

УДК 574.5

К ВОПРОСУ ОБ АЛЬГОЛИЗАЦИИ ВОДОЕМОВ

© 2013 г. Е.А. Бутакова, Т.Е. Павлюк, О.С. Ушакова, А.Н. Попов,
О.В. Тютков

ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования
и охраны водных ресурсов», г. Екатеринбург

Ключевые слова: альголизация, хлорелла, «цветение» водоемов.



Е.А. Бутакова



Т.Е. Павлюк



О.С. Ушакова



А.Н. Попов



О.В. Тютков

Представлен анализ результатов и комментарии по поводу спорных и проблемных аспектов альголизации водоемов как одного из предлагаемых методов борьбы с «цветением» воды.

Введение

В настоящее время на рынке экологических услуг в Российской Федерации существует и активно рекламируется метод борьбы с «цвете-

Водное хозяйство России № 5, 2013

Водное хозяйство России

нием» водоемов синезелеными водорослями, называемый его авторами альголизацией. Суть альголизации (о теоретических основах можно прочитать, например, в [1]) заключается в особой технологии внесения в водоем некоторого количества суспензии определенного штамма хлореллы, выращенной в промышленных условиях. Основной поставщик услуги – ООО НПО «Альгобиотехнология» использует для этой процедуры выделенный и запатентованный Н.И. Богдановым штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111.

Теоретически в результате применения данного метода «цветение» водоемов синезелеными водорослями должно прекратиться. Однако, анализ некоторых результатов и фактов, связанных с обсуждаемой технологией, заставляет задуматься, прежде всего, о правильности применяемых методических приемов в процессе ее реализации и мониторинга, а также о ее реальной эффективности.

Основная часть

Анализ материалов международных конференций последних лет по гидробиологической тематике, в т. ч. и конференции «Физиология и биотехнология микроводорослей» (октябрь 2012 г., Институт физиологии растений РАН, Москва), в работе которой приняли участие многие научные и производственные организации Российской Федерации, Казахстана, Японии, Кореи и ряда стран Европы, свидетельствует о том, что несмотря на актуальность борьбы с «цветением» синезеленых водорослей на авторитетных научных форумах не было представлено ни одной подобной разработки. Учитывая это, можно было бы считать «лечение» проблемных водоемов посредством альголизации отечественным «ноу-хау», однако статус «ноу-хау» для любой технологии должен быть засвидетельствован практическими результатами. Каковы же они?

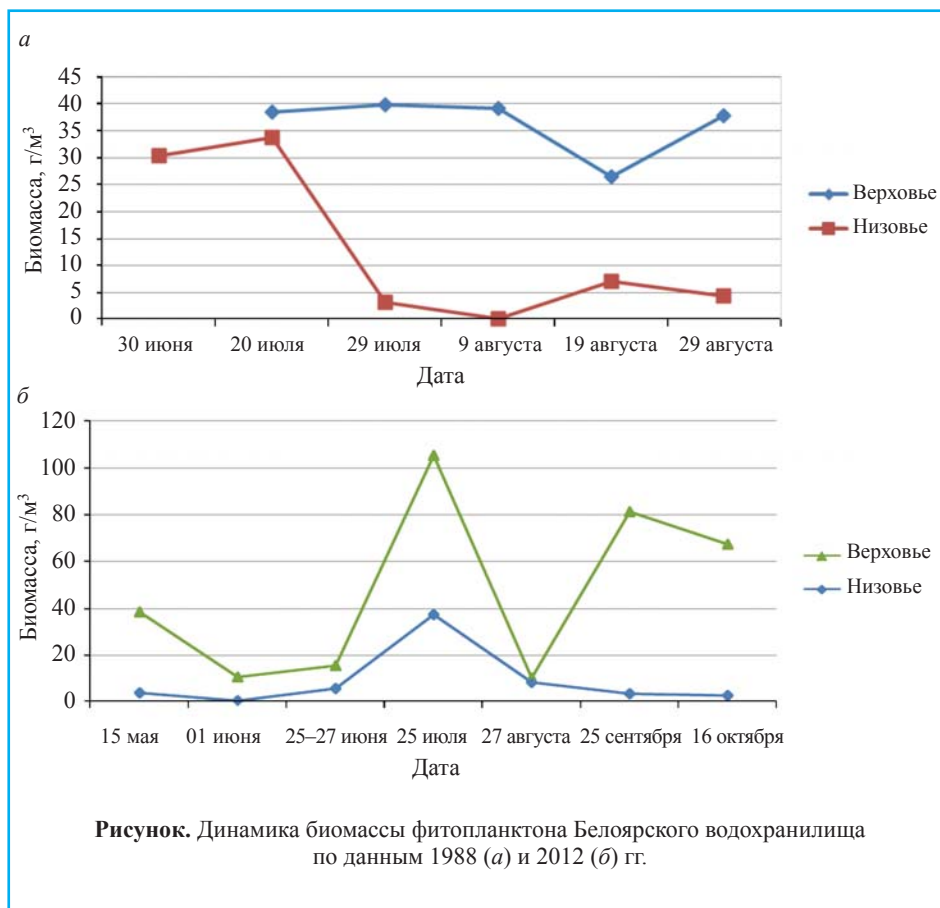
В качестве основного аргумента за проведение альголизации ее авторы приводят примеры положительного влияния метода на водоемы.

1. Основным примером является Пензенское водохранилище, которое альголизуется с 2001 г. По утверждению специалистов, проводивших его альголизацию, с момента начала процедуры по 2012 г. Пензенское водохранилище не «цвело». Однако есть сведения [2, 3], что на протяжении всего этого времени «цвело» Сурское водохранилище. Но Сурское и Пензенское – название одного и того же водоема. Более того, в 2010 г. вследствие массового развития синезеленых водорослей в Пензенском водохранилище качество питьевой воды в г. Пензе было низким, отмечался эпизод появления запаха в воде [4].

2. В Ижевском водохранилище после проведения альголизации в 2009 г. в первый год произошла перестройка альгоценоза с полидоминантного, в который входили синезеленые водоросли *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa*, *Anabaena sp.* и *Oscillatoria (Planktothrix) agardhii*, на монодоминантный с участием *Oscillatoria (Planktothrix) agardhii*. В дальнейшем это привело к резкому (пятикратному) росту численности синезеленых водорослей. Специальных исследований по данному вопросу проведено не было, поэтому причина ухудшения экологического состояния Ижевского пруда после внесения суспензии хлореллы остается неясной. Альгологи МУП «Ижводоканал», которые предоставили эти сведения, полагают, что это могло быть связано с внесением вместе с хлореллой каких-то активных факторов, повлиявших на сообщество водорослей (например, альговирусов). В ответ на рекомендацию проверить культуру хлореллы на содержание альговирусов, чтобы исключить их негативное влияние на водоросли обрабатываемых водоемов, ООО НПО «Альгобиотехнология» получило справку от специалистов кафедры микробиологии Санкт-Петербургского государственного университета о том, что вирусы хлореллы не оказывают негативного влияния на животных [5]. Что касается сообщества водорослей – вопрос так и остался открытым.

3. При обсуждении результатов проведенного в 2012 г. мониторинга подвергнувшегося «альголизации» Белоярского водохранилища, у сотрудников ФГУП РосНИИВХ, проводивших наблюдения, возникли разногласия с представителями ООО НПО «Альгобиотехнология» в трактовке полученной информации. В частности, факт более низкой, чем в верховье, биомассы фитопланктона у плотины водохранилища по представлениям специалистов «Альгобиотехнологии» является показателем положительного влияния альголизации. Однако исследования, проведенные сотрудниками ФГУП РосНИИВХ задолго до альголизации, в конце 1980-х годов, показали подобный результат: концентрация фитопланктона в верховье водохранилища была выше, чем в низовье у плотины (см. рисунок).

Аналогичные результаты наблюдений на водохранилище и в более ранние годы: содержание фитопланктона в единице объема воды и без каких-либо воздействий всегда было меньше у плотины, чем в верховье водоема. Это показывает, что для данного водного объекта, являющегося водохранилищем многолетнего регулирования (время пребывания воды до 2,5 лет), полученные в 2012 г. данные соответствуют естественно сформировавшейся закономерности развития альгоценоза на акватории. Следовательно, утверждение о том, что биомасса фитопланктона в низовьях водоема стала значительно ниже, чем в верховьях, как результат положительного влияния альголизации, в свете вышеизложенного



факта является неправомерным. Ко всему прочему, судя по абсолютным величинам биомассы водорослей в единице объема воды, интенсивность «цветения» воды в 2012 г. по сравнению с 1988 г. даже возросла. В своем «портфолио» НПО «Альгобиотехнология» приводит пример г. Приозерска Ленинградской области, где в окрестностях Севастьяновского сельского поселения проводили биологическую реабилитацию двух озер (140 га), используемых для питьевого водоснабжения. Вода по органолептическим свойствам при водорослевом «цветении» была признана непригодной для использования. Альголизацию озер начали 15 июня 2009 г. В этот период по данным Росгидромета по Ленинградской области (с июня по конец августа включительно) наблюдались обильные дождевые осадки, что привело к подъему уровня воды в оз. Ладожском (р. Севастьяновка принадлежит к его водосбору) на 25 см выше среднемноголетнего. Заявление о том, что благодаря альголизации вода стала пригодной для питья спуска

две недели с начала вселения хлореллы (15 июня 2009 г.) – неправомерно, поскольку альголизация протекала на фоне летнего дождевого паводка, что является грубой методической ошибкой проведения экспериментов по оценке влияния каких-либо факторов (в данном случае – альголизации) на изменение концентрации фитопланктона или химических компонентов в воде водного объекта. В настоящее время питьевая вода в п. Севастьяново, как и прежде, имеет очень низкое качество. В итоге принято решение по прокладке нового водовода для водоснабжения жителей поселка из другого качественного источника.

4. Эксперименты с альголизацией проводили и на других водных объектах, за развитием водорослей на которых, в соответствии с контрактом, наблюдали специалисты ФГУП РосНИИВХ (Черноисточинское, Нижне-Тагильское, Верхне-Выйское водохранилища). Однако описанные ниже методические ошибки, допускаемые авторами альголизации при постановке экспериментов, не позволяют сделать какие-либо обоснованные выводы об их результатах.

В частности, при всей достаточно большой совокупности внешних и внутренних факторов, воздействующих на процессы жизнедеятельности фитопланктона в водоеме, делать выводы о результатах воздействия какой-либо одной процедуры на альгоценоз водного объекта без сравнения с изменениями, проходящими в эти же периоды в неподверженном подобному влиянию водоеме-аналоге, неправомерно.

Более того, авторы альголизации не учитывают время пребывания воды в водохранилищах или в их отдельных секторах, скорости распространения в них воды и какой-либо растворенной или взвешенной субстанции, что является грубейшей методической ошибкой при проведении работ на зарегулированных водных объектах по оценке воздействия каких-либо факторов на состояние их биоты и химического состава воды.

Обоснование механизма воздействия альголизации на водный биоценоз ее авторы строят на основе декларируемых ими свойств штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111: после внесения в водоем этот штамм за считанные дни становится доминирующей микроводорослью в указанном биотопе, поглощает все биогенные элементы и органические вещества, за счет чего вытесняет синезеленые водоросли.

Проведенные в ФГУП РосНИИВХ исследования (тесты и эксперименты) показали, что синезеленые водоросли по-разному реагируют на присутствие культуры штамма *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111. Среди изученных 11 культур синезеленых водорослей только 4 погибли в присутствии хлореллы. Остальные смогли через некоторое время адаптироваться и даже начать развиваться, а на одну культуру (№ 535, *Synechococcus* sp.) хлорелла оказала стимулирующее действие.

Наиболее эффективно хлорелла подавляет развитие синезеленых водорослей в большой концентрации, когда плотности сопоставимы, или плотность хлореллы превышает плотность синезеленых водорослей. Речь в данном случае идет об очень высокой численности хлореллы – от 3 до 8 млрд кл./л (млн кл./мл), которая наблюдалась от начала и до конца эксперимента. При таких условиях хлорелла успешно размножается и подавляет развитие не только синезеленых, но и зеленых водорослей. В остальных соотношениях действие более непредсказуемо и, по всей вероятности, зависит от общего состава, плотности и состояния альгоценоза. Вещества, которые содержатся в культуральной жидкости хлореллы, при некоторых условиях могут стимулировать развитие других групп водорослей (например, зеленых хлорококковых).

Однако при отслеживании специалистами ФГУП РосНИИВХ ситуации на альголизируемых водохранилищах на Урале (Белоярское, Нижне-Тагильское, Черноисточинское, Верхне-Выйское) в воде водоемов за весь период наблюдений (с мая по октябрь 2012 г.) заметных количеств хлореллы на фоне достаточно больших биомасс других видов водорослей не было отмечено.

Таким образом, ни лабораторный, ни натурный эксперименты не подтверждают реальность декларируемых авторами свойств применяемого штамма хлореллы. Необходимо также отметить, что высокая биомасса хлореллы либо отмирающая, либо прошедшая через желудочно-кишечный тракт потребляющих ее организмов, может служить мощным источником вторичного загрязнения, в частности, биогенными веществами (в основном соединениями азота), что в дальнейшем в условиях водоема может спровоцировать развитие синезеленых водорослей.

По утверждению разработчиков альголизации, у применяемого штамма хлореллы есть полезные «побочные» эффекты, отличающие ее от других планктонных водорослей – хлорелла насыщает воду кислородом, при этом выделяется атомарный кислород, который разрывает длинные цепочки входящих в состав нефтепродуктов углеводов. Кроме того, утверждают они, за счет развития хлореллы в воде происходит снижение содержания тяжелых металлов, т. к. в присутствии кислорода их ионы переходят в высшие степени окисления и образуют с анионами нерастворимые соединения.

Однако, согласно данным физиологии растений, в процессе жизнедеятельности хлорелла, как и любой другой растительный организм, не только выделяет кислород при фотосинтезе, но и поглощает его при дыхании и не имеет каких-либо отличий в данном аспекте от других микроводорослей.

В процессе фотосинтеза у хлореллы, как и у других водорослей, в качестве побочных продуктов образуются некоторые активные формы кислорода: синглетный кислород, перекись водорода, супероксид и т. д. Однако, во-первых, атомарный кислород в условиях живого организма не образуется –

для этого необходимо очень большое количество энергии; во-вторых, активные формы кислорода токсичны для клеточных структур, поэтому растительные организмы обладают механизмами, препятствующими окислительным повреждениям. В норме клетка нейтрализует активные формы кислорода в месте образования – в тилакоидах хлоропластов, в матриксе митохондрий, и вероятность их попадания в окружающую среду ничтожно мала. Выход этих форм кислорода в цитоплазму является патологическим процессом, приводящим, в конечном счете, к гибели клетки.

Предположение о появлении в воде в присутствии хлореллы атомарного кислорода, с точки зрения физиологии растений, безосновательно. Исследованиями, проведенными в ФГУП РосНИИВХ, показано, что *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 сама по себе не окисляет нефтепродукты в водной среде, что в принципе и следовало ожидать, исходя из информации о ее физиологии. Более того, результаты экспериментов показали, что *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 не оказывает заметного влияния и на изменение концентрации меди (2+) и цинка (2+) в растворе. При содержании хлореллы около 1,5 млрд кл./дм³ (млн кл./мл) концентрация ионов данных металлов в воде снижается в течение недели на 2,7 % больше, чем при отсутствии водоросли, для меди (2+); на 5,76 % – для цинка (2+). Во-первых, разница статистически недостоверна при погрешности примененного метода определения концентрации ионов металлов (ААСФ); во-вторых, даже если принять во внимание незначительную тенденцию к увеличению скорости снижения содержания ингредиентов в присутствии хлореллы, ее можно объяснить поглощением ионов металлов, являющихся биогенными элементами, непосредственно хлореллой. Катионы также сорбируются на стенках живых клеток водорослей. Более того, механизм снижения содержания ионов тяжелых металлов в данном случае не связан с изменениями концентрации кислорода (окислителя), поскольку исследуемые катионы находятся в высшей степени окисления и не могут вступать во взаимодействие с кислородом.

При анализе описания реализации процесса альголизации на водоемах, представленном ООО НПО «Альгобиотехнология», возникает много вопросов, на которые при прочтении имеющихся материалов по данному предмету не находится ответов, что также ставит под сомнение обоснованность предлагаемой технологии.

В частности неясно, чем обоснован цикл внесения в водоем суспензии хлореллы: в первые четыре года в подледное, послепаводковое и летнее время, в последующие четыре года – один раз под лед для наращивания биомассы и далее – не вносится, а только ведутся наблюдения, при которых «проводится регистрация отсутствия цветения». Само применение единообразной технологической схемы альголизации для всех водоемов, альгоценоз каждого из которых уникален по составу и свойствам, является спорным. Кроме того,

наблюдения, проводимые ФГУП РосНИИВХ на альголизированных водоемах, показали, что уже внесенная хлорелла в пробах не обнаруживается, и это ставит под сомнение факт наращивания биомассы водоросли.

В схеме альголизации не прописана методология контроля и корректировки результатов. Судя по опыту работы специалистов ФГУП РосНИИВХ с НПО «Альгобиотехнология», задаваемая схема мониторинга альголизированных водоемов не учитывает время пребывания объема воды в водохранилище, т. е. скорости распространения субстанции в водном объекте и факторы, влияющие на продуктивность фитопланктона в водном объекте в его различных створах (см. выше о наблюдениях на Белоярском водохранилище).

Используемый для альголизации штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, по утверждению патентообладателя [6], был специально выделен из чистого, не подверженного «цветению» Нурекского водохранилища, и обладает уникальными свойствами: он планктонный, не осаждается на дно и водную растительность, с высокой продуктивностью. Принят на депонирование Институтом физиологии растений им. К.А. Тимирязева.

Согласно данным, поступившим из Института физиологии растений РАН в личной беседе с сотрудниками лаборатории молекулярных основ внутриклеточной регуляции, где задепонирован штамм *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111, он функционально вполне обыкновенный, не выделяется среди других штаммов по своей продуктивности и другим свойствам. Кроме того, по всей вероятности, он может быть заражен каким-либо альговирусом, поскольку довольно неустойчив и через несколько пересевов культуры погибает (по этой причине образец штамма в коллекции в октябре 2012 г. отсутствовал, отсутствует он в каталоге коллекции IPPAS [7]). Опыт культивирования данного штамма хлореллы в лаборатории ФГУП РосНИИВХ также подтвердил его слабую жизнеспособность: через год после начала культивирования он погиб.

Появление новой технологии, якобы позволяющей решить одну из насущных водохозяйственных задач – предотвращение антропогенного эвтрофирования водоемов, не могло не вызвать заинтересованности научного сообщества. В 2008 г. предлагаемую технологию и обосновывающие ее материалы анализировала группа ведущих специалистов профильных институтов: д. б. н. В.В. Бульон (Зоологический институт РАН), к. б. н. Е.Ю. Воякина (СПб НИЦ экологической безопасности), д. б. н. В.Я. Костяев (лаборатория альгологии Института биологии внутренних вод РАН), д. б. н. И.С. Трифонова, д. б. н. Л.А. Кудерский (Институт озераведения РАН), д. б. н. В.Н. Никулина (Зоологический институт РАН), к. б. н. А.Е. Королев, д. б. н. Г.М. Лаврентьева, к. б. н. О.А. Ляшенко, к. б. н. М.М. Мельник, к. б. н. Т.В. Терешенкова (ГосНИОРХ). В результате их работы появилось заключение, содержащее, помимо прочего, вопросы и замечания, которые сводятся к следующему [8].

– В тексте при описании альголизации обнаружены многочисленные положения либо не имеющие научного обоснования, либо ему противоречащие. Обосновывающие метод эксперименты выполнены с грубыми методическими ошибками. Отсутствуют четкое описание методики и нормативы внесения хлореллы. У предлагаемой технологии в представленном авторами виде отсутствует научная и экспериментальная основа.

– Технология не рассматривалась и не апробировалась уполномоченными государственными органами.

– Данный метод может оказаться не только бесполезным, но и вредным, так как предполагает внесение в питьевые водоемы суспензии хлореллы, выращенной с добавлением бактериальной смеси или сточных вод (это предполагает технология подготовки «альголизанта») без предварительного обеззараживания. Особо подчеркивается, что используемые при альголизации штаммы хлореллы не апробированы эпидемиологически.

Выводы

К настоящему времени накоплено большое количество аргументов против бездумного проведения так называемой альголизации: отсутствие подобного направления в современной биотехнологии микроводорослей, нулевые или даже отрицательные результаты воздействия метода на водоемы, отсутствие прописанной и апробированной методики, неправомерность выводов в связи с ошибочностью применяемой сотрудниками ОАО «Альгобиотехнология» методологии проведения исследования, непредсказуемость и неясность отдаленных последствий для подвергающихся данной операции водных объектов. Вызывает сомнение также качество и чистота используемого для альголизации штамма. Все это ставит под сомнение те рациональные моменты, которые, возможно, содержатся в основе идеи метода альголизации.

Большое удивление вызывает позиция официальных лиц, дающих согласие на внедрение даже на питьевых водоемах технологии, не имеющей соответствующей аттестации и сертификации. Действительно, прав был Ю. Одум, который написал 40 лет назад о бездумном, волевом подходе при принятии решений, когда вопрос касается судьбы наших рек, озер, водохранилищ [9]: «Здравомыслящий гражданин, который никогда не доверит любителю ремонт своих часов и автомобиля, с легкостью обрекает озера на осушение, заполнение, углубление, загрязнение, стабилизацию. Допускает борьбу с комарами, регулирование роста водорослей, борьбу с кожными заболеваниями купальщиков и разведение любой рыбы, лишь бы она умела плавать. Также обстоит дело с реками...».

В заключение хотелось бы еще раз обратить внимание на то, что «цветение» водоемов – это симптом «заболевания» экосистемного уровня, когда в роли «больного» выступает весь водоем. В основе этого лежит комплекс причин, приводящих к нарушению круговорота веществ и энергии в водном объекте, аналогичным по механизмам и последствиям нарушению обмена веществ у человека. При этом для каждого водохранилища в комплексе причин преобладают свои, характерные именно для данного водоема, ликвидация которых даст наибольший эффект. Соответственно, без комплексного подхода к устранению подобных состояний водных объектов, используя лишь один прием для всех водоемов, можно на время завуалировать симптомы или получить «косметический» эффект, но не устранить причин нарушения круговорота энергии и вещества в водохранилище и его последствия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биологическая реабилитация водоемов. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 152 с.
2. Форум обсуждения проблем города Череповец. Режим доступа: <http://forum.cherepovets.net/lofiversion/index.php/t152457-200.html>.
3. Сайт «Телеканал экспресс», статья «Цветение воды в Сурском водохранилище не является причиной неприятного запаха водопроводной жидкости» от 17.08.2010. Режим доступа: http://tv-express.ru/news_info/14507/.
4. Щенетова В.А., Толстова Т.В. Анализ экологического состояния Пензенского водохранилища // Фундаментальные исследования, 2011. № 8. С. 188–189.
5. Сайт «Альгобиотехнология». Режим доступа: <http://www.algobiotechnology.com/shop/?gid=189>.
6. Патент РФ 1751981. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* для получения биомассы и очистки сточных вод / Богданов Н.И.; № 2192459; заявл. 18.04.2001; опубл. 10.11.2002. Бюл. № 4.
7. Сайт ИФР РАН. Режим доступа: <http://www.cellreg.org/Collection.php>.
8. О книге Н.И. Богданова «Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями». СПб. 2008. 17 с.
9. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 741 с.

Сведения об авторах:

Бутакова Елена Анатольевна, ведущий инженер, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: butakova77@mail.ru

Павлюк Тимур Евгеньевич, к. б. н., заведующий сектором гидробиологических исследований, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: T.Pavluk@rambler.ru

Ушакова Ольга Сергеевна, младший научный сотрудник, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: darilindan@gmail.com

Попов Александр Николаевич, д. т. н., профессор, заведующий отделом, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов» (ФГУП РосНИИВХ), 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23; e-mail: pan1944@rambler.ru

Тютков Олег Владимирович, д. э. н., главный специалист, ФГУП «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», Россия, 620049, г. Екатеринбург, ул. Мира, 23