

УДК 628.35

**А.В. АНЦИФЕРОВ**

инженер, ООО «Тольяттикаучук»

**В.М. ФИЛЕНКОВ**кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения  
Тольяттинский государственный университет**ВЛИЯНИЕ ДОБАВЛЕНИЯ ШТАММА РОДА *BACILLUS*  
НА ПАРАМЕТРЫ РАБОТЫ СИСТЕМЫ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ  
СТОЧНЫХ ВОД***INFLUENCE OF ADDING THE BACILLUS KIND STAMM ON WORKING PARAMETERS  
OF WASTE WATER BIOLOGICAL TREATMENT*

Приведены результаты исследования по применению гранулированного ила для повышения качества очистки сточных вод и снижения платы за сбросы загрязняющих вредных веществ в поверхностные водные объекты. Рассмотрена технология очистки сточных вод, основанная на применении биохимических методов обработки. Предоставлена методика наработки биомассы с подбором микроорганизмов для очистки сточных вод, при этом эффективность работы очистных сооружений типа 201 превышает установленные проектом нормативы.

**Ключевые слова:** гранулированный ил, плата за сбросы, биохимические методы обработки, наработка биомассы, подбор микроорганизмов.

Для повышения степени биологической очистки сточных вод нами исследована возможность очистки сточных вод в аэробных условиях с помощью активного ила, обогащенного культурой прокарриотических микроорганизмов.

Для достижения указанной цели применен штамм археобактерий *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061, депонированный во Всесоюзной коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ) института "НИИ Генетики" Минмедбиопроба РФ и предназначенный в качестве деструктора нефтепродуктов и фосфатов [1].

Полученный штамм *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061 характеризуется следующими культурально-морфологическими признаками: бактериальные прокарриотные клетки - закругленные грамотрицательные полиморфные палочки, подвижные (двигаются при помощи полярных жгутиков). Размер клеток 0,6x1,0x1,2. Склонны располагаться одиночно. Клетки малоподвижны, имеют ограниченное количество жгутиков.

Research results of granular sludge application for waste water quality improvement and reducing charges for polluting discharges of hazardous substances into surface waters are given. There is considered the technology of waste water treatment based on the use of biochemical methods of processing. Methodology is given for biomass use with the selection of microorganisms for waste water treatment here-with the effectiveness of treatment plants' (type 201) work is over the design standards.

**Keywords:** granular sludge, charges for polluting discharges, biochemical methods of processing, biomass use, selection of microorganisms.

Культура *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061 нетребовательна к питательным средам и может культивироваться как в аэробных условиях на обычном пластинчатом и скошенном мясоептонном агаре (мясоептонном бульоне), так и в факультативно-анаэробных условиях при посеве в короткий столбик мясоептонного агара под слоем вазелинового масла (для предотвращения высыхания) [1].

В эксперименте колонии данного штамма на агаре (75 °С; 24 ч) круглые с диаметром до 1,5 мм, выпуклые, влажные, не имеющие тенденции к слипанию, слегка фосфоризирующие, но не окрашивающие среду.

В мясоептонном бульоне (80 °С; 24 ч) наблюдается равномерное помутнение без образования пленки с постепенным образованием незначительного, легко взмучивающегося осадка с золотисто-желтоватым оттенком.

Физиолого-биохимические признаки: в эксперименте анаэроб, с высокой температурой роста

до 80 °С, оптимальная температура роста 25-55 °С, рН 6,2-8,6. При нейтральном рН наблюдалось разжижение крахмала.

Кратковременное хранение штамма осуществляется на скошенном агаре в условиях холодильника с еженедельным пересевом. Культура после хранения освежается путем пересева и проращивается в термостате при 75 °С в течение суток до отчетливо выраженного налета на картофельных пластинах.

Для массового размножения культуры использовался метод проточного хемостата. Лимитирующая внутриклеточная концентрация содержания фосфора варьировала в следующих пределах (от 4,2-8,7 до 13,7-16,2 мг/дм<sup>3</sup>).

При концентрации фосфатов до 15 мг/дм<sup>3</sup> содержание биомассы превышает 10 мг/дм<sup>3</sup>, при этом в составе биомассы наблюдаются частицы латекса. Уменьшение фосфора в среде оказывает непосредственное влияние на синтез суммарной РНК, поскольку он является структурным компонентом РНК. Недостаток фосфора во внешней среде способствует накоплению в клетках полисахаридов, что значительно повышает окислительную способность клеток.

Экспериментальные исследования показали, что штамм *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061 обладает более высокой (в 1,5-2 раза) деструкционной активностью в отношении фосфатов и нефтепродуктов. Преимущество штамма - высокая степень деструкции нефтепродуктов и фосфатов при очистке сточных вод.

Все выявленные в результате экспериментального исследования данные нашли отражение в

полученном патенте на изобретение [1]. Учитывая, что в производственных условиях возможны ситуации с полным прекращением подачи сточных вод на очистные сооружения, а также залповых аварийных сбросов, были выяснены температурные пределы жизнестойкости микроорганизмов, особенно в условиях экспериментально низких и высоких температур. Зависимость приведена на рис. 1.

Исследования показали, что штамм *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061 способен в условиях низких и высоких температур (от -10 до +5 °С в воздушной среде, и от +5 до +65 °С в водной среде) очищать сточные воды от нефтепродуктов и фосфатов, приближая их содержание в стоках к установленным нормам предельно допустимых концентраций.

Поэтому мы предложили добавлять микрофлору в сточную воду, что позволяет сохранить высокую эффективность работоспособности микроорганизмов. Изобретение относится к биотехнологии, в частности к микробиологической очистке почвы и сточных вод, касается использования штамма микроорганизма для деструкции нефтепродуктов и фосфатов в сточных водах и почве и может быть использовано для очистки почвы и сточных вод нефтехимических предприятий [2].

Для формирования гранулированного ила в лабораторных условиях использовали стеклянный биореактор вместимостью 4 л (высота 142 см, диаметр 6,0 см). В него внесли активный ил из очистных сооружений ООО «Тольяттикаучук» (рис. 2).

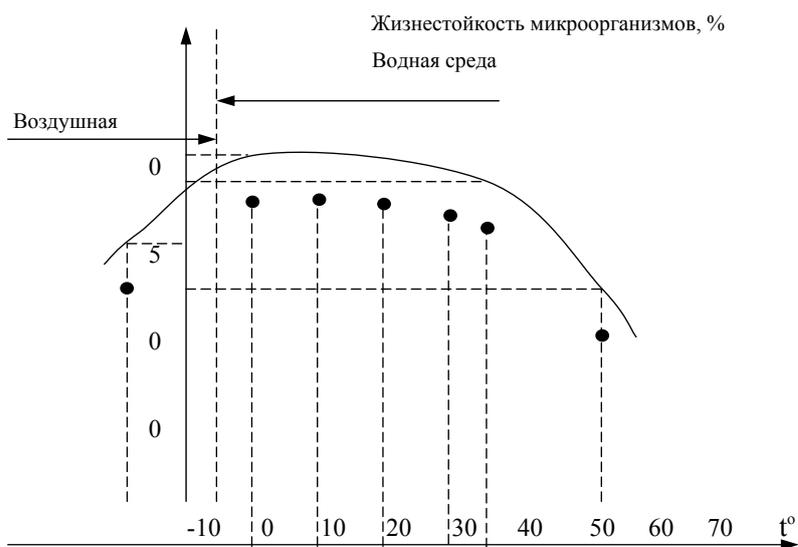


Рис. 1. Зависимость жизнестойкости микроорганизмов (%) от температуры (°C)

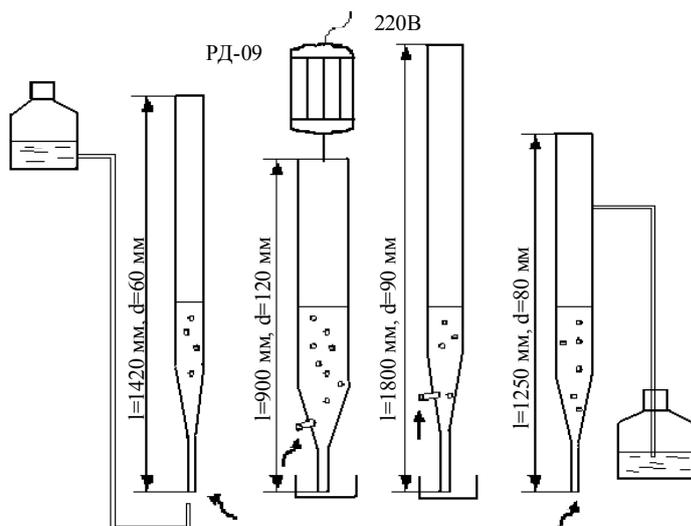


Рис. 2. Исследование различных видов биореакторов в лабораторных условиях

Объем ила 3,7 л (сухой остаток 10,5 г/дм<sup>3</sup>), объем осевшего осадка за 30 мин 98 %. В течение 4 месяцев производилось сбразивание и формирование плотного илового осадка в анаэробных условиях. Сток циркулировал в замкнутом цикле через слой ила со скоростью от 4 до 10 л в сутки. Ил периодически перемешивали при отключенной подаче стока, так как при постоянном перемешивании и циркуляции жидкости происходит вынос ила.

Свежий ил имеет окраску от светло-желтой до коричневой, а через 25-30 дней при отсутствии воздуха ил делается черным, циркулирующий раствор становится прозрачным, увеличивается скорость оседания ила в колонке в 3-4 раза. При невысокой скорости пропускания раствора образуется прозрачный надильный слой, около 30 % объема колонки, однако при увеличении скорости циркуляции или перемешивании ил «взмучивается» и происходит его вынос.

Ил, сброженный в течение 35 дней, после того как скорость его оседания в колонке стала постоян-

ной, помещен в колонку вместимостью 6,2 л (высота 125 см, диаметр 8,0 см) и внесен штамм *Bacillus* sp. Через него стали пропускать сточные воды с ООО «Тольяттикаучук» при температуре 65-70 °С для проверки деструкционной способности по отношению к нефтепродуктам.

В результате проведенного лабораторного исследования получена микрофлора, по своим свойствам способная увеличивать концентрацию до качества гранулированного ила.

По физико-химическим показателям гранулированный ил должен соответствовать требованиям и нормам, указанным в табл. 1.

Экспериментально-теоретическая проработка и опытно-промышленные исследования штамма микроорганизмов рода *Bacillus* ВКПМ-5061 в производственных условиях проводились в несколько этапов. Предпринятая попытка дозировки микрофлоры в поток сточных вод через узловой каналли-зационный колодец из переносной емкости пока-

Таблица 1

Характеристики гранулированного ила

Показатель	Характеристика
Внешний вид	Слипшиеся бактерии активной биомассы образуют гранулы диаметром до нескольких миллиметров
Содержание продуцента	Концентрация гранулированного ила должна достигать 12-20 г/дм <sup>3</sup> (в обычных условиях концентрация активного ила составляет 2,5-3,5 г/дм <sup>3</sup> )
Линейная (вертикальная) скорость подачи	Не менее 0,5 м/ч
Плотность гранулированного ила	1,08 г/см <sup>3</sup>

зала возможность снижения нагрузки на заводские очистные сооружения по фосфатам с 7 до 6 кг/ч и нефтепродуктам с 200 до 140 кг/ч за счет выявленной способности штамма *Bacillus* ВКПМ-5061 осуществлять биохимическую очистку в динамических условиях канализационного потока. Недостатком этого метода является повышенный расход вносимой культуры, транспортируемой на очистные сооружения, и включаемый в состав активного ила, а также технологическое несовершенство применяемого метода.

Это и послужило основой активных разработок в данной области по подбору оборудования, применительно к существующим работающим системам, и селекционирования более активных штаммов для локальных способов переработки концентрированных стоков, ввиду того что стоки нефтехимических предприятий имеют достаточно высокую (30-70 °С) температуру, а существующие очистные сооружения не приспособлены к такому температурному режиму непрерывной работы, особенно в период максимальных производственных нагрузок и залповых сбросов.

В течение длительного срока применения технологии очистки сточных вод имелась возможность изучить вариант использования биореактора для наработки гранулированного ила в производственных условиях и разработать методику доочистки сточных вод на локальных очистных сооружениях.

Эксперименты проводились при температуре 25 °С. Ежесуточно из реактора отбиралось по 500 мл перемешанной иловой смеси и добавлялось 390 мл

свежей сточной воды, 100 мг активного ила и 10 г штамма *Bacillus* sp. ВКПМ В-5061 (1:10).

Все измерения проводились трижды в соответствии со стандартной методикой исследования воды и сточных вод. Величина рН измерялась с помощью рН-метра Crison micro рН 2000. Контроль содержания растворенного кислорода проводился кислородомером Jenway 9071. Концентрацию общего фосфора в воде измеряли фотометрически после окисления персульфата калия. Концентрацию общего фосфора в активном иле определяли с применением перхлорной кислоты. Нефтепродукты рассчитывали спектрометрическим методом на анализаторе АН-2. ХПК рассчитывали титриметрическим методом. Доза ила определялась после высушивания в течение 1 часа при температуре 105 °С. Иловый индекс рассчитывали после 30 мин отстаивания ила.

Эксперименты с обычным и обогащенным активным илом проводились с целью возможности применения обогащенного штаммом *Bacillus* sp. ВКПМ В-5061 ила для повышения степени извлечения фосфора и нефтепродуктов в аэробных условиях.

Извлечение общего фосфора и нефтепродуктов в экспериментах с обогащенным илом оказалось значительно более высоким ( $p < 0,05$ ), чем в случае с традиционным илом. Доза ила возрастала в ходе экспериментов в обеих системах (табл. 2).

В конце эксперимента прирост ила по отношению к исходному значению был несколько выше в системе с обогащенным илом по сравнению с обычным илом. Среднее количество поглощаемого фосфора,

Таблица 2

Изменение характеристик илов во времени

Показатель	Время (поступление сточных вод на очистку), ч	Обычный ил	Обогащенный ил штаммом <i>Bacillus</i> sp. ВКПМ В-5061
<i>P</i> , мг/дм <sup>3</sup>	0	3,60	3,62
ХПК, г/дм <sup>3</sup>		212,8	208,6
Доза ила, г/дм <sup>3</sup>		1,42	1,11
Нефтепродукты		1,68	1,66
<i>P</i> , мг/дм <sup>3</sup>	24	3,12	2,68
ХПК, г/дм <sup>3</sup>		78,2	62,5
Доза ила, г/дм <sup>3</sup>		2,43	1,76
Нефтепродукты		0,46	0,18
<i>P</i> , мг/дм <sup>3</sup>	48	3,04	2,04
ХПК, г/дм <sup>3</sup>		77,4	58,6
Доза ила, г/дм <sup>3</sup>		3,24	2,53
Нефтепродукты		0,28	0,11

отнесенное к дозе ила, в данном эксперименте оказалось более высоким в системе с обогащенным илом ( $2,71 \text{ мг } P_{\text{общ}}/\text{г}$ ), чем в системе с обычным илом.

Штамм *Bacillus sp.* ВКПМ В-5061, вводимый в обогащенный ил, обнаруживает высокую способность к выживанию, размножению и внедрению в хлопья активного ила, хотя их размножение в системах с чередованием анаэробно/аэробных условий протекает несколько интенсивней.

В традиционной системе общий фосфор, извлеченный из сточной воды, используется биомассой активного ила, тогда как в системе с обогащенным илом поглощение общего фосфора является результатом жизнедеятельности штаммов.

Для наработки гранулированного ила был сконструирован биореактор (рис. 3) с комплектом вспомогательных помещений и оборудованием.

На первом этапе производится наработка биологически активной массы, которая служит «затравкой» для основного процесса очистки. С этой целью в авторский биореактор загружается активный ил, к которому добавляется в определенной пропорции адаптированный к исходной среде штамм микроорганизмов для наработки гранулированного ила и подается концентрированная сточная вода. Время

наработки ила 5-7 суток. Нарботанный гранулированный ил вносится в сточную воду или на почву для деструкции биогенных веществ.

Эффективность применения: улучшается очистка сточных вод и почвы от нефтепродуктов, фосфатов, взвешенных веществ, снижаются показатели ХПК и БПК<sub>20'</sub>; повышается окислительная способность ила в 1,5-2 раза; гранулированный ил не теряет своей активности без регенерации более трех месяцев, а сам процесс безвреден для окружающей среды.

Эффективность очистки сточных вод с применением гранулированного ила в условиях производства проверялась в центральной заводской лаборатории и лаборатории цеха № 102 ООО «Тольяттикаучук».

Проведенные исследования позволили разработать методику получения ила и использования его для очистки сточных вод от нефтепродуктов. Результаты анализа очищенных сточных вод на содержание фосфатов (по фосфору) и нефтепродуктов на выходе с БОС ООО «Тольяттикаучук» за период с 2001 по 2008 гг. представлены на рис. 4.

Кроме того, под влиянием гравитационных сил появляется возможность удерживать большое коли-

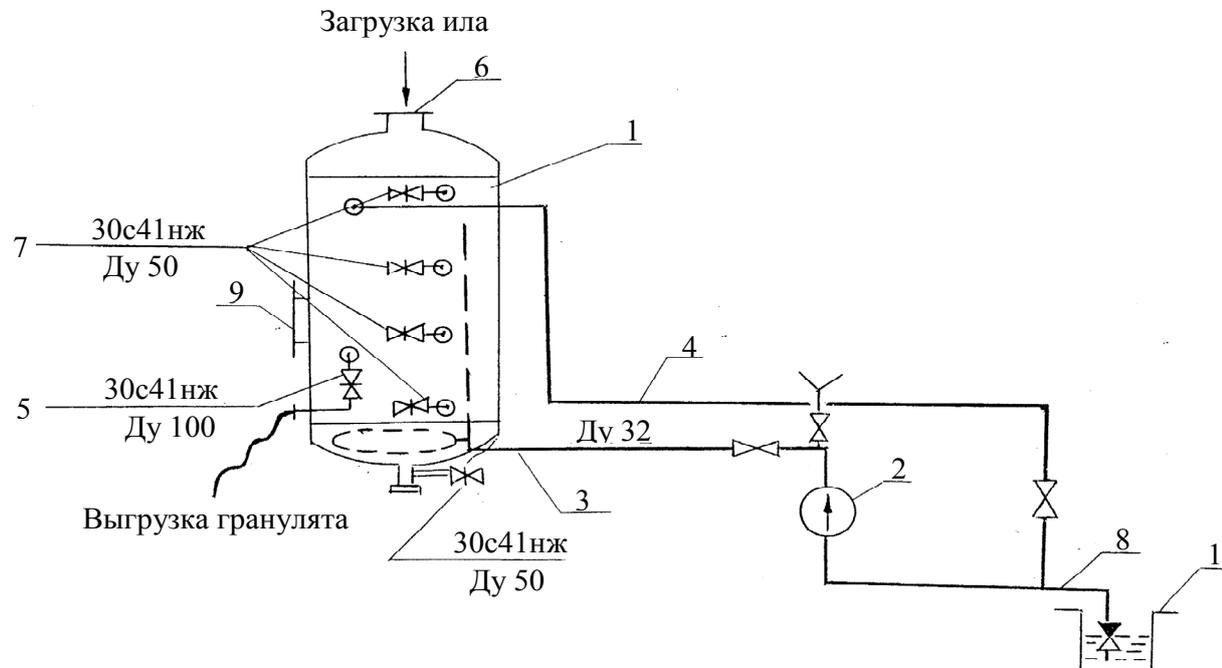


Рис. 3. Технологическая схема биореактора:

- 1 - сварной корпус; 2 - насос; 3 - трубопровод подачи сточной воды; 4 - трубопровод, рециркуляции биомассы;
- 5 - штуцер выгрузки консорциума; 6 - люк для загрузки; 7 - запорно-регулирующая арматура;
- 8 - всасывающий патрубок; 9 - люк для очистки биореактора; 10 - самотечный лоток сточных вод

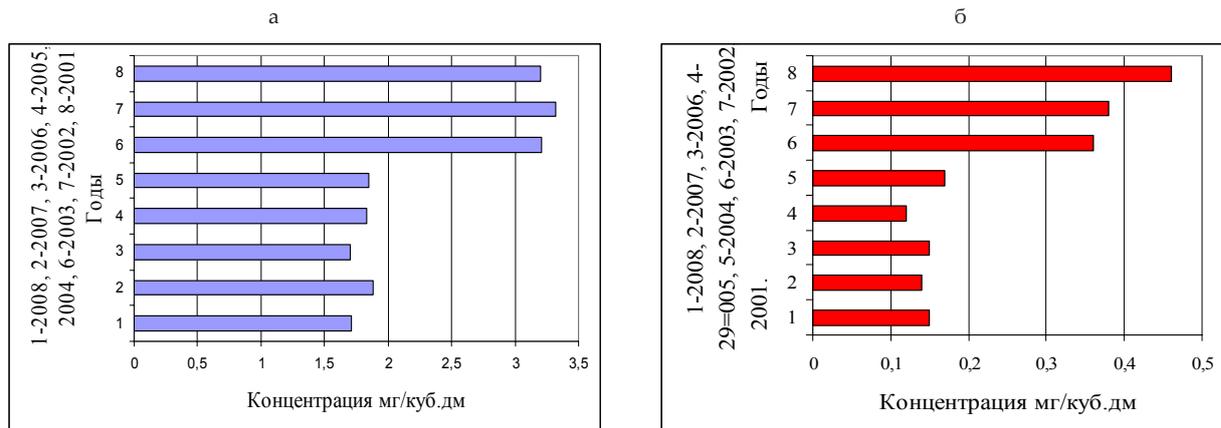


Рис. 4. Остаточное содержание загрязнений в очищенных сточных водах:  
а - фосфатов (по фосфору); б - нефтепродуктов

чество активной биомассы благодаря слипанию бактериальных клеток друг с другом. Данный биореактор служит для выработки гранулированного ила, а также может быть применен в качестве локальной очистки сточных вод от отдельного конкретного цеха [5].

Из рис. 4 видно, что после внедрения штамма выявлено улучшение очистки сточных вод по фосфору на 49,5 % и нефтепродуктам на 67,4 %.

В результате проведенных исследований разработаны методика наработки и технические условия на применение гранулированного ила, а испытанный в производственных условиях штамм-активатор по деструкции нефтепродуктов и фосфатов *Bacillus Sp. ВКПМ-5061* показал положительные результаты в очистке сточных вод. Эффект деструкции проверен: на ООО «Тольяттикаучук» - 7.09.2003 г. и 17.06.2008 г. в цехе № 102; ООО «ТольяттиМеханикаСервис» - 23.06.2008 г., ООО «Капитальное строительство и Реконструкция» - 08.08.2008 г.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Филенков, В.М. Патент 2204597 Россия; МКИ С 12 N 1/20; С 02 F 3/34, В 09 С 1/10. Штамм архебактерий *Bacillus Sp. ВКПМ В-5061* - деструктор нефтепродуктов и фосфатов, используемый при очистке почвы и сточных

вод [Текст] / В.М. Филенков, А.Л. Каплан, А.В. Анциферов, А.Ю. Абрамов. Заявлено 05.03.2001; Опубликовано 20.05.2003. Бюл. №14. – 3 с.

2. Анциферов, А.В. Разработка эффективной методики очистки стоков от нефтепродуктов [Текст] / А.В. Анциферов, В.М. Филенков // Известия Самарского НЦ РАН. – Самара, 2008. – С. 12-15.

3. Gujer, W. The implementation of biokinetics and conservation principles in ASIM [Текст] / W. Gujer, T.A. Lanser // J. Water Science and Technology. – 1995.

4. Серебряков, Д.В. Анализ технологических решений, применяемых для локальной очистки поверхностного стока [Текст] / Д.В.Серебряков, В.Г. Пономарев, Б.Г. Мишуков // Вода и экология. Проблемы и решения. – 2002.– № 1. – С. 68-73.

5. Филенков, В.М. Доочистка сточных вод на локальных очистных сооружениях от фосфатов, нефтепродуктов и азотистых биогенов [Текст] / В.М. Филенков, А.В. Анциферов // Московская международная научно-практическая конференция «Биотехнология: экология крупных городов». - М.: ЗАО «Экспо-биохимтехнологии», РХТУ им. Д.И. Менделеева, 15-17 марта 2010 г. - С. 59-60.

© Анциферов А.В., Филенков В.М., 2011