

ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСФОРМАЦИИ КАЧЕСТВА ВОД РЕКИ АЛЬМА ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Иванютин Н. М., Подовалова С. В.

STUDYING ALMA RIVER WATER QUALITY TRANSFORMATION UNDER THE INFLUENCE OF ANTHROPOGENIC ACTIVITY

Ivanyutin N. M., Podovalova S. V.

Аннотация

Главная цель работы — изучение влияния антропогенной деятельности на экологическое состояние и качественные характеристики вод реки Альма, с использованием нескольких методов (оценки качества вод по результатам химического анализа, расчет интегрального показателя качества воды — индекса загрязнения воды (ИЗВ), а также с помощью метода фитотестирования). В результате исследований были определены характерные для водотока загрязняющие вещества, зафиксированные по всей его длине: это фосфаты (превышение в 7–11,45 раз), сульфаты (превышение в 1,4–3,2 раза), БПК₅ (превышение в 1,6 раз), соли жесткости (превышение в 2,15 раз), а также ряд тяжелых металлов — свинец, кадмий, медь, присутствие которых в водных объектах оказывают прямое или косвенное токсическое воздействие сначала на водную флору и фауну, а через них и на организм человека. Фитотестирование также выявило негативные тенденции ухудшения качества вод реки и присутствие в ее водах токсических веществ. Все тест-культуры хорошо проявили себя в опытах (показали хорошие тест-отклики на присутствие в воде поллютантов) и могут быть рекомендованы для использования в качестве тест-объектов при проведении комплексных геоэкологических исследований. Сочетание применяемых в данной работе методов исследований может быть использовано при проведении комплексной экологической оценки и определении степени загрязнения поверхностных водоемов. Полученная в ходе исследования информация о современном экологическом состоянии водотока и ее сравнение с ретроспективными данными поможет в решении проблем загрязнения реки и разработке необходимых средозащитных мероприятий, направленных на охрану водных ресурсов от загрязнения и истощения.

Ключевые слова: р. Альма, р. Бодрак, экологическое состояние, биотестирование, токсичность, мониторинг, тест-культура.

Введение

Возрастающее загрязнение водных объектов Республики Крым при росте антропогенной нагрузки в последние годы достигло критических уровней, а на многих реках превысило их. В связи с этим под угрозой находится сохранение ос-

Abstract

The purpose of the research is to study the influence of anthropogenic activity on the ecological state and qualitative characteristics of Alma River waters. Several methods were used to achieve that purpose: water quality assessment according to results of a chemical analysis, calculation of an integral water quality index — water pollution index (WPI), and bio-assay techniques. As a result of studies, pollutants characterizing the watercourse, which were identified throughout its full length, were revealed. Those are phosphates (exceeded by a factor of 7–11.45), sulfates (exceeded by a factor of 1.4–3.2), biological oxygen demand BOD₅ (exceeded by a factor of 1.6), water hardness salts (exceeded by a factor of 2.15) as well as such heavy metals as lead, cadmium and copper having direct or indirect toxic effect on water flora and fauna, and through those on a human body as well, when being present in water bodies. Bio-assay techniques revealed negative trends in water quality deterioration and presence of toxic substances in river waters. All test cultures showed good results in the tests (showed good test responses to presence of pollutants in water) and can be recommended for use as test objects in comprehensive geo-environmental studies. The combination of the methods applied in this research can be used when carrying out an integrated environmental assessment and determining the pollution degree of surface water bodies. The information on the current ecological state of the watercourse obtained during the research and its comparison with the historical data will facilitate the solution of problems related to river pollution and development of environmental measures to protect water resources against pollution and depletion.

Keywords: Alma River, Bodrak River, ecological state, bio-assay, toxicity, monitoring, test culture.

новных функций чистой пресной воды: среды обитания гидробионтов и жизненно необходимого экологического фактора существования человека. В настоящее время оценка, прогнозирование и разработка мероприятий по улучшению

качества водной среды становится все более актуальной.

Наиболее интенсивному антропогенному воздействию подвергаются реки, расположенные или протекающие через населенные пункты. Охрана водных объектов — необходимое условие накопления качественной воды, так необходимой полуострову, однако ежегодно источников поступления загрязнителей в них становится все больше. Основными источниками, которые загрязняют природные воды, являются: очищенные сточные воды жилищно-коммунального хозяйства, промышленности и других сфер экономики; поверхностный смыв с городских и сельских территорий; стихийные свалки бытового мусора; не канализованная застройка частными домовладениями, автозаправками, гостиницами и другими объектами, находящимися в водоохраных зонах водных объектов, а также отсутствие канализации в селах, расположенных в долинах рек.

Важной задачей, направленной на охрану поверхностных вод, является обнаружение очагов загрязнения и оценка их влияния на качественные показатели вод реки. В современных условиях использовать только один подход для оценки степени загрязнения не позволит определить весь спектр влияния все возрастающего количества загрязнителей, содержащихся в воде водотоков, поэтому существует необходимость в исследованиях, совмещающих несколько методов. На примере реки Альма, являющейся одной из основных рек полуострова, воды которой используются для нужд разных сфер народного хозяйства, с точки зрения современного состояния и сохранения тенденций к ухудшению качества воды в ней, были проведены комплексные экологические исследования, включающие: полевые, химико-аналитические, лабораторные (фитотестирование), математические (расчет индекса загрязнения воды) работы, которые направлены на получение комплексной и объективной информации о современном экологическом состоянии бассейна реки и масштабов воздействия антропогенной деятельности.

В качестве объекта исследований авторами была выбрана четвертая по протяженности река Крымского полуострова — Альма (в переводе с крымскотатарского Алма — яблоко), относящаяся к группе рек северо-западного склона,

формирование которой осуществляется на территории Крымского природного заповедника, в Центральной котловине Крымских гор от слияния рек Сары-Су (желтая вода) и Бабуганки (берет начало на склонах Бабуган-яйлы). Ее длина составляет 87,8 км, площадь водосборного бассейна — 635 км². У села Почтовое река Альма пополняется водами самого крупного притока — реки Бодрак (длина около 17 км, площадь водосбора — 74,4 км²). Среднегодовой расход Альмы 1,25 м³/с. Для аккумуляции стока в русле реки были построены два водохранилища: Альминское, сооруженное в 1926 г. для орошения (объем 6,2 млн м³) и Партизанское, построенное в 1966 г. для водоснабжения (объем 34 млн м³). Река впадает в Черное море, около села Песчаное.

Воды реки Альма, как и главной водной артерии полуострова — реки Салгир, имеют большое хозяйственно-питьевое и сельскохозяйственное значение. Использование водных ресурсов в бассейне реки представлено в табл. 1.

Анализируя табл. 1 можно констатировать, что водозабор к 2013 году снизился с 32,87 млн м³/год (2010 г.) до 26,78 и начал возрастать с 2015 г., превысив установленный лимит забора (27,38 млн м³) на 3,5 %. Основным потребителем водных ресурсов является коммунальное хозяйство, на втором месте идет промышленность, на третьем — орошаемое земледелие. Объемы забора пресной воды в последние годы возросли ввиду перехода на возможность использования только местных водных ресурсов после перекрытия Северо-Крымского канала. Данная тенденция отмечается с 2014 года по всем водотокам полуострова. Также из таблицы видно, насколько большие потери происходят при использовании водных ресурсов. В среднем они составляют 52,4 %; только в 2015 году составили 10 %. Это связано с тем, что по действующему законодательству потери начали относить к категории «производственные нужды», что наглядно видно из таблицы (доля производственных нужд увеличилась на 10 млн м³/год).

Из-за возрастающего негативного воздействия на водные объекты Крыма актуальным становится вопрос оценки их экологического состояния, так как уже сейчас список загрязнителей состоит более чем из 10 миллионов соединений

Забор и использование водных ресурсов из бассейна реки Альма, млн м³/год

| Год | Забрано | Использовано | | | | Сброс стоков | Потери, % | |
|------|---------|--------------|-----------------------|------------------|----------|--------------|-----------|--------|
| | | всего | в том числе на нужды | | | | | |
| | | | хозяйственно-питьевые | производственные | орошение | | | другие |
| 2007 | 29,69 | 12,259 | 9,13 | 2,219 | 0,676 | 0,234 | 1,553 | 58,7 |
| 2008 | 29,75 | 13,150 | 9,40 | 2,630 | 0,874 | 0,246 | 1,421 | 55,8 |
| 2009 | 32,53 | 14,604 | 10,88 | 2,587 | 1,022 | 0,115 | 1,445 | 55,1 |
| 2010 | 32,87 | 16,070 | 12,20 | 2,746 | 0,981 | 0,143 | 1,449 | 56,4 |
| 2011 | 30,77 | 15,280 | 11,27 | 2,786 | 1,129 | 0,095 | 1,390 | 50,3 |
| 2012 | 29,80 | 14,130 | 10,44 | 2,497 | 1,180 | 0,013 | 1,187 | 52,6 |
| 2013 | 26,78 | 16,660 | 13,53 | 2,002 | 1,121 | 0,007 | 0,910 | 37,8 |
| 2015 | 28,36 | 25,530 | 11,75 | 12,16 | 0,400 | 1,22 | 0,980 | 10,0 |

(этот список ежегодно увеличивается), а некоторые нетоксичные элементы при их комбинированном действии способны оказывать токсическое влияние на экосистему водоемов, а также на выращиваемые сельскохозяйственные культуры, при использовании данных вод для орошения и далее по пищевой цепочке через сельхозпродукты воздействовать на человека.

Для решения вопроса безопасного функционирования водных экосистем необходимо проводить регулярную оценку загрязнения речной воды и степени техногенного воздействия на водные экосистемы. Провести ее только на основе результатов химического анализа затруднительно, так как он не позволяет определить токсичность воды, а лишь показывает концентрации отдельных компонентов, которые сравниваются с ПДК. Поэтому в систему государственного экологического мониторинга необходимо, наряду с классическими методами, применять методы био- или фитотестирования, который позволяет получать интегральную экотоксикологическую оценку вод в зонах с различным влиянием антропогенной деятельности (объекты ЖКХ, промышленности и т. д.).

В 90-х годах прошлого столетия Ермаковой Н. Ю. [1, 2, 3] в Крыму Краснопереконском промышленном районе был успешно апробирован метод фитотестирования для оценки токсичности подземных и поверхностных вод, почв (водные вытяжки), атмосферных осадков (снег, дождь). В США и большинстве стран Европы, наряду с традиционными методами анализа, широко используется биотестирование вод поверхностных водоёмов и подземных горизонтов [4,

5]. Авторами работы данный метод апробирован в 2017 году на нескольких водотоках Крыма. Результаты этих исследований приведены в работах [6, 7, 8].

Методы и материалы

Исследования проводились в Республике Крым на территории бассейна реки Альма. Объектами исследований служили поверхностные воды бассейна реки Альма. Главной целью работы было изучение влияния антропогенной деятельности на экологическое состояние и качественные характеристики вод данной реки с использованием нескольких методов. Для достижения поставленной цели были проведены следующие исследования:

- натурные обследования водотока и водоохранной зоны с выбором створов по длине реки, включающих условно чистый участок (исток) и створы после ее протекания через неканализованные села, расположенные по всей длине реки;
- отбор проб воды в створах и определение их химического состава, включающего основные анионы и катионы, а также тяжелые металлы — Cu, Zn, Pb, Cd в лаборатории агрохимических исследований ФГБУН «НИИСХ Крыма». Выбранные для определения тяжелые металлы являются наиболее приоритетными для химико-токсикологического анализа, так как они обладают высокой токсичностью, миграционной способностью и эффективностью накопления в живых организмах. Так, Zn, Pb и Cd по степени токсичности относятся к 1-му классу, а медь ко 2-му классу опасности;
- расчет индекса загрязнения вод (ИЗВ), используемого в качестве критерия загрязненности

вод с присвоением класса качества воды по величине индекса;

- оценка токсичности вод по результатам проводимого в лабораторных условиях контактного фитотестирования на семенах различных сельскохозяйственных тест-культур, проращиваемых в исследуемых пробах речной воды в течение 72 часов. Использование данного метода способно не только дать информацию о присутствии загрязняющих веществ, но и отразить последствия загрязнения водной среды;

- заключение об экологическом состоянии водных объектов бассейна реки на основании обобщения полученных результатов и представление их в виде картосхемы.

Контроль за состоянием качества поверхностных вод в первую очередь важен для предотвращения развития необратимых изменений в водотоках путем своевременной разработки и принятия эффективных мер и управленческих решений, направленных на улучшение экологического состояния водной экосистемы. Эти решения должны основываться на научно обоснованной оценке состояния и основных тенденциях изменения качества водных ресурсов.

Оценку качества воды проводили с использованием «нормативов качества воды для объектов рыбохозяйственного значения» [9], и СанПиН 2.1.4.1175–02 (жесткость, pH) [10].

Опыты с использованием метода фитотестирования проводились согласно СанПиН 2.1.7.573–96 [11, приложение 10]. Выбор тест-культур осуществлялся в соответствии с ГОСТ 32627–2014 [12, приложение В], согласно которому фитотестирование необходимо 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, которым был выбран *Lepidium sativum* (кресс-салат). Дополнительной тест-культурой стали семена двудольного растения *Linum usitatissimum* (лен посевной). Степень токсичности устанавливалась на основании определения тест-параметра — средней длины проросших корней в каждой исследуемой пробе воды по сравнению с контрольной пробой, в качестве которой была выбрана условно чистая точка в верхнем течении реки.

Точки отбора проб воды. Выбор количества и местоположения точек наблюдений производили на основе РД 52.24.309–2016 [13]. По результатам полевых работ было организовано 18 наблюдательных створов: река Альма — 11 створов, река Бодрак — 3 створа, Партизанское водохранилище — 1 створ, Альминское водохранилище — 1 створ, Альминский канал — 1 створ, КОС с. Приятное Свидание — 1 створ.

Подготовка проб воды. Отобранные пробы воды были разделены на две части: одну часть использовали для фитотестирования, вторую — для выполнения химического анализа. В пробах воды определялись следующие компоненты: сухой остаток, pH, жесткость, O_2 , БПК₅, анионы: HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} , PO_4^- , NO_3^- , катионы: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , тяжелые металлы: Cd, Pb, Cu, Zn. Концентрацию растворенного кислорода, определяли в полевых условиях с помощью оксиметра

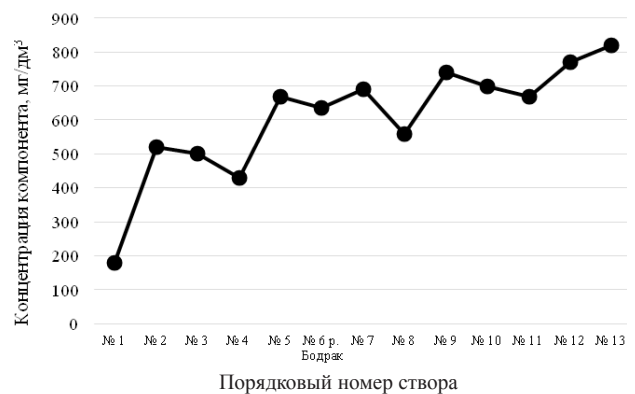


Рис. 1. Концентрации сухого остатка в водах реки Альма, мг/дм³

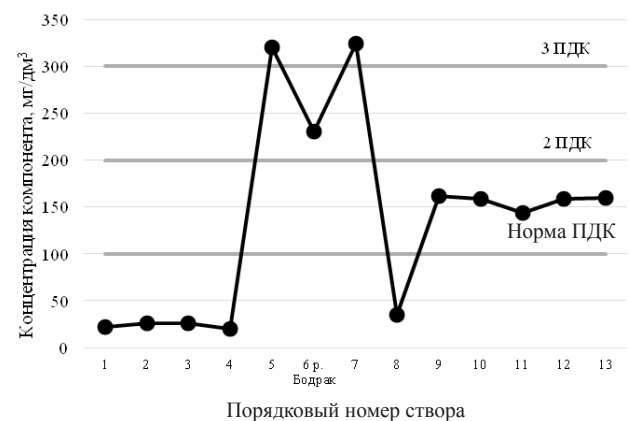


Рис. 2. Концентрация сульфатов в водах реки Альма, мг/дм³

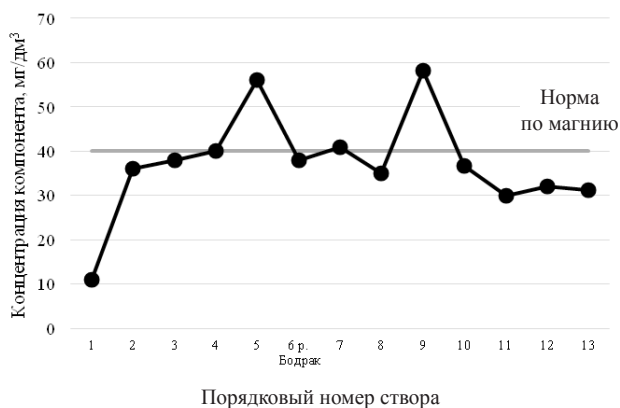


Рис. 3. Концентрация магния в водах реки Альма, мг/дм³

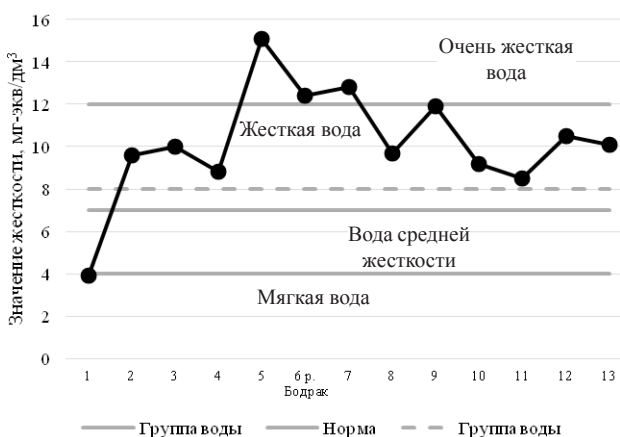


Рис. 4. Динамика показателя жесткости вод реки Альма, мг-экв/дм³

«АКТАКОМ» АГТ-3010, тяжелые металлы на приборе «АКВИЛОН» АКВ-07 МК.

Результаты исследования и обсуждение

На основании полученных данных химического состава вод были построены графики, приведенные на рис. 1–4, отражающие динамику содержания сухого остатка, а также компонентов, значения которых превышают ПДК.

Анализируя рис. 1–4, можно констатировать, что качество вод реки Альма от истока до устья подвергается изменению, что в первую очередь связано с увеличением антропогенной нагрузки (протекание через 20 сел, большая часть из которых не канализованы, сброс недостаточно очищенных сточных вод, наличие стихийных свалок бытового мусора, сельскохозяйственная деятельность в долине реки (сады вплотную подходят к руслу реки) и т. п.). Так, значение сухо-

го остатка по течению водотока увеличивается в 4,5 раза с 180 створ № 1 до 820 мг/дм³ в устье (створ № 13). Также в воде были зафиксированы повышенные концентрации ионов магния и кальция, которые превышают допустимые значения, поэтому расчетная величина жесткости вод реки Альма (норма 7 мг-экв./дм³) также превышала нормативные показатели, во всех створах кроме точки № 1, достигая в створе № 5 — 2,15 ПДК. Согласно классификации по данному показателю воды реки в большей части створов относятся к жестким, а в створах 5 и 7 к очень жестким. Высокие показатели жесткости негативно влияют как на человека, при употреблении этих вод для питьевых нужд так и на растения и почву при использовании ее для орошения.

Резкие скачки увеличения солесодержания, концентраций сульфатов и магния происходят в точках № 2, 5 и 9 после прохождения реки Альма через села Малиновка, Почтовое и Зубакино. Так, в с. Малиновка в долине реки расположен крупный тепличный комплекс, а также сельскохозяйственные угодья, вплотную подходящие к водотоку. С данных объектов возможен смыв загрязненных различными веществами (пестициды, фосфаты и т. д.) вод в русло реки.

Помимо высокого содержания сульфатов и магния, вызывает опасения значительные превышения допустимых нормативов фосфатов и БПК₅ практически во всех изученных створах. Так, концентрации фосфатов в водах реки Альма находились в пределах от 7 ПДК створ № 7, до 11,45 ПДК в створе № 2. В водах р. Бодрак (створ № 6) значения данного компонента достигало 4 ПДК. Наибольшее значение концентрации фосфатов в размере 13,3 ПДК было зафиксировано в стоках, сбрасываемых с очистных сооружений с. Скалистое (створ № 16).

Анализируя изменения химического состава вод главного притока Альмы реки Бодрак, можно также отметить значительное ухудшение ее качества по мере продвижения к нижним участкам реки. Так, величина сухого остатка возросла почти в 3 раза с 222 (створ № 17 «верховье») до 636 мг/дм³ (створ № 6 «устье»). Также в воде были зафиксированы повышенные концентрации ионов кальция и магния, которые превышают значения ПДК, что отразилось на величине жесткости речной воды. Вызывает опасение

высокое содержание сульфатов в низовье реки, которое достигает 2,3 ПДК. Увеличение содержания данного компонента зафиксировано после прохождения реки через с. Скалистое, с очистных сооружений которого в реку сбрасываются недостаточно очищенные стоки.

Присутствие сульфатов в воде водных объектов может быть вызвано природными причинами (химическим составом почвы) и антропогенными (загрязнение сточными водами). В данном случае отсутствие повышенных значений сульфатов у истоков реки «фоновый створ» и их возрастание по мере продвижения к нижним участкам водотока указывает на их антропогенное происхождение.

Значения БПК₅ практически на всех створах незначительно превышали допустимые нормы. Максимальные концентрации в размере 1,6 ПДК, как и в случае с фосфатами, были зафиксированы в стоках с. Скалистое.

Особое внимание было уделено определению концентраций тяжелых металлов: свинца, кадмия, меди, цинка, выбор которых основывался на степени их токсичности. Рассмотрим динамику концентрации тяжелых металлов по длине реки. Так, в верховье реки (створы № 1, 2) было зафиксировано аномально высокое содержание свинца, превышающее нормативы в 21 и 5,8 раз соответственно, концентрация данного элемента снизилась до 7,8 ПДК в створе № 9 (среднее течение), и ближе к устью (створ № 12) до 1,42 ПДК. Также в верховье реки (створ № 2) было зафиксировано превышение содержания кадмия в 5,6 раз, а в низовье (створ № 13, «устье») меди в 2,4 раза. Концентрации цинка в водной среде не превышали нормативов.

Содержание меди, кадмия и цинка в водах реки Бодрак и их сравнение с ПДК показало, что прямой угрозы экосистеме они не несут, так как концентрация кадмия в верховье реки составляла 0,4 ПДК. Цинк в отобранных пробах не был обнаружен. Однако в верховье реки также было обнаружено аномальное содержание свинца, превышающее значения ПДК в 12 раз.

Аномально высокие концентрации свинца и кадмия в верховье реки вероятнее всего можно связать с переносом данных элементов с загрязненными выбросами от автомобильного транспорта воздушными массами и выпадение их с

осадками в экологически чистых горных районах, в которых находится область формирования реки.

Присутствие тяжелых металлов в водных объектах вызывает целый ряд негативных последствий: попадая в пищевые цепи они нарушают элементный состав биологических тканей и тем самым оказывают прямое или косвенное токсическое воздействие сначала на водную флору и фауну, а через них и на организм человека.

Проведенная оценка химического состава проб воды, показала превышение таких компонентов, как сульфаты, магний и кальций, а также тяжелых металлов: свинца, кадмия и меди. Однако по данному анализу невозможно судить о влиянии этих веществ и их соединений, содержащихся в воде, на живые организмы, потому что даже нетоксичные вещества при совместном воздействии могут оказывать сильный токсический эффект. Поэтому на следующем этапе работ было проведено фитотестирование на семенах кресс-салата, пшеницы и льна. После 72 часов проращивания были измерены длины корней проростков, так как именно изменения (стимулирование или ингибирование) в развитии корневой системы тест-растений в сравнении с контролем являются основной тест-реакцией растения на присутствие в воде поллютантов. Снижение или увеличение роста длины корней проростков семян по сравнению с контролем, которым был выбран условно чистый створ в истоке реки, принятым за 100 %, являлось критерием токсичности проб воды. Результаты фитотестирования представлены на рис. 5 и 6.

При анализе рис. 5 видно, что использованные для биотестирования тест-культуры одинаково отреагировали на исследуемую воду (графики изменения токсичности повторяют друг друга), что свидетельствует об их высокой надежности в качестве тест-культур и дает возможность рекомендовать их в качестве тест-объектов при проведении комплексных мониторинговых исследований.

Наиболее отзывчивыми к наличию токсических веществ в воде при проведении фитотеста оказались семена льна и кресс-салата. Увеличение токсичности воды (ингибирование роста тест-культур) как и с химическим загрязнением фиксируются после прохождения водотока через

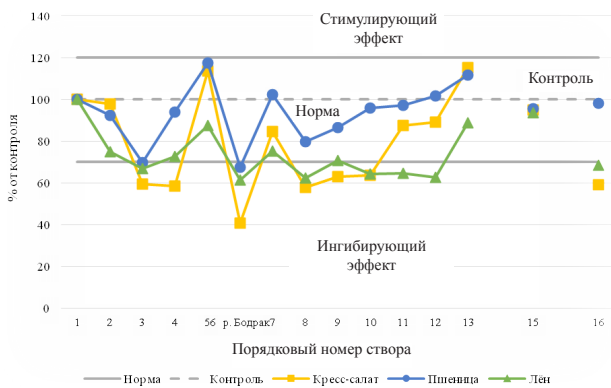


Рис. 5. Результаты фитотестирования вод реки Альма

с. Малиновка, а также на участке реки между селами Заветное и Плодовое. На развитие проростков исследуемые воды оказали значительный токсический эффект, находящийся ниже 70 %, что еще раз доказывает о плохом экологическом состоянии водотока. Воды Альминского водохранилища (створ № 15) не оказали на тест-культуры негативного влияния, что свидетельствует об их хорошем качестве (показатели химического состава воды находятся в пределах нормативных значений), а вот воды, сбрасываемые с КОС с. Приятное Свидание (створ № 16) оказали ингибирующий эффект на тест-растения, что подтверждает их недостаточную очистку.

Результаты фитотестирования вод р. Бодрак, представленные на рис. 6, показали, что, резкий скачок увеличения токсичности вод произошел после прохождения реки через с. Скалистое, оказав на развитие корневой системы тест-растений сильный ингибирующий эффект (развитие кор-

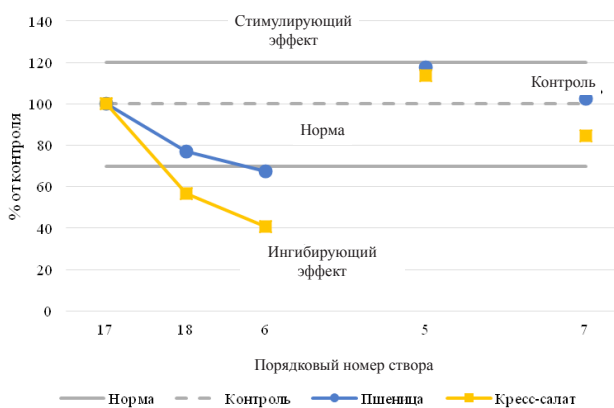


Рис. 6. Результаты фитотестирования вод реки Бодрак и Альма

невой системы снизилось до 40 %). На развитие семян пшеницы воды реки оказали меньший ингибирующий эффект, что может быть связано с избирательной чувствительностью тест-культур к различным поллютантам. Максимальный токсический эффект был установлен в низовье реки, что является следствием наличия в речной воде этого створа высоких концентраций фосфатов, сульфатов, кальция, БПК₅, а также высокими значениями рН и жесткости. Еще одно свидетельство плохого экологического состояния р. Бодрак это то, что качество вод р. Альма после впадения в нее р. Бодрак заметно ухудшилось, что наглядно видно из результатов фитотеста.

Следующим этапом исследований был расчет ИЗВ. Данные, полученные в результате изучения химического состава проб воды, были использованы для расчета ИЗВ, который позволил более комплексно отразить тенденцию изменения качества воды по всей длине реки. Расчеты проводились согласно «Методике эколого-водохозяйственной оценки водных объектов» [15], которые позже были заменены на расчёты по методу комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям [16]. В новом документе предлагается рассчитывать не ИЗВ, который вычисляется по 6 показателям, а УКИЗВ (удельный комбинаторный индекс загрязнения вод), расчет которого требует расширенного списка определяемых химических компонентов, включающих 15 обязательных и ряд специфических загрязняющих веществ. Ввиду сложности и дороговизны определения такого количества компонентов по настоящее время многие авторы при проведении исследований по оценке качества поверхностных вод используют ИЗВ [17–21].

Классы воды по ИЗВ варьируются от I (очень чистая) до VII (чрезвычайно грязная) вода, где большему значению индекса соответствует худшее качество воды и степень загрязнения водного объекта.

Согласно «Методике...» [15] были проведены расчеты ИЗВ рек Альма и Бодрак по гидрохимическим показателям, полученным при проведении исследований. Приведенная на рис. 7 картосхема, позволяет провести пространственное ранжирование реки и отражает негативные изменения, происходящие в водотоке.

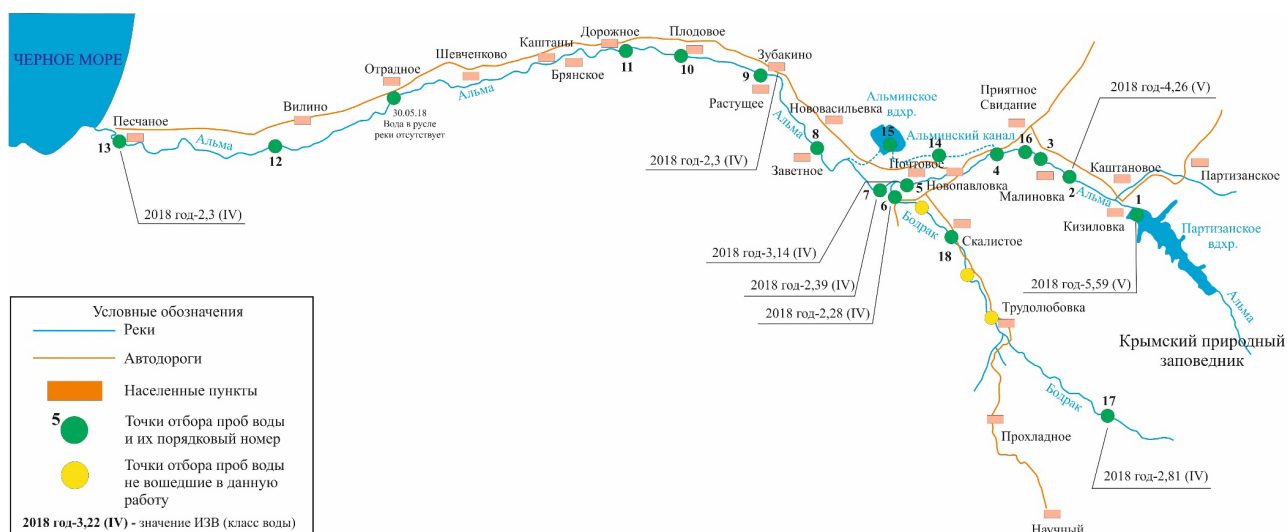


Рис. 7. Карта-схема качества вод водных объектов бассейна реки Альма по ИЗВ

При анализе рис. 7 видно, что высокие значения ИЗВ (IV и V класс) были зафиксированы в верховьях рек Альма и Бодрак, что свидетельствует о напряженной экологической обстановке, сложившейся в областях формирования данных водотоков. В 90-х годах прошлого столетия при составлении «паспорта реки» значение показателя ИЗВ данных водотоков составляло 1,19 (III класс), а в 2018 ухудшилось до 5,59 (V класс «грязная») в верховье реки и 2,3 (IV класс «загрязненная») в районе устья. Высокие значения ИЗВ фиксируются в районе с. Малиновка, вода в данном створе относится к V классу, что дает возможность отнести данный населенный пункт к мощному источнику загрязнения водотока. Это может быть связано с отсутствием в селе централизованного водоотведения, а также с тем, что в долине реки расположен крупный тепличный комплекс, а также сельскохозяйственные угодья, вплотную подходящие к водотоку. Ниже по течению реки значение ИЗВ немного уменьшается (как и фитотоксичность воды) до IV класса, что является следствием сохранившейся способности экосистемы реки к самоочищению.

Заключение

В результате проведенных комплексных геоэкологических исследований реки Альма можно сделать следующие выводы:

Река Альма практически на всем своем протяжении протекает через неканализованные села и сельскохозяйственные (сады и виноградники)

территории, с которых принимает значительный объем загрязненных хозяйственно-бытовых вод с частных домовладений и сельскохозяйственных полей, а также стоки с двух очистных сооружений, расположенных в селах Приятное Свидание и Скалистое.

В процессе исследований были определены характерные для водотока загрязняющие вещества, зафиксированные по всей его длине, это фосфаты (превышение в 7–11,45 раз), сульфаты (превышение в 1,4–3,2 раза), БПК₅ (превышение в 1,6 раз), соли жесткости (превышение в 2,15 раз). В верховье реки (створы № 1 и 2) было зафиксировано аномально высокое содержание свинца, превышающее нормативы в 21 и 5,8 раз соответственно, а в створе № 9 (среднее течение) концентрация данного элемента снизилась до 7,8 ПДК. Также в верховье реки (створ № 2) было зафиксировано превышение содержания кадмия в 5,6 раз, а в низовье (створ № 13, «устье») меди в 2,4 раза. Концентрации цинка в водной среде не превышали нормативов.

Анализируя изменения химического состава вод главного притока Альмы — реки Бодрак — можно отметить значительное ухудшение ее качества по мере продвижения к нижним участкам реки. Так, величина сухого остатка возросла почти в 3 раза с 222 (створ № 17 «верховье») до 636 мг/дм³ (створ № 6 «устье»). Также в воде были зафиксированы повышенные концентрации ионов кальция и магния, которые превы-

шают значения ПДК. Содержание меди, кадмия и цинка в водах реки Бодрак и их сравнение с ПДК показало, что прямой угрозы экосистеме они не несут, так как концентрация кадмия в верховье реки составляла 0,4 ПДК. Цинк в отобранных пробах не был обнаружен. Однако, как и в случае с р. Альма, в верховье реки было обнаружено аномальное содержание свинца, превышающее значения ПДК в 12 раз.

Фитотестирование позволило выявить негативные тенденции ухудшения качества вод реки и присутствие в ее водах токсических веществ. Все тест-культуры хорошо проявили себя в опытах (показали хорошие тест-отклики на присутствие в воде поллютантов) и могут быть рекомендованы для использования в качестве тест-объектов при проведении комплексных геоэкологических исследований. Наиболее отзывчивыми к наличию токсических веществ в воде при проведении фитотеста оказались семена льна. Увеличение токсичности воды (ингибирование роста тест-культур) как и с химическим загрязнением фиксируются после прохождения водотока через с. Малиновка, а также на участке реки между селами Заветное и Плодовое. На развитие проростков исследуемые воды оказали значительный токсический эффект, находящийся ниже 70 %, что еще раз подтверждает плохое экологическое состояние водотока.

В настоящее время Государственный мониторинг за экологическим состоянием реки Альма проводит Министерство экологии и природных ресурсов (5 створов) и «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» (2 створа). На наш взгляд такое количество створов недостаточно для того, чтобы иметь представление о современном экологическом состоянии водотока, выявлять источники его загрязнения и возможность своевременно принимать управленческие решения по сохранению экосистемы реки.

Высокие значения ИЗВ (IV и V класс) были зафиксированы в верховьях рек Альма и Бодрак, что свидетельствует о напряженной экологической обстановке, сложившейся в областях формирования данных водотоков. Высокие показатели ИЗВ фиксируется в районе с. Малиновка, вода в данном створе относится к V классу, что дает

возможность отнести данный населенный пункт к мощному источнику загрязнения водотока.

Гидрохимический анализ, фитотестирование и расчет класса чистоты — ИЗВ — подтвердили негативные изменения, происходящие в водотоке.

Для получения более полной картины состояния водотока при проведении дальнейших исследований будет расширен список определяемых химических веществ, так как их повышенные концентрации способны оказывать негативное воздействие на окружающую среду. Наличие тяжелых металлов будет определяться в каждом створе реки.

Благодарности

Исследования проводились при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 18-35-00077 мол_а.

Литература

1. Ермакова, Н. Ю. (1993). Биологическое тестирование состояния геологической среды в сфере влияния крупных промышленных предприятий Крыма. Экологическая гидрогеология стран Балтийского моря. Тезисы докладов Международного семинара. СПб: СПбГУ, с. 139.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Иванютин, Н. М. и Подовалова, С. В. (2017). Использование растительных тест-систем в мониторинге экологического состояния водных объектов реки Салгир. Экология и строительство, № 3, сс. 17–23.
7. Подовалова, С. В. и Иванютин, Н. М. (2017). Оценка качества вод реки Салгир с использованием метода биотестирования. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, № 3(27), сс. 127–143.

8. Иванютин, Н. М. и Подовалова, С. В. (2018). Результаты комплексного экологического мониторинга реки Славянка. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, № 1 (69), сс. 34–42.

9. 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.

10. 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.

11. 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.

12. 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.

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

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

15. 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.

16. Гидрохимический институт (2002). РД 52.24.643–2002. Методические указания. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеиздат, 50 с.

17. 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.

18. 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. Международный научный центр, сс. 28–30.

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

20. Смирнов, Ю. Д. и Сучкова, М. В. (2017). Комплексная оценка экологического состояния вод Мурынского ручья в г. Санкт-Петербурге. Вода и экология: проблемы и решения, № 3 (71), сс. 35–48.

21. Двуреченская, С. Я. и Булычева, Т. М. (2017). Определение качества воды водохранилища по интегральным

показателям в периоды разной водности. Вода и экология: проблемы и решения, № 1(69), сс. 44–53.

References

1. 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]. *Ekologicheskaya gidrogeologiya stran Baltiyskogo morya. Tezisy dokladov mezhdunarodnogo seminarina [Ecological hydrogeology of Baltic Sea countries. Proceedings of the International Scientific Seminar]*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University, 139 p. (in Russian).

2. Ermakova, N. Yu. (2000). Rekomendatsii po primeneniyu biotestirovaniya dlya ekspressnykh 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).

3. Ermakova, N. Yu. (2017). *Vyyavleniye ochagov zagryazneniya prirodnnykh vod metodom biologicheskogo testirovaniya i aktualnost ego primeneniya v ekologicheskoy 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 geologicheskoyu 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).

4. 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.

5. 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.

6. Ivaniutin, N. M., Podovalova, S. V. (2017). Ispolzovaniye rastitelnykh test-sistem v monitoringe ekologicheskogo sostoyaniya vodnykh obyektov reki Salgir [Use of vegetative test systems in monitoring of the ecological status of water bodies of the Salgir River]. *Ekologiya i Stroitelstvo*, No. 3, pp. 17–23 (in Russian).

7. Podovalova, S. V., Ivanyutin, N. M. (2017). Otsenka kachestva vod reki Salgir s ispolzovaniyem metoda biotestirovaniya [Estimation of water quality of the Salgir River by biotesting method]. *Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems*, No. 3 (27), pp. 127–143 (in Russian).

8. Ivanyutin, N. M., Podovalova, S. V. (2018). Rezultaty kompleksnogo ekologicheskogo monitoringa reki Slavyanka [Complex environmental monitoring results of the Slavyanka River]. *Puti povysheniya effektivnosti oroshayemogo zemledeliya [Methods to improve the efficiency of irrigated agriculture]*, No. 1 (69), pp. 34–42 (in Russian).
9. 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).
10. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (2003). SanPiN 2.1.4.1175–02. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody nentsentralizovannogo vodosnabzheniya. Sanitarnaya okhrana 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).
11. 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 Rules and 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).
12. 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).
13. Hydrochemical Institute (2016). RD 52.24.309–2016. Organizatsiya i provedeniye rezhimnykh nablyudeniy za sostoyaniyem i zagryazneniyem poverkhnostnykh vod sushi [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: Hydrochemical Institute, 100 p. (in Russian).
14. 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).
15. Shabanov, V. V., 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).
16. Hydrochemical Institute (2002). RD 52.24.643–2002. Metodicheskiye ukazaniya. Metod kompleksnoy otsenki stepeni zagryaznenosti 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]. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 50 p. (in Russian).
17. Lopareva, T. Ya., 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).
18. Dan, E. L., 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).
19. Klepov, V. I., 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).
20. Smirnov, Yu. D., Suchkova, M. V. (2017). Kompleksnaya otsenka ekologicheskogo sostoyaniya vod Murinskogo ruchya v g. Sankt-Peterburge [A complex assessment of the ecological condition of waters Murinsky Creek]. *Water and Ecology: Problems and Solutions*, No. 3 (71), pp. 35–48 (in Russian).
21. Dvurechenskaya, S. Ya., Bulycheva, T. M. (2017). Opredeleniye kachestva vody vodokhranilishcha po integralnym pokazatelyam v periody raznoy vodnosti [Determination of the water quality of the reservoir by an integral indicators in different periods of water content]. *Water and Ecology: Problems and Solutions*, No. 1 (69), pp. 44–53 (in Russian).

Авторы

Иванютин Николай Михайлович

Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, г. Симферополь, Россия
E-mail:redkolya@mail.ru

Подвалова Светлана Владимировна

Научно исследовательский институт сельского хозяйства Крыма, г. Симферополь, Россия
E-mail:podovalovas@list.ru

Authors

Ivanyutin Nikolay Mihaylovich

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail:redkolya@mail.ru

Podovalova Svetlana Vladimirovna

Research Institute of Agriculture of Crimea

E-mail:podovalovas@list.ru