



БИОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ И ВОЗМОЖНОСТИ УСТРАНЕНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ

В.И. Щербаков, Н.В. Кузнецова, Т.В. Щукина, Р.С. Шевченко

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

На примере Воронежского водохранилища анализируется экологическое состояние и причины бедственного положения в искусственно созданных водных объектах. Приводятся данные по сточным водам Левобережных очистных сооружений, сбрасываемым до гидроузла. Превышение показателей концентраций сигнализирует об выработанности ресурсов очистного оборудования и о необходимости реконструкции предприятия. Так как модернизация технологических процессов требует значительных и долгосрочных инвестиций, то для стабилизации ситуации и нормализации среды обитания ихтиофауны предлагается применять гидромеханическую очистку водохранилища. Используя станции сбора и улавливания загрязнений, установленные на малогабаритных судах, можно подавлять активное размножение в теплый период года сине-зеленых водорослей, способствующих ухудшению экологической обстановки. Применение сменных картриджей для фильтров, заполненных измельченными жесткими видами водорослей, направлено на дополнительное очищение водоемов. Содержание картриджей, насыщенных фитопланктоном, может быть утилизировано в метантенках или при их отсутствии выгружено посредством разбрасывания на сельскохозяйственные поля в качестве удобрения.

Ключевые слова: водные объекты, экология, сине-зеленые водоросли, гидромеханическая очистка.

BIOGENIC POLLUTION OF WATER BODIES AND THE POSSIBILITY OF ELIMINATING THE CONSEQUENCES

V.I. Shcherbakov, N.V. Kuznetsova, T.V. Shchukina, R.S. Shevchenko

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russia

The ecological condition and causes of distress in artificially created water bodies are analyzed on the example of the Voronezh reservoir. Data on wastewater of the Left Bank Treatment Facilities discharged to the hydraulic unit are given. There was an excess of concentrations of harmful substances. Since modernization of technological processes at treatment facilities requires significant investments, it is proposed to use hydromechanical purification of the reservoir to improve the habitat of river fauna. Using mobile pollution collection and capture stations, active reproduction during the warm season of blue-green algae can be suppressed. The use of replaceable cartridges for filters filled with crushed rigid species of algae is aimed at additional cleaning of water bodies. Cartridge contents can be disposed of in biogas station reactors or discharged by spreading into agricultural fields as fertilizer.

Key words: water bodies, ecology, blue-green algae, hydromechanical purification.

Стремительное развитие производственного потенциала Советского Союза в 50–70-х годах прошлого столетия заложило основу формирования урбанизированных территорий с последующим их расширением. После перехода на иную политико-экономическую систему дальнейшая активная экспансия в зонах с относительно благоприятными условиями для торгово-промышленного бизнеса привела к образованию мегаполисов с достаточно критическими показателями экологической обстановки. Это, прежде всего, связано со значительным потреблением водных ресурсов, вызванным производственной деятельностью, а также высокой плотностью населения.

Ранее считалось, что эффективным решением такой глобальной проблемы является создание водохранилищ. Однако изыскательские, проектные и строительные работы не сопровождались глубоким анализом возможных последствий для природной среды и долгосрочными оценками негативного влияния на экосистемы водоемов и прибрежных территорий. Так, например, не стало исключением и Воронежское водохранилище, введенное в эксплуатацию в 1972 году. Уже с момента заполнения гидросооружения был внесен дисбаланс в водные ресурсы городского округа, который в дальнейшем только усугублялся. В последние годы

для воронежцев уже стало очевидным наличие серьезных экологических проблем, как накопившихся, так и связанных с ежедневной производственно-хозяйственной деятельностью, требующей незамедлительной модернизации.

Результаты проводимых обследований [1–3] выявили значительные показатели по заиленности в русле водохранилища и намывные площади островов на поверхности акватории, самые большие из которых Песчаный и Петровский острова, площадью 11 и 3,6 га, соответственно. С каждым годом увеличивается распространение жестких форм растительности, сокращается видовое разнообразие ихтиофлоры и ихтиофауны, фиксируется изменение теплового баланса, вызванного сбросом промышленных вод и развитием антропогенных факторов. Концентрация тяжелых металлов, таких как свинец, цинк, никель, в песчаных донных отложениях находится в пределах от 0,3 до 2,5 мг/кг, а в иловых от 0,38 до 18 мг/кг [3].

Ухудшение экологии Воронежского водохранилища связано, в том числе, и с замедленным водным обменом, характерным для искусственно созданных объектов. Следствие этого, происходит обильное размножение в теплый период года сине-зеленых водорослей. Их высокая репродуктивная способность вызвана большим

содержанием растворенных органических веществ различного происхождения, значительными площадями плесов малой глубины с ослабленным течением и хорошей прогреваемостью солнечным излучением [4–8]. Перечисленные благоприятные условия способствуют за период продолжительностью в 70 дней производить одной исходной клеткой до 10^{20} дочерних, вызывая интенсивное «цветение» воды [4].

Такие показатели неблагоприятной экологической обстановки приводят к крайне жестким условиям выживания речной флоры и фауны. Однако снизить техногенную нагрузку от сточных вод промышленных предприятий на данном этапе не представляется возможным, так как модернизация технологических процессов мало и безотходной направленности требует значительных инвестиций. Несмотря на промышленные стоки, изменить ситуацию представляется возможным, так как экологическую обстановку усугубляют Левобережные очистные сооружения (ЛОС) (табл. 1), ливневая канализация городского округа и многочисленные несанкционированные сбросы. Выработанность ресурса очистного оборудования ЛОС и достаточно высокая концентрация органических веществ и химических соединений, вызванные снижением потребления воды из-за повсеместной установки счетчиков, создают отрицательную динамику загрязнения водохранилища, которая зафиксирована космическими снимками (рис. 1, 2). Улучшение качества воды на выделенном участке акватории (рис. 1, 2) может быть достигнуто посредством решения следующих задач: строительства новых веток канализационных сетей, введением в действие оборудования с высокими показателями степени очистки сточных вод, удалением и утилизацией сине-зеленых водорослей в зонах их высокой репродуктивности.

По результатам исследований комплекс ЛОС ввиду изношенности оборудования сбрасывает в водохранилище не доведенные до нормативного осветления сточные воды. Это происходит, в том числе, и по причине выхода из строя метантенков. Поэтому при сбросе загрязняющих веществ через выпуски локальных очистных сооружений наблюдаются превышения по 10 показателям из 14, подвергаемых целевому контролю. Чтобы концентрация не превышала ПДК необходимо выполнить анализ функциональных параметров действующих систем очистки сточных вод, оценить возможности применения инновационных методов, позволяющих не только повысить качество сточных вод на выпуске, но и получить ресурсы для производства как тепловой, так и электрической энергии, а так же разработать проектные реше-

ния для их дальнейшего внедрения. Приведенные показатели (табл. 1) подтверждают, что сбрасываемые в водохранилище воды по загрязнению близки к критическому уровню и это экологическое бедствие требует реконструкции предприятия или же возведение качественно новых сооружений.

Таблица 1

Содержание загрязняющих веществ в сточных водах после очистки на ЛОС по состоянию на 2017 г. [1]

Наименование загрязняющих веществ	Концентрации загрязняющих веществ, мг/дм ³	ПДК рыбохозяйственного водоема 1-й категории (рх)	Превышения ПДК _{рх} в «п» раз
Взвешенные вещества	20,82	12,55	1,7
Сухой остаток	788,3	1000	-
Хлориды	139,2	300	-
Сульфаты	92,4	100	-
Азот амоний.	10,25	0,39	26,3
Нитрат-ион	31,93	40	-
Нитрит-ион	0,61	0,08	7,6
АПАВ	0,258	0,1	2,6
БПК _{полн.}	32,26	3,0	10,8
Медь	0,039	0,001	39,0
Цинк	0,05	0,01	5,0
Железо общ.	0,802	0,1	8,0
Нефтепродукты	0,149	0,05	3,0
Фосфаты (по Р)	1,19	0,2	6,0

В результате низкой эффективности очистки фиксируется значительное и постепенно повышающееся содержание органических веществ в водах между Вогресовским мостом и плотиной гидроузла (рис. 1, 2). В летний период экологическая обстановка в водохранилище усугубляется интенсивно размножающимися сине-зелеными водорослями, которые с достаточно высокой скоростью распространяются, в том числе, и выше по течению. Между тем, данный вид фитопланктона, а также жесткая водная растительность являются сырьем хорошего качества для метаногенеза, позволяющего эффективно утилизировать органические отходы.

«Цветение» воды в Воронежском водохранилище, наблюдаемое в 2019 году, в основном было вызвано следующими видами сине-зеленых водорослей *Anabeana*, *Aphanizomenon*, *Microcystis*, *Oscillatoria* и *Phormidium*. В местах скопления фитопланктона их содержание в 2019 году достигало до 20 кг/м³ по биомассе сухого вещества. В результате наличия органики и высокой температуры наружного воздуха в июне происходило массовое развитие и распространение по акватории сине-зеленых водорослей. Так как хемосинтез сопровождается выделением сероводорода и поглощением азота, то в

районах плесов ощущался характерный неприятный запах, сигнализирующий о бедственном состоянии водной среды.

Несмотря на негативные последствия от стремительного развития фитопланктона, его можно успешно утилизировать, как на отдельных установках, так и в качестве обогащения для осадков сточных вод, отправляемых на метантенки ЛОС. При анаэробном сбраживании 1 кг сухой массы водорослей при температуре 32 °С получается биогаз объемом 0,8-1 м³, в состав которого входит 65 % метана (CH₄), до 30 % углекислого газа (CO₂) и в среднем по 1 % следующих компонентов H₂, H₂S, O₂ и N₂ [9-11].



Рис. 1. Космический снимок с высоты 1,54 км Воронежского водохранилища с выделенной зоной загрязнения и района расположения ЛОС (осень 2016)

Технологию сбора в зонах высокой репродуктивности сине-зеленых водорослей можно осуществить посредством плавающих накопительных станций, работающих по принципу гидромеханического удаления биомассы из мест скопления. Использование так называемого «водного пылесоса» с целевой насадкой позволяет убрать с поверхности фитопланктон и жидкость его содержащую пропустить через фильтр, установленный на палубе судна. Сменный картридж фильтра целесообразно наполнять рубленым камышом или какой-либо другой жесткой растительностью. При ограничениях в объемах естественного воспроизводства водорослей жесткого типа насадка может быть заполнена соломой от различных злаковых или какими-либо другими отходами, образующимися после выращивания на полях различного вида культур. При использовании ихтифлоры происходит дополнительная очистка водоема, улучшающая среду обитания для речной фауны.

По результатам обследования акватории [3] жесткая растительность, к которой относится тростник обыкновенный из семейства Злаковых, все больше распространяется в верховьях Воронежского водохранилища, увеличивая площадь зарастания (рис. 3). Активно распространяясь, тростниковые поля способствуют формированию тормозящих течение барьеров, что приводит к осадконакоплению, заиливанию и дальнейшему зарастанию русла. Регрессионный

анализ, выполненный на основе данных многолетних наблюдений [3], позволяет при отсутствии работ по улучшения состояния с достаточной точностью прогнозировать дальнейшие изменения в акватории посредством уравнений

$$S_{Ж.Р.} = 122,83 + 11,368\tau + 0,0046\tau^2, \quad (1)$$

$$S_{О.} = 53,084 \ln(\tau) - 5,4717, \quad (2)$$

где $S_{Ж.Р.}$ – площадь мелководий с жесткой растительностью, га; $S_{О.}$ – площадь островов естественного формирования, га; τ – время эксплуатации водохранилища в годах, отсчитываемое от даты его заполнения в 1972 г.

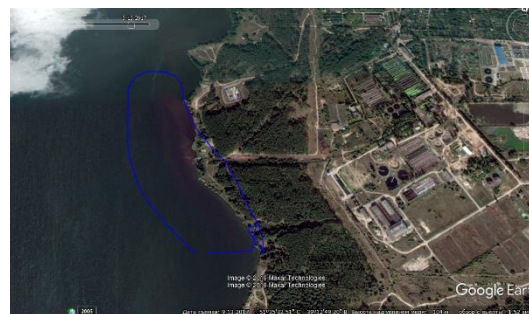


Рис. 2. Космический снимок с высоты 1,52 км Воронежского водохранилища с выделенной зоной загрязнения (осень 2017)

В результате в 2030 г. площадь мелководий со средой обитания комфортной для речной фауны сократится, так как жесткая растительность при существующих темпах экспансии территорий будет занимать 797,65 га, что составит 4,1 % от фактической площади мелководий. Островная часть водохранилища при учете сложившейся динамики течений практически не изменится и не будет превышать 211 га в соответствии с формулой (2).

Несмотря на вносимый дисбаланс в водообмен и вызываемое угнетение разнообразия речной флоры, тростник имеет высокие показатели по метаногенезу при анаэробном сбраживании, что дает возможность эффективно утилизировать общую биомассу [12–15]. При использовании гидромеханической технологии сбора после насыщения насадки фильтра сине-зелеными водорослями полученный субстрат направляется на очистные сооружения перед подачей в метантенки либо на специально созданную для этой цели биогазовую станцию. Однако по экономическим показателям предпочтительней первый вариант утилизации. Кроме того, следует отметить, что при отсутствии реакторов на очистных сооружениях, а также при долгосрочных инвестициях по их возведению, выгрузка может осуществляться на сельскохозяйственные поля посредством механизации процесса разбрасывания биомассы по площади участков. Как уже отмечалось, в вегетативный период сине-зеленые водоросли поглощают азот, который при их разложении, попадая в почву, хорошо усваивается культурной расти-

тельностью полей. Однако такой вид утилизации содержания картриджей предполагает, что присутствие вредных химических элементов будет минимальным и безопасным.

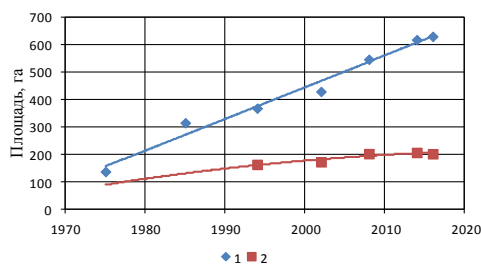


Рис. 3. Динамика экспансии жесткой растительности и формирования островной суши в Воронежском водохранилище: 1 – площадь жесткой растительности в верховьях водохранилища; 2 – площадь намываемых территорий

В настоящее время два метантенка Левобережных очистных сооружений после периода длительного функционирования выведены из эксплуатации. Отсутствие процесса анаэробного сбраживания увеличивает вероятность

эпидемиологической опасности. Поэтому ведется активный поиск инвестиций, которые позволили бы выполнить техническое переоснащение ЛОС, реконструкцию и строительство новых метантенков.

Имея эффективную технику сбора и утилизации для интенсивно репродуцируемой речной флоры, можно улучшить экологическую обстановку, однако существенных успехов можно достичь только при модернизации очистных сооружений, что является для городского округа первоочередной задачей. Но даже при инновационных технологиях, значительно повышающих качество сбрасываемых вод, сложившиеся экосистемы искусственно созданных водоемов способствуют активной репродуктивности сине-зеленых водорослей, что предполагает их периодическую чистку и утилизацию фитопланктона. Предлагаемый способ при незначительных денежных средствах, расходуемых на обустройство станций на малогабаритных судах, эффективно предотвращает активное «цветение» воды и позволяет утилизировать уловленную биомассу с извлечением полезных ресурсов без загрязнения окружающей среды.

Список литературы

1. Доклад о состоянии окружающей среды на территории Воронежской области в 2013 году. Департамент природных ресурсов и экологии Воронежской области. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, – 2014. – 192 с.
2. Михно В.Б., Добров А.И. Ландшафтно-экологические особенности водохранилищ и прудов Воронежской области. – Воронеж: Воронежский государственный педагогический университет, – 2000. – 185 с.
3. Сейдалиев Г.С., Косинова И.И., Соколова Т.В., Силкин К.Ю. Экологический менеджмент территорий Воронежского водохранилища. – Воронеж: Истоки, – 2017. – 186 с.
4. Кульский Л.А., Сиренко Л.А., Шкавро З.Н. Фитопланктон и вода. Киев: Наук. думка, – 1986. – 135 с.
5. Скрябин А.Ю., Поповьян Г.В., Тронь И.А. Изучение факторов, влияющих на интенсивное развитие микроводорослей в реке Дон // Водоснабжение и санитарная техника. – 2017. – № 4. – С. 5–8.
6. Щербаков В.И., Кумедов Б.М. Негативное влияние сокращения дебита реки на растительный мир на берегах и в дельте // Научный журнал «Лесной журнал». – 2015. – № 4. – С.133–137.
7. Хецуриани Е.Д., Колмакова Т.С., Акименко М.А., Хецуриани Т.Е. Экологическая безопасность водной среды – залог здорового будущего // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2018. – Вып. 54(73). С. 156–164.
8. Никитин О.В., Антюкова К.Г., Кузьмин Н.Б., Глякина М.В., Латыпова В.З. Перспектива применения экстракта из ячменной соломы для борьбы с цветением водоемов // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. – 2019. – № 7 (139). С. 24–28.
9. Шумаков Ф.Т. О перспективах использования сине-зеленых водорослей в системах энергосбережения Украины // Ученые записки Таврического национального университета имени В.И. Вернадского. Серия «География». Том 23 (62). 2010. № 2. С. 286–295.
10. Moeller L., Bauer A., Wedwitschka H., Stinner W., Zehndorf A. Crop characteristics of aquatic macrophytes for use as a substrate in anaerobic digestion plants - a study from germany // Energies. 2018. 11(11). 3016.
11. Nykyforov V., Malovanyu M., Kozlovs'ka T., Novokhatko O., Digtar S. The biotechnological ways of blue-green algae complex processing // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2016. 5/10 (83). P. 11-18.
12. Rodriguez C., Alaswad A., Mooney J., Prescott T. et al. Pre-treatment techniques used for anaerobic digestion of algae // Fuel Process. Technol. 2015. 138. P. 765–779.
13. Caporgno M.P., Trobajo R., Caiola N., Ibanez C. et al. Biogas production from sewage sludge and micro algae co-digestion under mesophilic and thermophilic conditions // Renew. Energy. 2015. 75. P. 374–380.
14. Шмандий В.М., Никифоров В.В., Алферов В.П., Харламова Е.В., Пронин В.А. Использование сине-зеленых водорослей для получения биогаза // Гигиена и санитария. 2010. – № 6. – С.35–37.
15. Милюткин В.А., Толпекин С. А., Бородулин И. В., Агарков Е. А. Возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – биотопливо из биомассы смезеленых водорослей – цианобактерий // «Приоритетные направления развития энергетики в АПК». Сборник статей по материалам II Всероссийской (национальной) научно-практической конференции. 2018. С. 104–109.

© В.И. Щербаков, Н.В. Кузнецова, Т.В. Щукина, Р.С. Шевченко

Ссылка для цитирования:

В.И. Щербаков, Н.В. Кузнецова, Т.В. Щукина, Р.С. Шевченко. Биогенное загрязнение водных объектов и возможности устранения последствий // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 4 (34). С. 66–69.