

УДК 628.355

И. П. Дзюба, магистр биологических наук, аспирант (БГТУ);
Р. М. Маркевич, кандидат химических наук, доцент (БГТУ);
Т. М. Сигиневич, студент (БГТУ)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАКОПЛЕНИЯ ФОСФОРА ФОСФОРАККУМУЛИРУЮЩИМИ БАКТЕРИЯМИ

Изучено влияние различных условий аэрации на способность активного ила аэротенка и биореактора накапливать фосфор. Для эксперимента отобраны пробы активного ила из аэротенка и из биореактора с чередованием условий аэрации на Минской очистной станции. Подобраны питательные среды для высева микроорганизмов активного ила. Произведен высев активного ила на плотные среды для получения колоний фосфораккумулирующих бактерий. Подобран метод выделения фосфораккумулирующих бактерий активного ила. Сделано заключение о способности активного ила накапливать фосфор и о влиянии условий аэрации на процесс аккумуляции фосфора бактериями активного ила.

The effect of different aeration conditions on the ability of activated sludge from aerotank and bioreactor to accumulate phosphorus was studied. For the experiment, samples of activated sludge from the aeration tank and the bioreactor with alternating aeration conditions at Minsk treatment plant were taken. Nutrient media for microbial seeding of activated sludge were selected. To obtain colonies of polyphosphate accumulating bacteria seeding of activated sludge on solid medium was produced. Method for isolating of activated sludge polyphosphate accumulating bacteria was chosen. The conclusion about the ability of activated sludge to accumulate phosphorus and the effect of aeration conditions on the process of phosphorus accumulation by bacteria of activated sludge was made.

Введение. На сегодняшний день одной из наиболее актуальных проблем является очистка и доочистка городских сточных вод от биогенных элементов, способствующих эвтрофикации водоемов. Количество биогенных компонентов, поступающих вместе со сточными водами, возрастает вследствие использования различных моющих средств, со стоками легкой и пищевой промышленности, а также от объектов сельского хозяйства по причине его интенсификации и химизации. Так, содержание азота в городских сточных водах составляет 20–50 мг/дм³, содержание фосфора 5–12 мг/дм³ [1]. Лимитирующим фактором эвтрофикации является содержание соединений фосфора, поскольку азот может фиксироваться из атмосферы.

Вследствие недостаточной очистки сточных вод от соединений фосфора и азота в некоторых водоемах Республики Беларусь наблюдается превышение ПДК по данным биогенным элементам (таблица), в результате происходит ухудшение качества поверхностных вод.

Кроме того, отличительной особенностью водных ресурсов Республики Беларусь является их принадлежность к бассейнам Черного и Балтийского морей, обуславливающая тесные территориальные и хозяйственные связи с сопредельными странами (Россией, Украиной, Польшей, Литвой и Латвией), и необходимость выполнения определенных международных обязательств, поскольку до 80% стока рек формируется на территории Беларуси.

Средние годовые концентрации соединений биогенных элементов в воде некоторых водоемов Республики Беларусь (согласно водному кадастру за 2009 г.)

Река, пункт отбора проб	Средние годовые концентрации, мг/дм ³		
	азота аммонийного	азота нитритного	фосфора фосфатного
Свислочь (10,0 км ниже г. Минска)	2,38	0,13	0,72
Березина (5,9 км ниже г. Борисова)	1,24	0,02	0,15
Березина (1,9 км ниже г. Бобруйска)	0,6	0,03	0,12
Днепр (25,6 км ниже г. Могилева)	0,27	0,01	0,11
Днепр (8,5 км ниже пгт. Лоева)	0,53	0,02	0,15
Мухавец (1,7 км ниже г. Кобрин)	0,9	0,02	0,11
вдхр. Осиповичское (15 км на СЗ г. Осиповичи)	1,16	0,09	0,38
Ясельда (0,5 км ниже г. Березы)	0,8	0,04	0,11
Припять (3,5 км ниже г. Пинска)	0,75	0,03	0,09
Уша (0,7 км ниже г. Молодечно)	1,28	0,12	0,28
ПДК	0,39	0,024	0,066

В настоящее время для доочистки сточных вод от соединений фосфора применяются модифицированные биологические, реагентные и электрохимические методы. В некоторых случаях химические вещества вводят на стадии биологической очистки, в некоторых – до или после биологической очистки.

В мировой практике получили распространение технологии биологического удаления фосфора, основанные на чередовании аэробных и анаэробных условий пребывания активного ила. Определенные группы бактерий активного ила обладают способностью накапливать в своих клетках (в гранулах волютина) растворенные формы фосфора. Такой способностью обладают представители родов *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Aerobacter*, *Aeromonas*, *Zoogloea ramigera* и т. д. В аэробных условиях бактерии накапливают полифосфаты в гранулах волютина. В анаэробных условиях микроорганизмы используют полифосфаты волютина как энергетический резерв для потребления субстрата. Это сопровождается внутриклеточной деградацией соединений фосфора и отдачей накопленного клеткой фосфора в воду [2].

Вместе с тем, по мнению некоторых исследователей, разрыв полифосфатных связей с целью использования энергии не приводит к выбросу фосфатов в окружающую среду. Часть аэробных бактерий ила, попадая в анаэробную зону, погибает, разрушается клеточная стенка и происходит выброс содержимого, в том числе и фосфора, во внешнюю среду. Дальнейшая аэрация приводит к росту и интенсивному размножению аэробных бактерий, а следовательно, к потреблению фосфора [3].

Основная часть. Как показывает практика, технологии, ориентированные на удаление фосфора фосфораккумулирующими бактериями, позволяют достигнуть снижения содержания фосфора. Поэтому цель исследований состоит в установлении условий максимального поглощения фосфора фосфораккумулирующими бактериями активного

ила. Исследование включает несколько этапов: изучение влияния условий аэрации на накопление фосфора биомассой активного ила; выделение фосфораккумулирующих бактерий; определение условий поглощения фосфора бактериями.

Объектом исследования являлся активный ил, отобранный из аэротенка МОС-1 и биореактора МОС-2. Аэротенки МОС-1 представляют собой аэротенки-вытеснители, разделенные на четыре коридора. В биореакторах МОС-2 реализована технология глубокого удаления азота и фосфора за счет чередования условий аэрации: анаэробный резервуар, три зоны денитрификации, которые чередуются с тремя зонами нитрификации, где происходит аэрация.

С целью изучения влияния различных условий аэрации на способность активного ила накапливать фосфор отбирались пробы иловой смеси на входе в аэротенк МОС-1 (К1) и на входе в анаэробный резервуар МОС-2 (АнР). Каждую из отобранных проб иловой смеси делили на две части. Одну часть отфильтровывали, высушивали до постоянной массы, рассчитывали дозу ила и определяли содержание общего фосфора в биомассе активного ила [4], а также распределение общего фосфора между биомассой активного ила и водой. Вторую часть иловой смеси использовали для обработки в аэробных (А) и анаэробных (АН) условиях на протяжении 3 ч при 30°C. В первом случае пробу (50 см³) обрабатывали в колбах Эрленмейера объемом 250 см³ на установке Environmental Shaker-Incubator ES-20 «BioSan» в условиях аэрации ((200 ± 5) мин⁻¹), во втором – в герметичной емкости (50 см³) с гидрозатвором. По окончании обработки пробы снова отфильтровывали и определяли содержание общего фосфора в биомассе активного ила, а также его распределение между водой и илом.

Как видно из рис. 1, способность накапливать фосфор в составе биомассы проявил и активный ил из аэротенка, и активный ил биореактора.

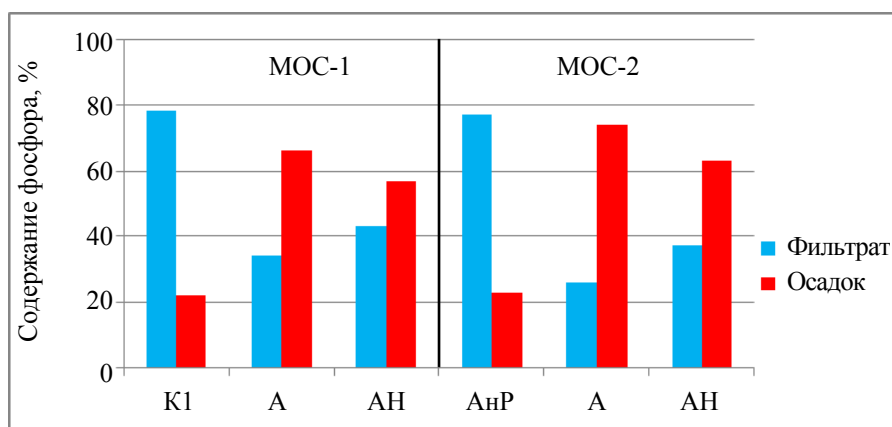


Рис. 1. Распределение общего фосфора (%) между водой и биомассой активного ила до и после обработки

Исходное содержание фосфора в активном иле аэротенка составляло 5 мг/г сухой биомассы, после аэробной обработки это значение увеличилось до 22 мг/г (рис. 2).

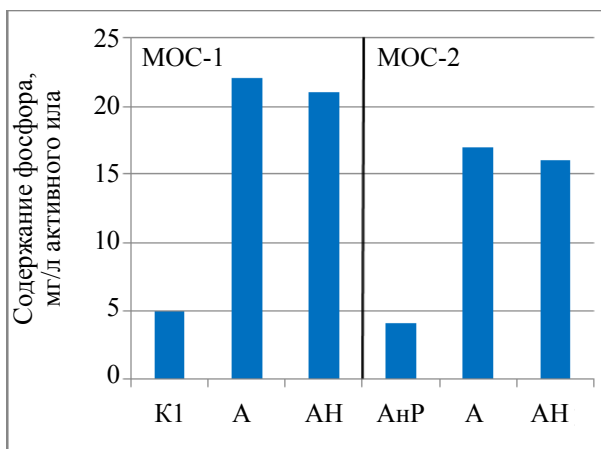


Рис. 2. Содержание общего фосфора в биомассе активного ила до и после обработки

При этом после обработки увеличения дозы ила не наблюдалось (в пробах с MOC-1 доза ила составила около 3,5 мг/мл, значение этого показателя было выше в пробах с MOC-2 – около 5 мг/мл), что является свидетельством именно накопления фосфора в биомассе активного ила, а не потребления фосфора на прирост биомассы.

Активный ил, отобранный из биореактора MOC-2, проявил меньшую способность к накоплению фосфора: после аэробной обработки содержание общего фосфора составило около 17 мг/г сухой биомассы.

Результатом анаэробной обработки активного ила аэротенка MOC-1 и биореактора MOC-2 стало также накопление общего фосфора в составе биомассы, хотя и в меньшей степени, чем при аэробной обработке (рис. 1). Причиной такого явления, вероятно, является несоблюдение строгого анаэробноз. В первом коридоре аэротенка, откуда отбиралась проба, иловая смесь уже насытилась кислородом в результате аэрации, а в анаэробный резервуар биореактора подается циркуляционный активный ил, содержащий нитраты и нитриты, кроме того, при подаче иловой смеси в резервуар возможно ее насыщение кислородом.

Таким образом, селекция фосфатаккумулялирующих организмов наблюдается как в составе активного ила аэротенка (вследствие существования зон анаэробноз), так и в составе активного ила биореактора, разбитого на зоны с разным уровнем аэрации. Однако для успешного протекания биологической дефосфатации необходимо чередование аэробных условий и условий строгого анаэробноз, а также установление условий, обеспечивающих максимальное

накопление фосфора в клетках фосфатаккумулялирующих бактерий.

На следующем этапе эксперимента проводилось выделение фосфатаккумулялирующих бактерий из активного ила аэротенка MOC-1 и биореактора MOC-2. Пробы иловой смеси отбирались ближе к концу сооружений: из коридора № 3 аэротенка MOC-1 и нитрификатора № 2 биореактора MOC-2.

Для культивирования микроорганизмов активного ила было выбрано две среды: агаризованная нативная среда и питательный агар. Агаризованная нативная среда имела следующий состав: сточная вода из первичных отстойников, к которой добавлялся агар-агар (2%); питательный агар приготавливался из сухого питательного агара с добавлением агар-агара до 1,5%. Высев производился методом истощающего штриха, культивирование при 20°C в лаборатории.

Через двое суток на чашках Петри с питательным агаром был отмечен рост колоний различных микроорганизмов (и из иловой смеси аэротенка, и из иловой смеси биореактора).

На нативной среде рост микроорганизмов не наблюдался, единичные мелкие колонии появились лишь через две недели. Таким образом, в качестве питательной среды для культивации микроорганизмов активного ила был выбран питательный агар.

Заключение. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы: активный ил имеет тенденцию селекционировать организмы, способные накапливать фосфор; несоблюдение анаэробноз в биореакторе MOC-2 привело к возникновению проблем с удалением фосфора из сточных вод; подобраны метод выделения фосфатаккумулялирующих бактерий и среды для высева бактерий активного ила. Выделенные из активного ила штаммы фосфатаккумулялирующих бактерий будут использованы для установления условий максимального поглощения фосфора из сточных вод.

Литература

1. Жмур, Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками / Н. С. Жмур. – М.: Акварос, 2003. – 512 с.
2. Технологии биологического удаления азота и фосфора на станциях аэрации / Б. В. Васильев [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2001. – № 5. – С. 22–25.
3. Очистка сточных вод от фосфатов / А. С. Шеломков, Н. В. Захватаева // Вода. – 2009. – № 6. – С. 13–15.
4. Емельянова, И. З. Химико-технический контроль гидролизных производств / И. З. Емельянова. – М.: Лесная промышленность, 1976. – 328 с.

Поступила 07.03.2011