

УДК 628.356.64

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД ОТ СОЕДИНЕНИЙ ФОСФОРА БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

**Е. Н. Басалай<sup>1</sup>, В. Н. Яромский<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Полесский аграрно-экологический институт НАН Беларуси, г. Брест<sup>2</sup>Брестский государственный университет имени А. С. Пушкина, г. Брест, [rina2205660@yandex.ru](mailto:rina2205660@yandex.ru)

В статье представлены результаты исследований биотехнологического метода очистки сточных вод от соединений фосфора. Установлено, что эффект очистки сточных вод указанным методом составляет 75%. Растительный материал, являясь биокатализатором, создает благоприятные условия для развития фосфат-аккумулирующих организмов, поглощающих соединения фосфора из сточных вод. Оптимальная массовая доля используемого биокатализатора составляет 0,2–0,3%.

### Введение

Одна из мировых проблем в области экологии – антропогенное эвтрофирование водоемов. Эвтрофикация характеризуется бурным развитием сине-зеленых водорослей, появление которых вызвано высоким содержанием в водоеме азота и фосфора. Наличие в водоеме водорослей затрудняет работу водозаборных сооружений и рыбный промысел, снижаются эстетические достоинства водного объекта. Значительное количество фосфора, который находится в природных водоемах (реки, озера, водохранилища), поступает в них со сточными водами. В связи с вышеперечисленными факторами возрастает необходимость удаления из сточных вод перед их сбросом в водные объекты. Дополнительное удаление фосфатов на стадии доочистки обуславливает снижение соединений фосфора в сбрасываемых сточных водах предприятий и уменьшению риска развития процессов эвтрофикации.

В настоящее время выполнено большое количество научных исследований в области удаления азота и фосфора из сточных вод, однако проблема остается нерешенной. Если методы удаления азота изучены довольно хорошо, то в случае с фосфором имеется много противоречий и неисследованных факторов. На всех очистных сооружениях Республики Беларусь отсутствует эффективная система удаления фосфора из сточных вод. В европейских странах фосфор удаляют реагентным методом с помощью химических веществ, применение которых сопровождается образованием осадка, утилизация которого представляет отдельную серьезную проблему [1]. Поэтому одним из основных экологических направлений водохозяйственной деятельности является внедрение эффективных методов очистки сточных вод от биогенных элементов, которые будут не только эффективными, но и безопасными для окружающей среды.

Основная цель настоящей работы – исследование биотехнологического метода для очистки сточных вод от соединений фосфора.

### Методика и объекты исследования

Определение фосфора проводили спектрометрическим методом с молибдатом аммония. Метод основан на взаимодействии ионов ортофосфата в кислой среде с раствором, содержащим молибдат и ионы сурьмы, в результате чего образуется ком-

плекс фосфомолибдата сурьмы. Восстановление комплекса аскорбиновой кислотой приводит к образованию яркоокрашенного молибденового синего комплекса. Измерение величины поглощения этого комплекса с целью определения концентрации присутствующего ортофосфата осуществляли с помощью фотозлектрического колориметра.

### Результаты и их обсуждение

Известен способ обработки растительного материала [2], использующийся для предотвращения эвтрофикационных процессов в рыбохозяйственных водоемах. Данный метод включает обработку соломы злаковых растений раствором едкого натра. Обработанный растительный материал выступает в качестве биокатализатора. Применение данного способа усложняется необходимостью обработки растительного сырья химическим реагентом при высокой температуре и избыточном давлении, а также последующей отмывкой полученного растительного сырья.

Недостатком других биокатализаторов, разработанных в настоящее время, является их промышленное происхождение, включающее затраты на производство синтетического носителя, изоляцию и поддержание чистой культуры необходимого штамма микроорганизма, а также загрузку в полученный носитель данного штамма.

В процессе проведения исследований был разработан метод, заключающийся в минимизации затрат на подготовку специального носителя, необходимого штамма микроорганизмов и дополнительных затрат на обработку растительного материала [3].

Вместо синтетического носителя использовали специально обработанный растительный материал, который создает благоприятные условия для размножения фосфат-аккумулирующих организмов (ФАО), присутствующих в сточных водах.

Стебли соломы злаковых (например, пшеницы) измельчали до величины 1,0–2,0 см. Затем с целью удаления целлюлозы и лигнина и для оголения внутренних волокон обрабатывали растительный материал 50%-ным раствором едкого натра. Обработка щелочью позволяет уменьшить количество соломы в сравнении с необработанным растительным материалом. Далее полученную смесь помещали в контейнер из плетеной ткани и инкубировали в течение 1 ч при температуре 80 °С для протекания

экзотермической реакции, способствующей высвобождению внутренних слоев растительного материала. После температурной обработки с едким натром, растительный материал отмывали проточной водой до обесцвечивания промывочной жидкости, тем самым завершая экзотермическую реакцию обработки.

Для очистки сточной воды, растительный материал, находящийся в контейнере, погружали в сточную воду. ФАО переводят соединения фосфора из сточных вод в полифосфаты, которые накапливаются в бактериальных клетках, таким образом, не включая связанный фосфор из круговорота веществ. Полученный биокатализатор может быть использован повторно и не требует дополнительных затрат на эксплуатацию.

Сточная вода, прошедшая механическую очистку и очистку на биофильтрах, поступает в канализацию. На выходе из биофильтров может быть установлен резервуар с биокатализатором, который будет снижать концентрацию соединений фосфора в выпускаемой воде.

Для подтверждения возможности растительного материала (соломы злаков) уменьшать концентрацию фосфатов была проведена серия экспериментов.

Обработанный растительный материал инкубировали в течение семи дней в сточной воде и в растворе фосфатов с концентрацией, сходной с исходной сточной водой. Ежедневно производили измерение концентрации содержащихся фосфатов в сточной воде и приготовленном растворе. Результаты исследований приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** – Средние значения динамики концентрации фосфатов в сточной воде и в растворе фосфатов при инкубации с растительным материалом

Время, сут	Концентрация фосфатов в сточной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация фосфатов в растворе фосфатов, мг/дм <sup>3</sup>
1	18,01	19,50
2	10,62	14,90
3	9,33	14,15
4	7,84	13,78
5	6,54	13,53
6	5,59	13,75
7	4,43	12,79

Из таблицы 1 видно, что при инкубировании сточной воды и приготовленного раствора фосфатов с обработанным растительным материалом в течение 7 сут концентрация фосфатов в среднем уменьшилась в сточной воде с 18,01 до 4,43 мг/дм<sup>3</sup> (в 4,07 раз), в приготовленном растворе фосфатов – с 19,50 до 12,79 мг/дм<sup>3</sup> (в 1,52 раза).

Так как концентрация фосфатов значительно уменьшилась не только в сточной воде, но и в растворе фосфатов, можно говорить о химическом механизме очистки стоков за счет адсорбции фосфатов на растительном материале.

Мы предположили, что кроме химического механизма имеет место и биологический способ, ко-

торый осуществляется за счет наличия ФАО, ведь концентрация фосфатов в сточной воде уменьшилась значительно больше, чем в приготовленном растворе фосфатов. Если данное предположение верно и растительный материал выступает в роли биокатализатора, то скорость удаления фосфатов должна зависеть от ряда факторов. Например, значения водородного показателя (рН). Поэтому нами был проведен эксперимент по установлению зависимости скорости удаления фосфатов от значения рН.

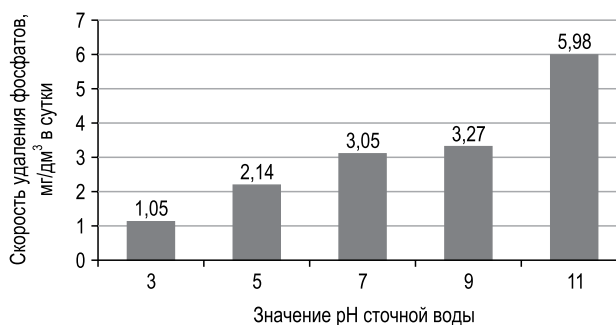
Водородный показатель не влияет на скорость протекания химической реакции, но влияет на скорость размножения микроорганизмов, которые питаются фосфором. То есть изменение рН приведет к изменению количества ФАО, что повлечет за собой изменение скорости уменьшения концентрации фосфатов в стоках.

Для подтверждения этого был проведен эксперимент по зависимости скорости удаления фосфатов из стоков от значения рН сточной воды в течение одних суток при инкубировании сточной воды с растительным материалом при различных значениях водородного показателя. Величину рН определяли потенциометрическим методом на рН-метре рН-159М. Усредненные результаты экспериментов по скорости удаления фосфатов, мг/дм<sup>3</sup> в сутки при различных значениях водородного показателя приведены в таблице 2 и на рисунке 1.

**Таблица 2.** – Средние значения зависимости скорости удаления фосфатов из стоков от значения рН сточной воды

День	Значение рН сточной воды	Скорость удаления фосфатов, мг/дм <sup>3</sup> в сутки
Одни сутки	3	1,05
	5	2,14
	7	3,05
	9	3,17
	11	5,98

Из рисунка 1 видно, что скорость удаления фосфора из сточной воды увеличивается при увеличении значения водородного показателя, т. е. при смещении его в сторону щелочной среды.



**Рисунок 1.** – Зависимость скорости удаления фосфатов из сточных вод от величины водородного показателя (рН)

Увеличение показателя pH в щелочную сторону свидетельствует о биологическом процессе удаления фосфора из сточной воды и о том, что фосфат-аккумулирующие микроорганизмы лучше развиваются и размножаются именно в щелочных условиях воды.

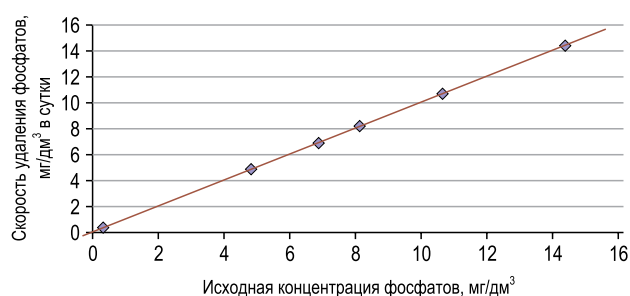
Если предположить, что процесс адсорбции на поверхности растительного материала являлся единственным механизмом удаления фосфатов из сточной воды, то скорость удаления фосфатов должна быть пропорциональна массовой доле растительного материала. Однако при повторном использовании данного растительного материала может наступить такой период времени, когда вся его поверхность будет занята и дальнейшего процесса очистки происходить не будет. Для проверки данного предположения нами был проведен опыт по повторному использованию растительного материала для очистки сточной воды с различными концентрациями фосфатов в течение суток. Результаты эксперимента занесены в таблицу 3.

**Таблица 3.** – Зависимость скорости удаления фосфатов из стоков от исходной концентрации фосфатов в сточной воде

Номер образца	Исходная концентрация фосфатов в сточной воде, мг/дм <sup>3</sup>	Концентрация фосфатов в сточной воде через 24 ч, мг/дм <sup>3</sup>	Скорость удаления фосфатов, мг/дм <sup>3</sup> в сутки
9	1,00	0,67	0,33
10	8,77	3,93	4,84
11	12,56	5,65	6,91
12	14,79	6,67	8,12
13	19,37	8,72	10,65
14	26,16	11,77	14,39

По результатам опыта сделали вывод, что чем выше концентрация фосфатов в исходной сточной воде, тем больше фосфатов удаляется из нее после инкубирования с растительным материалом (т. е. чем выше концентрация фосфатов в сточной воде, тем меньше их остается при ее инкубировании с растительным материалом).

Это свидетельствует о том, что при увеличении количества фосфатов скорость их удаления пропорционально возрастает (линейная зависимость, рисунок 2), а значит, предполагаемого насыщения растительного материала фосфатами не происходит.



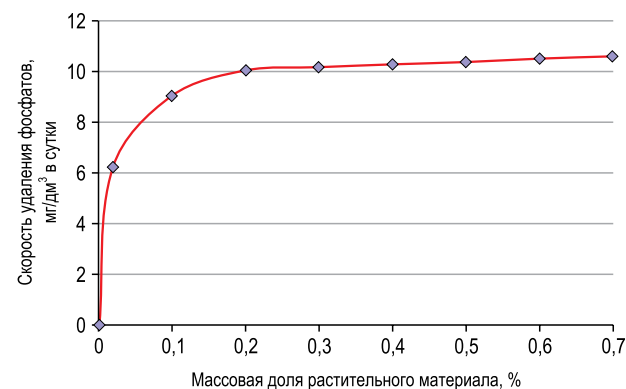
**Рисунок 2.** – Зависимость скорости удаления фосфатов из стоков от исходной концентрации фосфатов в сточной воде

Для определения необходимого количества (концентрации) соломы пшеницы для оптимального протекания процесса очистки стоков был поставлен опыт по изучению зависимости скорости удаления фосфатов из сточной воды от массы вносимого растительного материала (в пересчете на массовую долю). Результаты приведены в таблице 4.

**Таблица 4.** – Зависимость очистки сточной воды от концентрации растительного материала

Концентрация растительного материала, %	Скорость удаления фосфатов, мг/дм <sup>3</sup> в сутки
0,1	9,02
0,2	9,99
0,3	10,15
0,4	10,24
0,5	10,36
0,6	10,47
0,7	10,58

На основании эксперимента сделали вывод о том, что оптимальной концентрацией для эффективного удаления фосфатов из сточной жидкости является 0,2–0,3% растительного материала по массе, так как при массовой доле соломы более 0,3% скорость удаления фосфатов из сточной воды изменяется (повышается) незначительно (рисунок 3).



**Рисунок 3.** – Зависимость скорости удаления фосфатов из стоков от массовой доли растительного материала

**Выводы**

На основании проведенных экспериментов по удалению фосфатов из сточных вод можно сделать вывод о том, что растительный материал выступает в роли биокатализатора, который стимулирует рост ФАО. Сами ФАО уже есть в сточной воде, но их количество недостаточно для самоочистки сточной жидкости от соединений фосфора. Растительный материал, являясь биокатализатором, создает благоприятные условия для развития данных организмов, в результате чего количество (концентрация) микроорганизмов (ФАО) в сточной воде повышается, и очистка ее от соединений

фосфора происходит максимально эффективно. Это подтверждается графиками зависимости скорости удаления фосфатов из стоков от значения рН, от концентрации фосфатов в исходной сточной воде, прямо пропорциональной зависимостью скорости удаления фосфатов от количества вносимого растительного материала. Достоинства метода: доступность растительного материала, отсутствие необходимости в использовании специальных труднодоступных химических реактивов, отсутствие необходимости использования синтетических носителей для штаммов микроорганизмов, исключены затраты на поддержание культуры микроорганизмов, не нужна последующая отмывка полученного сырья; массовая доля используемого биокатализатора составляет 0,2–0,3%. Данный

растительный материал можно повторно использовать в качестве биокатализатора.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Залетова, Н.А. Удаление азота и фосфора для городских станций аэрации / Н.А. Залетова // Водоснабжение и санитарная техника. – 1993. – №9. – С. 3–5.
2. Патент GB2378698A, Великобритания. МПКС02F3/32. Water treatment preparation / Sundown Straw Products Ltd (GB). – Brian Porter. – 0213819.6. Заявл. 17.06.2002. Оpubл. 19.02.2003. Приор. 18.07.2001.
3. Яромский, В.Н. Очистка сточных вод пищевых и перерабатывающих предприятий / В.Н. Яромский. – Минск : Изд. центр БГУ, 2009. – 171 с.

### THE RESEARCH OF BIOTECHNOLOGICAL METHOD FOR TREATMENT OF WASTEWATER FROM PHOSPHORUS COMPOUNDS BASALAI K. N., YAROMSKI V. N.

This article represents the results of research of biotechnological method for treatment of wastewater from phosphorus compounds. It is established, that the effect of sewage treatment by this method is 75%. Plant material, as a biocatalyst, creates favorable conditions for the development of phosphate-accumulating organisms that absorb phosphorus compounds from wastewater. The optimum mass fraction of the biocatalyst used is 0.2–0.3%.