

УДК 556.531+556.535.3

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОГО РЕЖИМА РЕК КРЫМА¹

© 2025 г. М. Г. Гречушникова^{a, b, *}

^aМГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет, Москва, 119991 Россия

^bИнститут водных проблем РАН, Москва, 119333 Россия

*e-mail: allavis@mail.ru

Поступила в редакцию 19.04.2024 г.

После доработки 10.10.2024 г.

Принята к публикации 28.10.2024 г.

Приведены результаты исследования связи гидрохимического состава с расходом воды по данным измерений на постах рек Крыма из гидрологических ежегодников. Для расчета тесноты связи использован ранговый коэффициент корреляции Спирмена. По характеру соотношения изменения расхода и состава воды выделены три группы рек с особенностями формирования стока: реки с отсутствием связи расхода воды с суммой ионов, жесткостью и содержанием органических веществ, реки с наличием связи с суммой ионов, жесткостью и содержанием органических веществ, реки с наличием связи только с суммой ионов. Пространственные различия состава воды исследованы методом кластерного анализа по материалам съемки в межженный период в июле 2022 г. на реках юго-западной части Крыма. В работе не рассматривались элементы, концентрация которых может зависеть от антропогенных факторов (содержание нитратов, фосфатов). Выявлены межбассейновые и внутрибассейновые различия состава воды в связи с различием геологического строения территории.

Ключевые слова: водные ресурсы, состав речной воды, органическое вещество, кластерный анализ, формирование стока.

DOI: 10.31857/S0321059625020083 EDN: UBVNNZ

Вода в Крыму — один из ценнейших ресурсов, поэтому исследования формирования речного стока и его качественного состава — приоритетные. Одна из первых обобщающих работ со сведениями о химическом составе вод Крыма и его сезонных изменениях вышла в 1966 г. [11]. В данном издании приведено районирование водотоков в соответствии с их солевым составом. В настоящее время исследования гидрохимического состава воды проводятся Центром мониторинга загрязнения окружающей среды (регулярные наблюдения за загрязнением поверхностных вод суши на 22 пунктах на 14 реках и 6 водохранилищах) [12], а также ведомственными лабораториями.

Современные научные исследования посвящены исследованию проблем водоснабжения,

аккумуляции водных ресурсов и их качества (например, [9, 13]). Поскольку поверхностные воды имеют большое значение для водообеспечения населения и хозяйства региона, многие работы посвящены изучению химического состава для определения пригодности воды для тех или иных целей. Авторы отмечают, что подобные исследования необходимо проводить чаще для повышения эффективности использования дефицитных ресурсов [6–8].

На примере водосбора р. Черной выявлено загрязнение поверхностных вод и подземных водоносных горизонтов из-за отсутствия системы канализования населенных пунктов в водоохранной зоне [9]. Изучение химического состава водотоков имеет практическое значение не только в аспекте качества воды. Химический состав вод рек определяется особенностями водосборной территории — климатом, почвенно-геологическими условиями, режимом питания реки, степенью и характером хозяйственного освоения водосбора.

Изменение ионного состава речных вод в течение года вызвано изменением питания рек.

¹ Полевые и лабораторные работы проведены в рамках проекта 0126-2021-0001 “Разработка методической базы и цифровых технологий поддержки принятия решений по обеспечению водной безопасности Крыма”, классификация проведена в рамках темы “Анализ, моделирование и прогнозирование изменений гидрологических систем, водных ресурсов и качества вод суши” (121051400038-1).

Большую долю в водном балансе рек и искусственных водоемов Крыма составляют воды поверхностно-склонового и почвенно-грунтового стока [11]. В питании горных рек Крыма поверхностный сток обеспечивает 70–75%. Поверхностно-склоновый сток образуется в зимние оттепели и весенние паводки. Эти воды маломинерализованы, в их ионно-солевом составе преобладают ионы HCO_3^- и Ca^{2+} . По классификации О.А. Алекина, они относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, второму типу. В периоды паводков и летних дождей образуются воды почвенно-грунтового стока, которые более минерализованы вследствие того, что в течение более длительного времени они находятся в контакте с породами и почвой. В меженный период реки переходят на подземное питание. В меженный период реки питаются грунтовыми водами, минерализация и ионный состав которых отличаются из-за геологических условий.

Почвенно-грунтовые воды схожи по составу с грунтовыми водами. В первую половину лета, когда идет питание в основном по этому типу, происходит повышение минерализации воды в реках. В горных районах в питании рек и водоемов принимают участие воды закарстованной толщи юрских известняков, образующие мощные родники, которые дают начало наиболее крупным рекам Крыма (Бельбек, Стиля, Кача, Альма). Воды верхнеюрских отложений – основной водоносный горизонт Горного Крыма. Эти воды дают начало многим крымским рекам. Закарстованные известняки – основные породы этих отложений, воды этих отложений по химическому составу повсеместно пресные с преобладающей минерализацией 300–500 мг/л, по типу – гидрокарбонатные кальциевые. В триасовых и среднеюрских глинистых сланцах преобладают сульфатные воды и реже встречаются гидрокарбонатные группы с преобладанием кальция и натрия.

Как рассмотрено выше, сток воды формируется различными генетическими типами вод [15]: поверхностно-склоновыми (в фазу стекания атмосферных осадков по поверхности водосбора), почвенно-поверхностными, почвенно-грунтовыми (стекание инфильтрационных вод из почво-

грунтов) и грунтовыми (стекание инфильтрационных вод из водоносных горизонтов).

Изменения общей минерализации и состава воды присущи рекам в связи с изменением преобладающего генетического типа питания в каждую из фаз водного режима. Наиболее часто имеет место обратная нелинейная зависимость минерализации от расхода воды [1] из-за преобладания в многоводные фазы режима питания атмосферными осадками. В многоводные фазы повышаются мутность и цветность воды из-за контакта атмосферных или талых вод с растительным и почвенным покровом, а также эрозией, производимой склоновым стоком. Согласно классификации Б.Д. Зайкова, реки Крыма относятся к типу рек с паводочным режимом, крымскому подтипу: паводки наблюдаются преимущественно в зимне-весенний период. Зимой паводки проходят в результате снеготаяния, а летом – в результате интенсивных ливней [10]. Реки Крыма формируют свой сток в разнообразных геологических и ландшафтных условиях, описанные выше особенности изменения химического состава присущи не всем им. Цель работы – выделить группы рек южной и юго-западной частей Крыма, различающихся условиями формирования стока из-за особенностей изменения химического состава в зависимости от расхода воды.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходные данные для исследования – результаты определения гидрохимических показателей воды на гидропостах за 1948–1975 гг. Для анализа использованы данные по створам без антропогенного влияния на химический состав воды в зоне квазиестественного формирования стока. Из анализируемого массива были исключены данные по створам, расположенным ниже водохранилищ, либо был использован ряд наблюдений до строительства гидроузла выше по течению (например р. Кача, п. Баштановка). Для анализа использованы характеристики состава воды, опубликованные в ежегодниках: температура воды, прозрачность, сумма ионов, жесткость, биогенные элементы (нитраты, нитриты, фосфаты и кремний), а также группа показателей, определяющих содержание органических ве-

ществ (ОВ) – цветность (ЦВ), перманганатная и бихроматная окисляемость (ПО и БО). Обработка массивов проводилась в программе Statistica (версия 12, производитель “Statsoft”), из-за нелинейности связи рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена, статистически достоверной принималась связь для $p < 0.05$.

Для визуализации и понимания пространственных особенностей формирования химического состава речной воды применен метод кластерного анализа. В результате получены дендрограммы, позволяющие изобразить взаимные связи между объектами из заданного множества их характеристик, которыми являются макрокомпоненты ионного состава. В качестве исходных данных использованы материалы новейшей гидрохимической съемки, выполненной во второй половине июля 2022 г. в экспедиции коллектива кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ. Материалы съемки содержат информацию о составе воды на 54 створах рек горного Крыма, при этом из них 9 совпадают с пунктами современных гидрохимических наблюдений Крымского УГМС и 20 совпадают с постами, по которым есть данные гидрохимических наблюдений в Гидрологических ежегодниках. Содержание гидрокарбонатов оперативно определялось в полевой лаборатории по стандартной методике ацидиметрическим методом [3]. Остальные макрокомпоненты ионного состава определены на системе капиллярного электрофореза “Капель 103Р” (фирма “Люмэкс”, Санкт-Петербург). Значения оптической плотности пересчитывались в градусы по установленным ранее зависимостям. Для записи и обработки электрофореграмм использована программа “Мультихром” [5]. Из анализа были исключены нитраты, поскольку выявлены области с их антропогенным происхождением. Дендрограмма строится по матрице сходства, которая определяет уровень сходства между парами кластеров. Для построения матрицы сходства (различия) необходимо задать меру расстояния между двумя кластерами. В данной работе в качестве метода определения расстояния использован метод одиночной связи (“метод ближайшего соседа”). Расстояние между двумя кластерами полагается равным минимальному расстоянию между двумя элементами из разных кластеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По данным анализа опубликованных в ежегодниках материалов выделены три группы рек (табл. 1):

- 1) реки с отсутствием связи расхода воды с суммой ионов, жесткостью и содержанием ОВ;
- 2) реки с наличием связи расхода воды с суммой ионов, жесткостью и содержанием ОВ;
- 3) реки с наличием связи расхода воды только с суммой ионов и жесткостью.

Следует подчеркнуть, что описанные ниже особенности характерны для рек именно в створах, указанных в табл. 1, поскольку химический состав крупных водотоков может изменяться по длине реки из-за дренирования различных горных пород, увеличения испарения воды и антропогенного воздействия. Полученные закономерности характерны преимущественно для областей формирования стока. Увеличение цветности воды может быть вызвано естественными факторами и также неблагоприятным санитарным состоянием водотоков по антропогенным причинам. Но область питания рек, расположенная в горной части (в случае верховьев Альмы и Качи – в недоступной заповедной зоне), исключает этот фактор, поэтому рассмотренные изменения цветности воды в верховьях рек обусловлены естественными причинами.

Группа 1

В группу 1 входят водотоки, не имеющие значимой связи расхода воды и суммы ионов, относятся главным образом к областям постоянной разгрузки подземных вод. В первую очередь это реки Черная, Кизил-Коба, Биюк-Карасу. К этой же группе относятся реки бассейна Салгира: Бурульча, Кучук-Карасу, Малый Салгир, а также Узунджа и Марта. Эти реки отличаются малой цветностью даже в периоды повышенной водности, а ее среднегодовое значение находится в пределах 6–18 град Pt-Co. Водосборы этих водотоков, за исключением Марты и Коккозки, находятся на сопряжении пород верхней юры и среднего мела (рис. 1). Практически отсутствует связь расхода воды с содержанием нитритов, фосфатов и кремния (с единичными исключениями).

Таблица 1. Коэффициенты корреляции Спирмена для оценки тесноты связи расхода воды и гидрохимических характеристик (полужирным выделены статистически значимые значения при $p < 0.05$ с учетом длины ряда; T – температура воды, $\Sigma И$ – сумма ионов, $ПО$ – перманганатная окисляемость, $БО$ – бихроматная окисляемость, $Ж_{общ}$ – общая жесткость, n – число наблюдений; отсутствие значения обусловлено отсутствием данных в ежегодниках)

Створ	n	T , °C	Прозрач- ность, см	Нитраты, мг/л	Нитриты, мг/л	$\Sigma И$, мг/л	Фосфаты, мгР/л	Кремний, мгSi/л	Цветность по Pt-Co шкале	ПО, мгО/л	БО, мгО/л	$Ж_{общ}$, мг-экв/л
Группа 1. Отсутствие связи суммы ионов с расходом воды, отсутствие связи с содержанием $ОВ$												
Коккозка Голубинка	61	-0.11	-0.52	-0.28	-0.41	-0.19	0.26	-0.01	0.25	0.30	0.07	-0.24
Марта Верхоречье	12	0.07	-0.47	-0.32	-0.33	-0.40	0.35	0.38	0.50	0.52	0.21	-0.26
Черная Родниковое	99	-0.50	-0.34	-0.01	-0.14	-0.27	-0.18	-0.16	0.06	0.12	-0.11	-0.34
Узунджа Колхозное	28	-0.15	-0.16	-0.26	0.08	-0.26	0.09	-0.31	0.45	0.18	0.27	-0.38
Бултанак Трехрудное	13	0.49	-0.58	0.11	0.21	-0.38	0.00	0.00	0.48	0.75	0.86	-0.18
Таракташ Судак	10	0.67				-0.40				-0.07		-0.05
руч. Кизилташский Щебетовка	6	0.06	-0.60		-0.80	-0.03	-0.01	0.00	0.06	0.43	-1.00	-0.90
Кизил-Коба Краснопещерное	15	-0.08	-0.40		0.35	-0.48	0.34	-0.65	0.29	0.53	0.22	-0.41
Малый Салпир Симферополь	17	0.00	-0.47		-0.68	-0.36	0.36	0.49	0.57	0.67	0.70	0.06
Бурульча Межгорье	11	0.01	0.32		-0.47	-0.51	-0.08	0.40	-0.59	0.14	-0.43	-0.59
Биюк-Карасу Белогорск	52	-0.24	-0.22		0.09	-0.27		-0.27	0.21	-0.14		-0.28
Биюк-Карасу Карасевка	7	-0.29	-0.36		-0.16	-0.50	-0.50	-0.68	-0.02	0.60	0.40	-0.20
Кучук-Карасу Богатое	12	-0.09	-0.14		-0.03	-0.18	-0.20	0.18	-0.05	-0.07	0.20	-0.15

Группа 2. Наличие связи расхода с суммой ионов с содержанием $ОВ$

Бельбек Куйбышево	53	-0.33	-0.76	-0.19	0.02	-0.81	0.46	0.01	0.51	0.45	0.29	-0.74
Манатотра Счастливое	43	0.15	-0.39		-0.20	-0.83	0.02	-0.02	0.65	0.48	0.65	-0.88
Альма выше Партизанского	77	-0.21	-0.36		0.46	-0.82	-0.12	0.02	0.58	0.54	0.69	-0.70
Альма Почтовое	44	0.01	-0.88	-0.64	0.30	-0.92	0.25	0.23	0.93	0.78	0.02	-0.86
Кача Баштановка	85	-0.29	-0.58	-0.37	-0.06	-0.85	0.14	-0.07	0.59	0.64	0.53	-0.83
Учан-Су Ялта, Чехово	29	-0.29	-0.58	0.43	0.03	-0.61	0.30	-0.11	0.70	0.62	0.00	-0.64
Дерекойка Ялта	100	-0.28	-0.33	0.87	0.17	-0.72	-0.15	-0.61	-0.44	-0.40	-0.29	-0.46
Салпир Пионерское	56	-0.22	-0.73		-0.55	-0.78	0.14	-0.37	0.47	0.42	0.23	-0.80
Бодрак Трудолюбовка	14	0.02	-0.65	-0.60	0.09	-0.82	-0.04	-0.30	0.48	0.67	0.57	-0.78

Группа 3. Наличие связи расхода и суммы ионов, отсутствие связи с содержанием $ОВ$

Бельбек Счастливое	50	0.04	-0.31	0.44	0.07	-0.68	-0.11	-0.12	0.10	0.09	0.08	-0.63
Биюк-Узенбаш Счастливое	36	-0.02	-0.32		0.26	-0.81	0.10	-0.32	-0.11	-0.01	0.11	-0.67
Кучук-Узенбаш Многогорье	42	-0.10	-0.07		0.15	-0.65	-0.17	-0.48	0.20	-0.17	-0.11	-0.66
приток Кучук-Узенбаш Многогорье	38	0.04	0.01		0.20	-0.82	-0.10	-0.25	-0.03	0.21	-0.16	-0.79
Улу-Узень Алушта	32	-0.59	-0.60	-0.57	0.18	-0.86	0.60	-0.19	0.19	-0.04	0.50	-0.83
Авунда Гурзуф	9	-0.83	-0.68	0.10	-0.20	-0.87	-0.40	-0.39	0.00	0.49	-0.40	-0.80
Демерджи Алушта	42	-0.18	-0.85	-0.34	-0.24	-0.79	0.16	-0.21	0.39	0.20	0.58	-0.80
Улу-Узень Солнечногорское	27	-0.34	0.15	0.67	0.02	-0.74	-0.16	-0.60	-0.34	0.03	-0.50	-0.70
Бештерек Мазанка	13	-0.50	-0.48		0.03	-0.85		-0.47	0.05	-0.36		-0.69

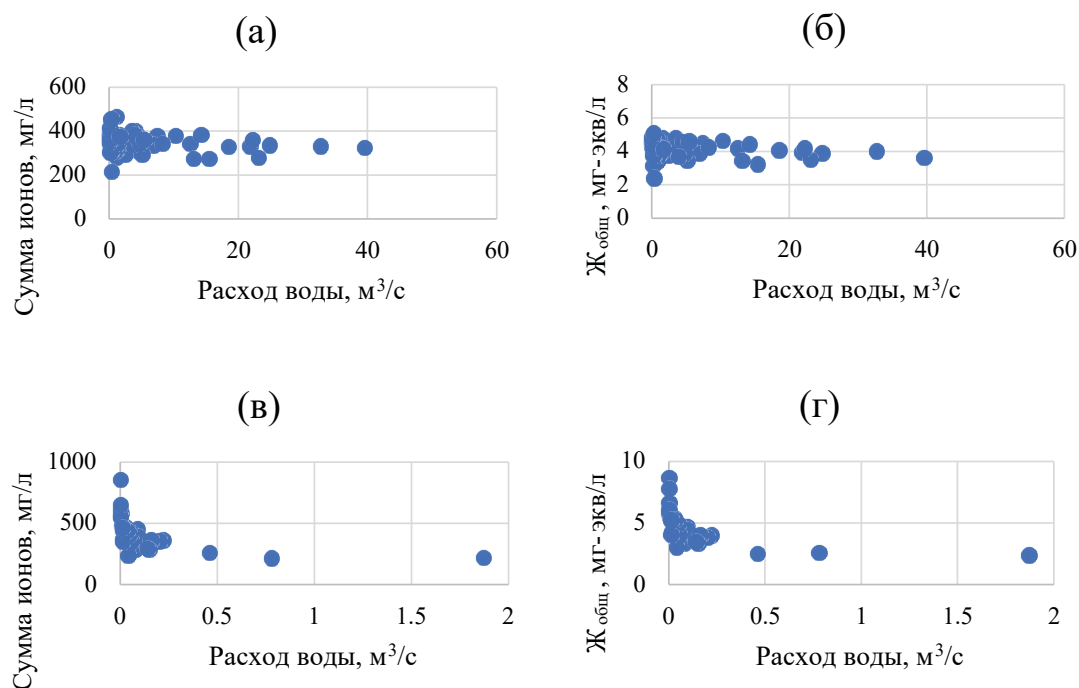


Рис. 1. Зависимость суммы ионов (а) и (в) и Ж_{общ} (б) и (г) для рек Черной (верхний ряд) и Манаготры (нижний ряд).

Реки Таракташ, Западный Булганак и руч. Кизилташский отличаются составом от рек, описанных выше. Они имеют более высокие значения цветности (в среднем 16.5–23.6 град Pt-Co) и минерализации, но статистически значимой зависимости суммы ионов от расхода воды также не имеют. У рек Западный Булганак и Малый Салгир прослеживается статистически значимая положительная зависимость показателей содержания ОВ (ПО, БО) от расхода воды, что связано скорее всего с антропогенным влиянием на водосборах выше постов.

У всех рек данной группы, за исключением Черной, отсутствует связь расхода с температурой воды и прозрачностью. В р. Коккозке эта связь с прозрачностью прослеживается, поскольку пост расположен практически в устье реки; т. е. в нижнем течении, где река пересекает равнинный участок, водные массы успевают прогреваться в летний период, а при высоких отметках воды имеет место эрозия.

По данным [9], за период наблюдений 1990–2010 гг. анализ особенностей внутригодового изменения расхода воды, минерализации

и жесткости р. Черной указывает на сложный механизм формирования ее химического состава: максимальные жесткость и сумма ионов кальция отмечены при росте расходов в паводочный период. Период наблюдений авторами [9] относился к маловодной фазе водности реки. При низкой норме водности – в период отсутствия атмосферных осадков – в почвах и горных породах водосбора возможно накопление подвижных форм химических элементов ионного состава, выщелачивание которых из подстилающих пород протекает более интенсивно при паводке, что объясняет отсутствие обратной связи минерализации и расхода воды.

Группа 2

У рек группы 2 имеет место связь расхода воды как с минерализацией, так и с показателями содержания ОВ. Это посты, расположенные в среднем течении Бельбека, Альмы, Качи, Салгира, а также реки ЮБК – Учан-Су и Дерекойка. У всех створов этой группы имеют место статистически значимая связь расхода воды с прозрачностью и более высокие среднегодовые значения цветности, чем в группе 1 (11–33 град Pt-Co).

Примечательно, что все реки группы 2 имеют статистически значимую отрицательную связь прозрачности и расхода воды, что не наблюдается в группах 1 и 3.

Группа 3

Посты рек группы 3 имеют статистически значимую обратную связь расхода воды и суммы ионов и отсутствие связи с цветностью, ПО и БО. Это посты на реках, истоки которых находятся на Ялтинской яйле, Бабуган-яйле, Долгоруковской яйле и Демерджи. Для этих рек также характерны малая цветность (в среднем 7–19 град Pt-Co) и низкое содержание фосфора (до 0.25 мг/л), за исключением р. Демерджи (антропогенное загрязнение освоенного водосбора). У большинства рек этой группы отсутствует связь расхода и прозрачности воды, а также температуры воды (исключения – реки ЮБК, посты которых находятся близко к устью).

Особо следует отметить в данной группе реку Дерекойку (пост Ялта), у которой связь расхода воды с показателями ОВ имеет обратный характер, т. е. поступающая в многоводные периоды вода оказывает разбавляющее воздействие.

Обращает на себя внимание тот факт, что истоки Бельбека – реки Биюк-Узенбаш и Кучук-Узенбаш – отнесены к группе 3, а р. Манатотра со смежным водосбором – к группе 2. Река Манатотра, в отличие от рек Биюк-Узенбаш и Кучук-Узенбаш, имеет выраженную связь расхода с цветностью воды, причем диапазон ее изменения в несколько раз больше (4–96 против 2–23 град Pt-Co). Это может быть связано с меньшей средней высотой водосбора (660 м у Манатотры против 980 м у Биюк-Узенбаш и Кучук-Узенбаш), с меньшим средним уклоном водосбора (300 против 490 и 421 ‰), а также с большей густотой речной сети (0.32, а не 0.1 и 0.18 км/км²). Бассейн Манатотры находится в пределах среднеюрских отложений (песчаники, алевролиты и аргиллиты), а верховья бассейнов Биюк-Узенбаш и Кучук-Узенбаш – в пределах верхнеюрских отложений (рифогенные и слоистые известняки) (рис. 1). В бассейнах последних двух рек довольно много родников, в то время как в бассейне Манатотры их практически нет;

т. е. принципиальные морфометрические и морфологические различия водосборов рек в значительной мере определяют их гидрохимические характеристики, несмотря на их близкое расположение.

Река Черная, несмотря на статистически значимую связь расхода и суммы ионов, а также общей жесткости, тем не менее отнесена к группе 1, поскольку, в отличие от рек группы 2 (например, Манатотры) (рис. 1), здесь эта связь практически не выражена, а ряд наблюдений на ней один из самых длинных ($n = 99$).

К группе 3 относятся реки преимущественно с небольшой площадью водосбора: реки ЮБК, а также истоки Бельбека, имеющие наибольшие уклоны водосбора. К группе 2 относятся створы на реках с небольшой площадью водосбора: Манатотра, Дерекойка и Учан-су, а также створы в среднем течении крупных рек. Водосборы рек в группе 2 имеют меньшую среднюю высоту, чем в группе 1 и 3, а также наименьшие значения модуля стока и наибольшие значения его коэффициента вариации, что может указывать на наименьшую долю устойчивой подземной составляющей. Диапазон значений характеристик водосборов группы 1 весьма широк, однако отсутствие выраженных изменений химического состава воды при измерении расхода говорит о том, что состав их воды довольно устойчив и определяется подземным питанием в большей степени, чем в группах 2 и 3 (табл. 2). Например, диапазон изменения суммы ионов в створах Кизил-Коба (Краснопещерное), Бурульча (Межгорье), Черная (Родниковое) – 239–339, 355–450 и 216–467 мг/л соответственно; а на створах Салгир (Пионерское), Бельбек (Куйбышево), Кача (Баштановка), Учан-Су (Чехово) – 292–633, 229–512, 228–578, 251–667 мг/л соответственно. Отсутствие связи расхода воды с содержанием ОВ говорит о том, что при выпадении осадков может быть невелика доля склонового и почвенного стока (несмотря на расчлененный рельеф); т. е. из-за фильтрации атмосферных осадков в подземные водоносные горизонты увеличивается их разгрузка.

Приведенная классификация, отражающая разный характер связи поверхностных и под-

Таблица 2. Характеристики водосборов рек групп 1–3 из табл. 1

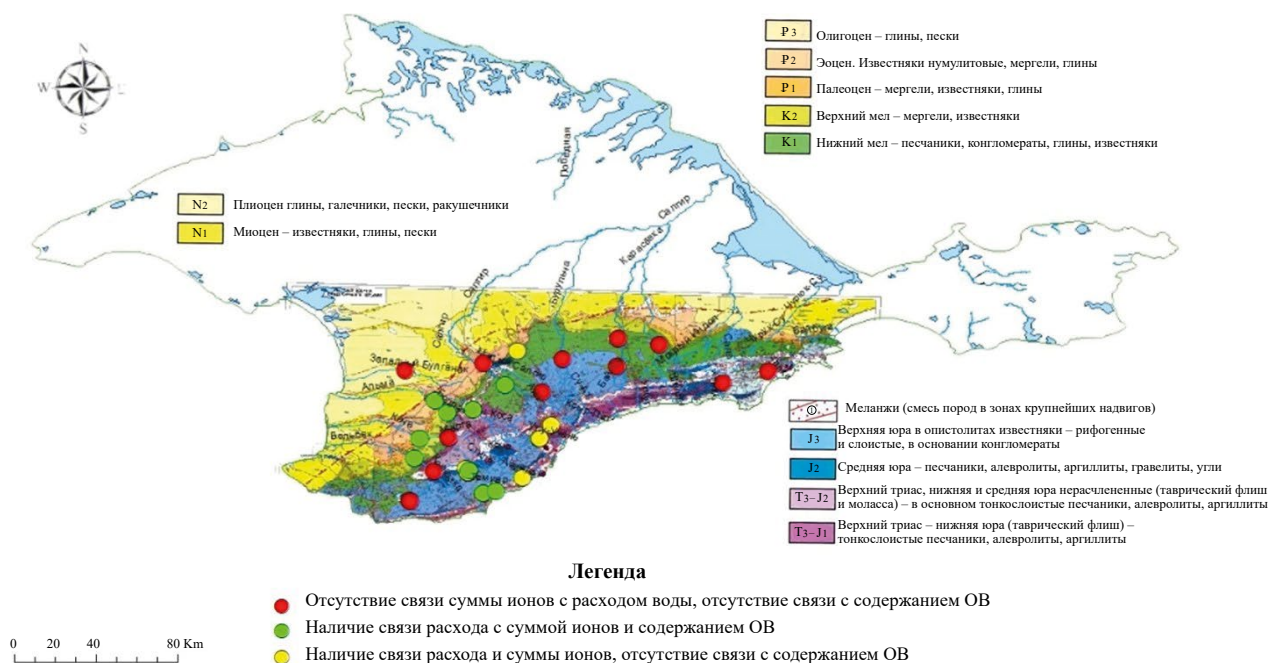
Характеристика	Группа		
	1	2	3
Высота водосбора, м	340–910	510–750	460–980
Уклон водосбора, м/км	65.7–309	190–312	325–490
Лесистость, %	7.3–96	45–91	2.3–80
Интервалы площади водосбора, км ²	16.8–275	5.1–49.7 184–374	2.5–44
Модуль стока, л/с м ²	0.92–36.8	3.8–15.7	2.11–86.6
Коэффициент вариации стока	0.40–0.54	0.47–0.58	0.37–0.45

земных вод в бассейнах рек Крыма, может быть использована для уточнения характеристик изменчивости стока рек [14]. Выявленные особенности формирования стока должны учитываться при его моделировании, поскольку в пределах одного водосбора (например, р. Бельбек) меняется характер связи расхода воды и ее вещественного состава (рис. 2).

Результаты кластерного анализа показали сходство состава воды на разных пунктах (рис. 3–5), но требуют более тщательного исследования. Так, например, в группе относительно близких по составу вод в бассейне Бельбека оказались створы Счастливое и Фронтное – хотя они имеют относительно близкое содержание

HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca, Mg, концентрации Cl и Na в этих створах различаются в разы.

Интересный результат получился для рек ЮБК и бассейна Салгира. Близкими по составу оказались реки Гува и Ангара, а р. Водопадная, чей водосбор расположен гораздо ближе к р. Гуде, значительно отличается от нее химическим составом. При сравнении с составом вод верховий р. Качи выявлено, что состав воды р. Гуды наиболее близок к составу р. Каспаны и отличается лишь немного повышенным содержанием хлоридов. Это говорит о том, что Каспана, Гудой и Балой питаются из одних подземных горизонтов. Соседняя с реками Гува и Бала р. Авунда отличается от них уже существенно

**Рис. 2.** Расположение створов гидрохимических наблюдений и их классификация по степени связи с расходом воды (на схему наложена геологическая карта [2]).

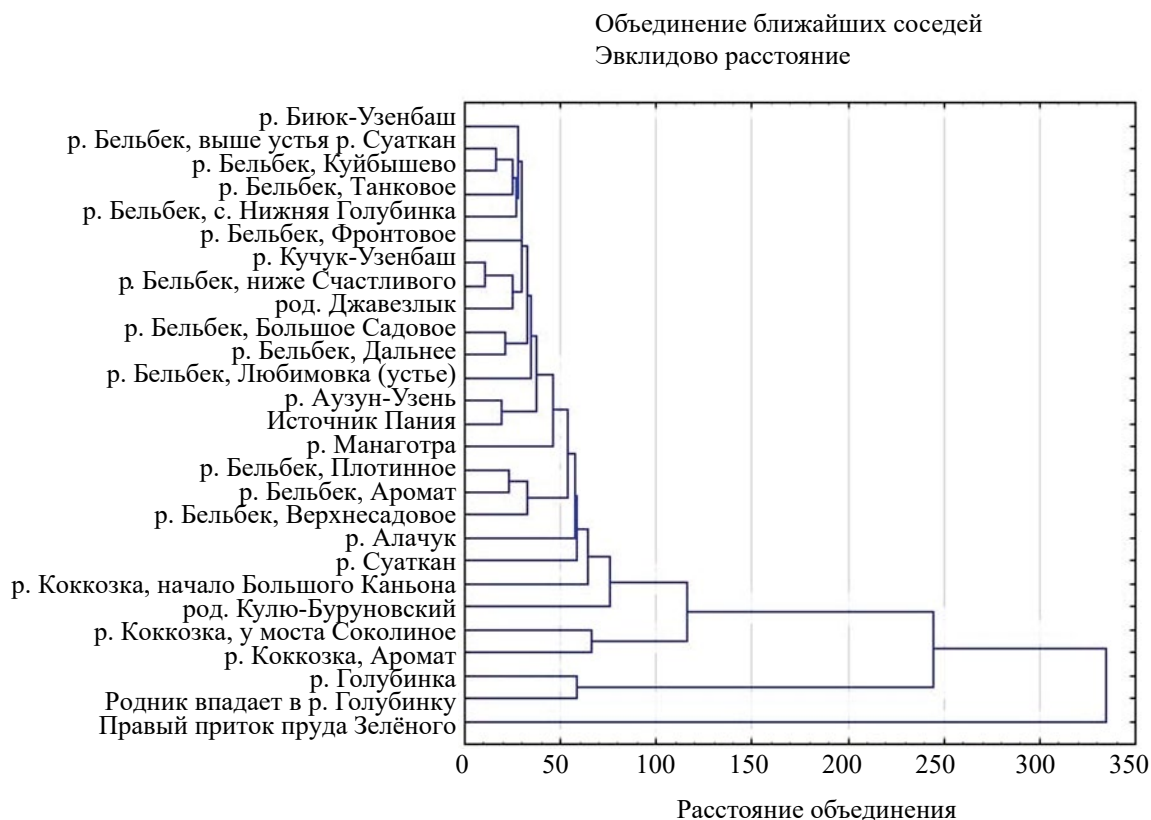


Рис. 3. Дендрограмма кластеризации (бассейн р. Бельбек).

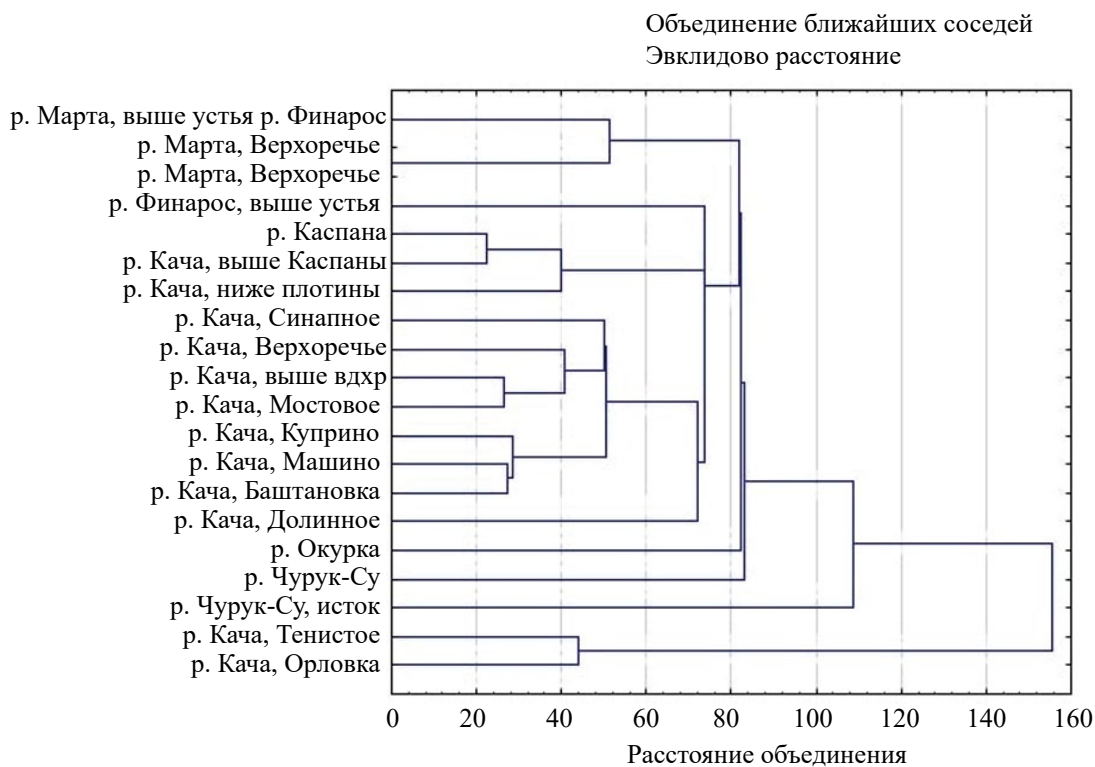


Рис. 4. Дендрограмма кластеризации (бассейн р. Кача).

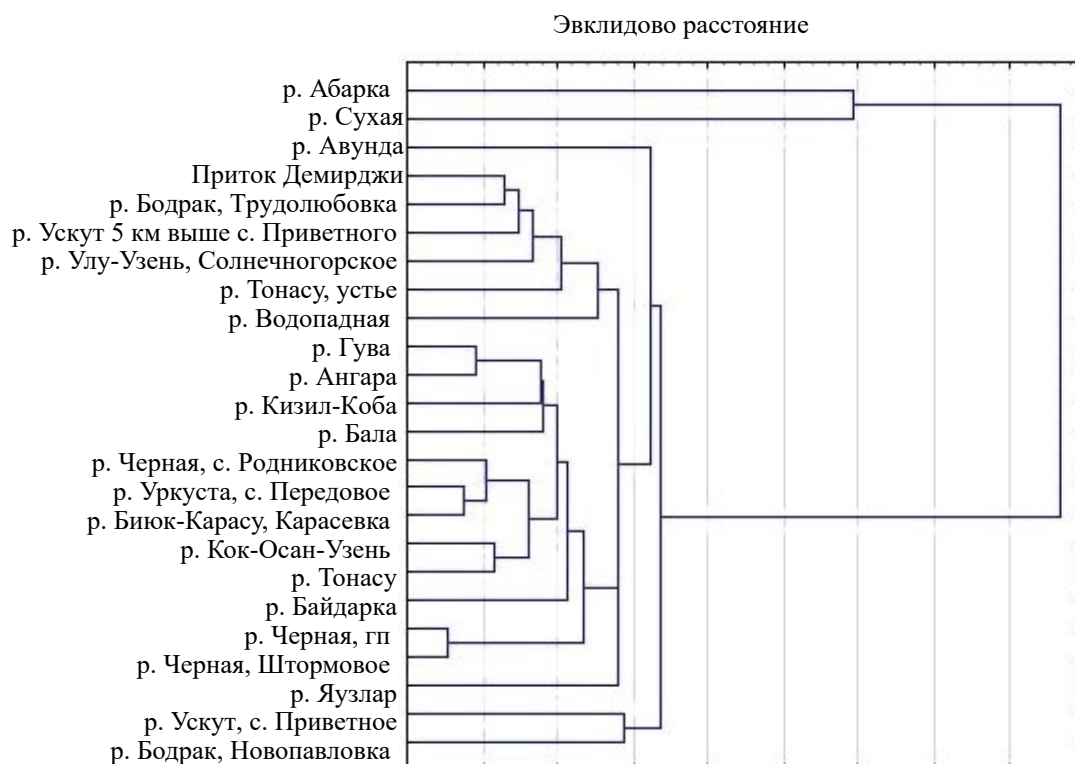


Рис. 5. Дендрограмма кластеризации (бассейны рек Черной, Салгир (верховья) и рек ЮБК).

большим содержанием сульфатов, хлоридов, магния и натрия, поскольку створ отбора пробы был расположен ниже области залегания пород таврической серии. При этом истоки Каспаны и Авунды разделяет всего несколько километров. Это подтверждает ведущую роль геологического строения водосбора в формировании химического состава водотоков.

В створах Тенистом и Орловка (р. Кача) состав воды наиболее отличен от состава в остальных створах выше по течению. Также значительно выделяются реки Чурук-Су и Окурка. В верховьях и в средней части бассейна р. Качи смежные створы имеют достаточно близкий состав воды. Интересно, что выше Бахчисарайского водохранилища и до впадения Чурук-Су состав воды Качи более близок к составу в створе в Верхоречье, нежели к составу в створе в Баштановке, что может свидетельствовать о разгрузке в реку подземных вод на этом участке [4]. В целом, в верхнем и среднем течении Качи состав воды более изменчив, чем у р. Бельбек, в бассейне которой значительно выделяются притоки пруда у с. Зеленого, р. Коккозка ниже Соколиного

и р. Голубинка, что обусловлено геологическим строением территории [3].

ВЫВОДЫ

Выявленные закономерности, выражающиеся в разной тесноте связи изменения расхода и состава воды в створах наблюдений на реках Юго-Западной части Крыма, свидетельствуют о разной доле поверхностного и подземного стока в формировании их водных масс. Из этого следует, что подход к расчетам и прогнозам их стока должен быть разным. Сложная ситуация с прогнозированием стока имеет место для бассейнов крупных рек (Бельбека, Салгира, Качи), верховья которых относятся к разным группам предложенной классификации изученных водотоков.

Реки группы 1 с устойчивым химическим составом, независимым от водного режима, и малой цветностью в первую очередь представляют интерес для целей водоснабжения. Некоторые из них уже используются для пополнения запасов водохранилищ (Черная (с Узунджой), Биюк-Карасу, Малый Салгир, Кучук-Карасу). Река Мар-

та пополняет сток р. Качи, которая питает водозабор Бахчисарайского водохранилища на ГТС № 4. Целесообразно аккумулировать сток рек Коккозки и Кизил-Коба в многоводные периоды для создания дополнительного резерва пресной воды. Подобные резервуары при перехвате части стока будут способствовать снижению риска затопления территории ниже Симферопольского водохранилища, а также территории в средней части бассейна Бельбека.

Автор благодарит И.А. Жукова за помощь в подготовке иллюстраций, а также коллектив кафедры гидрологии суши, проводивший полевые работы в 2022 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Алекин О. А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.
2. Геологическая карта горного и предгорного Крыма. Масштаб 1 : 200000. Симферополь: Союзкарта, 2009.
3. ГОСТ 31957-2012 ВОДА Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. М.: Стандартинформ, 2013. 26 с.
4. *Гречушников М.Г., Богуцкая Е.М., Григорьев В.Ю. и др.* Предварительные результаты гидролого-гидрохимических исследований взаимосвязи поверхностных и подземных вод в Юго-Западном Крыму // Геология и водные ресурсы Крыма. Полевые практики в системе Высшего образования. СПб.: ЛЕМА, 2022. С. 35–38.
5. *Комарова Н.В., Каменцев Я.С.* Практическое руководство по использованию систем капиллярного электрофореза “Капель”. СПб.: Веда, 2006. 212 с.
6. *Кондратьев С. И.* Исследование гидрохимической структуры реки Черной (Крым) в 2006–2011 гг. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ РАН, 2014. Вып. 28. С. 176–185.
7. *Миньковская Р.Я., Ингертов А.В.* Гидрохимическая характеристика рек Севастопольского региона // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. Севастополь: МГИ РАН, 2010. Вып. 22. С. 265–281.
8. *Николенко И.В., Копачевский А.М., Каримов Э.А.* Анализ наполнения водохранилищ естественного стока для обоснования путей решения проблем обеспечения водной безопасности республики Крым и города Севастополя // Вод. ресурсы. 2022. Т. 49. № 4. С. 407–422.
9. *Овсяный Е.И., Орехова Н.А.* Гидрохимический режим р. Черной (Крым): экологические аспекты // Морской гидрофиз. журн. 2018. Т. 34. № 1. С. 82–94. doi:10.22449/0233-7584-2018-1-82-94
10. *Олиферов А.Н., Тимченко З.В.* Реки и озера Крыма. Симферополь: Доля, 2005. 214 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 6. Украина и Молдавия. Вып. 4. Крым. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 344 с.
12. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Кн. 1. Общая характеристика речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым. <https://gkvod.rk.gov.ru> (дата обращения: 20.09.2022)
13. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейнов рек Республики Крым. Кн. 2. Оценка экологического состояния и ключевые проблемы речных бассейнов, расположенных на территории Республики Крым. <https://gkvod.rk.gov.ru>. (дата обращения: 20.09.2022)
14. *Тимченко З.В.* Расчет характеристик годового стока рек Крыма с известными расходами карстовых источников при отсутствии гидрометрических наблюдений // Уч. зап. Таврического нац. ун-та им. В.И. Вернадского. Сер. География. 2009. Т. 22 (61). № 2. С. 148–153.
15. *Эдельштейн К.К.* Структурная гидрология. М.: ГЕОС, 2005. 316 с.

Peculiarities of the hydrochemical regime of the Crimean rivers

M. G. Grechushnikova

Faculty of Geography, Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

Water Problems Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119333 Russia

e-mail: allavis@mail.ru

The results of the study of the relationship between hydrochemical composition and water discharge based on measurements at the posts of the Crimean rivers according to hydrological yearbooks are presented. The Spearman rank correlation coefficient was used to calculate the closeness of the relationship. Three groups of rivers with peculiarities of flow formation were identified according to the nature of the relationship between changes in discharge and water composition: rivers with no relationship between discharge and the sum of ions, hardness and organic matter content, rivers with a relationship with the sum of ions, hardness and organic matter content, and rivers with a relationship only with the sum of ions. Spatial differences in water composition were investigated by cluster analysis using survey materials during the low-water period in July 2022 in the rivers of the southwestern part of Crimea. The analysis does not include elements whose concentration can be determined by anthropogenic factor (nitrates, phosphates). Inter-basin and intra-basin differences in water composition due to the different geological structure of the territory are revealed.

Keywords: water resources, river water composition, organic matter, cluster analysis, flow formation.