

УДК 628.345.1

**Г.Т. АМБРОСОВА, Е.Н. МАТЮШЕНКО, Т.А. КУПНИЦКАЯ,  
Н.В. СИНЕЕВА****УДАЛЕНИЕ ФОСФОРА ИЗ СТОКОВ  
ВНУТРИПЛОЩАДОЧНОЙ КАНАЛИЗАЦИИ**

В мировой практике для всех без исключения очистных сооружений канализации (ОСК) предусматривается система сбора хозяйственно-бытовых (от административно-бытового комплекса, котельной, насосно-воздуходувной станции, цехов доочистки и обеззараживания стоков, обработки и обезвоживания осадков) и производственных (от илоуплотнителей, сгустителей, фильтр-прессов, центрифуг, песковых и иловых площадок, аэротенков, вторичных отстойников, контактных резервуаров при их опорожнении и др.) стоков. Установлено, что сброс этих стоков в приемную камеру ОСК на повторную очистку приводит к увеличению концентрации фосфора в исходной сточной жидкости в зависимости от набора сооружений и времени года на 50–100 %. Возрастает и концентрация фосфора в очищенной сточной жидкости, сбрасываемой в водоем. В статье дается техническая и экологическая оценка известным методам удаления фосфора, приводятся результаты исследований, выполненных авторами в ходе изучения существующей проблемы и поиска путей ее решения. На основании полученных результатов разработана и предлагается для внедрения схема удаления фосфора с получением осадка, который после стабилизации и обезвреживания может использоваться в качестве органоминерального удобрения для технических культур.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** сточная жидкость, очистные сооружения канализации, фосфор, реагентный метод, органоминеральное удобрение.

**DOI 10.32683/0536-1052-2018-718-10-60-70**

Защита водных объектов – одна из важнейших экологических задач. Главным фактором, нарушающим состояние водоема, является антропогенное загрязнение, сопровождающееся массовым развитием водной растительности (цианобактерии, планктон и фитопланктон) и нарушением кислородного баланса водоема в холодный период года [1–4].

Первоначально решить проблему эвтрофирования водоемов предполагалось путем удаления из сточной жидкости одного биогенного элемента – азота, применив технологию нитрификации и денитрификации. Удаление только азота на действующих очистных сооружениях канализации (ОСК) намного проще технически и экономически целесообразно. Однако многолетняя практика эксплуатации ОСК и мониторинг состояния водоемов показали, что лимитирующим элементом в процессе эвтрофирования является фосфор [5]. Выявлено, что эвтрофирование водоема затруднено при концентрациях фосфора в природной воде ниже 0,2 мг/л.

Фосфор, содержащийся в сточных водах, представлен целым рядом соединений: растворенный неорганический ортофосфат (средние и кислые

© Амбросова Г.Т., Матюшенко Е.Н., Купницкая Т.А., Синеева Н.В., 2018

соли ортофосфорной кислоты ( $\text{H}_2\text{PO}_4^{3-}$  и  $\text{HPO}_4^{2-}$ ), растворенный неорганический полифосфат (молекулы с двумя или несколькими атомами фосфора, кислорода или атомами водорода), растворенный органический фосфор, органический фосфор во взвешенных частицах. Суммарное количество перечисленных соединений представляет собой общий фосфор [6–8].

Из множества известных методов удаления фосфора можно выделить четыре принципиально отличных: физический, биологический, физико-химический и комбинированный [9, 10].

Физический метод заключается в отстаивании сточной жидкости и является малоэффективным, так как фосфор можно удалить максимум на 10 %.

Биологический метод предполагает удаление фосфора за счет частичного или полного его использования на синтез биомассы в сооружениях биологической очистки стоков. При очистке городской сточной жидкости со средними концентрациями загрязнений, поступающих в аэротенки, концентрация фосфора (по Р) может снижаться максимум на 0,4–1,0 мг/л, поскольку на построение живой клетки в обычных аэротенках фосфора требуется немного (1–3 % от массы сухого вещества). Эффект удаления фосфора на стадии биологической очистки резко повышается при культивировании специфических микроорганизмов, например, *Acinetobacter*, требующих намного больше фосфора, так как масса этого вида бактерий на 40–60 % представлена фосфором, или фосфорсодержащими соединениями. К сожалению, несмотря на экологическую привлекательность биологического метода удаления фосфора, его крайне сложно реализовать в производственных условиях из-за трудности обеспечения равномерного поступления стоков и сохранения в них в течение длительного времени, причем в избытке, легкоокисляемого питательного субстрата.

Из известных физико-химических способов удаления фосфора наибольшее распространение получил реагентный метод, основанный на связывании ион-фосфатов в труднорастворимую соль ортофосфорной кислоты путем ввода в сточную жидкость химических реагентов. Реагентами при физико-химическом методе являются соли алюминия, железа и известь. Реагентный метод позволяет снизить фосфор вплоть до нуля, при любых исходных значениях фосфора, в первую очередь при использовании извести [11]. Этот метод, несмотря на стабильность, высокую эффективность, простоту реализации, имеет существенные недостатки.

Во-первых, при вводе солей железа и алюминия на стадии биологической очистки образуется большая масса химического осадка в виде избыточного активного ила, который после обезвоживания необходимо размещать на специализированных химических полигонах с высокой оплатой за размещение. Во-вторых, кристаллы соли ортофосфорной кислоты (абразивы), циркулируя в биологической системе, ускоряют износ трубопроводов, оборудования и арматуры, а также способствуют образованию твердых отложений на их внутренних поверхностях. В-третьих, активный ил, утяжеленный кристаллами  $\text{FePO}_4$  или  $\text{AlPO}_4$ , требует большего расхода воздуха для его поддержания во взвешенном состоянии, а наличие активного ила с кристаллами приводит к образованию в аэротенках и вторичных отстойниках залежей,

загнивающих со временем и вызывающих вторичные загрязнения биологически очищенной сточной жидкости.

В-четвертых, при использовании в качестве реагента  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ ,  $\text{FeCl}_3$  или  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  в очищенную сточную жидкость вводятся другие загрязняющие вещества (сульфаты или хлориды), которые так же, как и фосфор, нормируются для очищенных стоков, сбрасываемых в водоем. В-пятых, при передозировке реагента, приводящей к возможному снижению фосфора в аэротенке до нуля, в биологической системе создаются благоприятные условия для развития процесса «вспухания» активного ила, а его последствиями являются трудность разделения иловой смеси во вторичных отстойниках и массовый вынос ила с очищенной сточной жидкостью. И, наконец, при концентрации в сточной жидкости ионов железа или алюминия, равной 15–17 мг/л, ионы тяжелых металлов оказывают ингибирующее воздействие на метаболизм микроорганизмов активного ила.

Комбинированный метод предполагает сочетание биологических и физико-химических способов удаления фосфора. Этот способ стабильный, обеспечивает требуемую степень удаления фосфора, экологически чистый, так как используются только известь и гидроксид натрия, однако основным его недостатком является необходимость дополнительного строительства сооружений, превышающих по объему вторичные отстойники.

Цель настоящей работы состоит в поиске путей удаления фосфора, которые позволят обеспечить прежде всего требуемую степень его снижения в очищенной сточной жидкости при минимальных строительных и эксплуатационных затратах, а также иметь на всех стадиях очистки экологически чистый осадок. Гипотетически это можно сделать, если исключить прирост концентрации фосфора в камере гашения напора, который наблюдается в результате сброса стоков внутриплощадочной канализации.

В самом деле, если уменьшить концентрацию фосфора в камере гашения напора с 3–4 до 1,5–2,0 мг/л и учесть, что на стадии механической очистки фосфор снижается на 0,3–0,5 мг/л, а на стадии биологической очистки примерно на 0,5–1,0 мг/л, то в очищенной сточной жидкости концентрация фосфора не будет превышать 0,5–0,7 мг/л, что соответствует нормам на сброс стоков в водоем согласно техническому регламенту, вступающему в силу с 1 января 2019 г.

На сегодня в Российской Федерации ОСК, возведенные по проектам 1960–1970-х гг., работают по устаревшей технологии, предусматривающей снижение в сточной жидкости только двух показателей: БПК и взвешенных веществ. К сожалению, в данных проектах были непреднамеренно включены узлы, являющиеся местом интенсивного обогащения сточной жидкости фосфором: преаэраторы и первичные отстойники с подачей в них избыточного активного ила, регенераторы аэротенков, работающих при низкой нагрузке по органическим загрязнениям, илоуплотнители избыточного активного ила, уплотнители, сгустители или накопители сырого осадка и избыточного активного ила, метантенки, аэробные стабилизаторы, иловые и песковые площадки с системой отвода дренажной воды, центрифуги и фильтр-прессы. Для примера ниже приводится технологическая схема ОСК (рис. 1) и фактические значения сточных вод (таблица) г. Новосибирска.

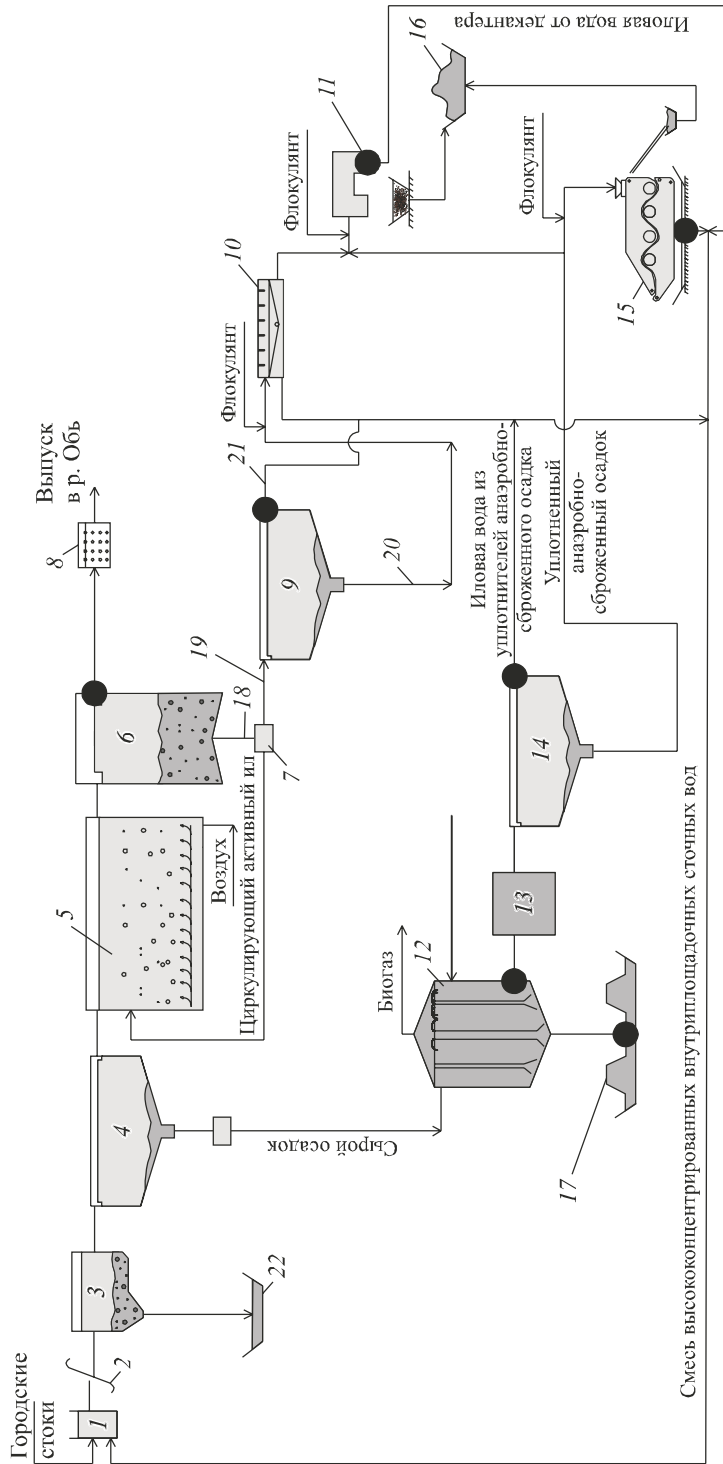


Рис. 1. Схема очистных сооружений канализации Новосибирска

1 – камера гашения напора; 2 – решетка; 3 – горизонтальная аэрируемая песколовка; 4 – радиальный первичный отстойник; 5 – аэротенк; 6 – вторичный радиальный отстойник; 7 – насосная станция вторичных отстойников; 8 – ультрафиолетовое обеззараживание; 9 – радиальный илоуплотнитель ИАИ; 10 – ленточный ступитель активного ила; 11 – декантер; 12 – метантенк; 13 – промывной резервуар анаэробно-сброженного осадка; 14 – уплотнитель анаэробно-сброженного осадка; 15 – фильтр-пресс; 16 – площадка для хранения обезвоженного осадка; 17 – аварийные иловые площадки; 18 – активный ил; 19 – ИАИ; 20 – уплотнительный активный ил; 21 – иловая вода после илоуплотнителей ИАИ; 22 – песковые площадки

**Показатели качества сточной жидкости, иловой и дренажной воды, фугата и фильтрата очистных сооружений канализации г. Новосибирска**

Сооружение	Показатели качества сточной жидкости, мг/л					
	P-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	XПК	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	pH
Песколовка	2,6–4,5	26,2–43,0	200–465	63–80	16,0–18,5	6,7–7,2
Первичный отстойник	2,7–10,7	27,0–43,5	177–250	67–75	16,2–19,0	6,9–7,1
Аэротенк	0,1–2,5	0,8–6,7	28,7–50,0	64–73	14,7–15,0	6,9–7,2
Вторичный отстойник	0,1–3,5	2,9–9,3	11,5–45	33–62	9,0–14,7	7,0–7,2
Сырой осадок (СО)	10–60	34–63	1210–1720	79–144	21,4–33,0	5,9–6,2
Смесь иловой воды после уплотнителей СО и ИАИ	35,6–50,0	29,1–35,0	580–650	69–72	15–17	6,2–6,5
Иловая вода ИАИ	11–20	18,4–21,8	22–115	46–70	17,0–20,5	6,5–6,8
Фильтрат после фильтр-прессов	7,7–33,2	17,5–55,4	370–580	73–108	20–22	6,5–6,6
Фугат после центрифуг	18,0–60,5	36–86	370–860	56–111	22–41	6,3–6,7
Иловая вода с иловых площадок	18,0–34,1	56–85	140–200	–	–	7,0–7,1

На Новосибирской станции аэрации существует несколько мест обогащения иловой воды фосфатами: уплотнители избыточного активного ила (ИАИ), метантенки, уплотнители промытого осадка, центрифуги, фильтр-прессы, иловые и песковые площадки.

На данном объекте ИАИ в зависимости от времени года и объема поступающих стоков уплотняется в радиальных илоуплотнителях в течение 12–16 ч. Степень обогащения иловой воды фосфатами особенно высока в теплый период года, благоприятный для быстрого погружения избыточного ила в анаэробные условия и максимального высвобождения фосфора из клетки в окружающую среду.

В метантенках иловая вода сброженного осадка обогащается фосфором в основном за счет распада органических веществ, бактерий, простейших и микроскопических животных, поступающих с уплотненным ИАИ.

Согласно проектной схеме на ОСК г. Новосибирска для обезвоживания осадка были приняты вакуум-фильтры, которые через несколько лет их эксплуатации были заменены вначале на центрифуги, а затем на центрифуги и фильтр-прессы. До недавнего времени центрифуги применялись для уплотненного (после уплотнителей) и сгущенного (после сгустителей) избыточного ила, а фильтр-прессы для смеси сырого осадка и небольшой части уплотненного избыточного ила. Однако из-за большой открытой поверхности фильтр-прессов, вызывающей чрезмерную загазованность производственного помещения сероводородом, аммиаком, индолом и меркаптанами, весной 2018 г. они были заменены на центрифуги марки Flottweg. Поэтому в настоящее время все осадки ОСК подвергаются обезвоживанию в поле центробежных сил.

В проектной схеме с вакуум-фильтрами в состав узла механического обезвоживания осадка входили резервуар для промывки анаэробно-сброженного осадка и уплотнители для сгущения промытого осадка перед его подачей на обезвоживание. После замены вакуум-фильтров на центрифуги уплотнители промытого осадка начали использовать в качестве сооружений для совместного уплотнения сырого осадка и избыточного ила перед его подачей на обезвоживание. Именно это сооружение является местом интенсивного обогащения иловой воды фосфором, так как продолжительность нахождения смеси в анаэробных условиях превышает 24 ч. Согласно производственным данным при концентрации фосфора в избыточном активном иле 2–3 мг/л, а в сыром осадке 10–60 в иловой воде после уплотнителей его концентрация поддерживается на уровне 50 мг/л (по Р).

На ОСК г. Новосибирска иловые площадки были запроектированы на круглогодичный прием сброженного осадка, их общая площадь превышает 140 га. Иловые карты имеют асфальтобетонное основание, оборудованы системами отвода поверхностной и дренажной воды. Часть карт заполнена осадком влажностью 75–80 %, часть осадком влажностью более 80 %, а часть используется в аварийных случаях, принимая осадок при вынужденной остановке цеха механического обезвоживания осадка. В настоящее время территория иловых площадок заполнена осадком более чем на 95 %. Согласно данным лабораторно-производственного контроля смесь иловой и дренажной воды, поступающая в приемную камеру сооружений, содержит фосфор в количестве 18–35 мг/л (по Р). Однако в период таяния снега и выпадения дождя концентрация фосфора в смеси снижается в 2–3 раза при повышенном расходе иловой воды.

Центрифугирование, как и фильтр-прессование, является причиной обогащения фугата и фильтрата фосфором. В первом случае это происходит за счет действия центробежной силы, способствующей при высокой скорости вращения ротора (2500–3500 об./мин) высвобождению фосфора из клеток активного ила. Возможно, связано это с тем, что в процессе центрифугирования у бактерий и простейших ослабевают проницаемость цитоплазматических мембран клеток или нарушается их целостность.

Исследования с сырым осадком и избыточным активным илом показали, что заметное высвобождение фосфора наблюдается при скорости вращения ротора лабораторной центрифуги 3000 об./мин и более (рис. 2). Следует отметить, что производственные центрифуги, как правило, работают при частоте 3500–4000 об./мин.

При фильтр-прессовании с рабочим давлением сжатия 4–6 атм обогащение фильтрата фосфором происходит, по мнению авторов, за счет механического разрушения частиц осадка, в том числе простейших и микроскопических животных, присутствующих в уплотненном избыточном иле.

Исследования показали, что для снижения фосфора в иловых и дренажных водах, фугате и фильтрате достаточно осуществить ввод извести в соотношении  $P : Ca^{2+} = (1,0-1,5)$  и гидроксида натрия, необходимых для повышения рН до 10,5–11.

При наличии в стоках внутриплощадочной канализации в достаточном количестве ионов аммония, кальция и магния, повышение рН способствует



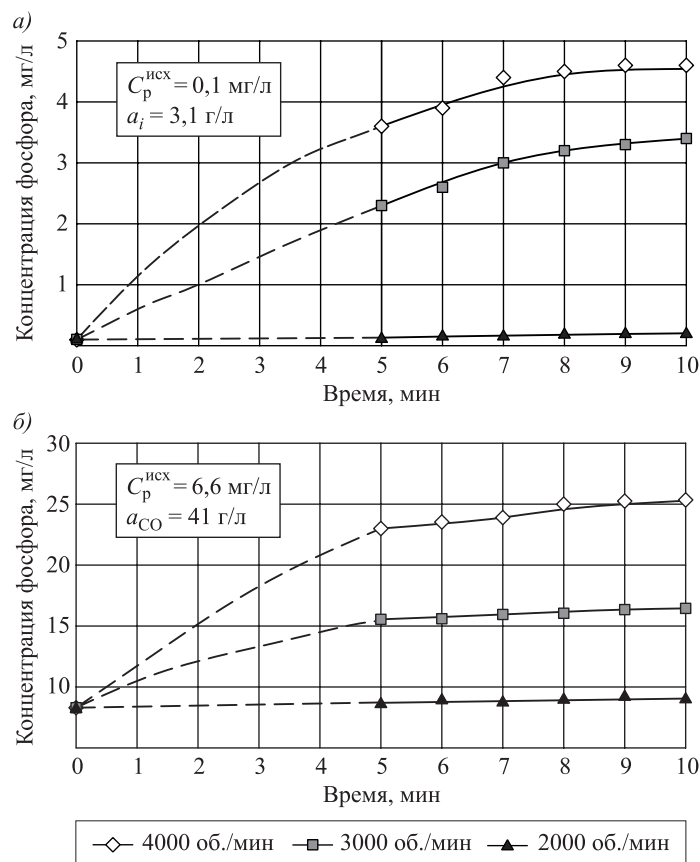


Рис. 2. Влияние скорости вращения ротора центрифуги и продолжительности центрифугирования на степень высвобождения фосфора из активного ила (а) и сырого осадка (б)

образованию в растворе труднорастворимых двухосновных солей магния и кальция по следующим химическим реакциям:



Благодаря физико-химической очистке производственных стоков и их сбросу в приемную камеру ОСК в общем стоке снижаются значения не только фосфора, но и других показателей (ХПК, аммоний, взвешенные вещества, ионы кальция, магния и др.), что повышает в целом эффективность работы ОСК.

В Новосибирске в Обь сбрасывается очищенная сточная жидкость со средней концентрацией фосфора 2–3 мг/л (по Р). При этом ПДК для сброса в рыбохозяйственные водоемы I категории, к которым относится и Обь, составляет 0,2 мг/л (по Р). С января 2019 г. МУП «Горводоканал» переходит на технологическое нормирование, и предприятие будет обязано достигать технологических показателей наилучших доступных технологий (НДТ), регламентированных в информационно-техническом справочнике по НДТ [12].

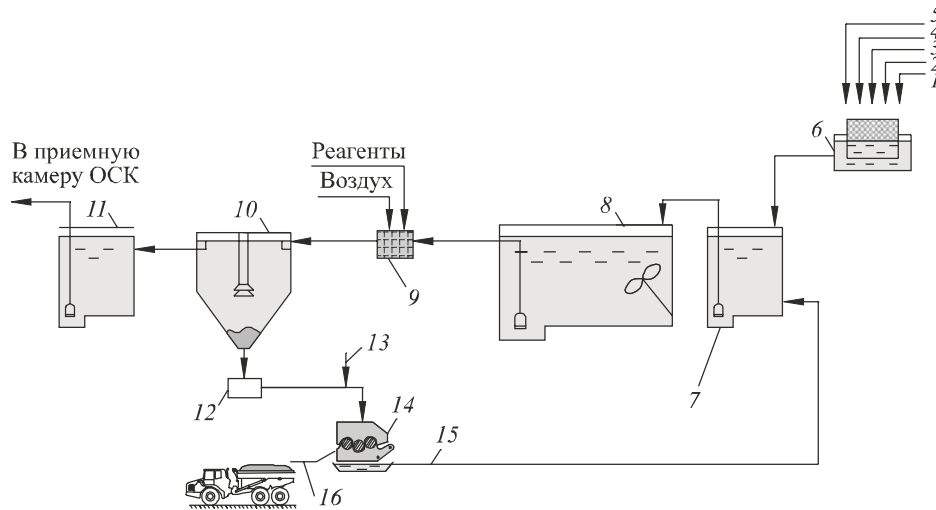


Рис. 3. Рекомендуемая схема удаления фосфора из стоков внутриплощадочной канализации

1 – фугат от центрифуги; 2 – фильтрат от фильтр-пресса; 3 – фильтрат от сгустителя; 4 – дренажная вода с иловых и песковых площадок; 5 – иловая вода от уплотнителей сброженного осадка; 6 – барабанные сита; 7 – резервуар хозяйственно-бытовых стоков; 8 – резервуар-усреднитель; 9 – камера реакции; 10 – отстойник физико-химической очистки; 11 – резервуар сбора очищенной сточной жидкости; 12 – насосная станция; 13 – флокулянт; 14 – фильтр-пресс; 15 – фильтрат в резервуар хозяйственно-бытовых стоков; 16 – вывоз кристаллического осадка

Так, концентрация фосфора фосфатов нормируется на уровне 0,7 мг/л. Данный показатель ощутимо мягче, чем существующая предельно допустимая концентрация (0,2 мг/л).

На основании результатов исследований была разработана и предлагается технологическая схема очистки высококонцентрированных сточных вод внутриплощадочной канализации (рис. 3).

Производственные стоки, образующиеся в результате обработки осадков (уплотнения, сгущения, обработки, обезвоживания ИАИ и СО), а также бытовые стоки от санузлов и душевых площадки ОСК направляются на решетки или барабанное сито для задержания крупных включений. После усреднения по составу и расходу сточная жидкость поступает в камеру реакции, куда последовательно вводится раствор извести и гидроксида натрия для повышения рН до 10,5–11 и воздух для перемешивания реагента и сточной жидкости, а также для зарождения кристаллов  $\text{CaNH}_4\text{PO}_4$ ,  $\text{MgNH}_4\text{PO}_4$ . В отстойниках физико-химической очистки осаждаются кристаллы и взвешенные частицы, присутствующие в производственных стоках. Освобожденная от фосфора сточная жидкость направляется в резервуар для сбора сточной жидкости и далее насосом перекачивается в приемную камеру очистных сооружений, а образовавшийся в отстойниках осадок обезвоживается на фильтр-прессах и может использоваться в качестве низкосортного органоминерального осадка после его обеззараживания.

Разработанная схема проста в реализации и эксплуатации, позволяет снизить концентрацию фосфора в стоках внутриплощадочной канализации до 0,1–0,2 мг/л при обязательном повышении рН до 10,5–11.



**Выводы.** 1. В сравнении с биологическими и комбинированными методами удаления фосфора из сточной жидкости реагентный способ относится к самым эффективным, стабильным и перспективным при использовании экологически чистых реагентов.

2. Исследования показали, что концентрацию фосфора в исходной сточной жидкости можно сократить в 1,5–2 раза, если стоки внутриплощадочной канализации перед их сбросом в голову сооружений подвергнуть физико-химической очистке.

3. Разработана и рекомендуется для внедрения недорогая в реализации, надежная и простая в эксплуатации технологическая схема удаления фосфора из стоков внутриплощадочной канализации, позволяющая снижать фосфор в очищенной сточной жидкости, сбрасываемой в водоем, до 0,5–0,7 мг/л.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Цветкова Л.И. Экология. М.: Изд-во АСВ; СПб.: Химиздат, 2001. 552 с.
2. Жмур Н.С. Технологические и биохимические процессы очистки сточных вод на сооружениях с аэротенками. М.: АКВАРОС, 2003. 512 с.
3. Vesilind P., Peirce J., Weiner R. Environmental engineering. Newton, 1994. 628 p.
4. Ивчатов А.Л., Малов В.И. Химия воды и микробиология. М.: ИНФРА-М, 2014. 218 с.
5. Вильсон Е.В. Методологические аспекты физико-химического удаления фосфора из сточных вод на различных этапах очистки // Символ науки. 2015. № 11. С.16–20.
6. Гогина Е.С. Удаление биогенных элементов из сточных вод. М.: МГСУ, 2010. 120 с.
7. Залетова Н.А. Особенности химического удаления фосфора при биологической очистке сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 11. С. 40–46.
8. Ющенко В.Д., Галузо А.В., Куприяничик Т.С. Анализ работы сооружений для удаления соединений фосфора из сточных вод на станции аэрации города Витебска // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Серия В: Промышленность. Прикладные науки. 2015. № 3. С. 115–119.
9. Воронов Ю.В., Алексеев Е.В., Пугачев Е.А., Саломеев В.П. Водоотведение. М.: Изд-во АСВ, 2014. 416 с.
10. Амбросова Г.Т., Меркель О.М., Бойко Т.А., Хвостова Е.В., Перминов А.А. Закономерности процесса дефосфотизации активного ила в анаэробных условиях // Изв. вузов. Строительство. 2003. № 5. С. 73–79.
11. Канализация населенных мест и промышленных предприятий: Справ. проектировщика / Под ред. В.Н. Самохина. М.: Стройиздат, 1981. 639 с.
12. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов // Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. ИТС 10–2015. М.: Бюро НДТ, 2015. 377 с.

**Амбросова Галина Тарасовна**, канд. техн. наук, проф.;

E-mail: galina-ambrosova@yandex.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Матюшенко Евгений Николаевич**, ст. препод.;

E-mail: ematyushenko1991@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Купницкая Татьяна Александровна**, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: viv@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

**Синева Наталья Валерьевна**, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: sineeva\_nata@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 21.09.18

**Ambrosova Galina Tarasovna**, PhD, Professor; E-mail: galina-ambrosova@yandex.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Matyushenko Evgeniy Nikolaevich**, Senior lecturer; E-mail: ematyushenko1991@mail.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Kupnitskaya Tatyana Alexandrovna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: viv@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**Sineeva Natalya Valer'evna**, PhD, Ass. Professor; E-mail: sineeva\_nata@mail.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

## **PHOSPHORUS REMOVAL FROM ON-SITE SEWAGE WASTEWATER**

In the world practice for all wastewater treatment plants (WWTP) without exception a system of collection of both domestic wastewater (from administrative and household complexes, boilers, pump and blower stations, wastewater after-treatment and disinfection facilities, sludge treatment and drying of sludge), and industrial wastewater (for sludge dewatering basins, thickeners of activated sludge, filter-presses, centrifuges, sand and sludge beds, aertotanks, secondary settling tank, contact tanks when emptying them, etc.) is envisaged. It was found that discharge of this wastewater into the WWTP inlet chamber for retreatment leads to the 50–100 per cent increase of phosphorus concentration in raw wastewater, depending on facilities structure and season. In this regard, phosphorus concentration in treated wastewater discharged into a reservoir increases. This article provides technical and environmental assessment for known methods of phosphorus removal, research results obtained by the authors during studying of the existing problem, and search of solutions to the problem. Based on the obtained results, a scheme for phosphorus removal with the production of sediment was developed and proposed for implementation, which after stabilization and neutralization can be used as an organic-mineral fertilizer for technical crops.

**Key words:** wastewater, wastewater treatment plant, phosphorus, reagent method, organic-mineral fertilizer.

## REFERENCES

1. Tsvetkova L.I. *Ekologiya* [Ecology]. Moscow, 2001. 552 p. (in Russian)
2. Zhmur N.S. *Tekhnologicheskie i biokhimicheskie protsessy ochistki stochnykh vod na sooruzheniyakh s aerotenkami* [Technological and biochemical processes of wastewater treatment at facilities with aerotanks]. Moscow, 2003. 512 p. (in Russian)
3. Vesilind P., Peirce J., Weiner R. *Environmental engineering*. Newton, 1994. 628 p.

4. Ivchatov A.L., Malov V.I. Khimiya vody i mikrobiologiya [Water chemistry and microbiology]. Moscow, 2014. 218 p. (in Russian)
5. Vil'son E.V. Metodologicheskie aspekty fiziko-khimicheskogo udaleniya fosfora iz stochnykh vod na razlichnykh etapakh ochistki [Methodological aspects of physical and chemical phosphorus removal from wastewater at different stages of treatment]. Simvol nauki [Symbol of Science]. 2015. No. 11. Pp. 16–20. (in Russian)
6. Gogina E.S. Udaleniye biogennykh elementov iz stochnykh vod [Removal of nutrients from wastewater]. Moscow, 2010. 120 p. (in Russian)
7. Zaletova N.A. Osobennosti khimicheskogo udaleniya fosfora pri biologicheskoy ochistke stochnykh vod [Features of chemical phosphorus removal in biological wastewater treatment]. Vodospabzheniye i sanitarnaya tekhnika [Water supply and sanitary engineering]. 2011. No. 11. Pp. 40–46. (in Russian)
8. Yushchenko V.D., Galuzo A.V., Kupriyanchik T.S. Analiz raboty sooruzheniy dlya udaleniya soedineniy fosfora iz stochnykh vod na stantsii aeratsii goroda Vitebska [Analysis of the work of facilities for removal of phosphorus compounds from wastewater at the aeration station of Vitebsk]. Vestnik PGY. Seriya B: Promyshlennost'. Prikladnye nauki [Bulletin of Polotsk State University. Part B: Industry. Applied Science]. 2015. No. 3. Pp. 115–119. (in Russian)
9. Voronov Yu.V., Alekseev E.V., Pugachev E.A., Salomeev V.P. Vodootvedeniye [Canalization]. Moscow, 2014. 416 p. (in Russian)
10. Ambrosova G.T., Merkel' O.M., Boyko T.A., Khvostova E.V., Perminov A.A. Zakonomernosti protsessa defosfotizatsii aktivnogo ila v anaerobnykh usloviyakh [Regularities of the process of dephosphatization of activated sludge in anaerobic conditions]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2003. No. 5. Pp. 73–79. (in Russian)
11. Kanalizatsiya naseleennykh mest i promyshlennykh predpriyatiy. Spravochnik proektirovshchika [Sewage of populated places and industrial enterprises. Directory of designer]. Moscow, 1981. 639 p. (in Russian)
12. Ochistka stochnykh vod s ispol'zovaniem tsentralizovannykh sistem vodootvedeniya poseleniy, gorodskikh okrugov. Informatsionno-tekhnicheskii spravochnik po nailychshim dostupnykh tekhnologiyam [Wastewater Treatment Using Centralized Sewerage Systems for Settlements, Urban Districts]. ITS 10–2015. Moscow, 2015. 377 p. (in Russian)