

УДК 504.4.054:628.357.4

Ю. Н. Соколов, д.т.н., Л. А. Плотницкий, Т. Ю. Стрюк

Одесский государственный экологический университет

О. А. Дьяков, к.г.н.

Региональный филиал Национального института

стратегических исследований в г. Одессе

ПРИМЕНЕНИЕ БИОПЛАТО ДЛЯ СНИЖЕНИЯ БИОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДОЕМОВ И ВОДОТОКОВ

Изучена проблема загрязнения водоемов и водотоков, в особенности малых, биогенными элементами, связанная с их прямым воздействием на водные экосистемы в целом. Проанализирован ретроспективный и современный мировой опыт применения биоплато в целях очистки сточных вод и оздоровления водных объектов. Выделены основные типы такого рода сооружений и определена степень очистки в них.

Ключевые слова: биоплато, биогенное загрязнение, очистка сточных вод, высшая водная растительность.

Введение

Проблема повышения концентрации биогенных веществ в реках, озерах и в подземных водах широко известна и неоднократно была предметом исследований на различных уровнях. Биогенное загрязнение влияет на организмы, обитающие в водотоках снижая количество доступного кислорода в воде. Это приводит к ухудшению их состояния, а при наихудших условиях может привести к асфиксии. Органические отходы, накапливаясь на дне, изменяют свойства субстрата, повышают мутность, ограничивая, таким образом, поступление необходимого для фотосинтеза свет, увеличивая количество бактерий и, в конечном счете, снижая биоразнообразие. **Целью данного исследования** является анализ возможности применения биоплато для улучшения состояния водных объектов Придунайского региона Украины. Это связано с существующей необходимостью предотвращения биогенного загрязнения малых рек Придунавья и Придунайских озер, вызванного, в первую очередь, поверхностным стоком.

Объекты и исходные материалы исследования

Анализ мирового опыта по применению биоплато в целях очистки сточных вод проводился в контексте перспектив использования таких систем в Придунайском регионе Украины. В связи с этим наряду с научными и литературными данными о применении технологии биоплато в разных странах, в исследовании использовались данные о природных условиях данного региона (климатические условия, гидрологический режим, рельеф местности). Кроме того, для исследования были использованы результаты инвентаризации основных источников биогенного загрязнения Придунайских озер, проведенной в рамках проекта ТАСИС «Развитие трансграничного сотрудничества в сфере интегрированного управления водными ресурсами в Еврорегионе «Нижний Дунай».

Результаты исследования и их анализ

Одними из основных биогенных элементов являются азот и фосфор. Преобладающим источником их поступления в поверхностные водные объекты является сток с сельскохозяйственных территорий, включающих пахотные земли, на которые вносятся удобрения, и территорию животноводческих комплексов. В связи с этим чрезвычайно важны свойства азота и фосфора, определяющие их распределение и вынос из почвы. В почвах в нитратной форме азот довольно подвижен и, в случае, когда он не поглощается растениями, легко вымывается. Напротив, фосфаты при

внесении в почву переходят в нерастворимую форму и вымываются медленно. Существует три пути, по которым биогены, образующиеся в сельском хозяйстве, попадают в водоемы и водотоки: в результате фильтрации загрязненной воды сквозь почву, вымывания растворимых биогенов из отходов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных и эрозии верхних слоев почвы.

Кроме того, немаловажным источником биогенного загрязнения водоемов и водотоков являются сточные воды и поверхностный сток населенных пунктов. В этой связи наибольшую опасность представляют малые населенные пункты, которые в большинстве случаев тяготеют к водным объектам и в которых сброс хозяйственно-бытовых сточных вод и поверхностного стока происходит без какой-либо очистки.

Идея использования водно-болотных угодий (ВБУ) для очистки сточных вод не нова. Тысячи лет назад природные ВБУ использовались древними китайцами и египтянами для очистки жидких стоков [1]. Однако, первое искусственное сооружение, повторяющее природные механизмы, действующие в ВБУ, было создано в 1904 году в Австралии. Даже после этого использование ВБУ внедряется очень медленно. О первой очистке вод с использованием растений в Европе упоминается в 1950-х, а американские исследования в этой сфере начались только в 1970-х. Тем не менее, сейчас биоплато признаются, как экономичный способ очистки жидких стоков.

Способность высших водных растений удалять из воды загрязняющие вещества (биогенные элементы, тяжелые металлы, фенолы, сульфаты) и уменьшать ее загрязненность нефтепродуктами, синтетическими поверхностно-активными веществами, которая опосредованно характеризуется такими показателями органического загрязнения, как биологическое (БПК) и химическое (ХПК) потребление кислорода, позволяет использовать их в практике очистки производственных, хозяйственно-бытовых сточных вод и поверхностного стока.

Растения в водных объектах выполняют такие основные функции [2]:

- фильтрационную (способствуют оседанию взвешенных веществ);
- поглотительную (поглощение биогенных и органических веществ);
- накопительную (способность накапливать некоторые металлы и органические вещества, которые трудно разлагаются);
- окислительную (обогащение воды кислородом);
- детоксикационную (способность накапливать токсичные вещества и преобразовывать их в нетоксичные).

Благодаря этим функциям растений системы, подобные водно-болотным угодьям, способны снижать уровень БПК, содержание взвешенных веществ, азота, фосфора и бактерий коли-форм (часто на 98 %) [3]. Простота биоплато определяет их эффективность для очистки стоков малых населенных пунктов. При создании таких сооружений в условиях оптимального для них рельефа (уклон в пределах 0,005-0,01) [4] они практически не потребляют энергии, что позволяет использовать их в слаборазвитых и сельских районах. Однако, не смотря на подходящий для биоплато климат в развивающихся странах, их распространение в таких регионах происходит чрезвычайно медленно.

Существует довольно много оснований классификации биоплато (по открытости поверхности воды, по характеру происходящих в них процессов, по форме и т.д.), однако, основным можно считать направление движения потока очищаемых в них вод. По этому признаку выделяют горизонтальные и вертикальные биоплато (рис. 1).

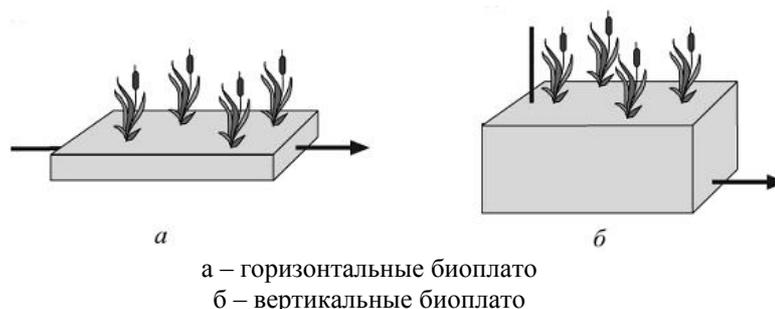


Рис. 1 – Типы биооплато по направлению движения потока

Вне зависимости от типа биооплато и применяемых в них видов растений, очистка воды в этих сооружениях происходит по единым биохимическим механизмам, кратко представленным в табл. 1.

Таблица 1 – Процессы очистки сточных вод в биооплато [1, 4]

Показатель	Очищающий объект	Механизм очистки
БПК ₅	стебли и листья корни загрузка русла (галька/песок) загрузка русла (галька/песок)	бактериальное окисление бактериальное окисление бактериальное окисление седиментация
Азот	листья водоросли в толще воды корни ил загрузка русла (галька/песок)	газификация (в виде N ₂ и N ₂ O) NO ₃ ⁻ и NH ₄ ⁺ → растворимые органические соединения азота NH ₄ ⁺ → NO ₃ ⁻ NO ₃ ⁻ → N ₂ , N ₂ O или NH ₄ ⁺ седиментация
Фосфор	стебли и листья корни корни загрузка русла (галька/песок) загрузка русла (галька/песок)	бактериальное окисление бактериальное окисление захват седиментация / отложение адсорбция

Подавляющее большинство подобных сооружений интенсивно используются в странах, находящихся в умеренной климатической зоне. Однако, эксплуатация биооплато в климатических условиях, характерных для этой зоны, связана с рядом ограничивающих факторов, в частности с их работой в холодный период года. Если для определенной местности характерна зима с большим количеством твердых осадков, то эксплуатация биооплато в таких условиях не вызовет затруднений даже при понижении температуры воздуха до -10 °С благодаря «подушке», создаваемой слоем снега. В то же время, на территориях с малоснежной зимой использование биооплато для очистки сточных вод может стать невозможным даже при незначительных заморозках. Такие особенности эксплуатации биооплато в зимний период в первую очередь касаются сооружений с горизонтальным и открытым потоком воды. В случае применения сооружений, в которых сточные воды движутся вертикально сквозь слой загрузки

Таблица 2 – Особенности и результаты применения биоплато в различных условиях

Характер очищаемых стоков	Характеристика биоплато		Показатель качества воды	Концентрация, мг/л		Степень очистки, %	Страна и источник информации
	Вид растений	Параметры конструкции		до очистки	после очистки		
Хозяйственно-бытовые воды (72 %) и поверхностный сток (28 %)	камыш, рогоз, лилия, ряска	три мелководные лагуны: 2-е засажены растительностью, 3-я – биопруд с плавающей растительностью	БПК взвешенные вещества общий азот общий фосфор патогенные организмы	18,75 10,84 27,84 34,23	9 9 14,2 4,45	48 83 51 13 99,77	Ирландия [5]
Сточные воды кинофабрики	водный гиацинт		серебро взвешенные вещества соединения азота соединения фосфора БПК ХПК			100 91 92,9 53,9 98,6 91	Китай [6]
Сточные воды комплекса по разведению свиней	водный гиацинт	биопруд	азот аммонийный БПК ₅ ХПК	40 150 300	4,5 25 30	88,75 83,3 90	Россия [2]
Сельскохозяйственный поверхностный сток		8 параллельных полос фильтра глубиной 0,5 м, площадью 1200 м ²	взвешенные вещества фосфор азот			45 – 75 21 – 44 15	Норвегия [7]
Сточные воды малых населенных пунктов		последовательно расположенные три водоема с различными типами очистки	ХПК БПК ₅ взвешенные вещества общий фосфор ортофосфаты общий азот	495 215 225 8.5 6.4 42.8	58 16 12 5.6 5.1 10.1	87.5 92.5 94.5 40 28 76	Франция [8]
Хозяйственно-бытовые сточные воды	тростник обычный	песчаный фильтр со следующим за ним тростниковыми зарослями с горизонтальным потоком	ХПК БПК ₅ общий фосфор азот аммонийный	311 129.5 8.5 89.8	26.7 5.4 0.8 6.3	91.4 95.8 90.6 93.0	Швейцария [1]
Хозяйственно-бытовые, производственные и дождевые сточные воды	тростник обычный, камыш озерный, рогоз узколистый, аир болотный		БПК ₅ ХПК азот аммонийный нитриты нитраты фосфаты	30 – 60 80 – 120 5,0 – 25 1,5 – 2,5 15 – 50 5,0 – 7,0	3 – 15 30 – 60 0,5 – 2,5 0,01–0,1 7,5 – 25 2,5 – 3,5	75 – 90 50 – 62,5 90 96 – 99,3 50 50	Украина [9]

различного фракционного состава и дренируются в его толще, влияние отрицательных температур на процесс очистки не так значительно. Кроме того, в холодный период года значительно (до 5 раз) снижается скорость биохимических процессов, обеспечивающих очистку воды, а, следовательно, и эффективность биоплато, как очистного сооружения.

На основании анализа литературных данных в табл. 2 представлены некоторые примеры из мировой практики использования водно-болотных систем с высшей водной растительностью в целях очистки сточных вод различного происхождения. Проведенный анализ позволяет отметить единые тенденции в использовании биоплато для очистки сточных вод в различных странах:

- Основная сфера применения биоплато – очистка хозяйственно-бытовых сточных вод и сельскохозяйственного поверхностного стока;
- Основная цель применения биоплато – снижение уровня биогенного загрязнения;
- Биоплато обеспечивают степень очистки сточных вод, достаточную для их сброса в водные объекты;
- Преимущественно биоплато используются в холодной умеренной климатической зоне;

Выводы

По результатам проведенного анализа мирового опыта по использованию биоплато для очистки сточных вод были сделаны следующие выводы:

- Биоплато являются эффективным, экологичным и экономичным средством для очистки сточных вод;
- Наибольшая эффективность очистки прослеживается по таким показателям, как БПК, ХПК, содержание соединений азота и фосфора, взвешенных веществ. Степень очистки по ним в некоторых случаях достигает 98%;
- Биоплато неприхотливы в содержании и остаются эффективными более чем через 10 лет эксплуатации;
- Использование биоплато в условиях Придунайского региона Украины может обеспечить поддержку таких традиционных для этого региона видов деятельности, как заготовка тростника и рыборазведение;
- Биоплато могут служить местом обитания для различных видов животных и даже представлять немалую туристическую привлекательность, что особенно важно для украинской части дельты Дуная, ежегодно теряющей значительную часть водно-болотных угодий.
- В соответствии с водосборным принципом, использованным в исследовании, инженерные сооружения типа биоплато целесообразно располагать в местах впадения малых рек и балок в водоемы, на территории малых населенных пунктов, находящихся в непосредственной близости к водным объектам, а также на сельскохозяйственных фермах вблизи водоема.

Авторы выражают благодарность экспертам и руководству проекта ТАСИС «Развитие трансграничного сотрудничества в сфере интегрированного управления водными ресурсами в Еврорегионе «Нижний Дунай» за предоставленную информацию и оказанную поддержку в процессе подготовки статьи.

Список литературы

1. *Patrick P.* Constructed wetlands // Fujita Research – Brighton –1998 – 13 pp. // <http://www.fujitaresearch.com/reports/wetlands.html>
2. *Диренко А.А., Коцарь Е.М.* Использование высших водных растений в практике очистки сточных вод и поверхностного стока // Тезисы докладов международной конференции «AQUATERRA», Санкт-Петербург, 1999. – С. 72-78.
3. *Denny P. et al.* Constructed wetlands in developing countries, Water Sciences and Technologies – 1997 – # 35 (5) – pp. 167-174,
4. *КНД 211.1.6-06 «Споруди для очищення зворотних вод з використанням фітотехнології. Проектування, будівництво, експлуатація».* Міністерство охорони навколишнього природного середовища. Київ, 2006.
5. *Healy A., Cawley M.* Nutrient Processing Capacity of a Constructed Wetland in Western Ireland // J. Environ. Quality. – 2002 – #31 — pp. 1739-1747.
6. *Чен Юаньгао, Дай Цюаньюй, Пи Юй, Чжан Хан.* Исследование условий роста водного гиацинта в серебрсодержащих сточных водах и определение предела безвредного для него содержания серебра в таких водах // J. Ecol. – 1992. – 11, № 2. – с.30-35
7. *Blankenberg A.-G.B., Braskerud B.C.* «LIERDAMMEN» — a wetland testfield in Norway. Retention of nutrients, pesticides and sediments from a agriculture runoff // Theses "Diffuse Pollution Conference", Dublin, 2003
8. *Stevens A.* “New Generation” Reed Bed Filters // Water Sciences and Technologies – 1997 – # 35 (5) – pp. 312-15
9. *Коцарь Е.М.* Инженерно-биологическое сооружение “Закрытое биоплато гидронного типа” // Інформаційний бюлетень Держбуду. – 2002. – № 4. – С. 38.
10. *Бурейко Т. В., Ладыженский В. Н., Стольберг Ф. В.* Рыночный потенциал экотехнологий // Основные направления экологического предпринимательства, их законодательное, финансовое и организационное обеспечение - Учебное пособие в двух томах, Харьков, 2002.

Використання біоплато для зменшення біогенного забруднення водойм та водотоків.

Соколов Ю.Н., Плотницький Л.А., Стрюк Т.Ю., Дьяков О.А.

Вивчена проблема забруднення водойм та водотоків, особливо малих, біогенними речовинами, що пов'язана з прямою дією таких забруднюючих речовин на водні екосистеми в цілому. Проаналізований ретроспективний та сучасний світовий досвід у галузі використання біоплато для очищення стічних вод та оздоровлення водних об'єктів. Виділені основні типи таких споруд та визначений ступінь очищення в них.

***Ключові слова:** біоплато, біогенне забруднення, очищення стічних вод, вища водяна рослинність.*

Using constructed wetland for reducing nutrient pollution of water bodies.

Sokolov Y., Plotnitskiy L, Stryuk T., Dyakov O.

A problem of nutrient pollution of water bodies, especially small ones, linked with direct impact of the nutrients at the whole water ecosystem, was studied. The past and modern worldwide experience in the field of using constructed wetlands for effluent treatment and water bodies' rehabilitation was analyzed. Main types of such constructions were defined and their purification efficiency was assessed.

***Keywords:** constructed wetland, nutrient pollution, waste water treatment, higher aquatic vegetation.*