

С. Ю. ТЕПЛЫХ
Д. С. БОЧКОВ
А. О. БАЗАРОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ УДАЛЕНИЯ ФОСФАТОВ ИЗ БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД

INVESTIGATION OF METHODS FOR REMOVAL OF PHOSPHATES FROM HOUSEHOLD WASTE WATER

Приведено исследование реагентного удаления фосфатов из бытовых сточных вод. При исследовании были задействованы труды, авторы которых описывают методы извлечения из воды фосфорных соединений. В статье сравнивается удаление фосфатов из сточной воды различными методами в сравнении с реагентным. Проведенный анализ существующих технологий регенеративной дефосфатации сточных вод показал, что перспективным направлением является поиск новых реагентов для извлечения фосфатов из сточных вод. Предпочтение отдается таким реагентам, как оксид и гидроксид кальция, хлорид и сульфат железа, сульфат алюминия. Наиболее эффективным для связывания фосфатов является катион кальция, так как с ним образуется большее количество труднорастворимых соединений.

Ключевые слова: фосфор, фосфаты, реагент, очистка сточных вод, реагентная очистка, удаление фосфатов

A study of the reagent removal of phosphates from domestic wastewater is presented. The research involved works, the authors of which describe methods for extracting phosphorus compounds from water. The article compares the removal of phosphates from wastewater by various methods in comparison with reagent methods. The analysis of existing technologies for regenerative dephosphorization of wastewater has shown that a promising direction is the search for new reagents for extracting phosphates from wastewater. Preference is given to such reagents as calcium oxide and hydroxide, iron chloride and sulfate, aluminum sulfate. The most effective for binding phosphates is the calcium cation, since a greater amount of hardly soluble compounds are formed with it.

Keywords: phosphorus, phosphates, reagent, wastewater treatment, reagent treatment, phosphate removal

В настоящее время очистка сточной воды от фосфатов является важной, так как фосфаты присутствуют практически во всех бытовых химических веществах и по сетям канализации попадают в водоемы. Избыточное поступление фосфора приводит к эвтрофикации водоемов.

Влияние фосфора на водоемы

Одной из актуальных проблем является очистка и доочистка городских сточных вод от биогенных элементов, способствующих цветению 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. Лимитирующим фактором цветения водоемов является содержание соединений фосфора, поскольку азот может фиксироваться из атмосферы [1]. Несмотря на большое количество исследований,

проблему очистки сточных вод от биогенных элементов нельзя считать решенной [2].

Фосфаты экономически выгодны и дают возможность получать высокие доходы производителям бытовых средств. Но при этом фосфаты оказывают вредное влияние и на человека, и на окружающую среду [3].

Ограничение поступления соединений фосфора в водные объекты имеет большое значение для регулирования цветения водоемов. Избыточная доза фосфатов приводит к изменению их трофического статуса. Увеличение трофности приводит к снижению качества воды [4].

В загрязненных сточных водах концентрация общего фосфора может достигать десятков миллиграммов в 1 дм³ [5].

В период цветения цианобактерии продуцируют нейротоксины, вызывающие заболевания центральной нервной системы, и гепатоксины, поражающие печень. В период массовой гибели цианобактерий (в результате достиже-

ния предельной интенсивности) в водоёмах возрастает содержание фенолов [6].

Наличие соединений фосфора и азота вызывает биологическое обрастание трубопроводов, коллекторов и другого промышленного оборудования. Согласно современным взглядам на проблему, главная роль в эвтрофикации водоемов принадлежит фосфору, поэтому для сдерживания процессов эвтрофикации необходимо в первую очередь удалять соединения фосфора [7].

Поступление в водные объекты плохо очищенных сточных вод во многом вызвано применением устаревших методов водоочистки, изношенностью технологического оборудования, несвоевременной корректировкой технологического режима [8].

Продукты метаболизма водорослей придают воде неприятный запах, могут вызывать кожные аллергические реакции и желудочно-кишечные заболевания у людей и животных. При разложении водоросли выделяют в воду полипептиды, аммиак и промежуточные продукты белкового распада. При этом содержание фенолов в воде превышает ПДК в 3–4 раза. Биомасса сине-зеленых водорослей в период максимального развития достигает 50 кг/м³ и в основном (до 75 %) состоит из полисахаридов – студнеобразующих веществ, почти не поддающихся воздействию неорганических реагентов [9].

Исходя из этого можно считать, что проблема влияния фосфатов на водоемы и здоровье человека существует. Следовательно, вопрос очистки сточных вод от фосфат-содержащих соединений актуален, так как от эффективности очистки воды зависит количество попадающих в водоем соединений фосфора [10].

Методы удаления фосфора из сточных вод

Методология удаления фосфора из сточных вод основывается на развитии двух направлений: биологического и физико-химического. Наиболее характерный метод удаления фосфатов основан на культивировании фосфат-аккумулирующих организмов (ФАО).

Для процесса биологического удаления фосфора необходимы:

- анаэробная зона с легкоокисляемым субстратом в форме летучей жирной кислоты (ЛЖК);
- последующая аэробная или аноксидная зона;
- рецикл обогащенных фосфатами ФАО в анаэробную зону.

Как показывает практика очистки сточных вод, этот метод оказывается малоэффективным в случае низкого содержания органических веществ (как растворенных, так и находящихся во взвешенном состоянии) различной степени дисперсности) в исходных сточных водах. При высоких значениях нитратов это усложняет процесс получения ЛЖК в необходимом количестве, так как микроорганизмы, осуществляющие денитрификацию и дефосфатизацию, проявляют конкуренцию за обладание ЛЖК.

На сегодняшний день реагентный метод дефосфатации наиболее эффективен, особенно при необходимости обработки больших объемов сточных вод. Он является нормативным, рекомендован к применению. В качестве коагулирующих агентов используют соли алюминия, железа и известь [6].

Биологический метод удаления фосфатов из бытовых сточных вод

Биологический метод предполагает выращивание специальных фосфат-аккумулирующих организмов с их последующим отделением. Процесс требует строительства больших специальных аэротенков и флотаторов для отделения ФАО. Общая схема процесса биологической очистки, реализующаяся в России, представлена на рис. 1.

Важным условием является молодой ил. Следовательно, в связи с сезонностью климатических условий России, так как большинство систем биологической очистки сточных вод в нашей стране работает открытым способом, предлагаем изменить конструкцию аппаратов очистки, например накрыв их специальным куполом, или полностью сделать конструк-

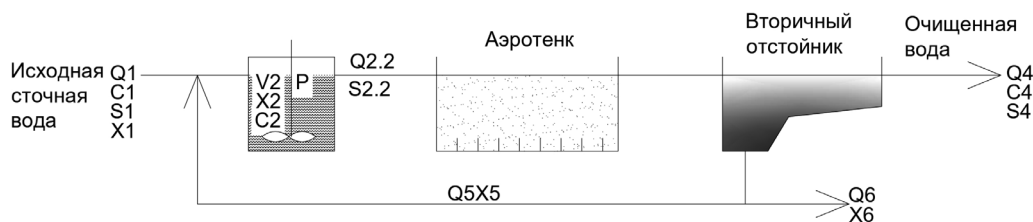


Рис. 1. Схема процесса биологического удаления фосфора (P) [3]: V2 – анаэробный реактор удаления фосфора; V3 – анаэробный/аноксидный реактор; С – общая концентрация (взвешенное + растворенное вещество); S – концентрация растворенного вещества (концентрация субстрата); Q – объемная скорость потока; X – концентрация взвешенных веществ

цию закрытой изначально. Проблемой для эффективного протекания процесса является присутствие в сточных водах нитратов в анаэробном реакторе. Нитраты конкурируют с фосфором за потребление летучих жирных кислот. Для решения этой проблемы нужно сократить количество нитрата в возвратном иле, этого можно достигнуть путем улучшения денитрификации. Также можно поместить денитрификатор на пути возвратного ила, как это показано на рис. 2.

Из отечественных разработок предлагается дополнить датскую схему стадией коагуляции, когда перед биологической очисткой добавляется в сточную воду коагулянт, например оксихлорид алюминия или сульфат алюминия, и полиакриламид. Соединение отечественных и зарубежных разработок позволит решить поставленные ранее проблемы. Как видно из табл. 1, реализация такого совместного способа позволяет снизить концентрацию фосфатов в сточной воде на выходе из системы очистки до значений ниже предельно допустимых [3].

Для очистки муниципальных сточных вод в МГУП «Мосводоканал» были внедрены различные схемы биологического удаления биогенных элементов. Лабораторные и промышленные исследования технологической схемы MISAN Ганновского университета показали

высокую эффективность процесса очистки от азота и фосфора (до 80 %) [10].

Впервые в России исследовано применение технологии Дефанокс для очистки городских сточных вод, обедненных органическим веществом. Данная технология позволяет эффективно использовать органическое вещество на процессы денитрификации и биологического удаления фосфора, однако высокое качество очистки не достигается [11].

Предложен новый технологический прием управления очистными сооружениями, осуществляющими биологическое удаление фосфатов, кратковременное увеличение вывода активного ила из технологического процесса в момент достижения порогового уровня концентрации фосфатов в конце аэробной зоны. В ходе промышленного эксперимента эффективность удаления фосфатов возросла с 40-50 до до 75 % [12].

Реагентные методы удаления фосфора из сточных вод и сравнение с другими методами

Научно-техническая литература свидетельствует, что для удаления из сточных вод соединений фосфора используется широкий спектр физических и физико-химических методов: реагентный, адсорбционный, электрокоагуляционно-флотационный, биогаальванический, очистка в магнитном поле, кристаллизация.

Электрохимический метод коагуляции фосфатов мог бы стать альтернативным реагентному. Как показывает практика водоочистки, электрохимические методы являются достаточно востребованными несмотря на затраты электроэнергии, особенно для очистки небольших объемов производственных сточных вод. Связано это с тем, что при прохождении воды через межэлектродное пространство происходит электролиз воды, поляризация частиц, электрофорез, окислительно-восстановительные процессы, взаимодействие продуктов электролиза друг с другом [13].

Для удаления фосфора из сточных вод могут быть применены материалы, полученные

Таблица 1

Результаты реагентной дефосфатизации с аэрацией (исходная концентрация фосфат-ионов в сточной воде после аэротенков – 10,6 мг/дм³) [3]

Коагулянт	Доза коагулянта по Al_2O_3 , мг/дм³	Концентрация фосфатов в очищенной воде, мг/дм³ (эффективность очистки, %)
Оксихлорид алюминия	15	1,8 (83)
	25	0,8 (92,5)
Сульфат алюминия	15	1,5 (86)
	25	0,5 (95,2)

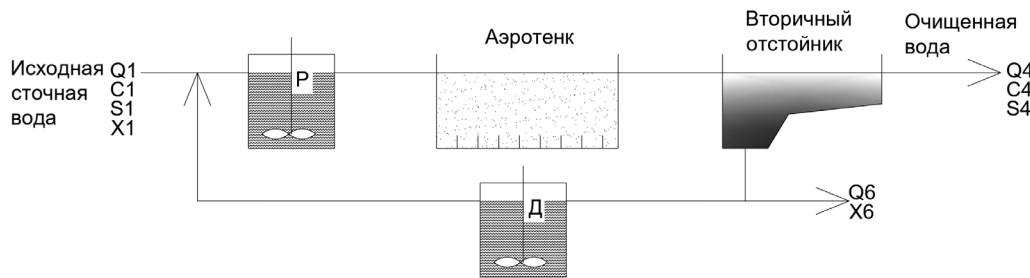


Рис. 2. Схема процесса биологического удаления фосфора с использованием аноксидной стабилизации ила [3]

из природного сырья и отходов. Сравнение их эффективности описывается в статье [4].

Достоинство процесса осаждения фосфатов ионами Ca^{+} , который применяется в виде $\text{Ca}(\text{OH})_2$ или CaO , заключается в его надежности при сложном составе сточных вод, незначительной чувствительности к органическим примесям, возможности автоматизации, относительной простоте в эксплуатации и обеззараживающем действии щелочной среды. При применении солей кальция объем образующегося осадка в несколько раз меньше, чем при осаждении солями алюминия и железа. К тому же полученный осадок легко подвергается регенерации. Недостатком применения метода является образование карбонатных отложений на стенках трубопроводов в корпусе насоса (при введении осадителя до насосов) и кольматация осадка при вводе ионов кальция перед первичными отстойниками [14].

В лаборатории кафедры инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета были проведены исследования по эффективности применения реагента для удаления фосфатов из городских сточных вод. Исследования проводились на натурной воде правобережных канализационных очистных сооружений г. Красноярска. Производительность очистных сооружений в настоящий момент составляет примерно 200 тыс. м³ в сутки.

На основании проведенных исследований было сделано заключение, что наиболее целесообразно вводить реагент на стадии третичной очистки (в сточную воду после вторичных отстойников), так как в этом случае не будет негативного воздействия реагента на окислительные свойства ила. В пользу такого решения свидетельствует и тот факт, что положительные стороны введения реагента в осветленную воду и в распределительную чашу вторичных отстойников (а именно улучшение седиментационных и водоотдающих свойств ила) экспериментом не подтвердились. Из опробованных коагулянтов наиболее эффективным оказался хлорид железа в дозе 12 мг/дм³ [6].

При использовании схемы обработки воды, предусматривающей введение реагента в обрабатываемую воду после вторичных отстойников, необходимо предусматривать фильтры для предотвращения поступления ионов тяжелых металлов в очищенную воду в концентрациях, превышающих предельно допустимые, и для повышения качества очистки воды от фосфатов [5].

Особенно следует отметить построенные по финскому проекту Юго-Западные очистные сооружения г. Санкт-Петербурга пропускной

способностью 330 тыс. м³/сут, на которых применена технология UCT (University of Cape Town), позволяющая достичь качества очищенной воды, соответствующего нормативам ХЕЛКОМ (Хельсинкской комиссии по защите от загрязнений бассейна Балтийского моря): азот аммонийный – 0,4 мг/дм³, азот нитратов – 6 мг/дм³, азот нитритов – 0,02 мг/дм³, фосфор фосфатов – 0,2 мг/дм³, фосфор общий – 1,5 мг/дм³ [9].

В результате проведенных экспериментальных исследований было установлено следующее:

1. В биосистеме с реагентом BiokatP500 микроорганизмы потребляют в среднем на 6,7 % меньшее количество растворенного кислорода, чем в контрольной биосистеме без реагента, исходя из предположения активного использования резервов кислорода внутри флоккул активного ила.

2. В биосистеме с реагентом эффективность удаления органических веществ в условиях лимитирования по кислороду в среднем на 13 % выше, чем в контрольной системе.

3. В процессе четырех часов культивирования в условиях лимитирования по кислороду дегидрогеназная активность биомассы в системах с реагентом практически не изменяется, в контрольной системе снижается в среднем на 17 %.

4. В системе с BiokatP500 эффективность удаления аммонийного азота в среднем на 10,5 % выше, чем в контрольной. Процесс нитрификации в условиях лимитирования по кислороду практически не отмечался в обеих системах.

Можно сделать вывод, что полученные результаты свидетельствуют о более высокой окислительной активности микроорганизмов активного ила в условиях лимитирования по кислороду в биосистеме с Biokat P500 по сравнению с контрольной биосистемой [15].

Реагент ГОХА-А, обеспечивая высокую эффективность седиментации активного ила и дефосфатации сточных вод, обуславливает ингибирование микробной биомассы, что ограничивает его использование непосредственно в системах биологической очистки сточных вод [16].

Регулирование скорости фильтрования модельного раствора через колонку с цеолитом от 0,7 до 25 мл/мин позволило подобрать наиболее оптимальные условия для удаления фосфатов: при скорости фильтрования 0,7 мл/мин эффективность удаления фосфат-анионов составила 78 % [8]. Для более полного удаления фосфатов из сточных вод для установок очистки бытовых стоков рекомендуется совместное использование гидратной извести и коагулянта сульфата алюминия (предпочтительно) или Аква-Аурата 30. При этом гидроксид кальция

необходимо вводить в анаэробную зону в начале технологического процесса (в усреднитель-денитрификатор), а коагулянт – после вторичного отстойника. Технологическая схема очистки бытовых стоков с точками вводимых реагентов на исследуемых нами сооружениях представлена на рис. 3.

Наиболее предпочтительным для связывания фосфатов является катион кальция, так как с ним образуется большее количество труднорастворимых соединений.

Преимущество сульфата алюминия перед Аква-Ауратом 30 в том, что он значительно дешевле и не содержит хлорид-ионов, а значит не приведет к увеличению концентрации последних в очищенной воде. В промышленных условиях эксплуатации при использовании комбинированной преципитации были получены стабильные значения концентраций фосфатов на выходе с очистных сооружений (табл. 2). Установлено, что минимальное содержание фосфатов в очищенных стоках наблюдается при одновременной дозировке извести и сульфата алюминия. Также минимальные значения наблюдались в среднесуточных пробах.

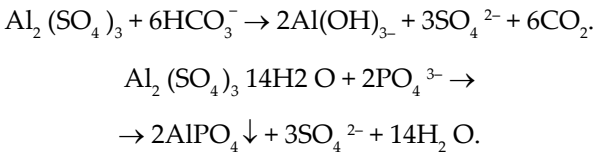
Сульфат алюминия значительно дешевле других реагентов, но в связи с тем, что реагент является промышленным (наличие примесей в товарном виде варьируется от 50–80 %), его очистка и дальнейшее применение не будет экономически выгодным: алюминий азотнокислый 9-водный показал наилучший эффект очистки, но стоимость реагента на год работы очистных сооружений значительно превышает другие варианты очистки; гипохлорит натрия является экономически эффективным реагентом для очистки сточных вод.

Таким образом, результаты исследования показывают, что для химического удаления фосфатов из сточной воды до норм ПДК

(0,2 мг/л) на сооружениях очистки хозяйственно-бытовых сточных вод с использованием комбинированной преципитации самым эффективным реагентом является совместное использование сульфата алюминия и гидратной извести, введенных в усреднитель-денитрификатор (гидратная известь) и после вторичного отстойника (коагулянт).

В табл. 2 показаны достоинства и недостатки биологического извлечения фосфатов из сточных вод. Приведенные данные показывают, что этот метод наименее токсичен и в отличие от химических методов не вызывает повторного загрязнения воды реагентами. Несмотря на все достоинства биологического удаления фосфора, многочисленные экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что этот метод позволяет снизить концентрацию фосфатов в хозяйственно-бытовых водах до значений 1,2–1,0 мг/л. Для биологического метода это предельные значения, обусловленные свойствами ила. Таким образом, биологическим методом невозможно достичь нормативной концентрации соединений фосфора в очищенной сточной воде, равной 0,2 мг/л.

При добавлении сульфата алюминия к сточным водам, содержащим в своем составе щелочи, можно наблюдать следующие реакции:



Хлопья осадка гидроокиси алюминия адсорбируют фосфат алюминия и частицы коллоидной формы твердых грубодисперсных примесей, способствуя тем самым удалению фосфора путем осветления сточной жидкости.

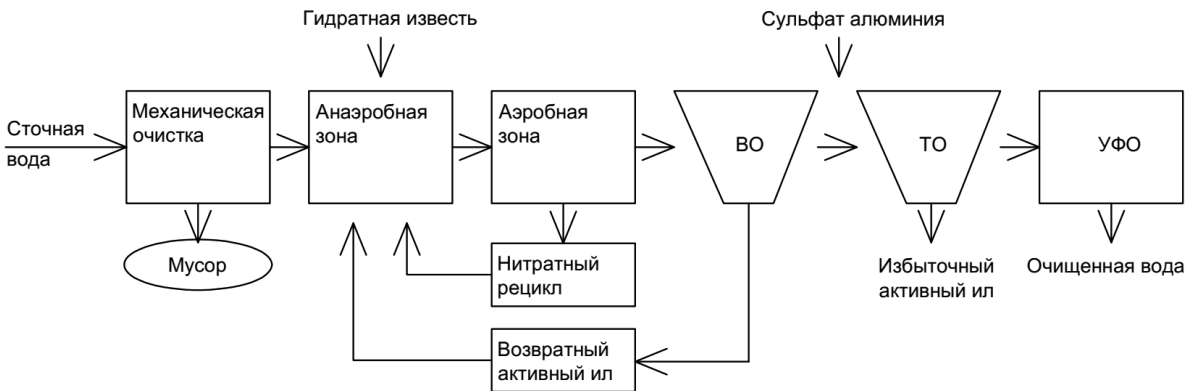


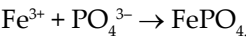
Рис. 3. Технологическая схема установки очистки бытовых стоков [17]: ВО – вторичный отстойник; ТО – третичный отстойник; УФО – установка ультрафиолетового обеззараживания

Таблица 2

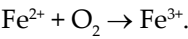
Преимущества и недостатки биологической очистки сточных вод от соединений фосфора

Преимущества	Недостатки
Обычно не требуется дозирование реагентов для удаления фосфора, что обеспечивает снижение эксплуатационных затрат по сравнению с химическим методом удаления фосфатов	Процесс не всегда идет стабильно. При отклонениях технологического режима для достижения неизменного качества очищенной воды по фосфору требуется резервная система дозирования реагента (солей железа или алюминия)
В очищенной сточной воде не увеличиваются концентрации солей металлов, входящих в состав реагентов, используемых при химическом удалении фосфора	Невозможность использования данного процесса при низких соотношениях БПКполн. к Робщ. в поступающих на очистку сточных водах
Количество избыточного активного ила не увеличивается из-за дополнительного дозирования реагентов как при химическом удалении фосфора	Для повышения эффективности протекания процесса биологического извлечения фосфора требуется (при недостаточном количестве легкоокисляемых органических соединений в поступающих сточных водах) дозирование дополнительного источника легкоокисляемого органического вещества (метанола, этанола, сахарозы и т. д.)
Не происходит повторного загрязнения тяжелыми металлами как при химическом удалении фосфора	В зимнее время увеличивается вероятность и интенсивность процессов пенообразования

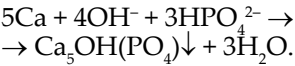
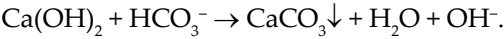
При использовании в качестве коагулянта солей трехвалентного железа протекает следующая реакция:



При применении железного купороса двухвалентное железо окисляется до трехвалентного:



При использовании в качестве коагулянта извести протекают следующие реакции:



Известь реагирует с ионами бикарбоната, которые содержатся в сточных водах. В результате взаимодействия образуется карбонат кальция и, помимо этого, известь вступает в реакцию с фосфатами. В то время как ортофосфат, взаимодействуя с ионами кальция, осаждается, образуя оксиапатит, полифосфаты извлекаются методом адсорбции на образовавшихся ранее частицах оксиапатита.

Растворимость оксиапатита быстро уменьшается, а эффективность удаления фосфора повышается при увеличении pH. Почти весь ортофосфат выпадает в осадок при величине

pH выше 9,5. При pH менее 9,5 фосфор адсорбируется на карбонате кальция.

Физико-химические методы обуславливаются высокими затратами, необходимыми на их реализацию. Использование сорбционных материалов требует кропотливой предварительной подготовки очищаемых стоков, поскольку содержание в сточной воде взвеси и других загрязняющих органических и минеральных примесей уменьшает сорбционную емкость материалов, что усложняет процесс очистки. Тем не менее физико-химические методы очистки сточной воды от соединений фосфора находят свое применение чаще всего на стадии доочистки стоков.

Вместе с тем вышеперечисленные физико-химические методы не применяются широко на практике, поскольку их использование связано с высокими затратами, необходимыми на осуществление процессов, и сложностью эксплуатации. Таким образом, необходимо принимать решительные меры, направленные на поиски иных способов очистки сточных вод от соединений фосфора [18].

Дефосфатация хозяйственно-бытовых сточных вод на Ростовской АЭС осуществляется с помощью Аква-Аурата 30. Для снижения концентрации фосфатов в очищенных сточных водах введен в эксплуатацию узел дефосфатации системы в составе:

- два насоса-дозатора;
- система подачи хозяйственно-питьевого водопровода;

- система подачи воздуха (для перемешивания воды и коагулянта);
- емкости на 300 литров.

Дефосфатация очищенных сточных вод производится с помощью алюминийсодержащих коагулянтов. Выбор обусловлен тем, что соли алюминия амфотерны и могут использоваться в щелочных средах. Одним из наиболее перспективных коагулянтов является полихлорид (оксихлорид) алюминия. Аква-Аурат 30 является коагулянтом нового поколения из указанного типоряда и имеет следующие преимущества:

1. Обеспечивает хлопьеобразование в широком диапазоне без регулирования pH очищаемой воды. Установленный оптимум для оксихлорида составляет 6,0–8,5, для сульфата алюминия – 6,0–7,0.
2. Практически не изменяет pH и щелочной резерв очищаемой воды, благодаря чему снижается кислотная коррозия коммуникации.
3. Образует более крупные хлопья, осаждение которых происходит быстрее, что позволяет уменьшить объем сооружений.
4. Коагулирующая способность практически не зависит от температуры.
5. Имеет длительный срок хранения, не требует для хранения отапливаемых помещений.
6. Легко и быстро растворяется в воде, что позволяет осуществлять точную дозировку.

Внедрение узла дефосфатации в составе очистных сооружений хозяйственно-бытовых сточных вод Ростовской АЭС в третьем квартале 2009 г. позволило снизить концентрацию фосфора фосфатов в очищенных сточных водах до нормативов допустимых сбросов (0,86 мг/дм³). Это способствует уменьшению интенсивности процессов эвтрофикации, а следовательно, сохранению биоценоза водоема-охладителя атомной станции.

Для решения экологической проблемы, связанной с последствиями сброса соединений фосфора в водные объекты, в технологической схеме очистки сточных вод необходимо обеспечить гидролиз сложных и органических форм фосфора и химическое удаление фосфатов.

Из всего многообразия существующих и апробированных методов удаления фосфора из сточной жидкости в каждом конкретном случае должен выбираться тот, который является наиболее эффективным, дешевым, простым в реализации.

На Люберецких очистных сооружениях Москвы испытана комбинированная биолого-реагентная технология удаления фосфора, доступного для фосфат-аккумулирующих бактерий, из сточных вод, обедненных органическим веществом. В качестве реагента исполь-

зовали хлорное железо (III). В ходе испытаний удалось снизить содержание Р-Р_{О₄} в очищенной воде до 0,2 мг/дм³ [19].

В технологической схеме биологической очистки глубокое стабильное удаление фосфатов может быть достигнуто за счет применения реагентов. Процесс введения реагентов на ступени биологической очистки должен быть тщательно рассчитан по предложенным зависимостям, чтобы исключить возможность негативных последствий. Для выбора наиболее эффективного реагента для обработки реальной сточной воды необходимо проводить пробное коагулирование.

Выводы. 1. Проведенный анализ существующих технологий реагентной дефосфатации сточных вод показал, что перспективным направлением является поиск новых реагентов для извлечения фосфатов из сточных вод. Предпочтение отдается таким реагентам, как: оксид и гидроксид кальция, хлорид и сульфат железа, сульфат алюминия. Наиболее эффективным для связывания фосфатов является катион кальция, так как с ним образуется большее количество труднорастворимых соединений.

2. Реагентное удаление фосфора из сточных вод связано с большими капитальными и эксплуатационными затратами, поэтому предпочтение отдается биологическим методам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзюба И.П., Маркевич Р. М., Сигиневич Т. М. Исследование процесса накопления фосфора фосфораккумулирующими бактериями // Труды БГТУ. 2011. № 4. С. 182–184.
2. Совместная биологическая и физико-химическая очистка сточных вод с применением инновационного дефосфатирующего реагента. Ч. 2. Оценка биологических процессов очистки сточных вод / Кобелева И. В., Сироткин А. С., Кирилина Т. В., Сибилова Л. М., Гадыева А. А. // Вестник технологического университета. 2016. №16. С.133–135.
3. Безопасность водных экосистем и проблемы реализации процесса очистки сточных вод от биогенных веществ / Козачек А.В., Зеленева Ю.В., Скопинцева Т.В., Синельников А.Г., Конькова К.А., Михайлин М.И. // Вестник ТГУ. 2015. № 12. С. 219–222.
4. Сапон Е. Г., Марцуль В. Н. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов // Труды БГТУ. 2015. № 3. С. 20–28.
5. Вильсон Е.В. Методологические аспекты физико-химического удаления фосфора из сточных вод на различных этапах очистки // Международный научный журнал «Символ науки». 2015. № 11. С.16–20.
6. Колова А.Ф., Пазенко Т.Я., Чудинова Е.М. К вопросу удаления фосфатов из сточных вод // Вестник ИрГТУ. 2013. № 11. С.169–173.

7. Сравнительная оценка применения традиционных и современных дефосфатирующих реагентных препаратов в системах биологической очистки сточных вод / Кобелева И. В., Кирилина Т. В., Гадьева А. А., Сироткин А. С. // Вестник технологического университета. 2015. №13. С.222–225.

8. Назаренко О.Б., Зарубина Р.Ф. Применение бадинского цеолита для удаления фосфатов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. 2013. №3. С.11–14.

9. Опытнo-промышленная линия для биологической очистки сточных вод с денитрификацией и дефосфатированием / Мишуков Б.Г., Адельшин А.Б., Селюгин А.С., Соловьева Е.А., Адельшин А.А. // Известия КГАСУ. 2006. № 2. С. 94–96.

10. Внедрение модернизированных технологий удаления биогенных элементов на очистных сооружениях г. Москвы / С.А. Стрельцов, Кевбрина М.В., Казакова Е.А., Козлов И.М., Мойжес С.И. // Водоснабжение и санитарная техника. 2012. № 10. С. 34–42.

11. М-Дефанокс – новая многоиловая система удаления биогенных элементов / Козлов М.Н., Кевбрина М.В., Николаев Ю.А., Мойжес С.И., Грачев В.А., Дорофеев А.Г. // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 10. С. 55–59.

12. Новый фактор управления сооружениями биологического удаления фосфатов из сточной воды / Козлов М.Н., Харьковина О.В., Николаев Ю.А., Дорофеев А.Г., Казакова Е.А. // Водоснабжение и санитарная техника. 2011. № 3. С. 55–59.

13. Вильсон Е. В., Беркутов А. Н., Соловьев К. А. Беркутов А. Н., Соловьев К. А. Электрохимический способ удаления фосфатов // Молодой исследователь Дона . 2017. № 6. С. 8–12.

14. Галанцева Л. Ф., Фридланд С. В. Исследования эффективности очистки сточных вод г. Чистополя от фосфатов // Вестник Казанского технологического университета. 2010. С. 311–314.

15. Оценка кислородного баланса в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод / Кобелева И. В., Кирилина Т. В., Сибиева Л. М., Сироткин А.С., Гадьева А.А. // Вестник технологического университета. 2016. №12. С. 191–193.

16. Буянская Д.В., Гадьева А.А., Сироткин А.С., Вдовина Т.В. Оценка влияния дефосфатирующего реагента ГОХА-А на эффективность процесса биологической очистки сточных вод // Вестник технологического университета. 2017. №19. С.107–110.

17. Оценка кислородного баланса в процессах совместной биологической и реагентной очистки сточных вод / Кобелева И. В., Кирилина Т. В., Сибиева Л. М., Сироткин А. С. // Вестник технологического университета. 2015. №12. С.191–193.

18. Петухова Е.О., Ручкинова О.И. Дефосфатация сточных вод // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Прикладная экология. Урбанистика. 2017. № 2. С. 123–141.

19. Быстранова А.О., Теплых С.Ю., Теплых Е.А. Очистка сточных вод масложировой промышленности // Градостроительство и архитектура. 2018. №4. С. 24–28. DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.5.

REFERENCES

1. Dzyuba I. P., Markevich R. M., Siginevich T. M. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 4, pp. 182–184.

2. Kobleva Y.V., Sirotkin A.S., Kirilina T.V., Sibieva L.M., Gadieva A.A. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. 2016, no. 16, pp. 133–135.

3. Kozachek A.V., Zeleneva Yu.V., Skopintseva T.V., Sinelnikov A.G., Kon'kova K.A., Mikhailin M.D. *Vestnik TGU* [Bulletin of TSU]. 2015, no. 12, pp. 219–222.

4. Sapon E.G., Martsul V.N. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. 2015, no. 3, pp. 20–28.

5. Vilson E.V. *Mezhdunarodnyj nauchnyj zhurnal «Simvol nauki»* [International scientific journal "Symbol of Science"]. 2015, no. 11, pp.16–20.

6. Kolova AF, Pazenko T.Ya., Chudinova E.M. [Bulletin of ISTU]. 2013, no. 11, pp.169–173.

7. Kobleva Y. V., Kirilina T. V., Gadieva A. A., Sirotkin A. S. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. 2015, no. 13, pp. 222–225.

8. Nazarenko O.B., Zarubina R.F. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]. 2013, no. 3, pp. 11–14.

9. Mishukov BG, Adelshin A.B., Selyugin A.S., Solovieva E.A., Adelshin A.A. *Izvestiya KGASU* [News of KGASU]. 2006, no. 2, pp.94–96.

10. S.A. Streltsov, Kevbrina M.V., Kazakova E.A., Kozlov I.M., Moyzhes S.I. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary engineering]. 2012, no. 10, pp. 34–42.

11. Kozlov MN, Kevbrina MV, Nikolaev Yu.A., Moyzhes S.I., Grachev V.A., Dorofeev A.G. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary engineering]. 2011, no. 10, pp. 55–59.

12. Kozlov M.N., Kharkina O.V., Nikolaev Y.A., Dorofeev A.G., Kazakova E.A. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika* [Water supply and sanitary engineering]. 2011, no. 3, pp. 55–59.

13. Vilson E.V., Berkutov A.N., Soloviev K.A. *Molodoj issledovatel' Dona* [Young researcher of the Don]. 2017, no. 6, pp. 8–12.

14. Galantseva L.F., Fridland S.V. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University]. 2010, pp. 311–314.

15. Kobleva Y. V., Kirilina T. V., Sibieva L. M., Sirotkin A. S. Gadieva A.A. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Vestnik technological university]. 2016, no. 16, pp. 133–135.

16. Buyanskaya D. V., Gadieva A. A., Sirotkin A. S., Vdovina T. V. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University]. 2017, no. 19, pp.107–110.

17. Mishukov B.G., Adelshin A.B., Selyugin A.S., Solovieva E.A., Adelshin A.A. *Izvestiya KGASU* [News of KGASU]. 2006, no. 2, pp.94-96.

18. Petukhova E.O., Ruchkinova O.I. *Vestnik Permskogo nacional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika* [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Applied ecology. Urban studies]. 2017, no. 2, pp. 123-141.

19. Bystranova A.O., Teplykh S.Yu., Teplykh E.A. Wastewater treatment for oil and fat industry. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2018, no. 4, pp. 24-28. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2018.04.5.

Об авторах:

ТЕПЛЫХ Светлана Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: kafvv@mail.ru

БОЧКОВ Дмитрий Сергеевич

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: b.o.c.h.k.o.v@icloud.com

БАЗАРОВА Анастасия Олеговна

аспирант кафедры водоснабжения и водоотведения Самарский государственный технический университет Академия строительства и архитектуры 443100, Россия, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244 E-mail: bystranova14@mail.ru

TEPLYH Svetlana Yu

PhD in Engineering Science, Associate Professor of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: kafvv@mail.ru

BOCHKOV Dmitrii S.

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: b.o.c.h.k.o.v@icloud.com

BAZAROVA Anastasya O.

Postgraduate Student of the Water Supply and Wastewater Chair Samara State Technical University Academy of Architecture and Civil Engineering 443100, Russia, Samara, Molodogvardeyskaya str., 244 E-mail: bystranova14@mail.ru

Для цитирования: Теплых С.Ю., Бочков Д.С., Базарова А.О. Исследование способов удаления фосфатов из бытовых сточных вод // Градостроительство и архитектура. 2020. Т.10, № 4. С. 69–77. DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.9. For citation: Teplykh S.Yu., Bochkov D.S., Bazarova A.O. Investigation of Methods for Removal of Phosphates from Household Waste Water. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2020, vol. 10, no. 4, Pp. 69–77. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2020.04.9.