениях речного стока Крымского полуострова проявляются циклические колебания различной длительности. Для их выявления выполнен спектральный и вейвлет-анализ наиболее продолжительных рядов наблюдений с 1951 по 2010 год (река Салгир – село Пионерское и река Салгир – село Лиственное – с 1956 по 2010 год).

В многолетних изменениях расходов воды реки Салгир наиболее отчетливо выражены 7–8-летние циклы, статистическая достоверность которых подтверждается при уровне значимости $\alpha=0,05$ (рисунки 4а, 4с).

Однако имеются некоторые отличия в колебаниях стока в нижнем и верхнем створах. В створе села Пионерское на протяжении всего исследуемого периода на вейвлет-спектрах достаточно надежно выявляются многоводные и

маловодные фазы этих циклов (рисунок 4б). В колебаниях стока в створе села Лиственное относительно четко они стали проявляться только с конца 1980-х гг. (рисунок 4д).

В многолетних колебаниях рек Биюк-Карасу и Су-Индол, также как и на реке Салгир, статистически значимы 7–8-летние колебания (рисунки 4е, 4г), хотя на вейвлет-спектрах они выражены не столь отчетливо (рисунки 4ф, 4h).

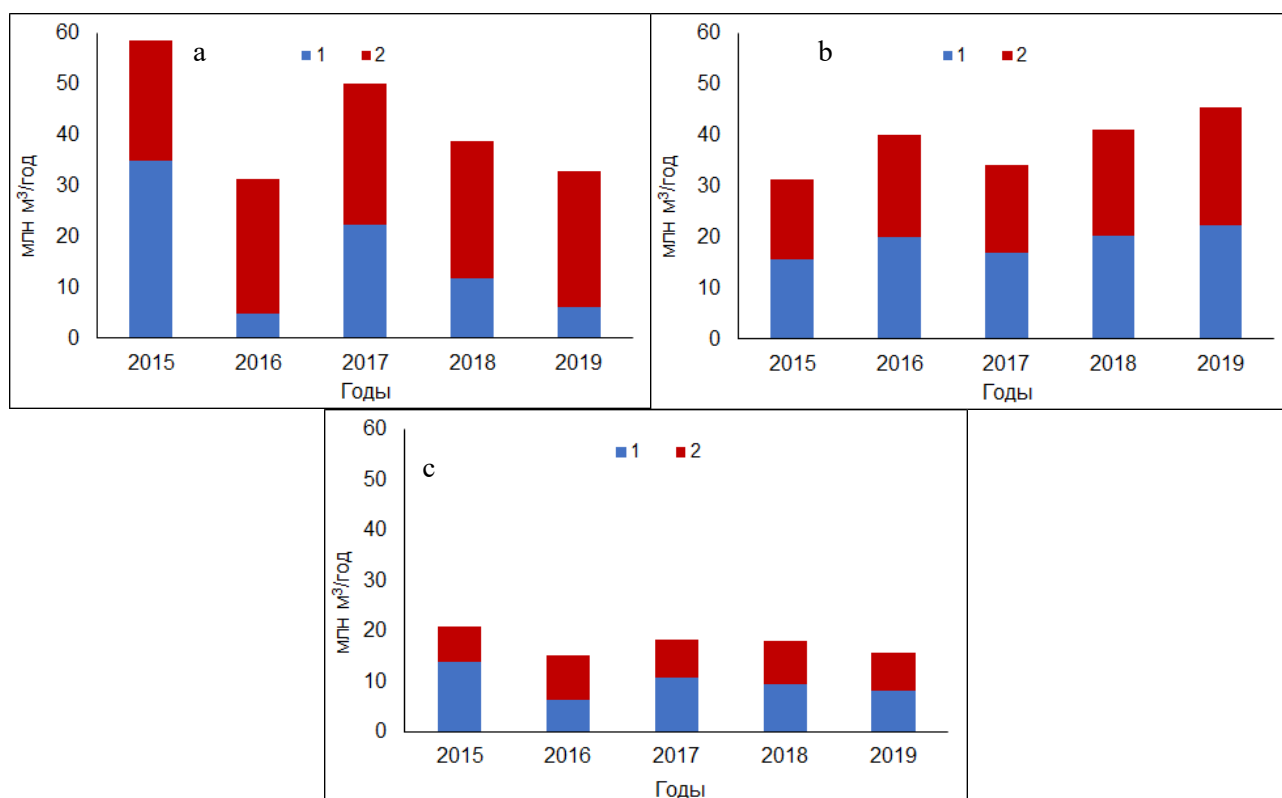


Рисунок 3. Сток в створе гидрологического постов (1) и водозабор в бассейне рек (2)
 а) река Альма – поселок городского типа Почтовое; б) река Бельбек – село Фруктовое;
 с) река Улу-Узень – село Солнечногорское.

Figure 3. Runoff at the site of the hydrological post (1) and water intake in the river basin (2)
 а) of the Alma river - Pochtovoye village; б) of the Belbek river – Fruktovoe village;
 с) of the Ulu-Uzen river – Solnechnogorskoye village.

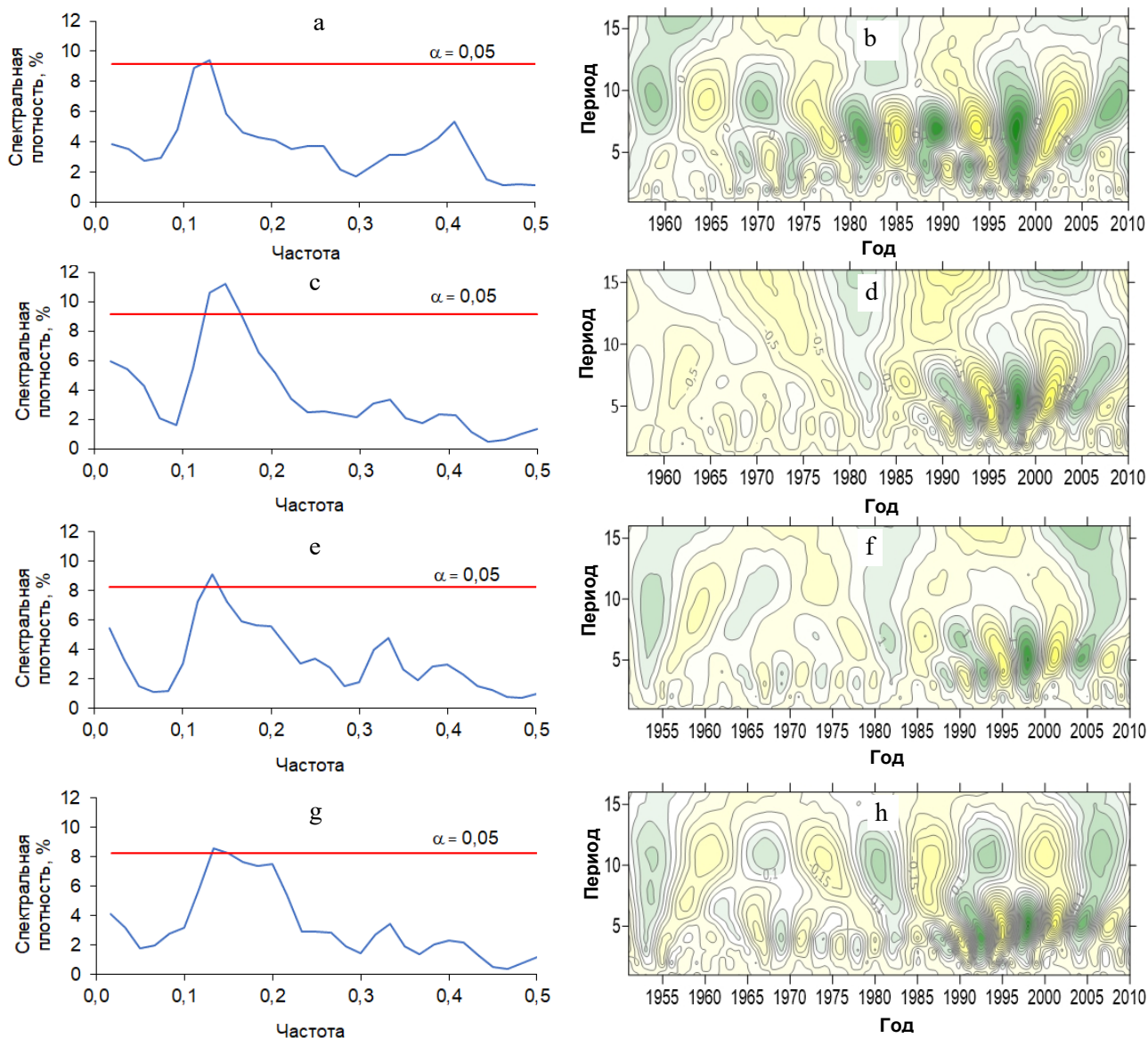


Рисунок 4. Оценки спектральной плотности и вейвлет-спектры многолетних изменений стока в створах река Салгир – село Пионерское (а, б), река Салгир – село Лиственное (с, д), река Биюк-Карасу – село Зыбины (е, ф), река Су-Индол – село Тополевка (г, h).

Figure 4. Estimates of spectral density and wavelet spectra of long-term changes in runoff at the site of the Salgir river – Pionerskoe village (a, b), of the Salgir river – Listvennoe village (c, d), of the Biyuk-Karasu of the – Zybyny village (e, f), of the Su-Indol river – Topolevka village (g, h).

На реке Бельбек спектральная плотность также имеет максимумы на частотах, соответствующих 7–8-летним ритмам (рисунок 5а, 5с). Однако в створе поселка городского типа Куйбышево его достоверность не подтверждается при принятом уровне значимости. Сопоставление вейвлет-спектров, рассчитанных для обоих створов, показало достаточно хорошую согласованность колебаний (рисунки 5б, 5д).

Совместный вейвлет-анализ временных рядов годового стока еще трех рек бассейна Черного моря – Кача (рисунки 5е, 5ф), Дерекойка (рисунки 5г, 5h) и Улу-Узень (рисунки 5и, 5j) также показал наличие в их многолетнем режиме статистически значимых 7–8-летних циклических составляющих.

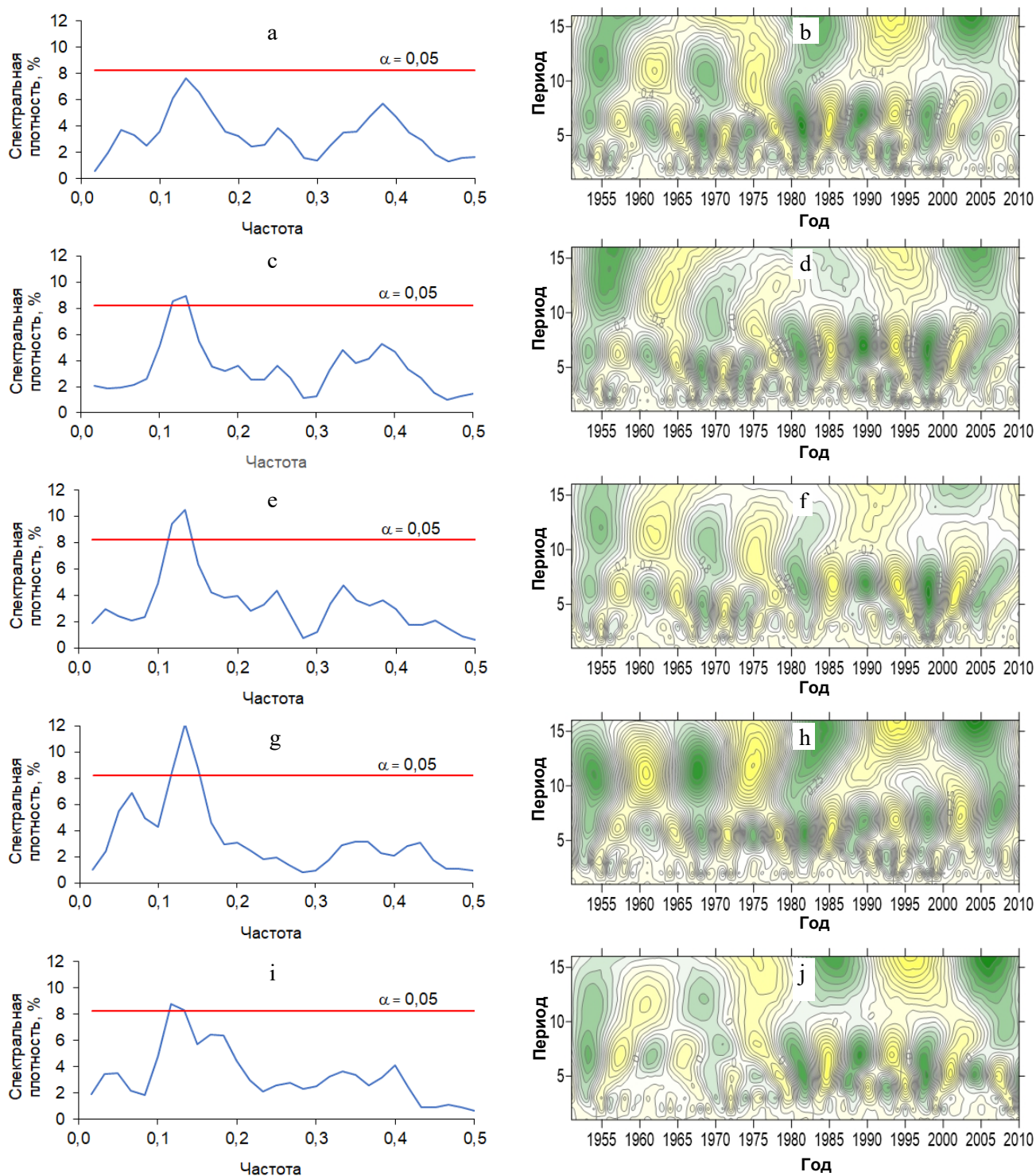


Рисунок 5. Оценки спектральной плотности и вейвлет-спектры многолетних изменений стока в створах река Бельбек – поселок городского типа Куйбышево (а, б), река Бельбек – село Фруктовое (с, д), река Кача – село Суворово (е, ф), река Дерекойка – город Ялта (г, h), река Улу-Узень – село Солнечногорское (и, j).

Figure 5. Estimates of spectral density and wavelet spectra of long-term changes in runoff at the site of the Belbek river – Kuibyshevo village (a, b), of the Belbek river – Fruktovoe village (c, d), of the Kacha river – Suvorovo village (e, f), of the Derekoika river – Yalta city (g, h), of the Ulu-Uzen river – Solnechnogorskoye village (i, j).

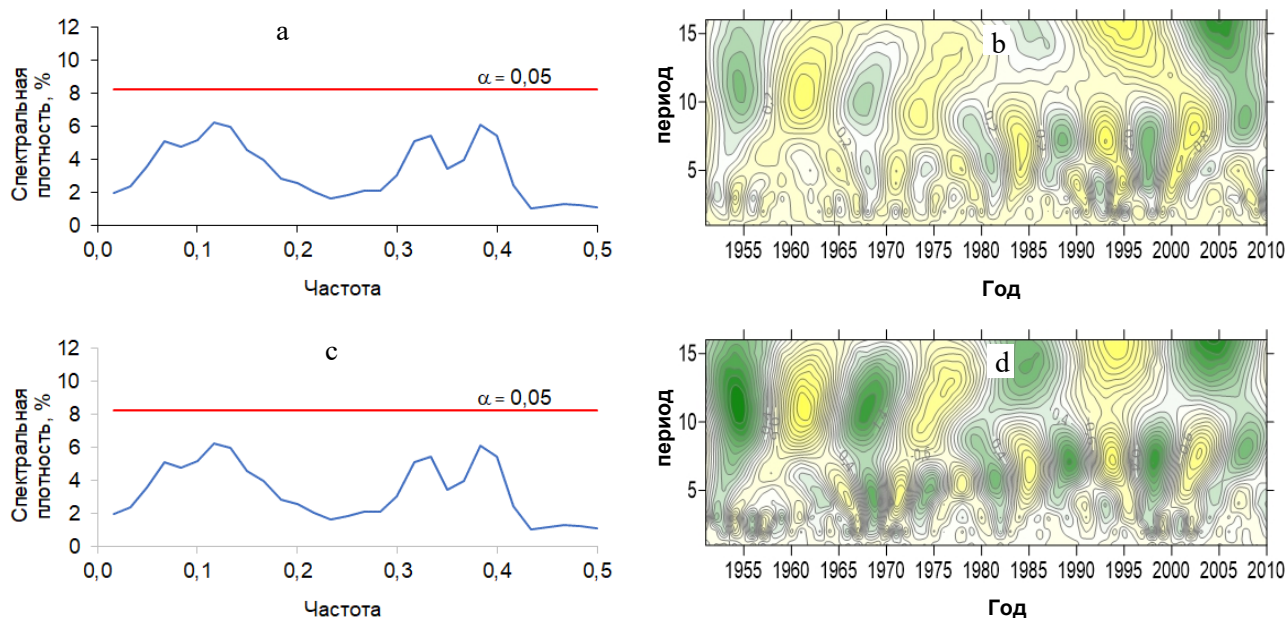


Рисунок 6. Оценки спектральной плотности и вейвлет-спектры многолетних изменений стока реки Черная в створах села Родниковское (а, b) и села Хмельницкое (с, d).

Figure 6. Estimates of spectral density and wavelet spectra of long-term changes in runoff at the site of the Chernaya river at the site Rodnikovskoe village (a, b) and Khmel'nitskoe village (c, d).

На реке Черная статистически достоверных циклов при уровне значимости $\alpha=0,05$ не выявлено (рисунки ба, бс), хотя на вейвлет-спектрах выделяются колебания, близкие к 7–8 годам (рисунки бb, бd).

Таким образом, на большинстве рек с длительным периодом наблюдений выявляются 7–8-летние колебания.

Оценка линейных трендов средних годовых расходов воды за 53-летний период с 1967 по 2019 год (таблица 2) показала, что сток на большинстве рек Крыма понизился. Его повышение произошло преимущественно в бассейне реки Салгир. Наибольшее увеличение (123%) отмечено в створе реки Биюк-Карасу – село Заречье. В абсолютном выражении оно составило $1,17 \text{ м}^3/\text{с}$. Примерно на такую же величину ($1,13 \text{ м}^3/\text{с}$) вырос сток на этой же реке в селе Зыбины. В створе реки Салгир – село Лиственное величина тренда составила $1,55 \text{ м}^3/\text{с}$ или 78% среднего годового стока. Все эти

гидрологические посты расположены в равнинной части региона. Во временных рядах расходов воды, измеренных в створах, водосборы до которых расположены преимущественно в предгорных и горных районах бассейна реки Салгир, проявляется либо относительно слабое повышение стока (река Бурульча – село Межгорье – 19%), либо несущественное его уменьшение (река Салгир – село Пионерское – 4,8%; река Кучук-Карасу – село Богатое – 0,7%; река Малый Салгир – город Симферополь – 0,4%). Заметное уменьшение произошло лишь на гидрологическом посту река Ангара – село Перевальное (26,9%).

Увеличение стока отмечено также на некоторых реках восточной оконечности Крымской горной области, к числу которых относятся река Таракташ (город Судак), ручей Кизилташский (поселок городского типа Щebetовка), река Су-Индол (село Тополевка), река Ворон (село Ворон).

Таблица 2. Тренды средних годовых расходов воды за период с 1967 по 2019 год.**Table 2.** Average annual water flow rates trends for 1967–2019.

Наименование поста	Величина тренда	
	м ³ /с	%
Бассейн Черного моря		
река Альма – выше водохранилища Партизанское	0,048	4,1
река Альма – поселок городского типа Почтовое	-0,22	-37,8
река Кача - село Суворово	-0,60	-53,4
река Бельбек – поселок городского типа Куйбышево	-0,87	-47,4
река Бельбек – село Фруктовое	-0,48	-25,6
река Биюк-Узенбаш – село Счастливое	-0,036	-16,2
река Кучук-Узенбаш – село Многогоречье	-0,068	-37,0
приток реки Кучук-Узенбаш – село Многогоречье	-0,046	-22,8
река Черная – село Хмельницкое	-0,53	-31,1
река Черная – село Родниковское	0,53	31,4
река Дерекойка – город Ялта	-0,088	-15,2
река Демерджи – город Алушта	-0,035	-15,7
река Улу-Узень – село Солнечногорское	-0,13	-34,7
река Ускут – село Приветное	-0,010	-9,7
река Ворон – село Ворон	0,003	10,5
река Ай-Серез – село Междуречье	-0,002	-12,8
река Таракташ – город Судак	0,039	36,8
ручей Кизилташский – поселок городского типа Щebetовка	0,009	22,1
Бассейн Азовского моря		
река Салгир – село Пионерское	-0,059	-4,8
река Салгир – село Лиственное	1,55	78,4
река Ангара – село Перевальное	-0,073	-26,9
река Малый Салгир – город Симферополь	-0,001	-0,4
река Бурульча – село Межгорье	0,093	19,0
река Биюк-Карасу – село Зыбины	1,13	71,4
река Биюк-Карасу – село Заречье	1,17	123,3
река Кучук-Карасу – село Богатое	-0,002	-0,7
река Су-Индол – село Тополевка	0,060	26,3

На большинстве рек западной части Крымских гор расходы воды понизились. За 53 года сток уменьшился на реке Альма – поселок городского типа Почтовое на 38% (0,22 м³/с), на реке Бельбек – село Фруктовое на 26% (0,48 м³/с), на реке Черная – село Хмельницкое на 31% (0,53 м³/с), на реке Кача – село Суворово на 53% (0,60 м³/с), на реке Бельбек – поселок городского типа Куйбышево на 47% (0,87 м³/с). В единственном створе в этом

районе произошло существенное увеличение стока (более 0,5 м³/с или 31%) – на реке Черная в селе Родниковское.

Однако природа выявленных трендов не совсем ясна. На представленных на рисунке 7 графиках отчетливо видно, что в последние два десятилетия в режиме стока рек Салгир и Биюк-Карасу происходит снижение стока, а не рост, как это выявляется по всему ряду.

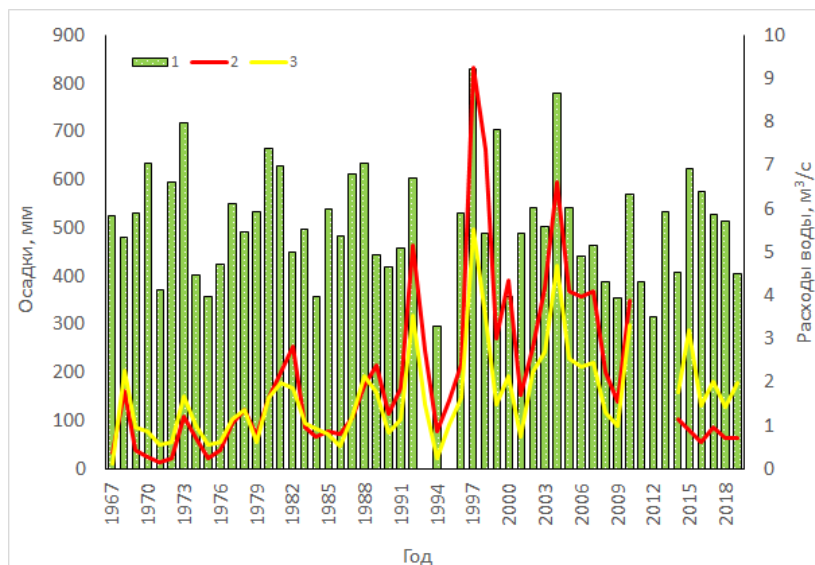


Рисунок 7. Многолетние изменения атмосферных осадков в г. Симферополь (1) и средних годовых расходов воды реки Салгир – село Лиственное (2) и реки Биюк-Карасу – село Зыбины (3).

Figure 7. Long-term changes in atmospheric precipitation in Simferopol (1) and average annual water flow rates of the Salgir river – Listvennoe village (2) and of the Biyuk-Karasu river – Zybyny village (3).

В то же время в режиме осадков отсутствует положительный тренд (рисунок 7), то есть режим увлажнения территории не претерпел сколько-нибудь существенных изменений. Таким образом, нет оснований считать тенденцию роста стока на этих реках обусловленной природными факторами. Можно предположить, что наблюдаемое увеличение стока в 1990-е и в начале 2000-х годах вызваны снижением изъятия воды в бассейне реки Салгир из-за уменьшения площадей орошаемых полей. После активизации хозяйственной деятельности в период с 2014 по 2019 год сток вновь резко понизился. Это пока гипотеза, подтвердить или опровергнуть которую возможно после получения дополнительных данных об объемах забора воды за продолжительный период.

Кроме того, обращает на себя внимание различие согласованности изменений стока на разных частотах. Коэффициенты корреляции, характеризующие степень согласованности межгодовых колебаний, между временным рядом средних годовых расходов воды реки Салгир – село Лиственное и временными рядами реки Альма – поселок городского типа Почтовое, реки Бельбек – село Фруктовое, реки Кача – село Суворово достаточно высоки (более 0,7 и даже 0,8). При этом река Салгир имеет прямо

противоположную с этими реками многолетнюю тенденцию изменения стока.

Поскольку на большинство рек Крымского полуострова оказывается существенное антропогенное воздействие в результате сооружения на них многочисленных прудов и водохранилищ, изъятия воды на питьевое, хозяйственно-бытовое, производственное водоснабжение и орошение сельскохозяйственных полей, выделенные тенденции изменения стока на многих реках не могут быть признаны естественными.

Заключение

Выявлено существенное влияние на речной сток изъятия воды для питьевого и хозяйственно-бытового водоснабжения, сельского хозяйства и другие нужды, которое сопоставимо с остающимся после него стоком воды, а в некоторых случаях и превосходящий его.

Многолетние изменения стока происходят на всех реках Крыма достаточно согласованно. Коэффициенты корреляции между рядами средних годовых расходов воды во всех случаях статистически достоверны при 5%-ном уровне значимости. Примерно в половине случаев они превышают значение 0,7.

В колебаниях годового стока выявлена цикличность. На многих реках с длительным периодом наблюдений отмечаются статистически достоверные при уровне значимости $\alpha=0,05$ ритмы длительностью 7–8 лет.

В режиме стока рек Крымского полуострова выявлены разнонаправленные тенденции изменения стока. Наибольшее увеличение средних годовых расходов произошло на реке Салгир в его замыкающем створе в селе Лиственное, а также на реке Биюк-Карасу. На большинстве рек западной части Крымских гор (реки Альма, Бельбек, Кача и в нижнем течении реки Черная) средние годовые расходы воды понизились. В единственном створе в этом районе произошло существенное увеличение стока – на реке Черная в селе Родниковское.

Литература

Астафьева Н.М. Вейвлет-анализ: основы теории и применение // Успехи физических наук. 1996. Т. 166. № 11. С. 1145–1170. DOI: [10.3367/UFNr.0166.199611a.1145](https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611a.1145).

Богущая 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. DOI: [10.35567/1999-4508-2020-2-3](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-2-3).

Болгов М.В., Зайцева А.В. Оценка местного стока Республики Крым // Сборник научных трудов, представленных на Всероссийской научной конференции с международным участием «Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения», посвященной Году экологии в России и 50-летию Института водных проблем РАН (г. Сочи, 2–7 октября 2017 года). Новочеркасск: ООО Лик, 2017. С. 116–120.

Гафарова С.С., Хаирова Э.А. Анализ обеспеченности пресной воды в Крыму // сборник статей III Международной научно-практической конференции «Формирование конкурентной среды, конкурентоспособность и стратегическое управление предприятиями, организациями и регионами» (г. Пенза, 24–25

Естественное изменение стока на реках Салгир и Биюк-Карасу не подтверждается режимом атмосферных осадков, в котором отсутствуют положительный тренд и их повышенные значения в 1990-е и в начале 2000-х годов, что отчетливо проявляется в режиме стока этих рек.

Выявленные тенденции изменения стока и на многих других реках не могут быть признаны естественными, поскольку, как показало исследование, на большинство рек Крымского полуострова оказывается существенное антропогенное воздействие в результате сооружения на них многочисленных прудов и водохранилищ, изъятия воды на питьевые, хозяйственно-бытовые, производственные нужды и орошение сельскохозяйственных полей.

References

Astafeva N.M. Wavelet analysis: basic theory and some applications. *Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)*, 1996, vol. 39, iss. 11, pp. 1085–1108.

DOI: [10.1070/PU1996v039n11ABEH000177](https://doi.org/10.1070/PU1996v039n11ABEH000177).

(Russ. ed.: Astafeva N.M. Veivlet-analiz: osnovy teorii i primeneniye. *Uspekhi fizicheskikh nauk*, 1996, vol. 166, iss. 11, pp. 1145–1170. DOI: [10.3367/UFNr.0166.199611a.1145](https://doi.org/10.3367/UFNr.0166.199611a.1145)).

Bogutskaya E.M., Kositskiy A.G., Aybulatov D.N., Grechushnikova M.G. Srednii mnogoletnii stok rek yugo-zapadnoi chasti Krymskogo poluostrova. [Average perennial flow of rivers of the southwestern part of the Crimean peninsula]. *Vodnoe khozyaistvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie [Water sector of Russia: problems, technologies, management]*, 2020, iss. 2. pp. 37–51. (In Russian; abstract in English). DOI: [10.35567/1999-4508-2020-2-3](https://doi.org/10.35567/1999-4508-2020-2-3).

Bolgov M.V., Zaitseva A.V. Otsenka mestnogo stoka Respubliki Krym [Assessment of local runoff of the Republic of Crimea]. *Cbornik nauchnykh trudov, predstavlenykh na Vserossiiskoi nauchnoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Vodnye resursy: novye vyzovy i puti resheniya», posvyashchennoi Godu ekologii v Rossii i 50-letiyu Instituta vodnykh problem RAN (Sochi,*

мая 2018 года). Пенза: РИО ПГАУ, 2018. С. 32–36.

Иванютин Н.М., Подовалова С.В., Кременской В.И. Водооборот и антропогенная нагрузка в бассейне реки Салгир // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2016. № 4 (24). С. 174–188.

Ресурсы поверхностных вод СССР: в 20 т. Том 6. Украина и Молдавия: в 4 вып. Выпуск 4. Крым. Ленинград: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.

2–7 oktyabrya 2017 goda) [Collection of scientific papers presented at the All-Russian scientific conference with international participation "Water resources: new challenges and solutions", dedicated to the Year of Ecology in Russia and the 50th anniversary of the Institute of Water Problems of the Russian Academy of Sciences (Sochi, October 2–7, 2017)]. Novocherkassk, Publ. Lik, 2017, pp. 116–120. (In Russian).

Gafarova S.S., Khairova E.A. Analiz obespechennosti presnoi vody v Krymu [Analysis of freece water safety in Crimea]. *Sbornik statei Tret'ei Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Formirovanie konkurentnoi sredy, konkurentosposobnost' i strategicheskoe upravlenie predpriyatiyami, organizatsiyami i regionami» (Penza, 24–25 maya 2018 goda)* [Collection of articles of the Third International Scientific and Practical Conference "Formation of a competitive environment, competitiveness and strategic management of enterprises, organizations and regions" (Penza, May 24-25, 2018)]. Penza, Publ. PSAU, 2018, pp. 32–36. (In Russian; abstract in English).

Ivanutin N.M., Podovalova S.V., Kremenskoj V.I. Vodooborot i antropogennaya nagruzka v bassejne reki Salgir [Water rotation and anthropogenic pressures in the basin of the River Salgir] *Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii* [Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems], 2016, iss. 4 (24), pp. 174–188. (In Russian; abstract in English).

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 t. Tom 6. Ukraina i Moldaviya: v 4 vyp. Vypusk 4. Krym [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol. 6. Ukraine and Moldova: in 4 iss. Issue 4. Crimea]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1966. 344 p. (In Russian).