

КОРРЕКЦИЯ АЛЬГОЦЕНОЗОВ С ПОМОЩЬЮ ИНТРОДУКЦИИ ХЛОРЕЛЛЫ: АНАЛИЗ ПОПЫТОК ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

© 2023 г. Т. Е. Павлюк^а, *, А. Н. Попов^а, О. С. Ушакова^а,
В. Ф. Мухутдинов^а, А. А. Падалка^а

^аРоссийский научно-исследовательский институт комплексного использования
и охраны водных ресурсов, Екатеринбург, 620049 Россия

*e-mail: T.Pavluk@mail.ru

Поступила в редакцию 28.09.2022 г.

После доработки 28.09.2022 г.

Принята к публикации 04.10.2022 г.

На основе анализа открытой информации по прикладным исследованиям последнего десятилетия, а также теоретических основ и принципов функционирования водных экосистем, в частности фитопланктона, изучены последствия активного продвижения метода коррекции альгоценозов водоемов, так называемой “альголизации”, с помощью интродукции широкого спектра штаммов водоросли хлореллы. Приведен обзор наиболее известных попыток провести реабилитацию проблемных водоемов, улучшения их экологического состояния по данной технологии, рассмотрены ошибки, заблуждения и намеренные искажения фактов представителями агроиндустрии, продвигающими идею реабилитации водоемов путем коррекции природных альгоценозов.

Ключевые слова: коррекция альгоценозов, хлорелла, цианобактерии, гидробиология, фитопланктон, экологическое состояние, цветение воды.

DOI: 10.31857/S0321059623030094, EDN: CXKMQO

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на рынке экологических услуг в Российской Федерации существует и активно рекламируется метод борьбы с “цветением” водоемов синезелеными водорослями (далее — цианобактериями), называемый его авторами “альголизацией”. Суть альголизации (о теоретических основах можно прочитать, например, в работе Н.И. Богданова [2]) заключается в особой технологии внесения в водоем некоторого количества суспензии определенного штамма хлореллы, выращенной в промышленных условиях. Основные поставщики услуги — ООО НПО “Альгобиотехнология”, ООО “Альготек” — используют для этой процедуры выделенные и запатентованные Н.И. Богдановым штаммы *Chlorella vulgaris* ИФР № С-111 [12], *Chlorella vulgaris* BIN [4], а также *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 ARW [3].

По мнению авторов методики, в результате внесения клеток хлореллы “цветение” водоемов цианобактериями должно прекратиться. Однако анализ некоторых результатов и фактов, связанных с обсуждаемой технологией, заставляет задуматься прежде всего о корректности использования методических приемов в процессе ее реализации и последующего мониторинга, а также о ее реальной эффективности.

Анализ материалов международных конференций последних лет по гидробиологической тематике, в том числе 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” воды цианобактериями, 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.

Авторы статьи в своем обзоре собрали доступные в научно-публицистической литературе и в источниках СМИ сведения и примеры использования технологии “альголизации”, уделили внимание последствиям, отклику водной экосистемы на такие биоманипуляции. Из-за большого количества подопытных водоемов и разного рода ангажированных публикаций под авторством “альголизаторов” обзор историй коррекции аль-

гоценозов разделен на две части. Первая часть посвящена пяти водным объектам, ситуация на которых изучалась эпизодически или разово, вторая — одному водному объекту, Цимлянскому водохранилищу, где дан глубокий анализ материалов ведомственного мониторинга, проводимого Ростовской АЭС.

ЧТО ПЛАНИРОВАЛИ И ЧТО ПОЛУЧИЛИ — ПЕРВЫЕ ПРИМЕРЫ ПОДМЕНЫ РЕАБИЛИТАЦИИ НА ХЛОРЕЛЛОВУЮ ИНОКУЛЯЦИЮ

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

Пензенское водохранилище

Основной пример — 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 [25, 27], что на протяжении всего этого времени “цвело” Сурское водохранилище. Но Сурское и Пензенское — названия одного и того же водоема. Более того, в 2010 г. вследствие массового развития цианобактерий в Пензенском водохранилище качество питьевой воды в г. Пензе было низким, отмечался эпизод появления характерного запаха в воде [1, 28].

Последняя информация о состоянии Пензенского (Сурского) водохранилища в 2019 г. указывает на то, что сотрудники “Горводоканала” обратились к специалистам для разработки рекомендаций по борьбе с фитопланктоном [11]. Это те же сотрудники, которые рьяно ратовали за “альголизацию” предыдущие 19 лет с начала эксперимента над водохранилищем. Тем временем “цветение” воды в водоеме регулярно происходило с мая по октябрь и закономерно останавливалось при наступлении холодов.

В 2019 г. в Пензенском водохранилище был зафиксирован рост новых видов водорослей, типичных для более северных широт, устойчивых к низкой температуре [22]. Они не только не погибали в непривычных условиях, но начали активно размножаться. Таким примером стала появившаяся совсем недавно цианобактерия *Nodularia spumigena* — обычный возбудитель “цветения” вод бассейна Балтийского моря [8]. В благоприятной среде она начинает активно размножаться, а в момент пика своего развития вытесняет из сообщества и ингибирует развитие остальных видов естественного альгоценоза, а те в свою очередь, отмирая, вырабатывают токсичные вещества и при разложении отмершей биомассы поглощают

большое количество растворенного в воде кислорода.

Необходимо заметить, что *Nodularia spumigena* токсична и сама по себе, в ходе жизненного цикла она выделяет гепатотоксическое вещество, которое называется нодуларин.

По словам очевидцев, водная гладь приобрела зеленовато-бирюзовый оттенок, на водохранилище стоит сильнейшая вонь, а на берег выбросило погибшую рыбу. Ситуация на Сурском водохранилище в 2019 г. напоминала экологическую катастрофу. Эксперты заявляют, что во время “цветения” водорослей людям, в особенности детям, нежелательно находиться в водоемах [6]. Зачастую после контакта с *Nodularia spumigena* у человека появляется аллергическая реакция в виде покраснений и высыпаний на коже, а при попадании цианобактерии внутрь человеческого организма могут наступить более серьезные осложнения.

Биологи сообщают, что водные биоресурсы (рыбы, моллюски) также становятся опасны для употребления в период “цветения” данной цианобактерии. В организмах особей, питающихся фитопланктоном, скапливаются неблагоприятные для человека токсины. В связи с этим ученые не советуют купаться и ловить рыбу во время “цветения” этого вида альгоценоза.

Многолетнее бездумное экспериментирование по корректировке альгоценоза привело к тому, что в настоящий момент сотрудники “Горводоканала” г. Пензы просят ученых федеральных институтов, а не альянс коммерческих организаций по “альголизации”, помочь в разработке рекомендаций по реабилитации водоема.

В качестве временной меры предлагается вселение ~30 т белого толстолобика для выедания “лишнего” фитопланктона [1, 20]. Но все это опять предлагается без конкретного ответа на главный вопрос: что при этом произойдет с водным объектом? Фактически предлагается борьба не с причиной конкретной ситуации в водоеме, а со следствием, что никогда не приводило к получению длительного положительного результата.

История с Пензенским водохранилищем в итоге закончится, как всегда, с обращением в федеральный центр за помощью профинансировать программу по восстановлению водного объекта. При этом вряд ли будет услышан ответ на вопрос, почему бесполезно потрачено несколько десятков миллионов рублей на так называемую “альголизацию” с нулевым эффектом, к тому же необходимость реабилитации Пензенского водохранилища стала более актуальной, чем двадцать лет назад.

Ижевское водохранилище

В Ижевском водохранилище в первый год после проведения “альголизации” в 2009 г. 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 цианобактерий. Специальных исследований по данному вопросу проведено не было, поэтому причина ухудшения экологического состояния Ижевского водохранилища после внесения суспензии хлореллы остается неясной. Альгологи МУП “Ижводоканал”, которые предоставили эти сведения, полагают, что это могло быть связано с внесением 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 [15]. Что касается влияния на сообщества водорослей — вопрос так и остался открытым.

Белоярское водохранилище, Свердловская область

При обсуждении результатов проведенного в 2012 г. мониторинга подвергнувшегося “альголизации” Белоярского водохранилища у сотрудников 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”, — показатель положительного влияния “альголизации”. Однако исследования, проведенные сотрудниками РосНИИВХ задолго до “альголизации” в конце 1980-х гг., показали подобный результат: концентрация фитопланктона в верховье водохранилища, куда р. Пышма приносит воду, обогащенную биогенами, была выше, чем в низовье у плотины (рис. 1).

Аналогичны 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 Белоярского водохранилища — водного объекта 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 меньше, чем в верховьях, как результат положительного влияния “альголизации”, в свете вышеизложенного факта неправомерно. К тому же, судя по абсолютным величинам биомассы водорослей в единице объема воды, интенсивность “цветения” воды в 2012 г. даже возросла по сравнению с 1988 г. (рис. 1а, 1б).

Озеро Невское, Ленинградская область

НПО “Альгобиотехнология” приводит также пример г. Приозерска Ленинградской области, где в окрестностях Севастьяновского сельского поселения проводили биологическую реабилитацию (“альголизацию”) двух озер (140 га), используемых для питьевого водоснабжения [30]. Вода при водорослевом “цветении” по органолептическим свойствам была признана непригодной для использования. “Альголизацию” озер начали 15 июня 2009 г. В этот период (с июня по конец августа включительно), по данным Росгидромета по Ленинградской области, наблюдались обильные дождевые осадки, что привело к подъему уровня воды в оз. Ладожском (р. Севастьяновка принадлежит к его водосбору) на 25 см выше среднееголетнего. Поскольку “альголизация” протекала на фоне летнего дождевого паводка, а это грубая методическая ошибка проведения экспериментов по оценке влияния каких-либо факторов (в данном случае — “альголизации”) на изменение концентрации фитопланктона или химических компонентов в воде водного объекта, заявление представителей НПО “Альгобиотехнология” о том, что благодаря “альголизации” вода стала пригодной для питья спустя две недели с начала вселения хлореллы (15 июня 2009 г.), абсолютно неправомерно, тем более что через некоторое время после прохождения летнего паводка водоемы пришли в прежнее негативное состояние. В итоге принято грамотное инженерное решение по прокладке нового водовода для водоснабжения жителей поселка из другого источника. С 2018 г. по настоящее время питьевая вода высокого качества подается в п. Севастьяново по водоводу (15.7 км) из п. Кузнечного (оз. Ладожское) [24]. Попытки улучшить качество воды из прежнего источника — оз. Невского — путем внесения туда хлореллы больше никто не предпринимал.

*Черноисточинское водохранилище,
Свердловская область*

Намерение администрации г. Нижний Тагил (Свердловская область) улучшить состояние пи-

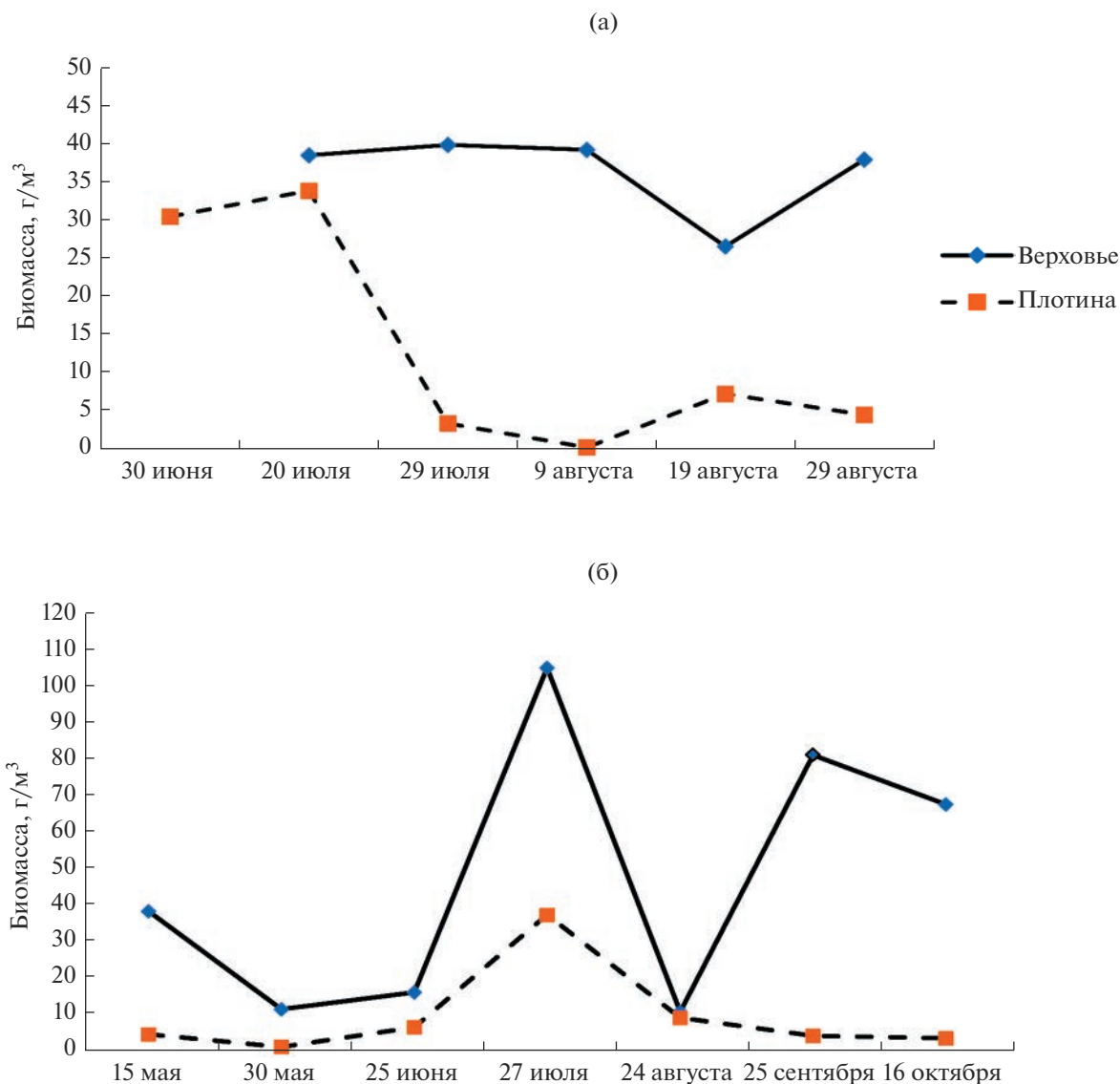


Рис. 1. Динамика биомассы фитопланктона Белярского водохранилища по данным 1988 (а) и 2012 (б) гг.

тьегового водоема — Черноисточинского водохранилища, характеризующегося интенсивным “цветением” водорослей, — вполне оправдано и обосновано. Однако в результате недостаточной компетенции специалистов по экологии в администрации г. Нижний Тагил и желания получить результат в кратчайшие сроки было принято решение о финансировании “альголизации”, что в конечном итоге привело к плачевным последствиям — нарушению экологического равновесия в Черноисточинском водохранилище, что способствовало переходу его вод из категории питьевых в категорию технических.

В итоге на сомнительное мероприятие (“альголизацию”) в 2011–2014 гг. были потрачены муниципальные средства, обещаемого эффекта улучшения состояния водоема не произошло, на-

оборот, в дальнейшем наблюдалась ускоренная деградация экологической системы. Природный альгоценоз водоема повторил путь альгоценозов Ижевского и Пензенского водохранилищ — стал монодоминантным с активным развитием токсичной водоросли *Aphanizomenon flos-aquae*. С 2015 по 2020 г. в летний период постоянно происходит массовая гибель рыбы. Вода становится абсолютно непригодной не только для питья без многоступенчатой, технологически сложной и дорогой предварительной подготовки, но и для рекреации.

Эксперименты с “альголизацией” проводили и на других водных объектах, за развитием водорослей на которых, в соответствии с контрактом, наблюдали специалисты РосНИИВХ (Нижне-Тагильское, Верхне-Выйское водохранилища), по существу — с теми же отрицательными резуль-

татами. Однако описанные ниже методические ошибки, допущенные 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 динамики процессов жизнедеятельности фитопланктона в водоеме делать выводы о результатах воздействия какой-либо одной процедуры на альгоценоз водного объекта без сравнения с изменениями 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, это грубейшая методическая ошибка проведения работ по оценке влияния каких-либо факторов на состояние их биоты и химический состав воды на зарегулированных водных объектах.

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

Однако при отслеживании специалистами РосНИИВХ ситуации на альголизуемых 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 отмечено не было.

ПРИМЕР ЦИМЛЯНСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА И ВОДОЕМА- ОХЛАДИТЕЛЯ РОАЭС

В 2021 г. после получения краткого отчета “Анализ проведения мероприятий по альголизации водоема-охладителя Ростовской АЭС” от начальника отдела охраны окружающей среды станции О.И. Горской [9] было проведено изучение фактической ситуации по открытым источникам информации. Необходимость в этом возникла по причине полной неясности ситуации с альгоценозом водоема-охладителя РоАЭС, поскольку изложение материала в кратком отчете проведено умозрительно, без аргументации цифрами и фактами, с непреклонным оптимизмом в отношении процедуры “альголизации”.

В целом, данные, предоставленные в [8], не позволяют корректно интерпретировать результаты использования метода “альголизации”.

При изучении полученных данных и материалов, находящихся в свободном доступе, были обнаружены приведенные ниже конфликты информации.

1) В [8] утверждается, что вселение *Chlorella vulgaris* в 2007–2008, 2012 и в 2014–2020 гг. позволило предотвратить “цветение воды”, а также улучшить качество вод по некоторым показателям: “содержание загрязняющих веществ, количество растворенного в воде кислорода, органолептические показатели воды, химическое и биохимическое потребление кислорода и др.”. Также идет ссылка на отчеты Волгоградского отделения ГосНИОРХ и НПО “Гидротехпроект” за 2012, 2014–2020 гг.

Согласно материалам НПО “Гидротехпроект” [20, 21, 16], было отмечено “цветение” воды цианопрокариотами на территории водоема-охладителя, в частности — в сентябре 2017 г. (численность доходила до 163.4 млн кл/л) [20], а также в ноябре 2018 г. (численность до 454.1 млн кл/л) [21].

Также стоит обратить внимание на следующий абзац об исследованиях в 2016 г. и о межгодовой изменчивости за 2016–2018 гг. [21]:

“Данные исследований 2016 г. продемонстрировали:

— Подтверждается наличие в составе СТВ (система технического водоснабжения) Цимлянско-го водохранилища цианопрокариот, в том числе и токсичных, где в наиболее теплое летнее время происходит цветение, и делает его постоянным источником (и предшественником) таких цветений и в водоеме (охладителе), где теплый сезон пролонгирован на осень;

— в составе фитопланктона Цимлянского водохранилища и, как следствие, водоема-охладителя имеется несколько видов потенциально токсичных цианопрокариот, а также обнаружен *Chrysochloris ovalisporum*, способный в подогреваемых водоемах умеренной зоны, а также в тропических и субтропических естественных эвтрофированных водоемах Австралии и Евразии давать вспышки цветения, приводящие к полной перестройке экосистем, этот вид водорослей также потенциально токсичен.

Обилие фитопланктона в 2018 г. было сопоставимо с данными за 2016 г. и в среднем выше, чем в 2017 г. В 2018 г., как и в предыдущие годы, в планктоне основное значение имели виды цианопрокариот. Видно, что в последние три года роль цианобактерий значительно выросла. В этом (2018) году в планктоне активно вегетировали потенциально токсичные виды *Chrysochloris ovalisporum*, *Planktolyngbya* spp., *Planktothrix agardhii*, *Woronichinia compacta*. Так же как и в прошлом

году, отмечено большое значение потенциально токсичного вида *Planktothrix agardhii*, формировавшего “цветение” воды в осенний период.”

Вывод: служба охраны окружающей среды станции выдает недостоверную информацию, скрывая факт, что водоем-охладитель РоАЭС “цвел” и продолжает “цвести” все годы наблюдения с тенденцией усиления степени “цветения” воды за последние 3–4 года.

2) Согласно статье [10], где в авторах указана О.И. Горская, которая является составителем отчета [8], в 2010–2016 гг. было отмечено “слабое эвтрофирующее воздействие продувочных вод, поступающих из водоема-охладителя АЭС”, и, согласно приведенному видовому составу, *Chlorella vulgaris* в флористическом списке как вид совсем не встречается, а преобладают токсикогенные виды родов *Microcystis*, *Aphanizomenon*, *Oscillatoria*.

Вывод: несмотря на проводимую “альголизацию”, хлорелла физически не встречается как постоянный компонент альгоценоза. В результате имеющиеся качественные и количественные флуктуации в альгоценозе не имеют отношения к “альголизации”, а обусловлены иными природными и антропогенными факторами.

3) Согласно статье [14], где приведены исследования с 2009 по 2015 г. с апреля по октябрь в приплотинной части Цимлянского водохранилища, показано, что “ежегодно наблюдается интенсивное “цветение” сине-зеленых на больших площадях со скоплением на прибрежных участках и с экстремальными значениями в отдельные годы”. Также в статье никак не выделяется и не упоминается влияние проведенных мероприятий по “альголизации”.

Вывод: Приплотинный плес Цимлянского водохранилища ежегодно “цветет” цианобактериями, несмотря на ежегодно декларируемую в нем успешную “альголизацию”.

4) Рассмотрены результаты проведения “альголизации” в 2007 г. по данным статьи [10], где приведены неоднозначные данные. Так, указано, что “Вселение *Chlorella vulgaris* осуществлялось в период с марта по ноябрь в общем объеме 12860 л суспензии с периодичностью дважды в месяц. Результаты показали, что вселяемый объект обнаруживался как в экспериментальных, так и в контрольных заливах эпизодически. При этом количественные характеристики ее развития колебались в довольно широких пределах — от 13 до 21056 тыс. кл/л и от 0.001 до 1.369 г/м³”. Согласно данным этой статьи, в 2007 г. к концу июля доминирующий комплекс фитопланктона Приплотинного плеса был представлен цианобактериями. Тогда можно поднять вопрос о том, в каких местах, когда и сколько (биомасса/численность) обнаруживалось внесенного вида, так как не

представлены сведения о точках, в которых отмечены такие высокие количественные характеристики *Chlorella vulgaris* (21056 тыс кл/л и 1.369 г/м³).

Кроме того, сами авторы указывают на неоднозначность применяемой методики: “Причиной сравнительно невысоких концентраций штамма в водоеме, кроме незначительности самого масштаба альголизации по сравнению с площадью плеса, может быть потребление хлореллы беспозвоночными и рыбами, особенно молодью, которая держится в заливах до конца лета. Кроме того, при внесении хлореллы в разгар “цветения”, когда вода наиболее насыщена продуктами разложения синезеленых водорослей, в том числе и токсичными, нельзя полностью исключить возможность их ингибирующего влияния на альголизант. Клетки хлореллы встречались в приплотинной зоне в широких температурных диапазонах — от 1°C в марте до 27°C в августе, однако четкой закономерности не установлено. Поведение и состояние вселяемой хлореллы, ее приживаемость и расселение в водоеме требуют дальнейшего детального изучения.”

Важно отметить, что, по данным публикации [29], в 2007 г. район водоема-охладителя был контрольным участком и вселения штамма хлореллы в него не проводилось. Таким образом, говорить о влиянии метода “альголизации” на резкое снижение биомассы фитопланктона в 2007–2008 гг. нельзя.

Вывод: масштабные эксперименты 2007 г. по “альголизации” Цимлянского водохранилища не затрагивали водоем-охладитель РоАЭС, из чего следует, что хлорелла не имеет к наблюдаемым в водоеме-охладителе процессам никакого отношения. Из-за обилия мешающих и маскирующих факторов среды, а также методических сложностей реализации самого эксперимента закономерного влияния хлореллы на альгоценоз Цимлянского водохранилища не установлено.

В “Предварительных материалах ОВОС” “Гидротехпроекта” [20] встречены противоположные заключения о наличии “цветения” в водоеме-охладителе РоАЭС:

5) на стр. 39 в [20] сказано: “В водоеме-охладителе и на других исследованных водных объектах “цветения” воды не отмечено, биомасса фитопланктона, в том числе синезеленых водорослей, значительно меньше, чем в Цимлянском водохранилище. Развитие фитопланктона лимитируется здесь высоким развитием высшей водной растительности — конкурента в потреблении биогенных элементов и основного создателя первичной продукции в водоеме-охладителе.”;

на стр. 50 [20] утверждается: “В сентябре 2017 г. на акватории водоема-охладителя было отмечено “цветение” воды, вызванное активной вегетацией цианопрокариот”.

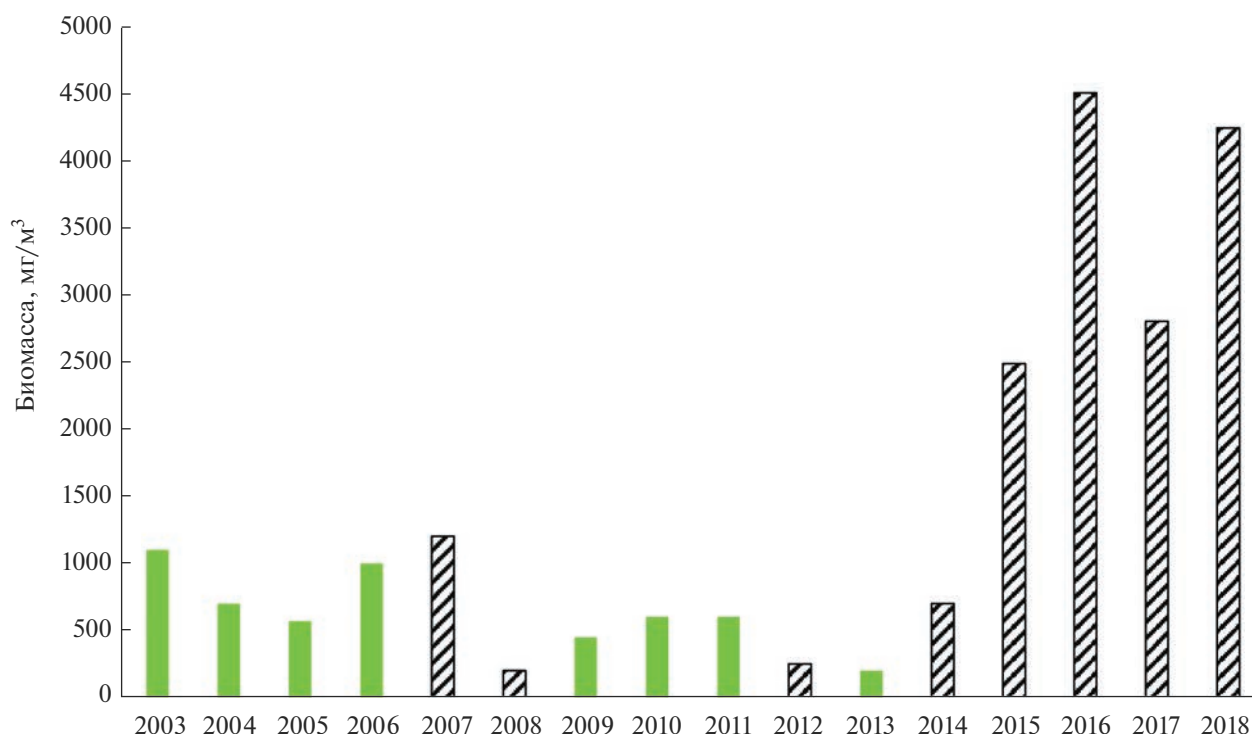


Рис. 2. Динамика биомассы фитопланктона (мг/м³) в районе водоема-охладителя Ростовской АЭС (Цимлянское водохранилище) по данным 2003–2018 гг. Штриховкой столбцов выделены годы проведения “альголизации”.

Вывод: понятие “цветения” воды имеет строгую формализацию, но авторы отчета не пользуются существующей градацией степеней “цветения” воды — с класса 1 (слабое цветение) по класс 4 (гиперцветение) [23], а оперируют этим термином субъективно, описательно. При таком подходе сравнение результатов за разные даты и разных мест невозможно.

Таким образом, используя всю доступную по нескольким источникам информацию [16, 17, 20, 21], был составлен график изменения биомассы фитопланктона с 2003 по 2018 г. На рис. 2 выделены столбцы с годами, в которые проводилась “альголизация”, согласно данным [8].

На графике на рис. 2 видно, что с 2015 г. произошел резкий рост показателя биомассы фитопланктона. При анализе результатов с 2003 по 2018 г. можно сделать вывод о том, что проведение “альголизации” в 2007–2008, 2012 и 2014–2018 гг. не оказывает закономерного влияния на развитие фитопланктона в водоеме-охладителе.

Точку зрения авторов настоящей статьи подтверждают и высказывания сотрудников Волгоградского отделения ГосНИОРХ в публикации [7]: “В 2006–2012 гг. с целью борьбы с синезелеными водорослями и уменьшения “цветения” воды проводилось вселение в водохранилище *Chlorella vulgaris* преимущественно штаммов BIN, ИФР С-111 на основе метода Н.И. Богданова (2004,

2008), так называемая “альголизация” (Кравцова, Калинина, 2013; Сальникова, Горская, 2013). Результаты этих мероприятий неоднозначны и не позволяют охарактеризовать их воздействие как положительно-отрицательное или нейтральное (Бульон и др., 2008; Калинина и др., 2012, 2013).”

Вывод: ни в одном тезисе отчетов или исследований не упоминается о серьезном лимитирующем влиянии заселенного вида *Chlorella vulgaris* или о ее преобладании в биомассе или численности фитопланктона. В годы проведения “альголизации” в водоеме-охладителе наблюдаются как максимальные, так и минимальные за период наблюдений биомассы фитопланктона. А утверждение в [8]: “...это [изменение соотношения долей водорослей и цианобактерий] связано с регулярными мероприятиями по биологической реабилитации водоема-охладителя методом альголизации”, — вводит в заблуждение, ничем не подкреплено и не обосновано.

АРГУМЕНТАЦИЯ “АЛЬГОЛИЗАТОРОВ” И ПОЗИЦИЯ НАУЧНОЙ ОБЩЕСТВЕННОСТИ

По утверждению разработчиков “альголизации” [13, 26], у применяемого штамма хлореллы есть полезные “побочные” эффекты, отличающие ее от других планктонных водорослей, — хло-

релла насыщает воду кислородом, при этом выделяется атомарный кислород, который разрывает длинные цепочки входящих в состав нефтепродуктов углеводородов. Кроме того, как они утверждают, за счет развития хлореллы в воде происходит снижение содержания тяжелых металлов, так как в присутствии кислорода их ионы переходят в форму высшей степени окисления и образуют с анионами нерастворимые соединения.

Однако, согласно 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 — патологический процесс, приводящий в конечном итоге к гибели клетки.

Предположение о появлении в воде в присутствии хлореллы атомарного кислорода, с точки зрения физиологии растений, безосновательно. Следовательно, абсолютно безосновательно и предположение о том, что якобы атомарный кислород разрывает длинные цепочки углеводородов, входящих в состав нефтепродуктов.

Что касается воздействия хлореллы на ионы металлов, в аэробных условиях в водных объектах они находятся в высшей степени окисления и вступают во взаимодействие с анионами без участия растворенного в воде кислорода. Можно ожидать некоего процесса поглощения хлореллой ряда ионов металлов, являющихся биогенными веществами, но этот процесс характерен в той или иной мере для всех видов водорослей и по сути приводит к кругообороту ионов металлов в водоемах, а не к удалению из них.

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: В.В. Бульон (Зоологический институт РАН), Е.Ю. Воякина (СПб НИЦ экологической безопасности), В.Я. Костяев (лаборатория альгологии Института биологии внутренних вод РАН), И.С. Трифонова, Л.А. Кудерский (Институт озероведения РАН), В.Н. Никулина (Зоологический институт РАН), А.Е. Королев, Г.М. Лаврентьева, О.А. Ляшенко, М.М. Мельник, Т.В. Терешенкова (ГосНИОРХ). В результате их работы появилось заключение, содержащее, помимо прочего, вопросы и замечания, которые сводятся к следующему [5]:

— 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.

В 2014 г. в Красноярске состоялся съезд Гидробиологического общества при РАН РФ, в решения которого было внесено положение, касающееся “альголизации”: “Важным итогом работы Съезда явилось решение считать так называемый метод “альголизации” водоемов ложным и наносящим значительный ущерб Российской гидробиологии. Подчеркнута необходимость развития современных высокотехнологичных научных методов борьбы с эвтрофированием водоемов”.

В письме Федерального агентства водных ресурсов от 03.07.2014 [19] говорится о том, что в 2007 г. Росводресурсы провели апробацию метода “альголизации” на Цимлянском водохранилище для регулирования его гидробиологического состояния. Результаты оказались неоднозначными, не позволили сделать выводы об эффективности технологии. Там же говорится о проведении в 2009 г. Научно-технического совета по вопросу “альголизации”. На совещании было принято утверждение, что изучение механизмов и последствий искусственного регулирования качества

воды методом интродукции биологических видов — сложная научная задача. Имеющийся опыт “альголизации” не позволяет сделать окончательных выводов об эффективности метода, само предложение использовать хлореллу для подавления “цветения” водоемов научно не обосновано и не подтверждено практикой. Дальнейшее проведение НИОКР в этом направлении считается нецелесообразным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

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 ООО НПО “Альгобиотехнология”, ООО “Альготек” и других компаний методологии проведения исследования, непредсказуемость и неясность отдаленных последствий для подвергающихся данной операции водных объектов. Вызывает сомнение также качество и чистота используемых для “альголизации” штаммов. Все это ставит под сомнение те рациональные моменты, которые, возможно, содержатся в основе идеи метода “альголизации”.

В результате выполнения комплекса опытно-исследовательских работ по установлению конкурентных качеств зеленой водоросли хлореллы по отношению к цианобактериям и другим возбудителям “цветения” воды сотрудниками РосНИИВХ и других научно-исследовательских институтов [18] получено научное подтверждение ошибочности утверждений о возможности использования хлореллы как способа биоманипуляции в борьбе с “цветением” воды в природных водоемах. Предлагаемый метод подавления “цветения” в водоемах при помощи их “альголизации” суспензией зеленой водоросли хлореллы штамма *Chlorella vulgaris* BIN является бесполезным, неэффективным и несет санитарные риски.

С учетом совокупности полученных фактов можно утверждать, что в отношении попыток дополнительно провести исследования для поиска уникальных свойств штамма хлореллы *Chlorella vulgaris* BIN в борьбе с “цветением” водоемов следует обозначить четкую позицию — данная водоросль по своей экологии не имеет иного преимущественного механизма в конкуренции с другими видами альгоценоза, кроме как высокая начальная скорость размножения популяции в благоприятных условиях среды (монокультура), и дальнейшее проведение исследовательских работ

бессмысленно и будет носить лишь сугубо академический характер.

Еще раз следует акцентировать внимание на том, что “альголизация” в современной гидробиологии не имеет научного обоснования, фактического подтверждения (за исключением самих разработчиков) и в официальной науке признана лженаукой. Далее везде и повсеместно предлагаем впредь упоминать данный метод только в историческом контексте, изъав его из перечня методов по борьбе с “цветением воды” синезелеными водорослями (цианобактериями) как противоречащий экосистемному подходу в водохозяйственной деятельности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асанов А.Ю. Водные биологические ресурсы Пензенской области. Сурское водохранилище // Вестн. Астраханского гос. техн. ун-та. Сер. Рыбное хоз-во. 2015. № 1. С. 14–25.
2. Богданов Н.И. Биологическая реабилитация водоемов. Пенза: РИО ПГСХА, 2008. 152 с.
3. Богданов Н.И. Планктонный штамм *Chlorella kessleri* для предотвращения “цветения” водоемов синезелеными водорослями. Патент RU 2585523. № 2015111746/10. Бюл. №15. 2016.
4. Богданов Н.И. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* для получения биомассы и очистки сточных вод. Патент РФ 1751981. № 2192459. Бюл. № 4. 2022.
5. Бульон В.В., Воякина Е.Ю., Королев А.Е., Костяев В.Я., Кудерский Л.А., Лаврентьева Г.М., Ляшенко О.А., Мельник М.М., Никулина В.Н., Трифонова И.С., Терешенкова Т.В.. О книге Н.И. Богданова “Биологические основы предотвращения “цветения” Пензенского водохранилища синезелеными водорослями”. СПб., 2008. 17 с.
6. Ветрова А.В. Они слишком быстро размножаются! Опасные твари захватили Сурское водохранилище. https://1pnz.ru/city_online/obshchestvo/news/ekologicheskaya_katastrofa_na_surskom_vodohranilishche_pochemu_vodoem_prevratilsya_v_zele_nuyu_zhizhu/ (дата обращения: 14.06.2019)
7. Вехов Д.А., Науменко А.Н., Горелов В.П., Голоколенова Т.Б., Шевлякова Т.П., Современное состояние и использование водных биоресурсов Цимлянско-го водохранилища (2009–2013 гг.) // Рыбохозяйственные исследования на водных объектах Европейской части России. СПб.: ГосНИОРХ, 2014. С. 116–145.
8. Водоросли, вызывающие “цветение” водоемов северо-запада России. М.: КМК, 2006. 367 с.
9. Горская О.И. Анализ проведения мероприятий по альголизации водоема-охладителя Ростовской АЭС. Волгодонск: Ростовская АЭС, 2021.
10. Горская О.И., Яковлев С.В., Черешнева Л.А., Сапельников В.М. Результаты многолетнего биологического мониторинга в Цимлянском водохранилище в районе продувки водоема-охладителя Ростов-

- ской АЭС // Глобальная ядерная безопасность. 2017. № 2 (23). С. 7–20.
11. Гулин Д.В. Вонючей водой в Сурском занимаются ученые. <https://www.penza-press.ru/lenta-novostey/149514/vonyuchej-vodoj-v-surskom-zanimayutsya-uchenye> (дата обращения: 15.07.2019)
 12. Извещение к авторскому свид. СССР. SU 1751981. Штамм микроводоросли *Chlorella vulgaris* – продуцент биомассы. Богданов Н.И. № 4378916/13. 10.02.1997. MRFD 1997. <https://patents.su/1-1751981-shtamm-mikrovodorosli-chlorella-vulgaris-producent-biomassy.html>
 13. Кульнев В.В., Лухтанов В.Т. Биологическая реабилитация водоемов путем структурной перестройки фитопланктонного сообщества. <http://www.algobiotehnologia.com/shop/?gid=185>
 14. Мартышева Н.А., Хоружая Т.А. Особенности “цветения” воды Цимлянского водохранилища синезелеными микроводорослями // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. 2017. № 2 (194).
 15. Научное заключение об альговирусах из Санкт-Петербургского государственного университета. <http://www.algobiotehnologia.com/shop/?gid=189>
 16. Окончательные материалы по оценке воздействия на окружающую среду эксплуатации энергоблока № 2 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной. Валдай: Гидротехпроект, 2016.
 17. Окончательные материалы оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) эксплуатации энергоблока № 3 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной с вентиляторными градирнями. Кн. 2. Валдай: Гидротехпроект, 2019.
 18. Определение на базе исследований физиологических свойств *Chlorella vulgaris* BIN ее способности к изменениям альгоценоза при различных количественных отношениях их концентраций в воде и научное обоснование механизма процесса. Екатеринбург: РосНИИВХ, 2021. 374 с.
 19. Письмо Федерального агентства водных ресурсов ВН-02-19/3430 от 03.07.2014.
 20. Предварительные материалы ОВОС эксплуатации энергоблока № 1 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной. Кн. 2. Валдай: Гидротехпроект, 2018.
 21. Предварительные материалы ОВОС эксплуатации энергоблока № 3 Ростовской АЭС в 18-месячном топливном цикле на мощности реакторной установки 104% от номинальной с вентиляторными градирнями. Кн. 2. Валдай: Гидротехпроект, 2018.
 22. Программа борьбы с планктоном составят для Сурского моря. https://penza.aif.ru/society/programmu_borby_s_planktonom_sostavyat_dlya_surskogo_morya (дата обращения: 03.10.2019)
 23. Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. М.: Мысль, 1990. 637 с.
 24. Схема водоснабжения и водоотведения МО Севастьяновское сельское поселение Приозерского муниципального района Ленинградской области на период до 2028 года. СПб.: ЯНЭНЕРГО, 2013. 98 с.
 25. Форум обсуждения проблем города Череповец. http://forum.cherepovets.net/lofi_version/index.php/t152457-200.html
 26. Хлорелла для альголизации водоемов. http://ecoforwardgroup.ru/?page_id=348
 27. Цветение воды в Сурском водохранилище не является причиной неприятного запаха водопроводной жидкости. http://tv-express.ru/news_info/14507/ (дата обращения: 17.08.2010)
 28. Щенетова В.А., Толстова Т.В. Анализ экологического состояния Пензенского водохранилища // Фундаментал. исследования. 2011. № 8. С. 188–189.
 29. Яковлев С.В., Ходяков Е.А., Калинина С.Г. Улучшение экологического состояния Приплотинного плеса Цимлянского водохранилища методом альголизации // Глобальная ядерная безопасность. 2012. Спец. вып. 3.
 30. <http://www.algobiotehnologia.com/info/contacts.php>