

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ БИЮК-КАРАСУ

Иванютин Н. М., Подовалова С. В.

ASSESSMENT OF THE BIYUK-KARASU RIVER CURRENT ECOLOGICAL STATE

Ivanyutin N. M., Podovalova S. V.

Аннотация

Приведены результаты комплексной оценки степени загрязнения р. Биюк-Карасу на основе гидрохимических показателей качества воды, результатов фитотестирования на семенах сельскохозяйственных культур и расчета индекса загрязнения воды (ИЗВ). Рассмотрена динамика загрязнения водотока по всей его длине, включая основной приток р. Кучук-Карасу, и тенденция пространственно-временного изменения качества воды в реке. Выбор данной реки обоснован тем, что ее воды, ранее используемые для орошения земель, привязанных к Тайганской оросительной системе, в настоящее время путем переброски по системе Северо-Крымского канала используются для водообеспечения юго-восточной части Крыма, в которой недостаточно собственных водных ресурсов, способных обеспечить нужды местного населения. В результате проведения комплексных исследований были выявлены повышенные концентрации сульфатов, содержания которых достигали 2,4 ПДК (створ № 4) и 1,45 ПДК (створ № 13). Также зафиксировано превышение содержания в водах реки Биюк-Карасу тяжелых металлов: свинца — до 4 и цинка до 3,6 ПДК (створ № 3), меди до 2,73 ПДК (створ № 2). В водах р. Кучук-Карасу тяжелые металлы обнаружены не были. Фитотестирование вод рек Биюк и Кучук-Карасу не выявило острых токсических эффектов в виде стимуляции или ингибирования развития корневой системы тест-культур. Однако в пробах речной воды, отобранной в нижнем течении водотоков, со створа № 6 (р. Биюк-Карасу) и № 14 (р. Кучук-Карасу) происходит увеличение роста корневой системы тест-культур, составляющее 116–121 % (при норме до 120 %). Значение ИЗВ показало, что экологическое состояние водотока ухудшилось и находится на пороговой стадии перехода от III класса «умеренно загрязненная» к IV классу «загрязненная».

Ключевые слова: река Биюк-Карасу, экологическое состояние, фитотестирование, антропогенная нагрузка, индекс загрязнения вод.

Введение.

Река Биюк-Карасу — самый крупный приток Салгира, впадающий в него на 39-м километре. Длина реки 86 км, площадь водосбора — 1160 км². Река берет свое начало из самого

Abstract

The article presents results of comprehensive assessment of the Biyuk-Karasu River pollution degree based on hydrochemical indices of water quality, results of bio-assay using crop seeds, and calculation of the water pollution index (WPI). Dynamics of watercourse pollution throughout its full length, including its main tributary — the Kuchuk-Karasu River, as well as trends of spatial and temporal changes in river water quality are analyzed. The choice of the river was triggered by the following fact: its waters, earlier used for irrigation of areas related to the Taigan irrigation system, are nowadays used for water supply of the south-east part of the Crimea through the system of the North Crimean Canal, since water resources in this region are insufficient to satisfy the needs of local population. Comprehensive researches showed elevated concentrations of sulfates, which reached 2.4 MAC (section No. 4) and 1.45 MAC (section No. 13). The elevated content of heavy metals in waters of the Biyuk-Karasu River was also observed: lead — up to 4 MAC, zinc — up to 3.6 MAC (section No. 3), copper — up to 2.73 MAC (section No. 2). Heavy metals in waters of the Kuchuk-Karasu River were not found. Bio-assay of Biyuk-Karasu and Kuchuk-Karasu Rivers' waters did not reveal such acute toxic effects like stimulation or inhibition of root system development in test cultures. However, in river water samples, selected in the lower courses at section No. 6 (Biyuk-Karasu River) and section No. 14 (Kuchuk-Karasu River), an increase in root system development in test cultures, which amounts to 116–121% (at the limit up to 120%), is observed. The water pollution index (WPI) shows that the ecological state of the watercourse has deteriorated and now it is at the threshold stage of transition from class III (“moderately polluted”) to class IV (“polluted”).

Keywords: Biyuk-Karasu River, ecological state, bio-assay, anthropogenic effect, water pollution index.

мощного карстового источника полуострова — Карасу-Баши, который расположен на северных склонах Караби-яйлы. На реке построено два крупных водохранилища — Тайганское (1938 г.) и Белогорское (1972 г.). Общий объем водохра-

нилищ составляет 37,1 млн м³. С 2015 года водохранилища постоянно используются для водоснабжения Керченско-Феодосийско-Судакского региона путем переброски стока по системе Северо-Крымского канала, хотя изначальная цель строительства — орошение сельскохозяйственных земель Белогорского, Нижнегорского и Советского районов.

Главным притоком реки является Кучук-Карасу — последний водоток, входящий в бассейн Салгира, который впадает в р. Биюк-Карасу севернее с. Косточковка Нижнегорского района, однако достигает ее только во время паводков. Длина реки составляет около 77 км, а площадь водосборного бассейна — 268 км².

В Республике Крым вопросами оценки экологического состояния малых рек, в том числе и р. Биюк-Карасу занималась Тимченко З. В. [18]. Данные исследования проводились в начале 2000-х годов и основывались на паспортных данных рек Крымского региона. В результате бассейн р. Биюк-Карасу был охарактеризован как экологически неустойчивый, что свидетельствует о нестабильной экологической ситуации, сложившейся на водотоке. За прошедшие годы ситуация по ряду водотоков в результате антропогенной деятельности человека, особенно вследствие усиления дефицита водных ресурсов, значительно ухудшилась. Это подтверждается результатами исследований, приведенных в работах [1, 14]. Изучение современного экологического состояния водотоков полуострова в виду сложившихся

вододефицитных условий в настоящее время — важная и актуальная задача.

В качестве объекта исследований авторами выбран бассейн р. Биюк-Карасу, воды которого в связи с перекрытием СКК и уменьшением водообеспечения интенсивно используются в хозяйственной деятельности человека (рис. 1), что влияет на качественные характеристики стока.

При анализе рис. 1 видно, что с 2015 года произошло увеличение отбора водных ресурсов из реки с 10,9 млн м³ (2007 г.) до 40,5 млн м³ (2017 г.), что стало следствием необходимости переброски водных ресурсов на юго-восток полуострова, при этом отмечается увеличение расхода на производственные нужды с 0,248 млн м³ в 2013 г. до 23 млн м³ в 2017 г. Это связано с тем, что по действующему законодательству потери воды начали относить к категории «производственные нужды». Такие большие потери (около 20 млн м³ в год) связаны с тем, что переброска осуществляется по земляному руслу реки, через которое фильтруется большая часть такого важного природного ресурса.

Всего к Тайганской оросительной системе привязано 9648 га орошаемых земель, однако в связи с недостатком воды за последние годы произошло резкое сокращение фактически поливаемых земель до 1970 га (2015 г.), в котором на цели орошения из бассейна реки было использовано 5,54 млн м³, а в 2017 году всего 0,51 млн м³ водных ресурсов. Особенно это отразилось на

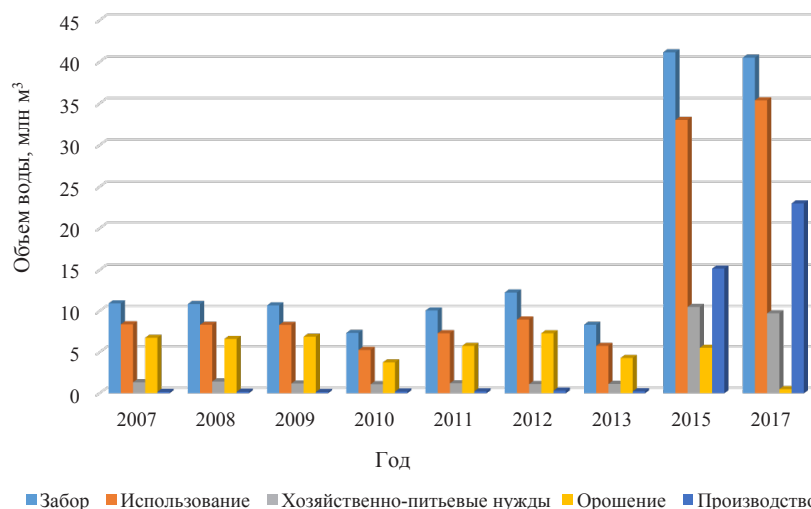


Рис. 1. Общий забор и использование водных ресурсов в бассейне реки Биюк-Карасу, млн м³/год

орошаемых землях Советского района, которые с 2014 года не поливаются.

Методы и материалы

В соответствии с задачами исследований в 2018 году было проведено изучение современного экологического состояния рек Бююк и Кучук-Карасу с использованием нескольких методов (изучение химического состава вод, расчет индекса загрязнения вод (ИЗВ), проведение фитотестирования с использованием различных тест-культур).

Выбор створов наблюдения проводился на основе РД 52.24.309–2016 [5]. Главными принципами выбора точек наблюдений были: совмещение пунктов наблюдений с существующей сетью мониторинга, который проводит Министерство экологии и природных ресурсов РК; установление створов после прохождения реки через крупные населенные пункты, а также расположенных на основном притоке — р. Кучук-Карасу. Это связано с тем, что в ходе визуальных наблюдений было установлено, что на территории населенных пунктов экологическое состояние водотоков резко ухудшается, что выражено замусориванием акватории и водоохраной зоны, несанкционированным сбросом сточных вод, смыв ливневых вод с селитебных территорий и др. На рис. 2 представлено месторасположение контрольных створов, в которых проводился отбор проб воды.

В отобранных образцах воды определялся следующий ряд гидрохимических показателей: сухой остаток, растворенный кислород, рН, БПК₅, жесткость, анионы: PO₄⁻, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, HCO₃⁻, катионы: Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, тяжелые металлы: Cd, Pb, Cu, Zn. Концентрацию растворенного кислорода, определяли в полевых условиях с помощью оксиметра «АКТАКОМ» АТТ-3010 (рис. 3).

Тяжелые металлы определяли в аккредитованной лаборатории агрохимических исследований вольтамперометрическим анализатором «АКВИЛОН» АКВ-07 МК. В соответствии с требованиями Министерства природных ресурсов России в качестве экологических норм были использованы ПДК для рыбохозяйственных водоемов [17], при отсутствии показателей применяли ПДК для объектов хозяйственно-питьевого водопользования [6].

Расчеты ИЗВ производились согласно «Методике...» [19]. В настоящее время для изучения



Рис. 2. Месторасположение точек отбора проб воды

степени загрязнения поверхностных вод используется алгоритм расчета удельного комбинированного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) [4], который, в отличие от ИЗВ, оценивает загрязненность воды по широкому перечню показателей, определение которых затруднительно из-за сложности и дороговизны. Поэтому многие ученые [8, 15, 16] до сих пор отдают предпочтение определению ИЗВ, который используется в качестве информативной комплексной оценки, позволяющей разделять качественный состав поверхностных вод на 7 классов в зависимости от уровня их загрязнения и выделять участки реки, подвергающиеся наибольшей антропогенной нагрузке.

Опыты с использованием метода фитотестирования проводились согласно СанПиН 2.1.7.573–96 [7]. Выбор тест-культур осуществлялся в соответствии с ГОСТ 32627–2014 [2], по которому биотестирование необходимо



Рис. 3. Определение растворенного кислорода в полевых условиях (фото авторов)

проводить на семенах не менее двух видов сельскохозяйственных растений, при этом одно из них должно относиться к однодольным, им стали семена *Triticum aestivum* (пшеница мягкая), а второе — к двудольным, семена для которого были выбраны *Lepidium sativum* (кресс-салат). Степень токсичности устанавливалась на основании определения тест-параметра — средней длины проросших корней в каждой исследуемой пробе воды по сравнению с контрольной, в качестве которой был выбран створ, расположенный в верховье каждой реки. В Крыму метод биотестирования был успешно апробирован в 90-х годах прошлого века, в Красноперекопском промышленном районе для изучения токсичности поверхностных и подземных вод, атмосферных осадков и почв Ермаковой Н. Ю. [10–12]. В США

и большинстве стран Европы совместно с традиционными методами химического анализа широко используются методы биотестирования для исследований экологического состояния поверхностных водоёмов и подземных водоносных горизонтов [21, 22].

Результаты исследования и обсуждения

По полученному химическому анализу проб воды были изучены процессы трансформации качественных характеристик вод реки на всем ее протяжении. В результате было определено, что концентрации основных анионов и катионов не превышали значений ПДК, исключение составляли сульфаты, динамика содержания которых представлена на рис. 4.

Анализируя рис. 4, а, можно отметить, что резкий скачок увеличения содержания сульфатов происходит после прохождения водотока через г. Белогорск (створ № 3), с очистных сооружений которого в реку сбрасываются очищенные сточные воды. Далее по течению реки зафиксировано снижение концентраций данного компонента, что может свидетельствовать о сохранившейся способности реки к самоочищению. По р. Кучук-Карасу (рис. 4, б) рост концентрации сульфатов в речной воде фиксируется только в нижнем течении реки (створ № 13, 14), что может быть связано с поступлением их со стоками с не канализованных территорий населенных пунктов.

Особое внимание было уделено определению тяжелых металлов, так как превышение их содержания ПДК опасно с точки зрения воздействия на все компоненты окружающей среды, ввиду высокой токсичности и способности к накоплению в живых организмах и донных отложе-

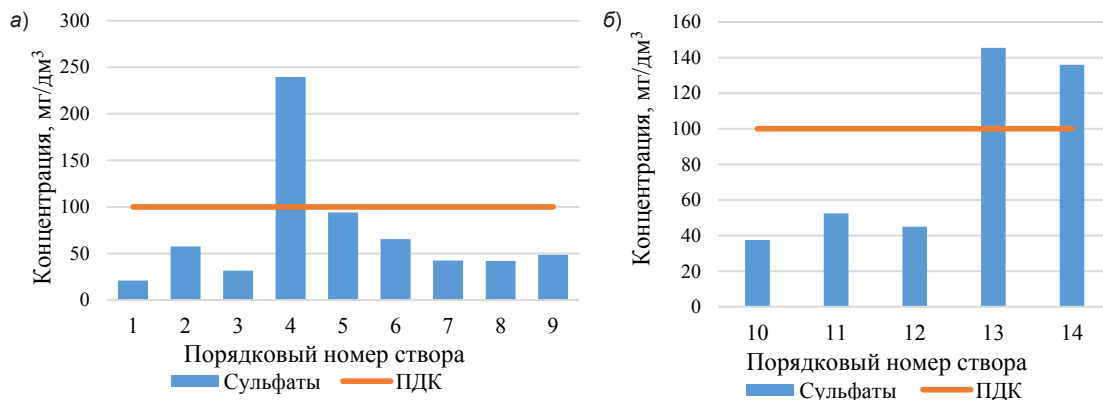


Рис. 4. Динамика концентраций содержания сульфатов в водах рек, мг/дм³: а — Биук-Карасу; б — Кучук-Карасу

ниях. В 2018 году содержание свинца в верховье р. Биюк-Карасу было ниже ПДК в 6 раз, в черте г. Белогорск (створ № 3) произошло резкое увеличение концентрации до 4 ПДК (0,024 мг/дм³), в нижнем течении реки (створ № 8) — 3,4 ПДК. Цинк в верховье реки обнаружен не был, а в черте г. Белогорска его концентрации достигли 3,6 ПДК (0,036 мг/дм³), в нижнем течении реки (сс. Белая Скала, Желябовка) содержание уменьшилось до 3 ПДК. Кадмий в водах реки был выявлен в количестве 0,5 ПДК (0,002–0,003 мг/дм³), однако даже такие концентрации, на наш взгляд, вызывают опасения, так как кадмий относится к элементам II класса опасности, имеет способность к накоплению в живых организмах и оказывать острое токсическое воздействие на них, в том числе на человека. В верховье реки было обнаружено повышенное содержание меди, достигающее 2,8 ПДК (0,0028 мг/дм³), которое снизилось в районе г. Белогорска до 1 ПДК, а ниже по течению не превышало нормативов. Тяжелые металлы в водах р. Кучук-Карасу обнаружены не были.

Следующим этапом исследований было проведение лабораторных опытов с использованием метода фитотестирования, которые осуществлялись в весенний и летний периоды 2018 года в соответствии с действующими в РФ санитарными правилами (рис. 5) [7].

Приведенные на рис. 5 результаты лабораторных опытов по изучению токсичности вод рек Биюк и Кучук-Карасу показали отсутствие острых токсических эффектов в виде стимуляции или ингибирования развития корневой системы тест-культур, так как процент развития корневой системы от контроля находился в пределах нормы (70–120 %). Однако, в пробах речной воды отобранной в нижнем течении водотоков со створа № 6 (р. Биюк-Карасу) и № 14 (р. Кучук-Карасу), происходит увеличение роста корневой системы тест-культур, составляющее 116–121 % (при норме до 120 %). Также следует отметить, что в опытах, проведенных летом, развитие тест-культур проходило более интенсивно, что может быть связано с меньшим разбавлением речных вод (летняя межень) и их худшим качеством, а также присутствием в составе воды компонентов, имеющих удобрительную ценность. С точки зрения использования данных вод

для орошения это может быть положительный показатель, а с точки зрения экологического состояния может привести к усилению процессов эвтрофикации водотока.

Сравнивая полученные результаты с исследованиями, проведенными ранее, хочется выделить работы [3, 20]. В работе Шайхутдинова А. А. [20] приведены результаты опытов по фитотестированию вод р. Белой (река протекает через 9 крупных городов), проведенных на различных семенных сельскохозяйственных культурах. В результате экспериментов авторами выделены тест-растения, наиболее отзывчивые к поллютантам, находящимся в воде. Ими стали семена злаковой культуры — ячменя (мы использовали злак — пшеницу), а также кресс-салат. Полученный фитотоксический эффект по длине реки был различным, так как зависел от неравномерности поступления поллютантов по длине реки. Галиакберов В. В. и др. [3] оценивали фитотоксичность поверхностных вод р. Малый Кизил с использованием кресс-салата и редиса. Исследуемые воды в разных створах оказывали различное токсическое действие от ингибирования роста (40 % от контроля) до стимулирования развития, находящегося выше 120 % от контрольной пробы. Авторы выявили наличие прямой связи между показателями предельной концентрации металлов и интегральной токсичностью. Редис оказался более устойчив к токсическому действию тяжелых металлов, чем кресс-салат, что также было подтверждено ранее выполненными исследованиями.

Важным показателем состояния водной среды служит не только ее качество, но и степень загрязненности воды, которую можно оценить с помощью интегральных показателей, поэтому для более комплексной оценки трансформации качественного состава речной воды и представлении результатов в удобной для восприятия форме был проведен расчет ИЗВ вод р. Биюк-Карасу и ее основного притока. При расчете ИЗВ использовались 6 строго лимитируемых показателей (ингредиентов) с обязательным включением растворенного кислорода и БПК₅, а также 4-х компонентов, концентрации которых имели наибольшие значения. При равенстве концентраций предпочтение отдавалось веществам, имеющим токсикологи-

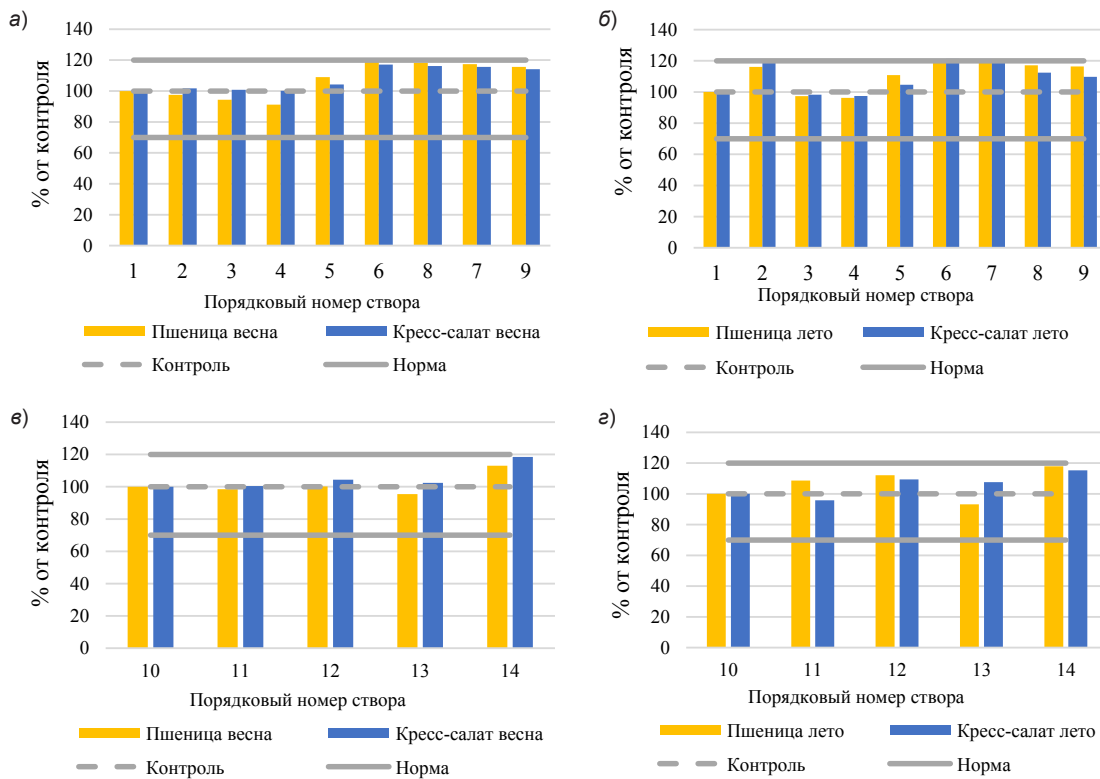


Рис. 5. Результаты опытов с использованием метода фитотестирования: а — р. Биук-Карасу (весна); б — р. Биук-Карасу (лето); в — р. Кучук-Карасу (весна); г — р. Кучук-Карасу (лето))

ческий признак вредности. В табл. 1 приведены результаты расчета ИЗВ.

Представленные в табл. 1 значения ИЗВ показали, что качество вод р. Биук-Карасу за последние годы изменилось в сторону ухудшения, на что указывает не только увеличение значения ИЗВ и класса воды, но и рост кратности превышения загрязняющих веществ в воде по всем створам. Хотя класс качества воды изменился только в створе, расположенном в с. Белая Скала с III «умеренно загрязненная» (2016 г.) на IV «загрязненная» (2018 г.), а в остальных остался прежним, но отмечается тенденция перехода к следующему более худшему классу. Статистическая обработка значений изменения ИЗВ и кратности превышения показателей с использованием парного *t*-критерия Стьюдента показала, что изменения этих параметров статистически не значимы (критерий Стьюдента для ряда ИЗВ равен 1,625 (критическое значение — 2,776), для ряда «кратность превышения» — 1,674 (критическое значение — 2,131)).

Авторами работ [9, 13] при изучении малых водотоков, протекающих через урбанизированные территории, были получены схожие результаты. Так, в работе [9] при изучении р. Девица (приток р. Дон) произошло увеличение значения ИЗВ после прохождения водотока через густо заселенную территорию с 1,1 (III класс) в истоке, до 2,79 (IV класс) при ее впадении в р. Дон, что авторы связывают с увеличением антропогенной нагрузки. В статье Иванова В. В. [13] приведены данные по исследованию р. Кубань за 2007–2008 гг. За указанный период произошло повышение величины ИЗВ и изменение класса качества воды, а также рост кратности содержания отдельных элементов в створах, расположенных после протекания реки через крупные населенные пункты, что авторы связывают со сбросами недостаточно очищенных сточных вод, а также неочищенных ливневых вод, поступающих с территории населенных пунктов.

Из приведенных результатов комплексных геоэкологических исследований следует, что ис-

Оценка качества поверхностных вод рек Биюк-Карасу и Кучук-Карасу по ИЗВ

Место расположения створа	ИЗВ по ПДК _{р/х}		Содержание загрязняющих веществ, превышающих ПДК _{р/х}			
			2016 г.		2018 г.	
	2016 г.	2018 г.	показатель	кратность превышения	показатель	кратность превышения
р. Биюк-Карасу						
до г. Белогорск	1,09 (III)	1,08 (III)	Медь	2,00	Медь	2,73
шоссе Белогорск— Золотое поле	1,10 (III)	1,69 (III)	Свинец	0,00	Свинец	4,00
			Цинк	2,00	Цинк	3,60
			Медь	2,00	Медь	1,00
с. Белая Скала	1,31 (III)	3,73 (IV)	Цинк	2,00	Цинк	15,28
			Сульфаты	0,82	Сульфаты	2,39
			Жесткость	1,50	Жесткость	1,53
			Фосфаты	1,80	Фосфаты	1,85
			Медь	2,00	Медь	0,11
с. Вишенное	1,08 (III)	1,74 (III)	Свинец	0,00	Свинец	5,83
			Медь	2,70	Медь	1,50
			Цинк	0,00	Цинк	1,30
			Сульфаты	1,65	Сульфаты	0,60
с. Желябовка	1,28 (III)	1,51 (III)	Свинец	0,00	Свинец	3,42
			Цинк	2,30	Цинк	3,05
			Медь	2,30	Медь	1,00
р. Кучук-Карасу						
с. Поворотное	нд	0,68 (II)	нд	нд	Сульфаты	0,38
с. Пруды	нд	0,97 (II)	нд	нд	Жесткость	0,89
					Медь	0,00
					Сульфаты	1,46
					Жесткость	1,19
					Медь	1,04

нд — нет данных, так как приведенные створы (сс. Поворотное и Пруды) не входят в существующую мониторинговую сеть и были задействованы только в 2018 году.

пользование нескольких взаимодополняемых методов (классического химического анализа, фитотестирования, расчета ИЗВ) позволяет оценить современное экологическое состояние водных объектов, привести пространственно-временную динамику ухудшения качественной составляющей, которая указывает на неспособность водной экосистемы быть устойчивой к воздействию возрастающих антропогенных нагрузок.

Комплексный подход позволяет судить о современном экологическом состоянии водотоков, выявлять наиболее загрязненные участки рек и источники их загрязнения, а также дает возможность своевременно принимать управленческие решения по сохранению экологического состояния водных экосистем.

Заключение

В результате проведенных комплексных исследований можно сделать следующие выводы.

С 2015 года отбор водных ресурсов увеличился почти в 4 раза, что произошло по причи-

не необходимости водообеспечения Керченско-Феодосийского региона. При этом из-за фильтрации, при переброске, теряется около 20 млн м³ воды в год.

В связи с недостатком воды за последние годы произошло резкое сокращение фактически политых земель до 1970 га (2015 г.), в котором для орошения из бассейна реки было использовано 5,54 млн м³, а в 2017 году всего 0,51 млн м³ водных ресурсов.

Концентрации основных анионов и катионов в реках Биюк и Кучук-Карасу не превышали значений ПДК, исключения составляли сульфаты, содержания которых достигали 2,4 ПДК и 1,45 ПДК соответственно.

Было зафиксировано превышение норм содержания тяжелых металлов в водах р. Биюк-Карасу: свинец — 4 ПДК (створ № 3), 3,5 ПДК (створ № 8); цинк — 3,6 ПДК (створ № 3), 3 ПДК (створ № 4, 8); медь — 2,73 (створ № 2), 1 ПДК

(створ № 3). В водах р. Кучук-Карасу тяжелые металлы обнаружены не были.

Фитотестирование вод рек Биюк и Кучук-Карасу не выявило острых токсических эффектов в виде стимуляции или ингибирования развития корневой системы тест-культур, так как процент развития корневой системы от контроля находился в пределах нормы (70–120 %). В низовьях обеих изученных рек произошло увеличение развития корневой системы тест-объектов до 116–121 % (норма 120 %).

По значению ИЗВ экологическое состояние водотока находится на пороговой стадии перехода от III «умеренно загрязненная» на IV класс «загрязненная», что может привести к необратимым изменениям в экосистеме водотока. Экологическое состояние р. Кучук-Карасу хорошее, качество воды характеризуется II классом «чистая».

В настоящее время государственный мониторинг в бассейне реки Биюк-Карасу осуществляют Министерство экологии и природных ресурсов и «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды». Сеть наблюдений состоит соответственно из 5 и 2 точек. По р. Кучук-Карасу наблюдений вообще не проводится. На наш взгляд такая система мониторинга неэффективна, потому что не позволяет получать оперативную информацию о современном экологическом состоянии рек, не способна выявлять источники загрязнения водотоков, которые зачастую бывают точечные, и не дает возможности вовремя разрабатывать и принимать управленческие решения по эффективному использованию водных ресурсов.

Для улучшения экологического состояния реки одним из первоочередных средоохранительных мероприятий является обустройство неканализованных сел, расположенных в долине реки, локальными очистными сооружениями, для предотвращения попадания хозяйственно-бытовых стоков в водоток.

Финансирование

Работы выполнены в рамках государственного задания № АААА-А16-116022610115-4.

Литература

1. Волкова, Н. Е. и Захаров Р. Ю. (2017). Особенности водохозяйственной экосистемы реки Малый Салгир. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, № 2 (66), сс. 11–17.

2. Всероссийский научно-исследовательский центр стандартизации, информации и сертификации сырья, материалов и веществ (2015). ГОСТ 32627–2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Наземные растения. Испытание на фитотоксичность. М.: Стандартинформ. 20 с.

3. Галиакберов, В. В., Дементьев, Д. Г. и Белозерова Е. А. (2017). Фитотоксичность поверхностных вод реки Малый Кизил. В: Сборник материалов XXVIII международной научно-практической конференции “International scientific news 2017”. М.: Олимп, сс. 95–98.

4. Гидрохимический институт (2002). РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. Ростов-на-Дону: Росгидромет. 50 с.

5. Гидрохимический институт (2016). РД 52.24.309–2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши. Ростов-на-Дону: Росгидромет. 100 с.

6. Главный государственный санитарный врач РФ (2003). СанПиН 2.1.4.1175–02. Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников. М.: Минздрав России. 20 с.

7. Госкомсанэпиднадзор РФ (1997). СанПиН 2.1.7.573–96. Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения. М.: Минздрав России, 55 с.

8. Дан, Е. Л. и Капустин, А. Е. (2016). Индекс загрязнения воды как показатель экологического состояния водоемов г. Мариуполя. В: «Актуальные проблемы современной науки». Сборник тезисов научных работ XIV Международной научно-практической конференции. Киев: Международный научный центр, сс. 28–30.

9. Девятова, Т. А., Яблонских Л. А., Чувычкин, А. Л. и Титова, Н. В. (2016). Экологический мониторинг малых рек Бассейна Среднего Дона (на примере реки Девица). В: Материалы заочной международной научно-практической конференции «Современные экологические проблемы Центрально-Черноземного региона». СПб.: Роза Ветров, сс. 66–72.

10. Ермакова, Н. Ю. (1993). Биологическое тестирование состояния геологической среды в сфере влияния крупных промышленных предприятий Крыма. В: Экологическая гидрогеология стран Балтийского моря. Тезисы докладов Международного семинара. СПб.: СПбГУ, с. 139.

11. Ермакова, Н. Ю. (2000). Рекомендации по применению биотестирования для экспрессных геотоксикологических исследований подземной гидросферы и других объектов геологической среды. Минеральные ресурсы Украины, 2, сс. 41–42.

12. Ермакова, Н. Ю. (2017). Выявление очагов загрязнения природных вод методом биологического тестирования и актуальность его применения в экологическом мониторинге гидросферы Крыма. В: Сборник «Полевые практики в системе высшего образования. Материалы Пятой Всероссийской конференции. Посвящается 65-летию Крымской учебной практики по геологическому картированию Ленинградского-Санкт-Петербургского государственного университета». Под редакцией В. В. Аркадьева, сс. 150–152.

13. Иванова, В. В. (2012). Особенности гидрографии реки Кубань и степень ее загрязнения. Экологический вестник Северного Кавказа, т. 8, № 1, сс. 80–84.

14. Иванютин, Н. М. и Подовалова, С. В. (2018). Изучение трансформации качества вод реки Альма под влиянием антропогенной деятельности. Вода и экология: проблемы и решения, № 4 (76), сс. 9–19. doi: 0.23968/2305-3488.2018.23.4.9-19.

15. Клёпов, В. И. и Рагулина, И. В. (2017). Оценка качества водных ресурсов в верхней части бассейна реки Москвы. Природообустройство, № 3, сс. 14–21.

16. Лопарева, Т. Я. и Шарипова, О. А. (2013). Оценка качества воды озера Балхаш согласно комплексным индексам загрязнения. Гидрометеорология и экология, № 1 (68), сс. 145–149.

17. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации (2016). Приказ № 552 от 13.12.2016 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». М.: Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, 153 с.

18. Тимченко, З. В. (2002). Водные ресурсы и экологическое состояние малых рек Крыма. Симферополь: Доля, 152 с.

19. Шабанов, В. В. и Маркин, В. Н. (2014). Методика эколого-водохозяйственной оценки водных объектов. Монография. М.: ФГБОУ ВПО РГАУ МСХА им. К. А. Тимирязева, 166 с.

20. Шайхутдинова, А.А., Трубникова, А.С. и Кадыргулова, А.Ф. (2017). Биотестирование природной воды р. Белой по проросткам растений-индикаторов. Известия Оренбургского государственного аграрного университета, № 6 (68), сс. 204–207.

21. Peltier, W. H. (1986). Impact of an industrial effluent on aquatic organisms: EPA region IV case history. Environmental Hazard Assessment of Effluents. Proceedings of the Pellston Environmental Workshop. Cody, Wyoming, pp. 216–227.

22. United States Environmental Protection Agency (EPA) (2002). Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms. Fifth Edition. U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water (4303T), Washington, DC20460, 266 p.

References

1. Volkova, N. Ye. and Zakharov, R. Yu. (2017). Osobennosti vodokhozyaystvennoy ekosistemy reki Maly Salgir [Features of water management ecosystem of the river Small Salgir]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya*, No. 2 (66), pp. 11–17 (in Russian).

2. All-Russian Research Center for Standardization, Information and Certification of Raw Materials, Materials and Substances (2015). *GOST 32627–2014. Metody ispytaniy khimicheskoy produktsii, predstavlyayushchey opasnost dlya okruzhayushchey sredy. Nazemnyye rasteniya. Ispytaniye na fitotoksichnost [State Standard GOST 32627–2014. Testing of chemicals of environmental hazard. Terrestrial plant test: vegetative vigour test]*. Moscow: Standartinform, 20 p. (in Russian).

3. Galiakberov, V. V., Demytyev, D. G. and Belozerova E. A. (2017). Fitotoksichnost poverkhnostnykh vod reki Maly Kizil [Phytotoxicity of the surface waters of the Maly Kizil River]. In: *Sbornik materialov XXVIII mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “International scientific news 2017” [Proceedings of the 28th International Scientific Conference*

“International scientific news 2017”], Moscow: Olimp, pp. 95–98 (in Russian).

4. Hydrochemical Institute (2002). *RD 52.24.643–2002. Metodicheskiye ukazaniya. Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznenyonosti poverkhnostnykh vod po gidrokhimicheskim pokazatelyam [Regulatory Document RD 52.24.643–2002. Methodical guidelines. Method of comprehensive assessment of the pollution rate of surface waters using hydrochemical indicators]*. Rostov-on-Don: Rosgidromet, 50 p. (in Russian).

5. Hydrochemical Institute (2016). *RD 52.24.309–2016. Organizatsiya i provedeniye rezhimnykh nablyudeniy za sostoyaniyem i zagryazneniyem poverkhnostnykh vod sushy [Regulatory Document RD 52.24.309–2016. Organization and implementation of monitoring observations of the state and pollution of land surface waters]*. Rostov-on-Don: Rosgidromet, 100 p. (in Russian).

6. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (2003). *SanPiN 2.1.4.1175–02. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody netsentralizovannogo vodosnabzheniya. Sanitarnaya ohrana istochnikov [Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.1.4.1175–02. Hygienic requirements for water quality of non-centralized water supply systems. Sanitary protection of sources]*. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 20 p. (in Russian).

7. State Committee on Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Federation (1997). *SanPiN 2.1.7.573–96. Gigiyenicheskiye trebovaniya k ispolzovaniyu stochnykh vod i ikh osadkov dlya orosheniya i udobreniya [Sanitary Regulations SanPiN 2.1.7.573–96. Hygienic requirements for wastewater and sewage sludge which is used for land irrigation and fertilization]*. Moscow: Ministry of Health of the Russian Federation, 55 p. (in Russian).

8. Dan, E. L. and Kapustin, A. E. (2016). Indeks zagryazneniya vody kak pokazatel ekologicheskogo sostoyaniya vodoyemov g. Mariupolya [Water pollution index as an indicator of the ecological state of Mariupol water bodies]. In: *Aktualnyye problemy sovremennoy nauki. Sbornik tezisov nauchnykh rabot XIV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Actual Problems of Modern Science: Abstracts of XIV International Scientific-Practical Conference]*. Kiev: International Scientific Center, pp. 28–30 (in Russian).

9. Devyatova, T. A., Yablonskikh, L. A., Chuvykhin, A. L. and Titova, N. V. (2016). Ekologicheskyy monitoring malykh rek basseyna Srednego Dona (na primere reki Devitsa) [Environmental monitoring of small rivers in the Central Don basin (case study of the Devitsa River)]. In: *Materialy zaochnoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Sovremennyye ekologicheskyye problemy Tsentralno-Chernozemnogo regiona [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference with Virtual Participation “Modern Environmental Problems of the Central Chernozem Region”]*, Saint Petersburg: Roza Vetrov, pp. 66–72 (in Russian).

10. Ermakova, N. Yu. (1993). Biologicheskoye testirovaniye sostoyaniya geologicheskoy sredy v sfere vliyaniya krupnykh promyshlennykh predpriyatiy Kryma [Bio-assay techniques for determination of the geological environment state in the sphere of influence of large industrial enterprises in Crimea]. In: *Ekologicheskaya gidrogeologiya stran Baltyskogo morya. Tezisy dokladov mezhdunarodnogo seminara [Ecological hydrogeology of Baltic Sea countries. Proceedings of the International Scientific*

Seminar. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 139 p. (in Russian).

11. Ermakova, N. Yu. (2000). Rekomendatsii po primeneniyu biotestirovaniya dlya ekspresnykh geotoksikologicheskikh issledovaniy podzemnoy gidrosfery i drugikh obyektov geologicheskoy sredy [Recommendations for use of bio-assay in express geo-toxicological studies of the underground hydrosphere and other objects of the geological environment]. *Mineralnyye resursy Ukrainy [Mineral Resources of Ukraine]*, 2, pp. 41–42 (in Russian).
12. Ermakova, N. Yu. (2017). Vyyavleniye ochagov zagryazneniya prirodnykh vod metodom biologicheskogo testirovaniya i aktualnost ego primeneniya v ekologicheskom monitoringe gidrosfery Kryma [Identification of natural waters' pollution points using bio-assay techniques and relevance of their use in ecological monitoring of the hydrosphere in Crimea]. In: Arkadyev V. V. (ed.) *Sbornik "Polevyye praktiki v sisteme vysshego obrazovaniya. Materialy Pyatoy Vserossiyskoy konferentsii. Posvyashchayetsya 65-letiyu Krymskoy uchebnoy praktiki po geologicheskomu kartirovaniyu Leningradskogo-Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta"* [Collection of articles "Field practices in the system of higher education. Proceedings of the 5th All-Russian Conference dedicated to the 65th anniversary of practical training in geological mapping in Crimea, arranged by the (Leningrad) Saint Petersburg State University"], pp. 150–152 (in Russian).
13. Ivanova, V. V. (2012). Osobennosti gidrografii reki Kuban i stepen eyo zagryazneniya [Kuban River hydrography peculiarities and degree of its pollution]. *The North Caucasus Ecological Herald*, vol. 8, No. 1, pp. 80–84 (in Russian).
14. Ivanyutin, N. M. and Podovalova, S. V. (2018). Izucheniye transformatsii kachestva vod reki Alma pod vliyaniem antropogennoy deyatelnosti [Studying Alma River water quality transformation under the influence of anthropogenic activity]. *Water and Ecology*, No. 4 (76), pp. 9–19. doi: 0.23968/2305-3488.2018.23.4.9-19 (in Russian).
15. Lopareva, T. Ya. and Sharipova, O. A. (2013). Otsenka kachestva vody ozera Balkhash soglasno kompleksnym indeksam zagryazneniya [Estimation of the Balkhash Lake water quality by complex indexes of pollution]. *Hydrometeorology and Ecology*, No. 1 (68), pp. 145–149 (in Russian).
16. Klepov, V. I. and Ragulina, I. V. (2017). Otsenka kachestva vodnykh resursov v verkhney chasti basseyna reki Moskvy [Qualitative assessment of water resources in the upper part of the Moscow River basin]. *Environmental Engineering*, No. 3, pp. 14–21 (in Russian).
17. Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2016). *Prikaz No. 552 ot 13.12.2016 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh obyektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predelno dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh obyektov rybokhozyaystvennogo znacheniya [Order No. 552 dd. 13.12.2016 "Concerning approval of water quality standards for fishery water bodies, including maximum allowable concentrations of hazardous substances in waters of fishery water bodies"]*. Moscow: Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 153 p. (in Russian).
18. Timchenko, Z. V. (2002). *Vodnyye resursy i ekologicheskoye sostoyaniye malykh rek Kryma [Water resources and ecological state of minor rivers in Crimea]*. Simferopol: Dolya, 152 p. (in Russian).
19. Shabanov, V. V. and Markin, V. N. (2014). *Metodika ekologo-vodokhozyaystvennoy otsenki vodnykh obyektov [Method of ecological and water economic assessment of water bodies]*. Monograph. Moscow: Russian State Agrarian University — Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 166 p. (in Russian).
20. Shaikhutdinova, A. A., Trubnikova, A. S. and Kadyrgulova, A. F. (2017). Biotestirovaniye prirodnoy vody r. Belaya po prorostrkam rasteniy-indikatorov [Biotesting of natural water in the river Belaya by means of plant sprout indicators]. *IZVESTIA Orenburg State Agrarian University*, No. 6 (68), pp. 204–207 (in Russian).
21. Peltier, W. H. (1986). *Impact of an industrial effluent on aquatic organisms: EPA region IV case history*. Environmental Hazard Assessment of Effluents. Proceedings of the Pellston Environmental Workshop. Cody, Wyoming, pp. 216–227. United States Environmental Protection Agency (EPA) (2002). *Methods for measuring the acute toxicity of effluents and receiving waters to freshwater and marine organisms*. Fifth Edition. U. S. Environmental Protection Agency. Office of Water (4303T). Washington. DC20460. 266 p.

Авторы

Иванютин Николай Михайлович

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

E-mail: redkolya@mail.ru

ORCID 0000-0001-8009-3857

Подвалова Светлана Владимировна

ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма»

E-mail: podovalovas@list.ru

ORCID 0000-0002-2823-797X

Authors

Ivanyutin Nikolay Mihaylovich

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail: redkolya@mail.ru

ORCID 0000-0001-8009-3857

Podovalova Svetlana Vladimirovna

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail: redkolya@mail.ru

ORCID 0000-0002-2823-797X