

## Литература

1. Антилов В. А. Использование пробиотиков в животноводстве // Ветеринария. – 1991. – № 4. – С. 55–58.
2. Панин А. Н., Малик Н. И. Пробиотики – неотъемлемый компонент рационального кормления животных // Ветеринария. – 2006. – № 7. – С. 3–6.
3. Chaucheyras-Durand F., Durand H. Probiotics in animal nutrition and health // Beneficial Microbes. – 2009. – Vol. 1, № 1. – P. 7–13.
4. De Angelis M., Siragusa S., Caputo L., Ragni A., Burzigotti R., Gobetti M. Survival and persistence of *Lactobacillus plantarum* 4.1 and *Lactobacillus reuteri* 3S7 in the gastrointestinal tract of pigs // Vet. Microbiol. – 2007. – Vol. 1–3. – P. 133–144.
5. Walker, W. A. Diet and bacterial colonization: role of probiotics and prebiotics / W. A. Walker, L. C. Duffy // J. Nutr. Biochem. – 1998. – Vol. 9. – P. 668–675.
6. Глушанова Н. А. Взаимоотношения пробиотических и индигенных лактобацилл хозяина в условиях совместного культивирования *in vitro* / Н. А. Глушанова, Б. А. Шендеров // Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунобиол. – 2005. – № 2. – С. 56–61.
7. Головнева Н. А., Щетко В. А., Грель М. В. Бактериоцины грамположительных бактерий и перспективы их практического использования // Микробные биотехнологии: Фундаментальные и прикладные аспекты: сб. тр. Ин-та микробиологии НАН Беларуси. – Т. 1. – С. 247–268.
8. Данилевская, Н. В. Фармакостимуляция продуктивности животных пробиотическими препаратами. автореф. дис. ... д-ра вет. наук: 16.00.04 / Моск. гос. Акад. Вет. Мед. и биотех. им. К. И. Скрябина. – М., 2007. – 43 с.
9. Несчислав В. А., Семченко А. В., Моховникова В. Б., Белова И. В. Подготовка бактериальных культур к сублимационному высушиванию // www.gac.ru. Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12.

## УСЛОВИЯ НАКОПЛЕНИЯ ФОСФОРА БИОМАССОЙ АКТИВНОГО ИЛА

И. П. Дзюба, О. О. Серова, Р. М. Маркевич

УО «Белорусский государственный технологический университет», Минск, Беларусь,  
e-mail: marami@tut.by

В последнее время на городских очистных сооружениях все более актуальной становится проблема достижения нормативных показателей по содержанию фосфора в очищенных сточных водах. Проблема усугубляется тем, что из-за расширения использования моющих и чистящих средств поступление фосфора со сточными водами увеличивается. Попадание с недостаточно очищенными сточными водами в водоемы азота и фосфора вызывает «цветение» воды со всеми негативными последствиями [1]. При этом лимитирует процесс именно содержание фосфора, поскольку при недостатке азота могут развиваться организмы, фиксирующие его из атмосферы. Вместе с тем хорошо функционирующие сооружения традиционной биологической очистки городских сточных вод позволяют удалить только 10–30% фосфатов.

В мировой практике получили распространение технологии глубокого удаления из сточных вод азота и фосфора, основанные на чередовании зон с разным уровнем аэрации: аэробных, анаэробных [2, 3]. Механизм биологической дефосфотации основан на чередовании строго анаэробных и аэробных условий. В отсутствие кислорода организмы активного ила потребляют легкоокисляемые органические субстраты и запасают их в виде полигидроксикалканатов, используя для этого энергию расщепления полифосфатов. В последующей аэробной зоне эти организмы используют полигидроксикалканаты в качестве субстрата, наблюдается интенсивный прирост их биомассы и повышенное потребление из воды фосфатов, которые снова откладываются в полифосфатных гранулах. Обязательными условиями для успешной дефосфотации являются отсутствие кислорода в анаэробной зоне даже в связанном состоянии и наличие достаточного количества легкоокисляемой органики. Наряду с этим некоторые авторы [4] высказывают точку зрения, что выделение фосфора во внешнюю среду в анаэробных условиях свидетельствует только о гибели некоторой части клеток, а его потребление в зоне аэрации – об интенсивном размножении последних.

В биореакторах второй очереди Минской очистной станции реализована технология глубокого удаления азота и фосфора за счет чередования условий аэрации: анаэробный резервуар, три зоны денитрификации, которые чередуются с тремя зонами нитрификации. Ранее нами изучены превращения соединений азота и перераспределение фосфора между водой и биомассой по мере движения иловой смеси по зонам биореактора [5].

Цель исследования – установить условия, благоприятствующие интенсивному накоплению фосфора биомассой активного ила.

Для исследований отбирали пробы сразу после смешивания отстаиваемых в первичных отстойниках сточных вод и циркуляционного активного ила, т. е. в начале первого коридора первой секции аэротенка МОС-1 и в начале анаэробного резервуара первой секции биореактора МОС-2. Каждую из отобранных иловых смесей делили на три части. Одну часть фильтровали, в полученных осадке и фильтрате после минерализации определяли содержание общего фосфора колориметрическим методом. Вторую и третью

часть каждой иловой смеси выдерживали соответственно в аэробных и анаэробных условиях в течение 3 ч, по истечении этого времени также фильтровали и аналогично определяли содержание общего фосфора в осадках и фильтрате. Кроме того, в исходных и обработанных иловых смесях устанавливали дозу ила по массе и рассчитывали содержание фосфора на 1 г биомассы ила. Такому же анализу подвергали иловые смеси, прошедшие очистку, т. е. иловую смесь, отобранную в конце четвертого коридора первой секции аэротенка МОС-1 и иловую смесь, отобранную в конце третьего нитрификатора первой секции биореактора МОС-2.

Как следует из рис. 1, 2, в иловых смесях, отобранных в начале сооружений, фосфор преимущественно находится в воде. В этих смесях после очистки общий фосфор примерно поровну перераспределится между жидкой фазой и биомассой активного ила. Несмотря на прирост биомассы (около  $1,5 \text{ г/дм}^3$  в каждом сооружении) содержание фосфора на 1 г биомассы каждой иловой смеси существенно возросло (7 и 5 мг/г против 3 и 4 мг/г для аэротенка и биореактора соответственно). Это свидетельствует о том, что организмы активного ила не просто потребляют фосфор для синтеза клеточного вещества, но и накапливают его в гранулах в виде полифосфатов. Следует отметить, что, как нами было ранее установлено [4], из-за взаимосвязи и взаимозависимости процессов превращения азота (ассимиляции, аммонификации, нитрификации и денитрификации) и перераспределения фосфора в биореакторе МОС-2 максимальное накопление фосфора в биомассе ила наблюдается во второй зоне нитрификации. В последующей, третьей зоне денитрификации фосфор в некоторой степени переходит из клеток в воду.

Данные, полученные в результате эксперимента (рис. 3, 4), свидетельствуют о том, что в аэробных условиях накопление фосфора биомассой активного ила протекает интенсивнее, чем в анаэробных (на 1 г биомассы накапливается 30 и 20 мг фосфора соответственно).

Высвобождение фосфора из клеток при анаэробной обработке не наблюдалось, вероятно, вследствие насыщения сточных вод и циркуляционного ила воздухом при подаче их в сооружения очистки.

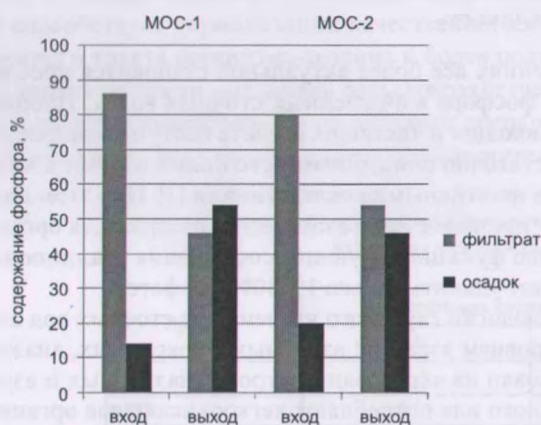


Рис. 1. Перераспределение общего фосфора между твердой и жидкой фазами в иловых смесях на сооружениях биологической очистки

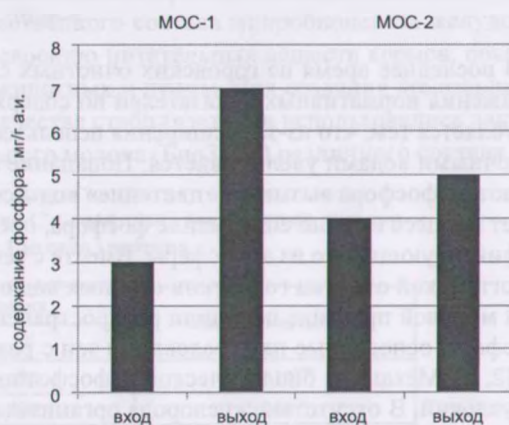


Рис. 2. Содержание фосфора в биомассе в иловых смесях на сооружениях биологической очистки

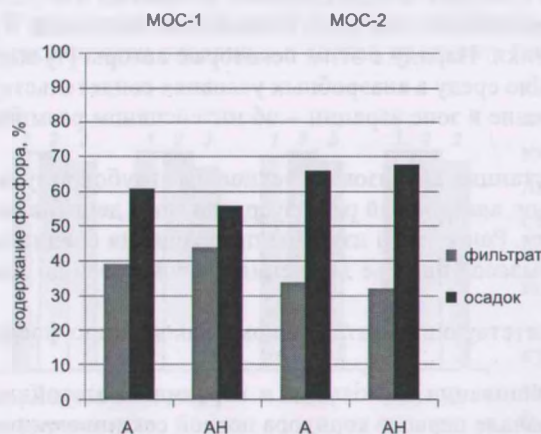


Рис. 3. Перераспределение общего фосфора между твердой и жидкой фазами в иловых смесях, обработанных в аэробных (А) и анаэробных (АН) условиях

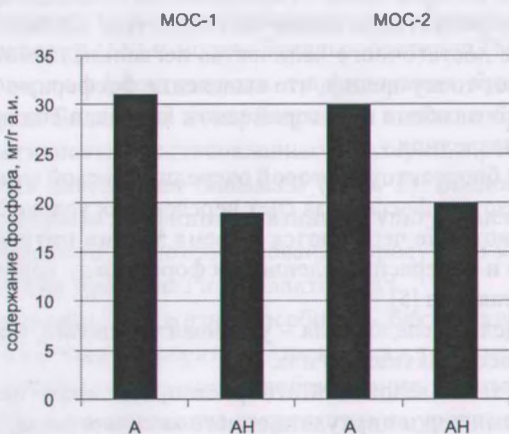


Рис. 4. Содержание фосфора в биомассе в иловых смесях, обработанных в аэробных (А) и анаэробных (АН) условиях

## Литература

1. Жмур Н. С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. – М.: АКВАРОС. 2003. – 507 с.
2. Технический справочник по обработке воды: в 2 т. / Компания «Дегремон»; редкол.: М. И. Алексеев [и др.]. – СПб.: «Новый Журнал», 2007. – 2 т.
3. Крупномасштабные сооружения биологической очистки сточных вод с удалением биогенных элементов / Д. А. Данилович [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2008 – № 10. – С. 45–51.
4. Очистка сточных вод от фосфатов / А. С. Шеломков, Н. В. Захватаева // Вода. – 2009. – № 6. – С. 13–15.
5. Биологическое удаление из сточных вод азота и фосфора в аэротенках Минской очистной станции аэрации / Р. М. Маркевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. IV. Химия, технология органического синтеза и биотехнология. – 2009 – Вып. XVII. – С. 242–246.

## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КРИОКОНСЕРВАЦИИ ПРОМЫШЛЕННО ЦЕННЫХ ШТАММОВ *PLEUROTUS OSTREATUS*

И. С. Важинская, А. В. Кантерова, Г. И. Новик, В. В. Щерба

Институт микробиологии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: konf2010@mbio.bas-net.by

В Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов поддерживаются 30 штаммов грибов вида *Pleurotus ostreatus*, выделенных из природных источников на территории Беларуси. Штаммы БИМ F-306 и БИМ F-307 защищены патентом Республики Беларусь на изобретения [1].

Цель работы – сравнительное изучение основных макро- и микроморфологических, а также физиолого-биохимических свойств мицелиальных грибов *P. ostreatus* БИМ F-306 и *P. ostreatus* БИМ F-307, хранившихся в течение года при  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  с использованием различных протекторных сред.

Скорость радиального роста грибов ( $Kr$ , мм/сут.) определяли по формуле:  $Kr = (a-b)/n$ , где:  $a$  – радиус колонии в конце периода линейного роста, мм;  $b$  – радиус колонии в начале периода линейного роста, мм;  $n$  – продолжительность линейного роста, сут. [2]. Величину ростового коэффициента (РК) рассчитывали по формуле:

$$PK = dhg/t,$$

где  $d$  – диаметр колонии, мм;  $h$  – высота колонии, мм;  $g$  – плотность колонии в баллах (1 – редкая, 2 – средняя, 3 – плотная);  $t$  – продолжительность роста колонии, сут. [3].

Удельную скорость роста определяли приростом биомассы в единицу времени, рассчитанным на единицу растущей биомассы:

$$\mu = (dx/dt) \times (1/x),$$

где  $x$  – биомасса, г,  $t$  – время, ч. [4, 5]. Выживаемость штаммов после криоконсервации определяли по [6].

В табл. 1 представлены основные показатели, характеризующие морфологические и физиологические признаки культуры *P. ostreatus* БИМ F-306 после хранения в замороженном виде в течение года с использованием различных криопротекторов.

Для штамма *P. ostreatus* БИМ F-306 лучшей протекторной средой является обезжиренное молоко, при его использовании выживаемость достигает 98%, в то время как с глицеролом и ДМСО – не превышает 85%.

В табл. 2 представлены основные показатели, характеризующие морфологические и физиологические признаки культуры *P. ostreatus* БИМ F-307 после хранения в замороженном виде в течение года с использованием различных криопротекторов.

Для штамма *P. ostreatus* БИМ F-307 самый высокий процент выживаемости обеспечивал криопротектор – обезжиренное молоко. Линейная скорость роста колоний штаммов *P. ostreatus* БИМ F-306 и БИМ F-307 равнялась в среднем 2,5 мм/сут. После второго пассажа скорость роста поверхностного мицелия грибов, хранившихся с разными протекторами, была практически одинаковой. Удельная скорость роста в условиях глубинного культивирования на ранее оптимизированной питательной среде составила  $\sim 0,07\text{--}0,08\text{ ч}^{-1}$ . Выход биомассы у штаммов *P. ostreatus*  $\sim 10\text{--}15$  г/л. Оптимальный температурный режим находился в пределах  $25\text{--}26\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## БИОТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

### АНТИМИКРОБНЫЕ СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ: СТАНДАРТНЫЕ И НОВЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Л. И. Антоновская<sup>1</sup>, С. В. Шевеленко<sup>1</sup>, Н. А. Белясова<sup>1</sup>,  
Т. С. Минкевич<sup>2</sup>, В. И. Дубкова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет, Минск, Беларусь,  
e-mail: n195404@gmail.com

<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии НАН Беларуси, Минск, Беларусь,  
e-mail: dubkova@igic.bas-net.by

Одной из серьезных проблем, с которыми сталкивается нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность, является биообрастание и повреждение материалов и оборудования. Из литературных данных известно, что наиболее активными микроорганизмами, повреждающими материал и изделия в данной отрасли промышленности, являются сульфатредуцирующие бактерии (СРБ), как правило, это представители родов *Desulfovibrio*, *Desulfomonas* и *Desulfotomaculum*. Кроме того, в составе биообрастаний встречаются представители родов *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Mycobacterium*, *Thiobacillus*, *Corynebacterium* и др. [1].

Для решения этой проблемы на протяжении многих лет отечественными и зарубежными исследователями активно ведется разработка новых рецептур составов биозащитных покрытий для широкого спектра материалов. Одним из основных критериев, по которым судят о доброкачественности защитного покрытия, служит показатель его антимикробной активности. Соответственно, для создания эффективных защитных покрытий необходимо располагать адекватными методами оценки их антимикробных свойств.

Анализ отечественных, международных стандартов и стандартов других стран показал, что методы определения антимикробных свойств материалов и изделий [2–6] обладают рядом существенных недостатков. Они довольно трудоемки, имеют высокую погрешность и низкую воспроизводимость, их невозможно использовать для оценки широкого круга материалов, например пористых материалов с развитой поверхностью. Некоторые стандартные методы не позволяют получить количественные показатели оценки антимикробных свойств материалов и изделий и таким образом не дают объективной оценки защищенности материалов от биообрастаний.

Цель исследования – разработать новые методы, позволяющие количественно оценить степень устойчивости биозащищенных материалов, в том числе пористых с развитой поверхностью, к биообрастаниям.

Объекты исследования – синтезированные в Институте общей и неорганической химии НАН Беларуси коррозионностойкие полимерные композиции, предназначенные для использования в качестве биозащитных покрытий изделий и конструкций из металла, эксплуатируемых в условиях повышенного содержания микроорганизмов, в частности для защиты оборудования нефтяного комплекса.

Для оценки устойчивости исследуемых покрытий к воздействию сульфатредуцирующих бактерий, которые преобладают в составе обрастаний материалов и оборудования в нефтедобыче, нами разработан анаэробно-суспензионный метод. В качестве тест-культур использовали выделенные из образцов активного ила Минской очистной станции аэрации сульфатредуцирующие бактерии *Desulfovibrio* LSL-1, которые осуществляют специфический способ запасания энергии – «сульфатное» дыхание, сопровождающееся диссимиляционным восстановлением сульфатов с образованием сероводорода и сульфидов. Суть метода заключается в определении содержания сероводорода в культуральной жидкости после совместного инкубирования сульфатредуцирующих бактерий с исследуемым образцом коррозионностойкой полимерной композиции в анаэробных условиях. Регистрацию количества сероводорода проводили фотокolorиметрически на основе цветной реакции образования метиленового синего. Схема анаэробно-суспензионного метода представлена на рис. 1.