УДК 574.635 (571.51)

И. В. МИХНО[1], Ж. А. СТАРОДУБЦЕВА[2]

ПУТИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ ВОДОХРАНИЛИЩА РЕКИ БОЛЬШАЯ КАМАЛА (КРАСНОЯРСКИЙ КРАЙ)

[1]*МБОУ «Лицей №174», г. Зеленогорск, Россия*
[2]*МБУ ДО «ЦО «Перспектива», г. Зеленогорск, Россия*
zhanets@yandex.ru

Описан опыт четырехлетнего цикла биологической реабилитации водохранилища р. Большая Камала методом коррекции альгоценоза. Показано, что альголизация является эффективным мероприятием, направленным на обеспечение экологической безопасности рекреационного водопользования.

Ключевые слова: альголизация, синезеленые водоросли, хлорелла, экологический мониторинг, природоохранные мероприятия.

Данная работа направлена на выявление источников загрязнения водохранилища на р. Большая Камала в рамках городского экологического проекта «Живи. Озеро!» Высокая практическая значимость исследования обусловлена тем, что водоем является рекреационным, на берегу которого расположен санаторий-профилакторий «Березка» г. Зеленогорска Красноярского края.

Несмотря на улучшение качества воды в водохранилище за период 2017-2019 гг., темпы улучшения ниже, чем в описанном опыте других территорий. Например, в Нижнетагильском водохранилище уже за три года водоем полностью освободился от цианобактерий, а Васильевский пруд в г. Тольятти – за полный цикл реабилитации (4 года) приобрел статус

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

«рекреационного» водоема. Было выдвинуто предположение, что причиной является постоянное поступление в водоем биогенных веществ от промышленных и сельскохозяйственных предприятий, расположенных вверх по течению реки Б. Камала.

Летом 2019 года была организована экспедиция по отбору проб воды на восьми станциях вверх по течению реки и ее притоках, вблизи населенных пунктов, предположительно загрязняющих воду в результате хозяйственной деятельности человека. Две из станций были определены в различных местах водохранилища, разделенных искусственно-созданной в 80-е годы косой. На каждой из станций были отобраны пробы воды для проведения органолептического анализа, численности синезеленых водорослей, гидрохимического анализа в лаборатории АО «ПО «Электрохимзавод» на измерение количества растворенного кислорода, $БПК_5$, ХПК, pH, аммонийного, нитратного, нитритного азота и фосфатов. На основе подсчета индекса ИЗВ, а также соответствия органолептических показателей ПДК веществ в водоемах рыбохозяйственного значения, было установлено, что тормозящим фактором эффективности искусственной альголизации водохранилища р. Большая Камала является антропогенное влияние, заключающееся: 1) в создании косы, которая привела к снижению проточности, повышению температуры воды, интенсивному цветению ядовитыми синезелеными водорослями 2) река Ирша, проходя через г. Бородино, приносит в р. Большая Камала воду низкого качества. Поэтому необходимость двукратного увеличения количества альголизанта, и/или, решение вопроса о реконструкции косы и являются путями осуществления экологической реабилитации.

В 2015-2016 учебном году было проведено исследование по теме «Трофическое состояние рекреационных водоемов ЗАТО г. Зеленогорска – показатель их старения». В результате была выявлена проблема интенсивного загрязнения водохранилища р. Большая Камала, расположенного на территории санатория-профилактория «Березка». Проблема эта заключалась в неудовлетворительных показателях прозрачности воды (7 см.), высокой концентрации хлорофилла-а, низком содержании растворенного в воде кислорода, неприятный запах, наличие на поверхности хлопьев водорослей. Все это указывало на наличие процессов, ведущих к его превращению в болото, статус водоема былопределен, как «высокоэвтрофный».

Еще тогда, в 2016 году мы задумались над причиной загрязнения, предполагая, что загрязнение является аллохтонным (привнесенным) и вверх по течению реки располагаются фермы по выращиванию и содержанию крупного рогатого скота, сельскохозяйственные угодья, промышленные предприятия. Сточные воды вышеперечисленных объектов негативного

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

воздействия поступают в реку и, затем в наше водохранилище, способствуя бурному росту синезеленых водорослей. Вместе с тем, анализируя обстановку с развитием сельского хозяйства в Рыбинском районе Красноярского края сложилось мнение, что в период распада СССР и становления рыночной экономики, большинство ферм и с/х угодий в настоящее время не функционируют. Эту ситуацию мы использовали в качестве шанса для спасения водоема и была поставлена цель найти способ сокращения численности синезеленых водорослей и улучшения качества воды в гидробиологическом и гидрохимическом отношении.

Этот способ был найден – это биологическая реабилитация методом коррекции альгоценоза. Суть метода заключается во вселении в водоем оригинального штамма одноклеточной зеленой микроводоросли *Chlorella kessleri* ВКПМ А1-11 ARW в течение четырех лет трехкратно: подледное вселение, послепаводковое, летнее. Хлорелла борется с синезелеными водорослями путем естественной биологической конкуренции, и с ее помощью за четыре года водоем может освободиться от массового развития синезеленых водорослей и, несомненно, качество воды улучшится.

Метод был проверен в лабораторных условиях *in vitro* МБУ ДО «ЦО «Перспектива», и было принято решение о внедрении способа *in vivo*. На проведение работ по альголизации водоема в 2017 году было получено разрешение Енисейского территориального управления Федерального агентства по рыболовству.

В течение 2017, 2018, 2019 гг. были реализованы мероприятия по альголизации водохранилища в рамках проекта биологической реабилитации «Живи. Озеро!». Отмечается улучшение качества воды, Вместе с тем, темпы улучшения качества воды хуже, чем в описанном опыте других водных объектов (Матырского водохранилища [1,2], Большого Васильевского озера в г. Тольятти). В условиях Сибири данный метод апробируется впервые. Предполагаем, что причиной является постоянное поступление в водоем биогенных веществ от промышленных и сельскохозяйственных предприятий, расположенных вверх по течению реки Б. Камала, которые подкармливая синезеленых, способствуют их бурному размножению и снижают эффективность работы хлореллы. Гипотеза снова стала актуальной: загрязнение водоема является аллохтонным (привнесенным).

Для восстановления истории возникновения водохранилища мне удалось беседовать с бывшим мэром г. Зеленогорска Моргуновым А.А, так как в Архиве города сведений нет. Александр Александрович руководил работами по строительству санатория и создания водохранилища.

В 70-е годы XX столетия, в период строительства санатория-профилактория «Березка» (в 25 км от города Зеленогорска Красноярского края) для работников Электрохимического завода, русло реки было

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

видоизменено в водохранилище, территория был затоплена, поставлена дамба. Отдыхающие санатория и жители города с удовольствием стали проводить время на берегу «озера» для прогулок, рыбалки, пикников и т.д. В 80-е годы «озеро» начало интенсивно цвести, увеличился слой ила, и руководством города было принято решение очистки ложа водохранилища путем спуска воды. Вода была частично спущена. Рыба барахталась в иле. Бульдозеры соскребали ил со дна водоема. Часть ила вывозили на машинах, а часть из-за нехватки техники сгребали с левого и правого берега к центру, тем самым частично перегородив правую часть водоема от левой косой, протяженностью около 300 м., почти на половину уходящей в центр водоема. Так у рыбаков появилось новое место для рыбалки, пикника, куда можно было заехать даже на машине, так как ширина косы в некоторых местах составляет 9 метров.

Водоем вновь заполнили «чистой» водой. Снова «озеро» начало привлекать туристов своим живописным видом, возможностью прокатиться на катамаране, искупаться. Однако уже в через 10 лет, в 2016 году находиться на его берегу было неприятно: хлопья синезеленых водорослей на поверхности, неприятный резкий запах, очень низкая прозрачность (всего 7 см.). Никто как оказалось, уже давно в нем не купается. Сложилось ощущение, что водоем уже превращается в болото.

Река Большая Камала, на которой создано водохранилище в санатории «Березка» берет свое начало в окрестностях д. Верховая Рыбинского р-на (55º57´с.ш, 095º02 в.д.), впадает в р. Кан, протяженность 50 км. Проходит вдоль железной дороги, через населенные пункты: Камалинка, Новокамала, Михалевка, Гмирянка. Свои воды в нее приносят малые реки Ирша, Малая Камала, которые проходят через крупные населенные пункты п. Ирша, г. Бородино. На 36-м км по течению р. Б.Камала создано водохранилище в с/п «Березка».

В результате анализа карты были обозначены 6 станций для исследования, расположенные после прохождением реки населенных пунктов, предположительно наносящих вред качеству воды (рисунок 1).

Две станции были расположены по правую и левую сторону от косы, перегораживающей водоем, предполагая, что коса также может стать причиной загрязнения, препятствуя проточности воды.

По всем показателям (цвет, прозрачность, запах, интенсивность запаха) пробы №2,4,5,6 соответствуют ПДК водоемов рыбохозяйственного значения; частично не соответствуют – пробы №1,7, полностью не соответствуют – пробы №3,8.

В пробах воды 2,4,5,6 синезеленые водоросли *Anabaena sp.* и *Aphanizomenon sp.* не обнаружены. Отмечается единичная встречаемость в пробе № 1, 3. В пробе №7 (справа от косы водохранилища в с/п «Березка»)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Anabaena sp. встречается единично, а *Aphanizomenon sp.* – очень редко (единичные экземпляры в пробе).

Рисунок 1 – Схема расположение станций для исследования

Также видно, что в пробе №8 (слева от косы водохранилища с/п Березка») частота встречаемости синезеленых Anabaena sp. и *Aphanizomenon sp*. резко увеличивается до 4 и 5 баллов (не редко). Таким образом, впервые синезеленые водоросли Aphanizomenon sp. появляются в р. Большая Камала после ее слияния с р. Ирша, несущей воды из г. Бородино, но резкое увеличение численности синезеленых заметно лишь в пробе № 8 (слева от косы в водохранилище с/п «Березка») (таблица 1,таблица 2).

Самые загрязненные – это точа №3, №8. С другой стороны, повышенное содержание $БПК_5$ указывает на то, что в точке 8 (за косой) создаются условия для аккумуляции большого количества органического вещества и хлорелла, с помощью кислорода способствует активному поглощениию органических веществ и $БПК_5$ увеличивается. Значения водородного показателя находятся в целом пределах нормы 6,5 – 8,5 ед, pH. Незначительно повышенное значение pH в точке № 8, показывает, что за счет альголизации активно идет процесс фотосинтеза, при котором происходит расход углекислого газа и pH увеличивается.

Таблица 1 – Органолептические показатели воды по станциям исследования, 2019

№ станции	цвет	Прозрачность по шрифту Снеллина	Прозрачность по диску Секки	Запах	Интенсивность запаха
ПДК	незначи-тельная окраска	не менее 20 см	не менее 100 см	естестве нный	2 балла. Слабый.
1	незначи-тельная окраска (серо-желтый оттенок)	35 см	56 см	земли-стый	2 балла. слабый.
2	незначи-тельная окраска	37 см	до дна (90 см)	естест-венный	1 балл. очень слабый
3	серо-желтый	19 см.	до дна (30 см.) очень мутная	земли-стый, гнилост-ный	2 балла слабый
4	незначитель ная окраска	37 см.	до дна (80-100 см.)	естест-венный	1 балл очень слабый
5	без цвета	более 40 см.	до дна	без запаха	без запаха
6	без цвета	более 40 см.	до дна	без запаха	без запаха
7	серо-желтый оттенок	34 см.	50 см.	Земли-стый	2 балла слабый
8	зеленовато-желтый	29 см.	28 см.	илистый, тинис-тый	3 балла заметный

Таблица 2 – Частота встречаемости синезеленых водорослей по станциям исследования по глазомерной шкале Пантле и Букка

№ станции	*Anabaena sp.*	*Afanizomenon sp.*
1	1 (единично)	1 (единично)
2	не обнаружены	не обнаружены
3	не обнаружены	1 (единично)
4	не обнаружены	не обнаружены
5	не обнаружены	не обнаружены
6	не обнаружены	не обнаружены
7	1 (единично)	2 (очень редко)
8	4 (редко)	5 (не редко)

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

Количество растворенного в воде кислорода является важным показателем, позволяющим судить об эффективности искусственной альголизации водохранилища на р. Большая Камала. Пробы, отобранные в точке № 8, характеризующей застойную зону показали самое большое содержание кислорода, даже выше чем в проточной воде. Данный факт показывает эффективность применяемого метода.

Химическое потребление кислорода является показателем, показывающим количество кислорода, идущего на процессы окисления легкоокисляемых органических соединений в ходе химических реакций, и этот показатель также выше в застойной части, что также может быть связано с деятельностью хлореллы. Кстати, водоем считается рекреационным, если показатель ХПК не более 30.

Аммонийный, нитритный и нитратный азот характеризуют уровень загрязнения водного объекта хозяйственно-бытовыми сточными водами или аномально высокие содержания данных токсикантов обусловлены смывом с сельскохозяйственных угодий, происходящим во время ливневых дождей.

Причем, повышенное содержание аммонийного азота свидетельствует о свежем поступлении загрязнения. Затем аммонийный азот под действием нитрифицирующих бактерий переходит в наиболее токсичную, но и одновременно, нестойкую форму – нитритный азот. Нитратный азот является продуктом жизнедеятельности денитрифицирующих бактерий и конечной формой преобразования азота. Отмечается, что в застойной зоне благодаря альголизации содержание данного токсиканта находится на одном уровне, что и в точке, характеризующей исток р. Камалы. Точки №1 и№3, характеризуют наибольшее нитратное загрязнение, что обусловливается поступлением сравнительно большего количества биогенных загрязнителей

Фосфаты, как и азот аммонийный, нитраты, нитриты являются биогенными загрязняющими веществами, поэтому причины их повышенного содержания аналогичны выше названным.

Из приведенных выше данных таблиц очевидно, что р. Ирша, которая проходит через г. Бородино, заметно ухудшает качество воды р. Большая Камала, по всем показателям, но к приходу воды в водохранилище с/п «Березка» (справа от косы, вдоль бывшего русла) ее качество заметно улучшается, вероятнее всего благодаря альголизации. Однако с левой стороны от косы водохранилища изменение качества воды вполне объяснимо: судя по $БПК_5$ качество воды заметно ухудшается, что указывает на интенсивно проходящие процессы окисления загрязняющих веществ, а если судить по ИЗВ – качество воды за косой незначительно улучшается, по

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

сравнению с руслом. Так как ИЗВ – интегральная оценка, это указывает на эффективность работы мероприятий по альголизации водоема путем вселения живой одноклеточной водоросли хлореллы, вероятнее всего этот показатель был бы еще выше при увеличении количества вносимого альголизанта и / или если бы водоем был слабопроточным.

1) Возможными причинами высокой степени эвтрофирования водохранилища р. Большая Камала, проявляющемся в интенсивном цветении синезелеными водорослями могут быть снижение проточности из-за зарегулирования речного стока, поступлении биогенных элементов веществ из затопленных почв, с промышленными, хозяйственно-бытовыми и сельскохозяйственными стоками, из донных отложений, разлагающихся остатков фитопланктона и высшей водной растительности. Водохранилище р. Большая Камала, являясь характерным равнинным водохранилищем, обладает низкой проточностью, высоким содержанием органического вещества, подвергается всем факторам техногенеза, так как река проходит через населенные пункты вверх по течению и проходит вдоль железной дороги. Из беседы с А. Моргуновым стало известно, что коса в водохранилище антропогенного происхождения, образовалась в результате очистки ложа от донных отложений.

2) Для поиска источника загрязнения были выбраны 8 станций на вдоль р. Большая Камала и ее притоков, предположительно претерпевающие антропогенное влияние. Химический и гидробиологический анализы проб воды по станциям исследования указывает на негативное влияние г. Бородино на качество воды р. Ирша (левого притока р. Большая Камала), а, следовательно, и р. Большая Камала. Вместе с тем, на подходе к водохранилищу в с/п «Березка» качество воды заметно улучшается, что можно объяснить интенсивностью процессов самоочищения. Изменение качества воды также наблюдается в левой (юго-восточной) части водохранилища с/п «Березка», лишенного проточности из-за косы, протяженностью около 300 м.

Таким образом, тормозящим фактором эффективности искусственной альголизации водохранилища р. Большая Камала является антропогенное влияние, заключающееся 1) в создании косы, которая привела к снижению проточности, повышению температуры воды, интенсивному цветению ядовитыми синезелеными водорослями; 2) река Ирша (левый приток р. Б. Камала), проходя через г. Бородино, приносит в р. Большая Камала воду низкого качества.

Поэтому считаем необходимым:1) двукратно увеличить количество альголизанта; 2) сообщить информацию о качестве воды р. Ирша в администрацию Рыбинского р-на Красноярского края; 3) изучить

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ

способы создания дополнительной проточности в водоеме; 4) оценить возможности и объемы работ по реконструкции косы или ее удалению: провести необходимые измерения для проведения расчетов объем грунта для удаления, составить примерную смету расходов для проведения земельных работ. 5) Смоделировать реконструкцию косы, экспериментальным путем подтвердить эффективность ее работы. Только после этого можно будет продвигать вопрос о проведении работ по ее реконструкции на местности.

Список литературы

1 Анциферова, Г.А. Биотехнологии в управлении качеством искусственных водных объектов на примере Матырского водохранилища / Г.А. Анциферова, В.В. Кульнев // Комплексные проблемы техносферной безопасности материалы Международной научно - практической конференции, 2016. – С. 152-157.

2 Анциферова, Г.А. Искусственные водные объекты бассейна реки Воронеж и альгобиотехнология в управлении качеством вод / Г.А. Анциферова, В.В. Кульнев, С.Л. Шевырев, Е.В. Беспалова, Н.И. Русова, А.Е. Скосарь // Экология и промышленность России, 2018. – Т. 22. № 8. – С. 50-54.

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ