

Основной целью планирования мероприятий по экологической реабилитации нарушенных торфяников является поднятие УГВ равномерно по всей площади восстанавливаемого участка. При этом среднее значение УГВ должно составлять не более 20 см ниже поверхности земли и амплитуды колебаний около 50 см. Эти условия способствуют произрастанию характерных болотных фитоценозов и восстановлению его биосферных функций.

Мероприятия экологической реабилитации реализованы в разные годы на площади около 5,0 тыс. га на лесном верховом болоте Копыш, а так же выбывших из промышленной эксплуатации торфяниках Рады-Галышевка, Ореховский Мох, Дукора и Долгое, Галое Навыдоба и др.

В целом по Пуховичскому району созданы благоприятные условия для биологического разнообразия. Площадь торфяников в естественном и восстановленном состоянии составляет 21,7 тыс. га (33,4 % территории торфяников), что увеличило аккумуляцию воды и углерода в торфяной залежи, где идут процессы болотообразования и торфонакопления.

Восстановление нарушенных участков торфяников лесной мелиорации увеличивает площадь уникальных территорий для сбора дикорастущих ягод местным населением, увеличению влажности корнеобитаемого слоя и, как следствие, усилению процессов восстановления болотных фитоценозов, возобновлению процессов накопления торфа, а также уменьшению вероятности возникновения торфяных лесных пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бамбалов Н.Н. Роль болот в биосфере / Н.Н. Бамбалов, В.А. Ракович. – Минск, 2005. – 208 с.
2. Закон Республики Беларусь «Об охране и использовании торфяников»: НПА РБ от 18 декабря 2019 г. № 272-3. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/H11900272_1577394000.pdf. (дата обращения: 14.02.2023).

МЕТОД ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПЛОДОРОДИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ С СОХРАНЕНИЕМ БАЛАНСА ПРЕСНОВОДНЫХ ВОДОЁМОВ

RESTORING METHOD FOR FERTILITY OF AGRICULTURAL LAND WITH PRESERVATION OF THE BALANCE OF FRESHWATER RESERVOIRS

А. М. Павлюченко, И. В. Налётов, Н. С. Зыль

A. M. Pauliuchenka, I. V. Naletov, N. S. Zyl

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

a.pavlyuchenko@unitsky.com

Unitsky String Technologies Inc., Minsk, Republic of Belarus

В статье описан метод восстановления сельскохозяйственных земель с помощью водорослей. Обоснован вариант алгоремедиации почв, не нарушающий трофического баланса пресноводных водоёмов. Описаны пути реализации метода, представлен прототип установки для культивирования водорослей.

The article describes the method for restoring agricultural soil using algae. A variant of algoremediation that does not disturb the trophic balance of freshwater bodies is justified. The milestones of the implementation of the method are described, and a prototype for algae cultivation is presented.

Ключевые слова: алгоремедиация почв, трофический баланс водоёмов, установка для культивирования.

Keywords: soil algoremediation, trophic balance of freshwater reservoirs, prototype for algae cultivation.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2024-2-93-96>

В настоящее время в агропромышленном секторе существует проблема организации эффективного (с точки зрения экологии, экономики, общества и др.) использования природных ресурсов (земельных и водных). Важной частью ведения сельского хозяйства является система земледелия, которая должна быть направлена на повышение эффективности использования земли и сохранение постоянства её плодородия. Повышение плодородия почв является основным условием роста урожайности сельскохозяйственных культур и в конечном счёте реализации продовольственной продукции. Качество воды – фактор, определяющим возможности производства сельскохозяйственной продукции и цены на мировом продовольственном рынке.

С целью повышения экономической эффективности увеличивается объём применения органических и минеральных удобрений, который приводит к временному росту продуктивности почв, нарушая её естественные циклы самовосстановления. Также стоит учитывать то, что в конечном итоге часть нитратных и фосфатных соединений с естественными стоками попадает в пресноводные объекты, повышая тем самым риски ускоренной эвтрофикации. Органическое земледелие позволяет минимизировать подобный ущерб, однако значительно уступает в продуктивности хозяйствам использующим минеральные удобрения. Следовательно, проблема сохранения

и поддержания плодородия почв, а также биологического равновесия пресноводных объектов актуальна и нуждается в поиске, обосновании и применении принципиально новых решений.

Целью данной работы является предложить новый, экологически значимый вариант эффективной биоремедиации почв, не нарушающий естественного баланса пресноводных водоёмов.

При длительном сельскохозяйственном использовании почв наблюдается глубокая деградация почвенного биоценоза, одним из индикаторных признаков которой является снижение общей численности водорослей. Количество водорослей в почве очень различно и зависит от условий среды, особенно от водного и солевого режима почвы, от типа наземной растительности и от используемых агротехнических приёмов. В пахотных почвах насчитывается до 1 млн. клеток в 1 г почвы в слое от 0 до 10 см, что сопоставимо с численностью почвенных грибов и простейших. Исходя из этого, перспективным вариантом биоремедиации может являться ассоциация водорослей (почвенных и пресноводных), что обусловлено целым рядом причин:

1. Высокая толерантность к различным факторам. Водоросли способны существовать в неблагоприятных условиях среды, что объясняется лабильностью обмена веществ, устойчивостью против засухи, резких колебаний влажности и температуры, к недостатку и избытку света, засолённости почвы [1].

2. Способность почвенных водорослей в больших количествах аккумулировать неорганические токсиканты во внутриклеточном пространстве путём связывания полисахаридами и липофильной фракцией [2].

3. Наличие ферментов, обеспечивающих деградацию токсикантов и их метаболические превращения. Детоксикационная деятельность почвенных водорослей основывается на их морфологических, биохимических и физиологических особенностях. Например, ловушкой-барьером для многих элементов выступают слизи, слизистые капсулы и чехлы, выделяемые клетками.

4. Высокая скорость размножения почвенных водорослей является важным механизмом устойчивости наземных биоценозов к дестабилизирующим факторам, в том числе и антропогенного происхождения [3].

5. Способность почвенных водорослей «оптимизировать» экофизиологическое состояние почвы, изменять почвенную микробиоту, ингибировать фитопатогены и подавлять деятельность патогенных грибов.

6. Экологичность метода. Увеличение количества почвенных водорослей значительно повлияет на сокращение эмиссии CO₂.

7. Экономическая целесообразность. Полученные путём культивирования суспензию водорослей можно добавлять при орошении земель.

Органическое вещество водорослей является пищей для микроорганизмов и почвенных беспозвоночных, усваивается корнями высших растений и включается в состав гумуса. Для плодородия почв, наиболее ценным, по видимому, следует считать органическое вещество синезелёных водорослей из-за их способности фиксировать свободный азот. К тому же, поверхностные плёнки цианобактерий (маты) имеют большое противозерозионное значение и влияют на водный режим почвы.

Для оценки влияния почвенных водорослей на сельскохозяйственные почвы необходимо учитывать их численность, биомассу и продуктивность. Наиболее точный метод количественного учёта основан на микроскопическом подсчёте, что позволяет определить не только число клеток, но и длину нитчатых водорослей. Повысить качество такого учёта можно добавлением статистических поправок по показателям скорости связывания CO₂ и количества в почве хлорофилла. Установление величины продуктивности водорослей определяются по достоверным приростам биомассы за единицу времени.

Для культивирования почвенных водорослей важное значение имеет среда, она должна быть приближена к целевому почвенному раствору, из которого будет происходить питание почвенных водорослей. Однако, вследствие высокой динамичности и микроразнообразности жидкой фазы почвы в отношении содержания органических веществ, макро- и микроэлементов нецелесообразно полностью воспроизводить химический состав почвенного раствора и использовать его в качестве культуральной среды. Достаточно добавлять в стандартные и оптимизированные культуральные среды почвенную вытяжку (например среда Болда) и регулировать кислотно-щелочные условия. Стандартные условия культивирования: T=20±3°C, освещение от 200 мкмоль/м²/с и 12/12 или 16/8 часовым чередованием световой и темновой фаз.

Таким образом, контролируемое внесение водорослей в сельскохозяйственные почвы повышает количество органического вещества, активно участвующего в почвенных процессах, снижает количество неорганических токсикантов и патогенных грибов, тем самым способствуя возобновлению плодородия почв, не нарушая естественного баланса почв и не привносит в водоёмы дисбаланс азотных и фосфорных циклов.

Для поддержания приемлемого качества пресной воды, являющейся стратегическим ресурсом, необходимо учитывать его ключевые естественные процессы. Природный водоём представляет собой сложную саморегулирующуюся живую систему. Обычно взаимная деятельность обитателей водоёма обеспечивает самоочищение водоёма и поддерживает биологическое равновесие в системе, однако из-за смылов азотных и фосфорных удобрений с полей, способность к саморегуляции и самоочистке значительно снижается.

Чаще всего началом для нарушения баланса в водоёме является повышение концентрации биогенных веществ в верхнем слое водоёма, вследствие чего начинается активное развитие микрофлоры 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.

Эвтрофикация 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. Его расчёт проводится по трём гидроэкологическим показателям: концентрациям в воде хлорофилла а, общего фосфора и прозрачности воды по диску Секки. 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 было предложено дополнение индекса оценкой трофности по содержанию в воде общего азота. Предложенное уточнение следует применять в водоёмах, где основным лимитирующим фактором служит азот, а не фосфор, что наиболее типично для водоёмов умеренной зоны.

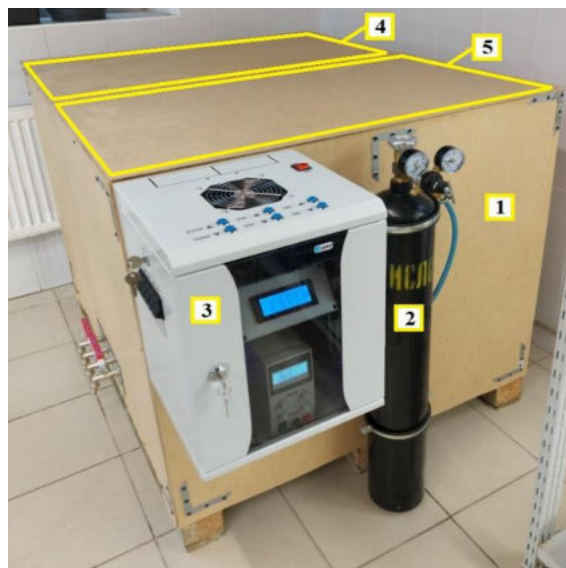
Для биологического восстановления баланса водоёма от загрязнения, в первую очередь от активной жизнедеятельности сине-зелёных водорослей, успешно применяется хлорелла. После запуска суспензии хлорелла начинает активно размножаться и тем самым подавляет рост сине-зелёных водорослей, за счёт чего пропадает 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, являясь кормом для зоопланктона (рачков, коловраток др.), который, поглощая хлореллу, пропускает через свой кишечник и воду, происходит очищение водоёма. Таким образом, вся экосистема водоёма участвует в процессе самоочищения. Хлорелла является природным пробиотиком и обладает антагонистическими свойствами к патогенным микроорганизмам, поэтому способствует их гибели. Кроме того, хлорелла является ценным элементом трофических цепей обитателей водоёма и может использоваться человеком как источник ценных микроэлементов.

Учёт численности (млн. клеток в мл) хлореллы можно определять стандартной методикой по величине оптической плотности суспензии. Темп роста (μ) рассчитывается с использованием формулы:

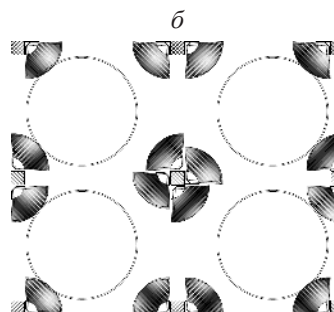
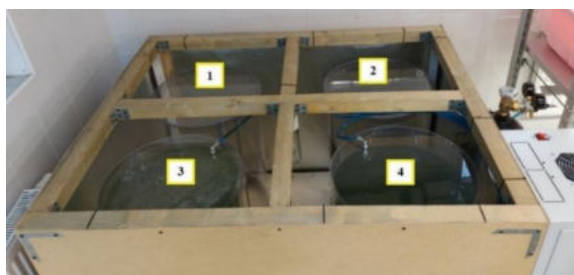
$$\mu = \frac{\ln \ln \left(\frac{N_2}{N_1} \right)}{t_2 - t_1},$$

где N_2 и N_1 – это число клеток во времени t_1 и t_2 .

Суспензия хлореллы легко поддается культивированию: из целевого водоёма, отбирается необходимый объём воды и на ней хлорелла наращивается до плотности в 10 млн. клеток/мл. Для выполнения данного процесса ЗАО «Струнные технологии» разработала установку для культивирования водорослей в полуавтоматическом режиме (рис. 1).



а



в

Рисунок 1 – Установка для культивирования водорослей (а: 1 – контейнер с ёмкостями для культивации, 2 – газовый баллон с углекислотой, 3 – блок управления, 4 и 5 – крышки; б: 1,2,3,4 – прозрачные ёмкости; в – схема организации освещения внутри установки)

Контейнер содержит 4 ёмкости для культивирования 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 водоросли 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.

При культивировании в данной установке *Chlorella vulgaris* IBCEC-19 необходимая плотность суспензии достигалась в двухнедельный срок (табл.1).

Таблица 1

Оптическая плотность (А) суспензии хлореллы в каждой ёмкости

Дата	2.10	3.10	4.10	5.10	6.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	16.10	17.10	18.10
A1	0,004	0,037	0,061	0,063	0,066	0,084	0,089	0,095	0,107	0,111	0,125	0,130	0,135
A2	0,004	0,036	0,057	0,067	0,069	0,086	0,09	0,099	0,108	0,114	0,126	0,129	0,136
A3	0,004	0,040	0,062	0,066	0,070	0,083	0,089	0,095	0,106	0,110	0,125	0,128	0,132
A4	0,004	0,039	0,059	0,061	0,069	0,083	0,089	0,097	0,104	0,108	0,122	0,129	0,135

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод о том, что темп роста значительно снижается после 13 суток культивирования (табл.2).

Таблица 2

Темп роста (μ) суспензии хлореллы в каждой ёмкости

Дата	3.10	4.10	5.10	6.10	9.10	10.10	11.10	12.10	13.10	16.10	17.10	18.10
μ1	0,0927	0,0208	0,0013	0,0019	0,0100	0,0024	0,0027	0,0050	0,0015	0,0015	0,0004	0,0011
μ2	0,0916	0,0191	0,0067	0,0012	0,0092	0,0019	0,0040	0,0036	0,0023	0,0007	0,0011	0,0007
μ3	0,0959	0,0183	0,0026	0,0025	0,0071	0,0029	0,0027	0,0046	0,0015	0,0019	0,0011	0,0007
μ4	0,0949	0,0172	0,0014	0,0051	0,0077	0,0029	0,0036	0,0029	0,0016	0,0015	0,0025	0,0014

Принимая во внимание результаты культивирования (рис.2), можно обосновано предположить то, что за 2 недели можно получать 320 литров суспензии хлореллы с плотностью более 10 млн. клеток/мл.

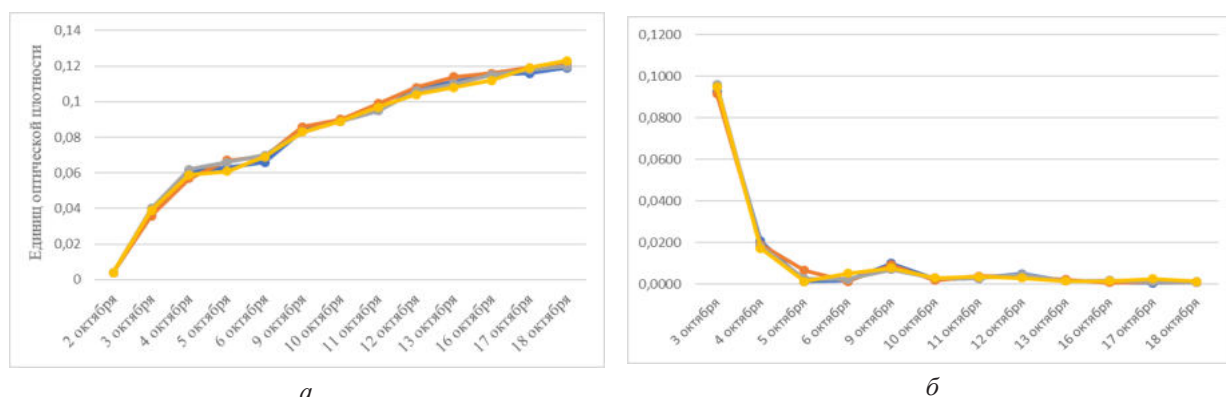


Рисунок 2 – Результаты культивирования *Chlorella vulgaris* IBCEC-19
(а: динамика оптической плотности суспензии; б: темп роста)

Таким образом, применение водорослей для восстановления сельскохозяйственных почв видится перспективным направлением, которое снизит использование минеральных удобрений, что в свою очередь снизит темпы эвтрофикации пресноводных водоёмов. Описанные методы и установка для культивирования водорослей демонстрируют практическую пригодность метода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зенова Г.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. М. Изд-во МГУ. 1990. 27 с.
2. Ашихмина Т.Я. Эколого-аналитический мониторинг антропогенно-нарушенных территорий / Т.Я. Ашихмина, Л.И. Домрачева, Л.В. Кондакова, Е.В. Дабах, Г.Я. Кантор, А.А. Калинин, А.И. Варакина, С.Ю. Огородникова // Вестник Вятского государственного гуманитарного университета, 2006. №14. С.153–169.
3. Кабиров Р.Р. Использование альгологических критериев при экологическом прогнозировании антропогенной нагрузки на наземные экосистемы // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 3. – С. 12.