

М.Ю. КОЗАРЬ, аспирант  
Л.А. САБЛИЙ, доктор технических наук, профессор  
Национальный технический университет Украины «Киевский  
политехнический институт»

## КОМБИНИРОВАННАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ОЧИСТКА И ДООЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА

*Описано здатність біологічних систем до вилучення сполук фосфору із стічних вод. Показано можливість мікроорганізмів родів Acinetobacter, Acetobacter, Nocardia в аеробних умовах накопичувати фосфати, а в анаеробних умовах виділяти їх. Для глибокого вилучення сполук фосфору запропоновано використати споруди для біологічного доочищення.*

**Ключові слова:** стічна вода; активний мул; очищення від фосфатів; система анаеробно-аеробних біореакторів.

*Описана способность биологических систем удалять соединения фосфора из сточных вод. Показана возможность микроорганизмов родов Acinetobacter, Acetobacter, Nocardia в аэробных условиях накапливать фосфаты, а в анаэробных условиях выделять их. Для глубокого удаления соединений фосфора предложено дополнительно использовать сооружения биологической доочистки.*

**Ключевые слова:** сточная вода; активный ил; очистка от фосфатов; система анаэробно-аэробных биореакторов.

*The ability of biological systems to extract phosphorus from wastewater is described in the article. The conclusions about the possibility of microbial genera Acinetobacter, Acetobacter, Nocardias in aerobic conditions to accumulate a significant amount of phosphates, and anaerobic conditions to excrete them were made. Facilities for biological additional cleaning are proposed to be used for deep phosphorus removal..*

**Keywords:** wastewater; activated sludge; phosphate removing; system of anaerobic-aerobic bioreactors.

Присутствие в воде таких биогенных элементов как азот и фосфор способствует бурному развитию водорослей в водоеме и приводит к вторичному загрязнению воды, изменению цветности, температуры, снижению концентрации растворенного кислорода и ухудшению органолептических показателей воды. Всё это не только затрудняет использование воды для водоснабжения населенных мест и промышленных

предприятий, но и нарушает естественные процессы, протекающие в водоемах.

Высокий уровень содержания фосфатов в хозяйственно-бытовых сточных водах является острой проблемой последних десятилетий, на протяжении которых наблюдается рост содержания фосфатов с 6...8 мг/дм<sup>3</sup> (показатель 90-х годов) до 20...25 мг/дм<sup>3</sup> (в наши дни). Основным источником поступления фосфатов в сточные воды, согласно данным статистики «КИЕВВОДОКАНАЛА», является бытовой сектор и некоторые отрасли промышленности в результате широкого применения различных синтетических моющих средств [1]. Кроме того, в последнее время, значительно возросла концентрация растворенных фосфатов и в бытовых сточных водах за счет интенсивного развития в промышленности новых технологий и повсеместного применения фосфорсодержащих моющих средств.

Поскольку углекислый газ поглощается водой из воздуха, ограничить концентрацию этого источника углерода в открытых водоемах невозможно. Наиболее целесообразным представляется предотвращение эвтрофикации путем сведения до минимума содержания азота и фосфора в очищенных сточных водах, сбрасываемых в водоемы. Если в процессе роста, например, сине-зеленых водорослей в водоёмах концентрация растворенных биогенных элементов уменьшается, то при их гниении вода снова насыщается азотом и фосфором. Причем, в процессе естественного круговорота биогенных элементов концентрация азота в воде водоема может немного снижаться за счет его потерь в виде аммиака и азота в газообразном состоянии, поступающих в атмосферу, тогда как концентрация фосфора со временем увеличивается. Таким образом, растворенный фосфор является основным лимитирующим веществом для развития водорослевого цветения в водоеме и в большей степени влияет на процесс эвтрофикации. Поэтому для торможения этого нежелательного явления необходимо, в первую очередь, предотвращать поступление в водоёмы соединений фосфора. В современных условиях расширяется область антропогенной эвтрофикации. Наиболее интенсивно процессы эвтрофикации развиваются в замкнутых и малопроточных водных объектах [2,3].

Наличие нерастворимых форм соединений фосфора в хозяйственно-бытовых сточных водах может достигать 10% от общего количества. Так как нерастворимые соединения, находящиеся в виде твердой фазы, не могут усваиваться микроорганизмами, необходима предварительная фильтрация или отстаивание сточных вод перед их биологической очисткой.

Целью работы было исследование эффективности удаления соединений фосфора из сточных вод. Проводилась биологическая очистка в анаэробно-аэробных биореакторах и доочистка в песчано-гравийных фильтрах с нисходяще-восходящим движением воды, на поверхности

которых высажены растения для обеспечения дополнительного поглощения фосфора корневой системой.

Известно, что организмы накапливают фосфаты в виде внутриклеточных соединений полифосфата и сохраняют их как энергоноситель. В анаэробных условиях в присутствии продуктов брожения клетка высвобождает ортофосфат, используя энергию для накопления запасных органических веществ в виде полигидроксиалканатов (ПГА) и поли-β-гидроксиполитриата (ПГБ). В последующих аэробных условиях организмы поглощают ортофосфаты и аккумулируют энергию в виде полифосфатов. Поскольку в анаэробной зоне гетеротрофные бактерии активного ила не получают достаточно энергии для роста, использование такого фосфатно-гликогенного цикла дает преимущество бактериям, способным поглощать фосфаты, и позволяет сформировать значительную часть биомассы ила, который состоит, главным образом, из бактерий родов *Acinetobacter*, *Acetobacter*, *Nocardia*, *Citrobacter* [4-8]. Фосфораккумулирующие организмы (ФАО) ила способны конкурировать с другими микроорганизмами за субстрат в анаэробных условиях, потому что при этом их метаболизм энергетически выгоднее, а в последующих аэробных условиях ФАО способны ассимилировать органические вещества, которые содержатся в сточной воде, поступающей из анаэробного биореактора [4,5,9,12].

Следует отметить, что эффективность очистки зависит от вида органических веществ, содержащихся в сточной воде, поскольку для процесса аккумулирования фосфатов необходимо наличие легкобиоразлагаемых веществ. В анаэробных условиях активный ил имеет тенденцию к выделению накопившегося фосфата в окружающую среду. Это высвобождение составляет около 10...20% от накопленных фосфатов и является предпосылкой для дальнейшего поглощения фосфора [8-11].

Для обеспечения глубокого удаления соединений фосфора предлагается использовать доочистку сточных вод, прошедших анаэробно-аэробную очистку, биологическим методом. Для этого применяются песчано-гравийные фильтры с нисходящим и восходящим движением воды, причем на поверхности первого высаживаются растения. При прохождении сточной воды через фильтрующую загрузку задерживаются вынесенные из вторичного отстойника частички ила, а также происходит дополнительная очистка воды, которая осуществляется корневой системой растений и ризосферой. В качестве насаждений для лабораторных исследований использованы растения, которые в большей степени нуждаются в соединениях фосфора, то есть те, что образуют фосфолипиды.

В основу положены естественные процессы самоочищения, свойственные водным и околотовным экосистемам. Вынесенный из вторичного отстойника активный ил создает пленку (перифитон) на погруженной в воду поверхности растений, находясь с ними в состоянии симбиотического взаимодействия, а также образует слой природных

отложений – бентос, в котором проходит активный процесс анаэробного распада органических загрязнений. Значительную роль в процессах доочистки выполняют сапрофитные бактерии и микроскопические водоросли – планктонные организмы. Они обогащают воду кислородом в результате процесса фотосинтеза, обеспечивая экономию электроэнергии на аэрацию. Роль дезинфектанта успешно выполняют растения за счет своих продуктов обмена и кислорода, который образуется в процессе фотосинтеза, что позволяет избежать использования хлорсодержащих реагентов или озонирования воды.

Растения в предложенном сооружении выполняют фильтрационную, погложительную, накопительную, окислительную, детоксикационную функции, обеспечивая тем самым эффективное их использование в технологии доочистки сточных вод.

**Методика эксперимента.** В качестве сточной воды в лабораторных условиях использовали модельный раствор с такими показателями, мг/дм<sup>3</sup>: ХПК – 300...400, концентрация (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 20...30. Модельный раствор приготовлен из биологической добавки к питанию «Полисол», который содержит витамины, микро- и макроэлементы, аминокислоты. Для обеспечения необходимого уровня фосфатов в модельный раствор добавляли фосфат калия.

Определение показателя ХПК в сточной воде проводили по стандартной методике с использованием бихроматного метода. Для определения концентрации фосфатов в сточной воде применяли фотоколориметрический метод, поскольку ортофосфаты после реакции с молибдатом в среде серной кислоты в присутствии ионов трехвалентной сурьмы после восстановления аскорбиновой кислотой дают синюю окраску, по интенсивности которой можно определить концентрацию фосфатов. Оптическую плотность на спектрофотометре измеряли при  $\lambda = 670$  нм [13].

Использовали активный ил из аэротенков Бортнической станции аэрации. Адаптация фосфораккумулирующего активного ила занимает 40...100 дней.

На рис.1 представлена схема биологической очистки и доочистки в которой сточная вода проходит такие сооружения: анаэробный биореактор (1) объемом 2,5 дм<sup>3</sup>; аэробный реактор (2) объемом 3 дм<sup>3</sup>, куда подается воздух компрессором; вторичный отстойник (3), блок доочистки (4,5).

Избыточный активный ил возвращается в анаэробный биореактор. Для насаждения были выбраны рапс и лён, так как они способны образовывать фосфолипиды, и им в большем количестве необходимы соединения фосфора.

Площадь высадки растений составила 0,01 м<sup>2</sup>. Использование доочистки позволяет на выходе снизить концентрацию фосфатов в сточной воде до 1 мг/дм<sup>3</sup> при расходе поступающей сточной воды до 1 дм<sup>3</sup>/сут. На поверхности были высажены растения в количестве 40 шт. В дальнейшем

объем поступающей на доочистку сточной воды можно будет увеличить за счет разрастания растений и их корневой системы.

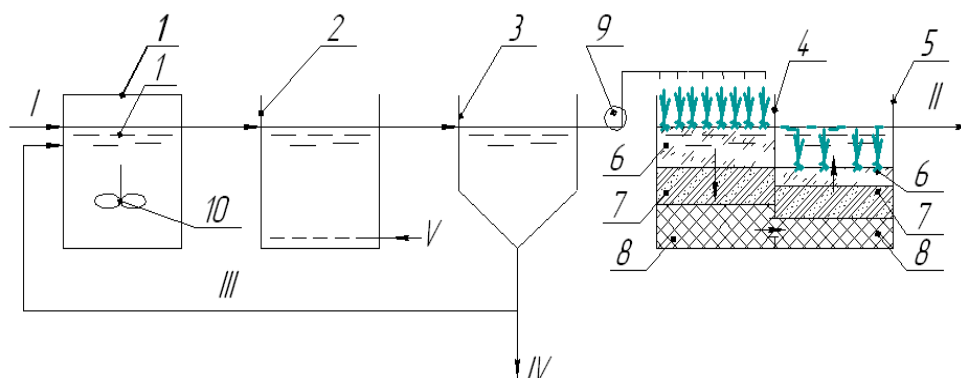


Рис. 1. Схема технологии биологической очистки сточных вод от фосфатов концентрацией до 30 мг/дм<sup>3</sup>:

1 – анаэробный биореактор; 2 – аэробный биореактор; 3 – вторичный отстойник; 4 – фильтр с нисходящим потоком с высаженными растениями; 5 – фильтр с восходящим потоком и водными растениями; 6 – песчаная загрузка; 7 – гравийная загрузка (мелкая фракция); 8 – гравийная загрузка (крупная фракция); 9 – насос; 10 – мешалка; I – сточная вода, поступающая на очистку; II – очищенная вода; III – возвратный активный ил; IV – избыточный активный ил; V – воздух от компрессора

### Результаты и их обсуждение.

Данные, полученные в ходе лабораторных исследований, показали, что технология с использованием анаэробно-аэробных реакторов позволяет достичь эффективности удаления соединений фосфора более 70% [14]

Для оценки возможности использования метода с анаэробно-аэробными биореакторами взят массив результатов, приведенный на рис. 2.

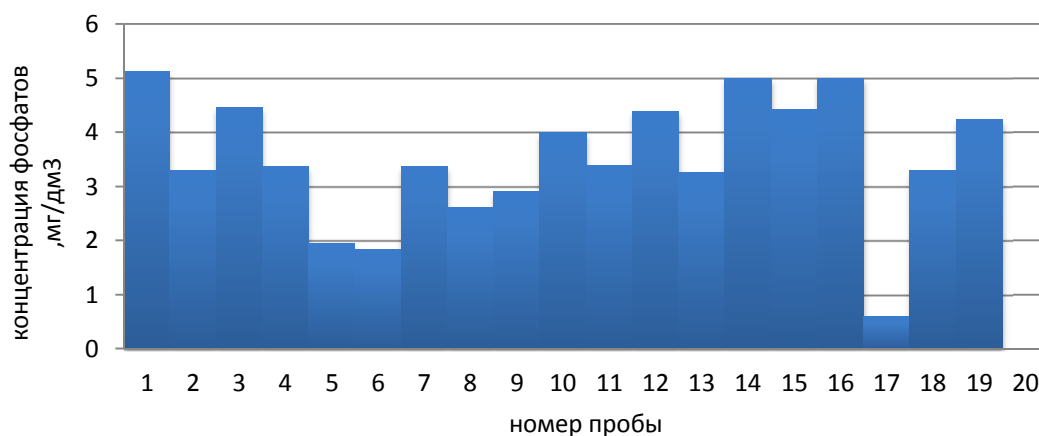


Рис.2. Изменение концентрации фосфатов в очищенной сточной воде после очистки в системе анаэробно-аэробных биореакторов

Из диаграммы (рис. 2) видно, что значения концентрации фосфатов в очищенной сточной воде могут превышать установленные нормы сброса в водоемы, а также то, что при высоких концентрациях фосфатов на входе наблюдаются скачки, т. е. после анаэробно-аэробной очистки содержание соединений фосфора колеблется от 3 мг/дм<sup>3</sup> до 6 мг/дм<sup>3</sup>. Для уравнивания и снижения концентрации фосфатов после такой биологической очистки предложено использование доочистки сточных вод. При поступлении на доочистку (в 4 и 5) сточной воды с концентрацией фосфатов даже 8 мг/дм<sup>3</sup> происходит снижение их значения до уровня менее 1 мг/дм<sup>3</sup>.

### Выводы

Технология очистки сточных вод с использованием системы последовательных анаэробно-аэробных биореакторов в сочетании с доочисткой высшими растениями (водными и наземными) позволяет эффективно удалять соединения фосфора до концентраций менее 1 мг/дм<sup>3</sup> по P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Следует обратить внимание, что для каждого вида сточной воды соотношение времени пребывания в различных кислородных условиях может меняться.

### Список литературы:

1. [Збереження водних ресурсів під загрозою...](#) [Електронний ресурс]: ПАТ «АК «Київводоканал». – 29.05.12. <http://vodokanal.kiev.ua>
2. Удаление соединений фосфора из сточных вод / Подорван Н.И., Глоба Л.И., Куликов Н.И., Гвоздяк П.И. Химия и технология воды. – 2004. – 26, № 6. – С. 591–610.
3. Дмитренко Г. М. Закономірності безкисневого дихання аеробних бактерій / Г. М. Дмитренко // Доповіді НАН України. – 2008. – № 10. – С. 170-177.
4. Кузнецов А.Е. Научные основы экобиотехнологии учебное пособие. / Кузнецов А.Е., Градова Н. Б – М.: Мир, 2006. – 504с.
5. Дедков Ю.М, Методы доочистки сточных вод от фосфатов / Ю.М. Дедков, М. А. Коничев, С. Ю. Кельина // Водоснабжение и санитарная техника. 2003, №11. – С. 25-32.
6. Васильев Б.В. Технология биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации / Б.В. Васильев, Б.Г. Мишуков, И.И. Иваненко, Е.А. Соловьева // Водоснабжение и санитарная техника. 2001. – 5, часть 1. - С. 22-25.
7. Данилович Д. А. Крупномасштабные сооружения биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов / Данилович Д. А., Козлов М. Н., Мойжес О. В / Водоснабжение и сан. техника. 2008. – № 10 – С. 45-51.

8. *Environmental Protection Agency*. Design manual. Nutrient control US EPA/600/R-09/012 January 2009. – P.104.
9. *Levlin E.* Phosphorus recovery from phosphate rich side-streams in wastewater treatments. / Levlin E., Hultman. Proceedings of a Polish-Swedish seminar, Report No.10. Joint Polish-Swedish Reports, Gdansk Poland, March, 2003.pp – 47-56.
10. *Jiang F.* Estimation Of Costs Of Phosphorus Removal In Wastewater Treatment Facilities: Construction De Novo / F. Jiang, M.B. Beck, R.G. Cummings, K. Rowles, D. Russell /Water Policy Working Paper. 2004. – 45 p.
11. *Жмур Н.С.* Интенсификация процессов удаления соединений азота и фосфора из сточных вод. – М.: АКВАРОС, 2001. – 94с.
12. *Меркель О.М.* Совершенствование методов удаления фосфора из бытовых сточных вод: канд. техн. наук. / О.М. Меркель / Новосибирск, 2003. – 158 с.
13. *Методика* фотометричного визначення фосфатів у стічних водах. КНД 211.1.4.043-95
14. *Козар М.Ю.* Ефективність біологічного видалення сполук фосфору із стічних вод в різних кисневих умовах / М.Ю. Козар, Л.А. Саблій // Енергетика, економіка, технології, екологія. – 2012. – N.2. – С. 104-108.