



КОЛОНКА  
ЭКСПЕРТ-  
ДИРЕКТОРА

Процесс биологической очистки с удалением азота и фосфора занимает центральное место в современных технологических схемах очистки сточных вод, что закреплено, в частности, в Информационно-техническом справочнике по наилучшим доступным технологиям очистки сточных вод поселений (ИТС10-2015).

Основные сложности в этом комплексном процессе связаны с удалением фосфора. Его можно удалить просто, но дорого – с помощью реагентов (коагулянтов), либо почти даром, но существенно сложнее – с использованием чисто биологического процесса. Уже более 20 лет в России развиваются методы биологического удаления фосфора. Существенная специфика загрязненности сточных вод (низкое соотношение БПК к азоту и БПК к фосфору, невысокое содержание летучих жирных кислот) потребовало от отечественных специалистов не только выбора оптимальных решений из ряда известных зарубежных разработок, но и создания оригинальных технологических решений. В статье «Усовершенствованная технология биологического безреагентного глубокого удаления фосфора» вниманию читателя предлагается описание одного из самых «свежих» внедрений в этой области, осуществленного на очистных сооружениях г. Кириши. К моменту подготовки статьи описанная в ней технология использовалась всего несколько месяцев, однако, полученные результаты поражают своей эффективностью, доказывая возможность глубокого удаления фосфора из городских сточных вод чисто биологическим путем, без применения реагентов. Это направление особенно важно для российских водоканалов, расходы которых, включая и самые необходимые, жестко ограничены тарифным регулированием.

Всячески рекомендуя передовой опыт, хотелось бы, однако, предостеречь читателей-технологов очистных сооружений от самостоятельных действий по его применению. Биотехнологии удаления фосфора, несмотря на внешнюю простоту решений, весьма сложны, и их внедрение требует участия специалистов, обладающих опытом, владеющих специальными тестами и, в идеале, программным обеспечением для моделирования процесса.

*Д.А. Данилович*

## Усовершенствованная технология биологического безреагентного глубокого удаления фосфора

**Л.С. Келль,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК, ЗАМ. ДИРЕКТОРА ПО НАУЧНОЙ РАБОТЕ  
ООО «ПРИРОДНЫЕ СИСТЕМЫ»

**М.В. СЕРЕДА,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК, ЗАМ. ТЕХНИЧЕСКОГО ДИРЕКТОРА  
ПО ЭКОЛОГИИ ООО «КИНЕФ»

**А.В. Казаков,**  
КАНД. ТЕХН. НАУК, НАЧАЛЬНИК ЦЕХА ВиК  
ООО «КИНЕФ»

Фосфор, содержащийся в сточных водах, является основным биогенным элементом, вызывающим антропогенную эвтрофикацию природных водных экосистем. В частности, увеличение содержания фосфора в водных экосистемах вызывает бурное развитие сине-зеленых водорослей («цветение воды»). Многие виды этих водорослей являются азотфиксирующими организмами, поэтому их развитие лимитируется именно содержанием фосфора. В свою очередь, сине-зелёные водоросли за счёт выделения токсинов и создания аноксидных зон (в результате сезонного отмирания их биомассы) ведут к деградации и гибели водных экосистем [1].

К настоящему времени разработаны и достаточно широко применяются при очистке сточных вод технологические методы биологической дефосфотации [2],

основанные на использовании фосфат-аккумулирующих организмов (ФАО). Эти бактерии используют энергию, запасенную в виде полифосфатных связей (аналогичных АТФ), для накопления в клетках летучих жирных кислот (ЛЖК) как источника углерода в форме поли-бета-гидроксибутирата (PHB). Процесс потребления и, частично, образования ЛЖК происходит в специально создаваемых в аэротенках анаэробных зонах. Впоследствии, при попадании в аэротенку в аэробные условия накопленный ФАО запас PHB окисляется с образованием новых клеток и одновременно генерируется новый запас полифосфатов из исходных сточных вод. При этом фосфаты удаляются из сточной воды при переходе неорганических фосфатов в энергетические полифосфаты, которые накапливаются в клетках бактерий. После аэротенки и вторичных отстойников избыточный активный ил с высоким содержанием фосфора отводится на обработку, что и обеспечивает более глубокое удаление фосфора из сточной воды.

**Рис. 1.**  
**Первичный отстойник,**  
**в котором происходит**  
**процесс «дозревания»**



Одним из наиболее распространенных технологических решений биологической дефосфотации сточных вод является процесс UCT (University of Cape Town), а также его модификации [3]. Однако применяющиеся способы биологической дефосфотации позволяют гарантированно удалять общий фосфор при биологической очистке бытовых сточных вод лишь до концентрации 1 мг/л (причем, в ряде случаев и это значение труднодостижимо). Более глубокое удаление фосфора достигается применением химических коагулянтов [4]. Лимитирование классических технологий биологического удаления фосфора объясняется тем, что ФАО в анаэробных условиях могут использовать для своего питания только летучие жирные кислоты (ЛЖК), а их содержание в сточных водах, а также возможности образования в анаэробной зоне, ограничены.

В 2015 г. на сооружениях производственно-объединения «КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ» по биологической очистке хозяйственно-бытовых сточных вод г. Кириши Ленинградской области (далее – СБО г. Кириши) проведены работы по внедрению усовершенствованного способа биологической дефосфотации сточных вод активным илом [5, 6, 7]. Данный способ обеспечивает глубокую биологическую дефосфотацию сточных вод за счет организации в аэротенке зон «дозревания», позволяющих обеспечить ФАО необходимым количеством субстрата. СБО г. Кириши ранее уже были реконструиро-

ваны с внедрением технологии удаления азота и фосфора (по методу A2/O), однако, в силу вышеописанных причин, удаление фосфора было не достаточно глубоким (см. табл.).

Ранее промышленные испытания способа биологической дефосфотации сточных вод с зонами «дозревания» были в 2010–2011 гг. проведены на Сестрорецкой канализационной станции (ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга»). Испытания показали, что данный способ, получивший название УСТК, в отличие от базовой и аналогичных технологий, позволяет гарантированно снижать содержание общего фосфора в городских сточных водах при их биологической очистке до новых норм ХЕЛКОМ – 0,5 мг/л, без применения коагулянтов [8, 9, 10, 11].

Аналогичные данные были получены при использовании схожего технического решения на Люберецких очистных сооружениях АО «Мосводоканал» в 2012 г. [12].

При внедрении на СБО г. Кириши процесс был существенно модифицирован. Зона «дозревания» организована не в анаэробной зоне аэротенка, как в упомянутых случаях, а в первичных отстойниках (рис. 1).

В первичные отстойники поступает сточная вода и около 5 % от расхода возвратного активного ила (аэротенки работают со 100 % рециркуляцией ила). Под действием гравитационных сил твердая фаза – взвешенные вещества сточной воды и активный ил оседают на дно отстойников и уплотняются (рис. 2).



**Рис. 2.**  
Пробы осадка из придонной части первичного отстойника: до откачки осадка (справа) и после откачки (слева)



Содержание кислорода в уплотненном осадке: 0,2–0,1 мг/л. В этих условиях при значительном времени пребывания осадка (около двух суток) происходят гидролиз и ферментация его органических веществ с образованием ЛЖК (так называемый процесс ацидофикации) в существенно больших количествах, чем это возможно в обычных анаэробных зонах. Ферментированная в первичном отстойнике смесь осадков перекачивается в распределительный канал аэротенков.

Таким образом, за счет формирования высоких концентраций ЛЖК в подаваемой сточной воде создаются условия для преимущественного развития ФАО в составе активного ила. Обычно содержание фосфора в активном иле составляет 1,5–2,0 % по сухому веществу, тогда как в иле, обогащенном ФАО, может достигать до 5–6 %, в зависимости от доли этих бактерий в составе биомассы ила.

Подача осадка из первичных отстойников в аэротенк позволяет также значительно улучшить седиментационные характеристики активного ила (снизить иловой индекс) как за счет значительно лучших седиментационных свойств сырого осадка, так и за счет сокращения субстратной базы нитчатых бактерий в результате увеличения доли субстрата, потребляемого при высоких концентрациях.

**Таблица.**  
**Результаты внедрения технологии удаления фосфора с «дозреванием»**

	Вода, поступающая в аэротенк		Ил на выходе из аэротенка		Очищенная вода после вторичных отстойников		
	$N-NH_4 / N_{\text{общ}}$ , мг/л	$P-PO_4 / P_{\text{общ}}$ , мг/л	концентрация, г/дм <sup>3</sup>	иловой индекс, см <sup>3</sup> /г	$N-NH_4 / N_{\text{общ}}$ , мг/л	$P-PO_4 / P_{\text{общ}}$ , мг/л	$N-NO_3$ , мг/л
Апрель 2015г.	33,8 / 37,1	2,8 / 4,1	2,1	387	0,45 / 7,0	0,98 / 1,27	5,0
Апрель 2016г.	<b>32,5 / 34,6</b>	<b>3,2 / 4,5</b>	<b>4,0</b>	<b>228</b>	<b>0,47 / 8,7</b>	<b>0,05 / 0,31</b>	<b>5,1</b>
Май 2015г.	33,3 / 37,9	3,1 / 4,0	2,0	406	0,52 / 7,5	1,51 / 2,06	5,4
Май 2016г.	<b>39,2 / 41,3</b>	<b>4,1 / 5,2</b>	<b>4,7</b>	<b>202</b>	<b>0,47 / 7,7</b>	<b>0,05 / 0,26</b>	<b>5,3</b>



Сравнительные показатели очистки стоков на СБО г. Кириши за апрель – май 2015 г. (до внедрения) и апрель–май 2016 г. приведены в таблице.

Как следует из приведенных в таблице данных, в 2016 г. после внедрения способа биологической дефосфотации сточных вод с зонами «дозревания», содержание фосфора фосфатов в очищенной воде снизилось с 1,25 мг/л за аналогичный период 2015 г. до 0,05 мг/л, т.е. до следовых концентраций. При этом эффективность удаления фосфора фосфатов в процессе очистки увеличилась с 58 % до 98 %. Таким образом, организация зон «дозревания» позволяет удалять фосфор чисто биологическим путем до любых разумных нормативных требований.

Иловой индекс за счет подачи сырого осадка в аэротенк, также снизился с 397 до 215 см<sup>3</sup>/г, т.е. на 46 %, что позволило поддерживать более высокую концентрацию ила в аэротенке.

Несмотря на существенное изменение технологии, не отмечено выраженного влияния на результаты очистки в части удаления азота, как по общему азоту, так и по аммонийному.

### Выводы

1. Способ биологической дефосфотации с зонами «дозревания» позволяет глубоко удалять фосфор из городских сточных вод без применения коагулянтов.
2. В отличие от других методов ацидофикации органического вещества сточных вод не требуется использование какого-либо дополнительного оборудования для проведения данного процесса, т.к. применяются имеющиеся первичные отстойники с их штатной комплектацией.
3. Способ может быть внедрён на действующих станциях биологической очистки. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Одум Ю. Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.
2. Баженов В.И., Денисов А.А. ПРОЕКТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЛЕКСОВ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД // Экология и промышленность России. 2009, № 2, с. 26–31
3. Данилович Д.А., Козлов М.Н., Мойжес О.В., Шотина К.В., Ершов Б.А. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СООРУЖЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ОТ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА И ФОСФОРА: Сб. СТАТЕЙ И ПУБЛИКАЦИЙ / МГУП Мосводоканал. – М., 2008. – с. 101–119.
4. DEGREMONT. ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО ОБРАБОТКЕ ВОДЫ // СПб., Новый журнал, Т. 1, 2007 г., с. 427
5. Пат. РФ № 2424199. Келль Л.С. Способ биологической очистки сточных вод активным илом. Опубл. 20.07.2011.
6. СЕРЕДА М.В., КАЗАКОВ А.В., КЕЛЛЬ Л.С. УДАЛЕНИЕ ФОСФОРА БЕЗРЕАГЕНТНЫМ МЕТОДОМ НА СООРУЖЕНИЯХ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ХОЗБЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ОБЪЕДИНЕНИЯ «КИРИШИНЕФТЕОРГСИНТЕЗ» // НЕФТЕПЕРЕРАБОТКА И НЕФТЕХИМИЯ. 2016. – Вып. 3., с. 38–40.
7. ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СПРАВОЧНИК ПО НАИЛУЧШИМ ДОСТУПНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ. 2015 г., с. 200–201. [HTTP://WEBPORTALSRV.GOST.RU/PORTAL/GostNews.nsf/ACAF7051ec840948c22571290059c78f4f7d066a72e2776d44257d2d00264aa1\\$FILE/ITS\\_po\\_NDT\\_10N.PDF](http://webportalsrv.gost.ru/portal/GostNews.nsf/ACAF7051ec840948c22571290059c78f4f7d066a72e2776d44257d2d00264aa1$FILE/ITS_po_NDT_10N.PDF)
8. Келль Л.С. Внедрение технологии биологической дефосфотации УСТК // Экология производства. 2011, № 5, с. 75–77.
9. Келль Л.С. Оптимизация процесса биологической дефосфотации // Экология производства, 2012, № 1, с. 59–62.
10. Келль Л.С. Промышленные испытания способа биологической дефосфотации с зонами «дозревания» в Санкт-Петербурге на КОС г. Сестрорецка // Вода и экология: проблемы и решения, 2014, № 2, с. 57–64.
11. Келль Л.С. Внедрение технологии биологической дефосфотации УСТК. Международная научно-практическая конференция // Перспективные разработки науки и техники, 2011, с. 9–16. [HTTP://WWW.RUSNAUKA.COM/28\\_PRNT\\_2011/ECOLOGIA/4\\_93686.doc.htm](http://www.rusnauka.com/28_PRNT_2011/ECOLOGIA/4_93686.doc.htm)
12. Кеврина М.В., Гаврилин А.М., Козлов И.М. Новая организация процесса преферментации для удаления биогенных элементов из сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, 2014, № 5, с. 73–79.