

- ЖКХ и техносферной безопасности : материалы V Всеросс. Науч.-техн. конф., Волгоград, 23–28 апреля 2018 г. / редкол.: Н. Ю. Ермилова. – Волгоград.: Волгоградский государственный технический университет, 2018. – С. 85–87.
5. De-Bashan L.E. Immobilized microalgae for removing pollutants: review of practical aspects / L.E. De-Bashan, Y. Bashan. – Bioresour. Technol., 2010, Vol. 101, № 6, pp. 1611–1627.
6. Глухих, В. В. Получение, свойства и применение биоразлагаемых древесно-полимерных композитов (обзор) / В. В. Глухих, А. Е. Шкуро, Т. А. Гуда, О. В. Стоянов. – Вестник Казанского технологического университета, 2012. – Т. 15, № 9. – С. 75–82.

УДК 628.32:574.6

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ БАЛАНСА ПРЭСНОВОДНЫХ ВОДОЁМОВ С ПОМОЩЬЮ ХЛОРЕЛЛЫ (CHLORELLA VULGARIS IBCE C-19)

**Юницкий А.Э., кандидат философии транспорта, ген. конст.,
Артюшевский С.В., Зыль Н.С., Налётов И.В., Павлюченко А.М.**

*ЗАО «Струнные технологии»,
г. Минск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье рассмотрена проблема смещения баланса пресноводных водоёмов и предложен способ решения данного вопроса. Описаны методы экологической оценки пресноводных объектов. Предложена методика биологической реабилитации водоёма с использованием суспензии микроводоросли хлореллы (*Chlorella vulgaris* IBCE C-19) полученной на экспериментальной установке для её культивирования.

Ключевые слова: трофический баланс, евтрофирование, *Chlorella vulgaris* IBCE C-19, установка для культивирования.

Природный водоём представляет собой сложную саморегулирующуюся живую систему. Обычно взаимная деятельность обитателей водоёма обеспечивает самоочищение водоёма и поддерживает биологическое равновесие в системе. Но порой, в силу специфического биологического разнообразия или из-за внешних факторов, способность к саморегуляции и самоочистке снижается.

Чаще всего началом для нарушения баланса в водоёме является повышение концентрации биогенных веществ в верхнем слое водоёма, вследствие чего начинается активное развитие микрофлоры (прежде всего, фитопланктона, а также водорослей-областителей) и питающегося фитопланктоном зоопланктона. Подобный рост снижает прозрачность воды, глубина проникновения солнечного света уменьшается, в результате нехватки кислорода начинается гибель придонных растений. Возникает дисбаланс между производством и потреблением кислорода в придонных горизонтах. Усугубившийся дефицит кислорода ведёт к гибели требовательной к нему донной и придонной фауны. Процесс отмирания донных водных растений влечёт за собой гибель прочих организмов, которым эти растения формируют местообитание или для которых они являются звеном в пищевой цепи. Обычно отмершие организмы оседают на дне водоёма и разлагаются бактериями. В донном грунте, лишённом кислорода, идёт анаэробный распад отмерших организмов с образованием фенолов, сероводорода и метана.

Повышение продуктивности водных экосистем (евтрофирование) ухудшает качество воды и требует адекватной оценки экологического состояния и трофического статуса водного объекта. Возникает необходимость численного выражения статуса трофности водоёма. Один из самых популярных индексов, характеризующих трофическое состояние – индекс Карлсона [1]. Его расчёт проводится по трём гидроэкологическим показателям: концентрациям в воде хлорофилла (Chl) а, общего Р и прозрачности воды по диску Секки (SD). Р. Карлсоном были предложены формулы расчёта индекса по каждому из этих показателей, и каждый вариант расчёта индекса – фактически самостоятельный и служит численной мерой выражения трофического статуса водного объекта. В дальнейшем в [2] было предложено дополнение индекса оценкой трофности по содержанию в воде общего N. Предложенное уточнение следует применять в водоёмах, где основным лимитирующим

фактором служит N, а не P, что наиболее типично для водоёмов умеренной зоны.

При смещении естественного равновесия в экосистеме пресноводных объектов обычно применяют механические, химические и биологические методы очистки [3]. Механическая очистка предполагает непосредственное удаление нежелательных элементов и мусора при помощи фильтров. Данный способ наименее продуктивен и может применять лишь в качестве подготовительного этапа для комплексной реабилитации водоёма. Химические реагенты позволяют изменить кислотность воды до нужного уровня, насытить её кислородом, привести в норму содержание фосфора и азота. Однако данный метод требует полного понимания всех процессов и механизмов обмена веществ и энергии, происходящих в водоёме. Биологической очисткой называют внедрение в водоём микроорганизмов, растений и животных, жизнедеятельность которых повышает способность экосистемы к самоочищению и самовосстановлению [4].

Для очистки водоёмов от загрязнения, в первую очередь от активной жизнедеятельности сине-зелёных водорослей, успешно применяется хлорелла. После запуска суспензии хлорелла начинает активно размножаться и тем самым подавляет рост сине-зелёных водорослей, за счёт чего подавляется цветение воды, пропадает неприятный запах и предотвращается замор рыбы, вызванный нехваткой кислорода. Принцип такой очистки состоит в том, что хлорелла насыщает воду кислородом, за счёт потребления ею углекислого газа, к тому же, хлорелла является ценным элементом трофических цепей обитателей водоёма и может использоваться как источник ценных микроэлементов.

Суспензию *Chlorella vulgaris* получали следующим образом. Из водоёма, предназначенного для альголизации, отбирали 280–350 литров воды и на ней культивировали хлореллу до плотности в 10 млн клеток/мл. Данный процесс выполнялся с использованием экспериментальной установки для культивирования хлореллы (рисунок 1), разработанной ЗАО «Струнные технологии» [5].

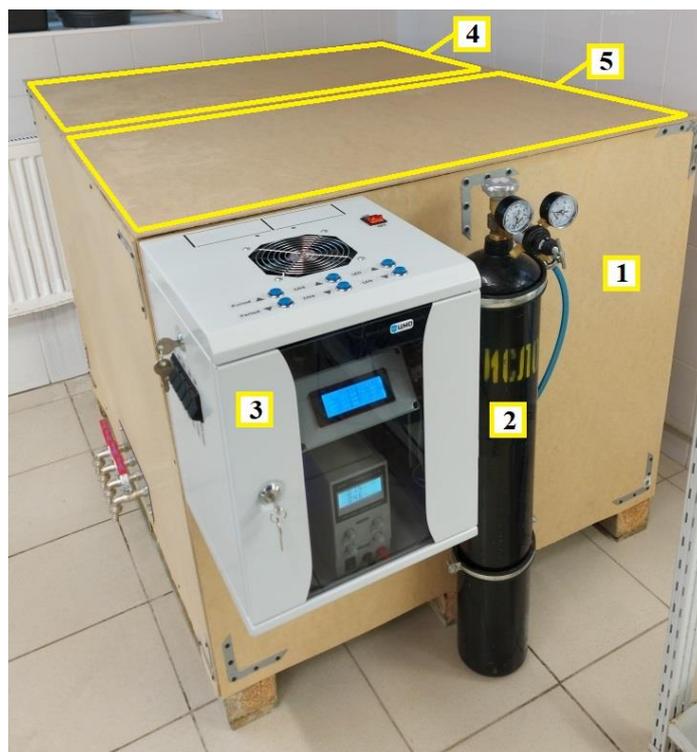


Рисунок 1 – Внешний вид установки (1 – контейнер с ёмкостями для культивации, 2 – газовый баллон с углекислотой, 3 – блок управления, 4 и 5 – крышки)

Контейнер содержит 4 ёмкости для культивирования хлореллы (рисунок 2), номинальным объёмом 80 л каждая, систему освещения зоны культивации и систему подачи углекислого газа. Также установлена система перемешивания и слива готовой суспензии. Газовый баллон хранит запас углекислоты. Данная установка позволяет культивировать хлореллу в полуавтоматическом режиме и в любой момент корректировать значения периода,

длительности открытия газовых клапанов подачи CO₂, а также яркости светодиодных светильников соответствующими кнопками на блоке управления.

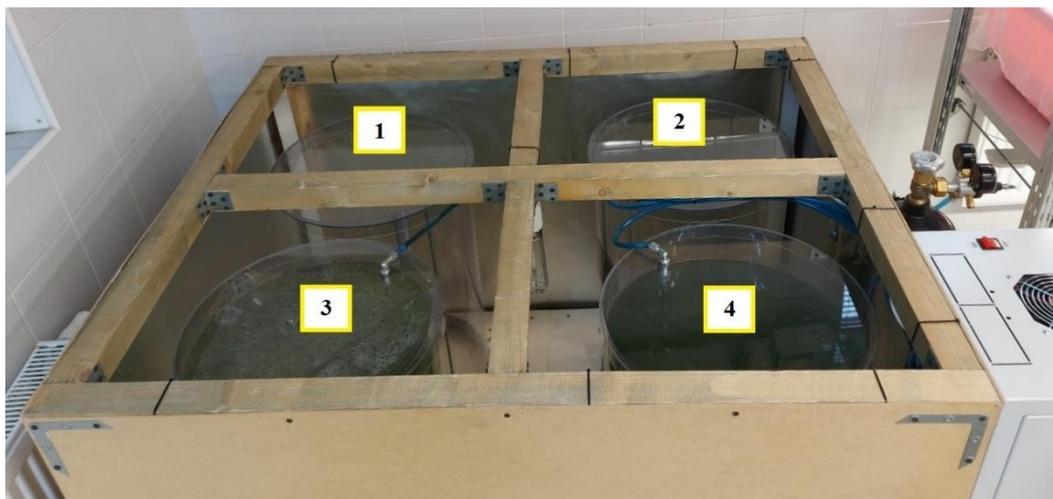


Рисунок 2 – Внутреннее пространство установки для культивирования

Первое внесение, полученной таким образом хлореллы, следует производить при достижении температуры воды в нижних слоях водоёма + 5–10 °С из расчёта 5 литров суспензии (10 млн клеток/мл) на гектар водной поверхности. Перед внесением в водоём суспензию следует охладить до температуры воды в нижних слоях водоёма. Внесение под лёд осуществляется через пробурённые лунки, равномерно распределённые по площади озера. Суспензия заливается в каждую лунку, количество которых зависит от площади и особенностей формы водоёма. При ледоставе необходимо очистить лёд от снега.

Второе внесение производится после завершения естественной стратификации водоёма в период апрель – май в количестве 10 литров суспензии (10 млн клеток/мл) на гектар. Третье – в период высоких температур воды, июнь – начало июля (9 литров суспензии (10 млн клеток/мл) на гектар водной поверхности). Внесение в тёплый период осуществляется с берега по срезу воды, если площадь водоёма небольшая (менее 10 гектар), или с плавсредства, если водоём больше. Выливание суспензии хлореллы осуществляется с таким расчётом чтобы распределить вносимый объём на как можно большую площадь зеркала воды. Так как суспензия хлореллы является отличным кормом для зоопланктона, не следует выливать всё в одном или двух местах, это многократно увеличивает риск того, что хлорелла будет съедена в ближайшее время.

В результате проведённых экспериментов, количество общего фосфора снизилось с 0,035 мг P/л до 0,029 мг P/л, а общего азота – уменьшилось с 1,454 мг N/л до 1,196 мг N/л. Нормы и способ добавления суспензии хлореллы получены экспериментальным путём для конкретных пресноводных объектов КФХ «Юницкого» и могут быть использованы для других водоёмов только после внесения корректировок. Например, при добавлении комбикорма в водоём, следует увеличить объём внесённой хлореллы на 5 % от массы комбикорма.

Список использованных источников

1. Carlson, R. E. A trophic state index for lakes / R. E. Carlson // *Limnol. Oceanog.* – 1977. – V. 11. – P. 361–369.
2. Kratzer, C. R. A Carlson-type trophic state index for nitrogen in Florida Lakes / C. R. Kratzer, P. L. Brezonik // *Water Res. Bull.* – 1981. – V. 17. – P. 713–715.
3. Богданов, Н. И. Биологическая реабилитация водоёмов. 3-е изд., доп. и перераб. / Н. И. Богданов. – Пенза: РИО ПГСХА, 2008. – 126 с.
4. Кузьмина, А. В. Анализ эффективности методов биологической очистки водоёмов / А. В. Кузьмина, Т. А. Бренник // *Идеи молодых учёных – агропромышленному ком.* – 2019. – С. 222.
5. Юницкий, А. Э. Транспортные системы «второго уровня»: современное состояние и перспективы развития / А. Э. Юницкий, С. В. Артюшевский, Д. И. Бочкарев // *Горная механика и машиностроение.* – 2022. – № 4. – С. 39–56.