

4. Патент РФ 2060953, МКИ С 02 F 1/28. Способ очистки сточных вод, содержащих формальдегидные смолы/ Бельчинская Л.И., Послухаев Н.И. – Заявл. 23.12.93., Опуб. 27.05.96., бюл. № 15.

5. Таранцева К. Р., Марынова М. А., Андреев С.Ю. — Технология обезвреживания формальдегидосодержащих промышленных стоков // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского, 2011. № 26. С. 671–676.

УДК 628.316:54:666.962.3

Е.Г. Сапон, ассист.; В.Н. Марцуль, доц., канд. техн. наук  
БГТУ, г. Минск, Республика Беларусь

## ИЗВЛЕЧЕНИЕ ФОСФОРА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ КАЛЬЦИЙ И МАГНИЙСОДЕРЖАЩИМИ МАТЕРИАЛАМИ

Фосфор важнейший биогенный элемент, играющий ключевую роль для всех живых организмов. Он входит в состав соединений, участвующих в обмене веществ, передаче генной информации и накоплении энергии. Как правило, именно фосфор является лимитирующим фактором эвтрофикации водных объектов и плодородия почв. Вместе с тем, в силу разомкнутости его глобального биогеохимического цикла фосфор относится к исчерпающим природным ресурсам.

В природе он никогда не встречается в свободном виде и в основном представлен в виде фосфоритов и апатитов. Ежегодно во всем мире для производства удобрений добывается более 140 млн.т. фосфорсодержащих горных пород. Также необходимо учитывать, что темпы роста добычи постоянно увеличиваются в среднем на 3 % в год. По различным подсчетам разведанных запасов фосфора хватит не более чем на 125 лет [1]. Наиболее крупные месторождения фосфорсодержащих горных пород сосредоточены лишь в несколько стран: Марокко, Китай, ЮАР, Иордания и США. Остальные страны являются зависимыми от импорта этих ископаемых. Так, в странах ЕС фосфорсодержащие горные породы и белый фосфор включены в перечень стратегического сырья. Беларусь также традиционно является импортером более 200 тыс.т. апатитового концентрата и более 100 тыс.т. фосфоритной муки для производства фосфорных удобрений и фосфорной кислоты [2]. Таким образом, сбалансированное использование и воспроизводство ресурсов фосфора является актуальной задачей.

Посчитано, что со сточными водами теряется более 4,5 млн. т. Р/год, или 25% от добываемого количества. На основе комплексного баланса фосфора для стран Европейского союза было показано, что наибольшее его количество поступает на очистные сооружения канализации (ОСК) с хозяйственно-бытовыми сточными водами [1]. В связи с выше изложенным первостепенной задачей по рациональному использованию ресурсов фосфора является максимальное удаление и извлечение его на ОСК.

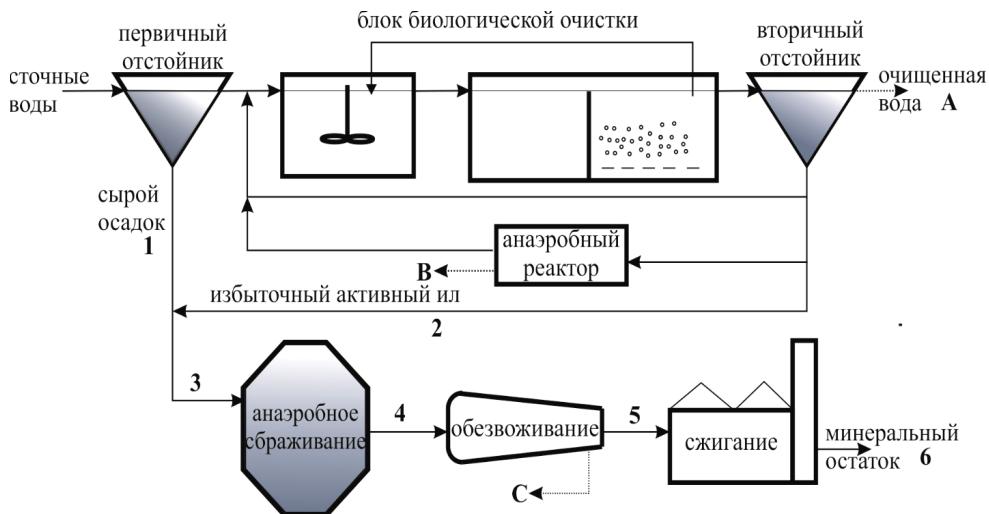
Классическая схема ОСК включает полную биологическую очистку, в результате которой фосфор удаляется из сточных вод с сырым осадком и избыточным активным илом (ИАИ). Активный ил использует фосфаты для роста, размножения и как источник энергии, однако при изменении внешних условий наблюдается выделение их в иловую воду. Разрушение полифосфатов и высвобождение фосфора в виде фосфатов наблюдается при:

- длительном пребывании ила во вторичных отстойниках;
- гравитационном уплотнении ИАИ;
- стабилизации осадков;
- механическом обезвоживании осадков;
- уплотнении осадков на иловых площадках.

В результате вышеуказанных процессов образуются возвратные потоки иловой воды, поступающие в приемную камеру очистных сооружений. Концентрация фосфора в них может превышать 200 мг Р/л, что в десятки раз больше, чем в поступающих на очистку

сточных водах. С возвратными потоками в систему очистки может поступать до 30 % от массы фосфора, поступающего со сточными водами, что приводит к снижению общей эффективности удаления его на ОСК [3]. Тем не менее, основная масса фосфора фиксируется в твердой фазе осадков сточных вод.

Таким образом, все варианты извлечения фосфора на ОСК в зависимости от объекта обработки можно разделить на три группы: первая – извлечение из жидкой фазы возвратных потоков, вторая – извлечение из суспензии осадков сточных вод, третья – извлечение из зольного остатка после сжигания осадков сточных вод. На рисунке 1 представлены потоки ОСК из которых возможно извлечение фосфора с целью последующего использования.



А – очищенная вода, В – иловая вода, С – фугат, 1 – сырой осадок, 2 – избыточный активный ил (ИАИ), 3 – смесь ИАИ и сырого осадка, 4, 5 – стабилизированный осадок сточных вод до и после обезвоживания, 6 – минеральный остаток от сжигания осадка сточных вод

**Рисунок 1 – Варианты извлечения фосфора из потоков очистных сооружений канализации**

На рисунке 1 буквами А, В и С обозначены точки, в которых извлечение фосфора наиболее целесообразно из жидкой фазы. Числами 1-6 обозначены потоки ОСК из которых фосфор может быть извлечен непосредственно из осадков сточных вод или их минерального остатка после сжигания. По нашему мнению, наиболее целесообразно извлечение из иловой воды после уплотнения и фугата от обезвоживания осадков сточных вод.

Как правило, количество фосфора, извлекаемого из жидкой фазы иловых суспензий, ограничено и не превышает 60 % от его валового количества в осадках. Для более полного использования фосфора (до 90% от валового содержания) осадков сточных вод необходимо обеспечить их соответствующую обработку и использование, например, в сельском хозяйстве. Однако в этом случае более половины от образующегося количества осадков имеет ряд ограничений по применению, связанных с высоким содержанием тяжелых металлов, стойких органических загрязнителей, лекарственных препаратов и др.

В США, Канаде и Японии внедрены установки кристаллизации магний аммоний фосфата, фосфатов кальция и магния из возвратных потоков ОСК. В основе применяемых технологий лежит использование таких реагентов, как известковое молоко, гидроксид магния, смесь гидроксида натрия и хлорида магния. На сегодняшний день одним из самых перспективных методов извлечения фосфатов из возвратных потоков ОСК считается осаждение их в составе магний аммоний фосфата (струвита). Струвит – представляет собой кристаллическое вещество, содержащее магний, аммоний и фосфор в эквимолярных количествах (1:1:1). Он может быть использован в качестве комплексного удобрения пролонгированного действия из-за низкой скорости растворения и незначительного содержания тяжелых металлов, что выгодно отличает его от удобрений, полученных из фосфатных руд.

Кристаллизация комплексной соли магний аммоний фосфата начинается после достижения насыщения раствора по его компонентам, что достигается либо повышением концентрации реагентов, либо увеличением pH до 9,0–9,5. Самопроизвольное её осаждение может происходить при анаэробном сбраживании осадков сточных вод, которое сопровождается ростом значения pH и концентрации ионов магния, азота аммонийного и фосфатов. Протекание процесса в таких условиях представляет собой техническую проблему, обусловленную тем, что происходит необратимая кольматация очистного и насосного оборудования и трубопроводов [4].

Наряду с кристаллизацией высокоэффективным методом извлечения фосфора из потоков ОСК является сорбция. Перспективным считается использование местных материалов, обладающих высоким потенциалом удаления фосфора из числа недорогого сырья или отходов производства. Ввиду простоты использования, высокой эффективности и малой стоимости их использование особенно целесообразно на ОСК малой производительности. По происхождению данные материалы разделяют на три группы: природные, отходы или побочные продукты производства и искусственные, полученные путем обжига или синтеза. Наибольшее распространение среди них нашли кальций и магнийсодержащие материалы, это связано с тем, что отработанный материал в последующем может найти применение в сельском хозяйстве.

На кафедре промышленной экологии проведены исследования по определению эффективность использования для извлечения фосфатов доступных местных кальций и магнийсодержащих материалами.

Проведено сравнение и выбор материалов для извлечения фосфатов из сточных и иловых вод на ОСК. Среди более чем двадцати отобранных для исследований сорбентов наибольшей степенью извлечения обладают: отработанный катализатор крекинга углеводородов нефти (ОКК), шлам водоподготовки (ШВ), электросталеплавильный шлак (ЭШ), термообработанный доломит (ТОД). Установлены значения предельной емкости по фосфору для ШВ, ОКК, ЭШ и ТОД, которые соответственно равны: 3,2; 7,3; 13,3, и 26,9 мг Р/г. Результаты исследований, полученные на модельных растворах, подтверждены на иловых водах и фугате Минской очистной станции [5].

Определены условия протекания хемосорбционных процессов, определяющих эффективность извлечения фосфора ЭШ и ТОД. Для сорбентов на основе ЭШ и ТОД разработаны ТУ BY 100354659.110-2015 Сорбенты для очистки сточных вод. Предложено использовать эти сорбенты для извлечения фосфора из иловых вод от уплотнения избыточного активного ила и фугата от обезвоживания осадков сточных вод. Способ извлечения фосфора из осадков сооружений биологической очистки сточных вод защищен патентом Республики Беларусь №21502.

Разработана двухступенчатая противоточная схема извлечения фосфора из возвратных потоков очистных сооружений с помощью ТОД при которой движение очищаемой воды и обожженного доломита реализуется на встречу друг другу. Отработанный после сушки может использоваться в качестве фосфорсодержащей добавки в почву. Внедрение разработанной технологии очистки возвратных потоков от фосфора позволит уменьшить нагрузку на ОСК и тем самым увеличить эффективность их работы. Реализация данной технологии позволит извлечь и повторно использовать до 20% фосфора от общего количества, поступающего на очистные сооружения. При использовании анаэробного сбраживания осадков сточных вод степень извлечения может достигать 40%.

Подтверждена высокая эффективность применения ЭШ и ТОД извлечения фосфора из потоков ОСК. Отработанные материалы можно использовать в сельском хозяйстве в качестве известковых мелиорантов.

#### Список использованных источников

- Withers P. J. A. et al. Stewardship to tackle global phosphorus inefficiency: the case of Europe // Ambio. – 2015, – Vol. 44, – No. 2, – P. 193-206.

2. Аношко Я. И., Унукович А. В., Варакса В. В. Минерально-сырьевые ресурсы в народнохозяйственном комплексе Республики Беларусь //Белорусский экономический журнал. – 2010, №. 4, с. 133–142.
3. Сапон Е. Г., Марцуль В. Н. Перераспределение фосфора между фазами суспензии избыточного активного ила при аэробной и анаэробной стабилизации //Труды БГТУ: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. – 2015. №. 4. Т.177, с. 288–294.
4. Le Corre K. S. et al. Phosphorus recovery from wastewater by struvite crystallization: A review //Critical Reviews in Env. Sci. and Tech. 2009. Vol. 39. №. 6. P. 433–477.
5. Сапон Е. Г., Марцуль В. Н. Исследование очистки сточных вод от фосфатов материалами, полученными из природного сырья и отходов // Труды БГТУ: Химия и технология неорганических веществ. – 2015. №. 3. Т.176, с. 20–28.

УДК 556

Е.Е. Петлицкий, О.И. Процко

РУП «ЦНИИКИВР», Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды  
**ЗАВИСИМОСТЬ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО СТОКА  
 БЕЛОРУССКОГО ПОЛЕСЬЯ ОТ ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Формирование речного стока происходит водовоздействием большого количества факторов, которые можно выделить в три группы:

- факторы, определяющие увлажненность водосборов или его климатические особенности (гидрометеорологические особенности бассейна);
- факторы подстилающей поверхности (рельеф, лесистость, заболоченность, озерность, почвы, распаханность и т. д.). Влияние их на величину стока проявляется косвенно. Роль их сказывается в трансформации поступающих на водосбор осадков. Они определяют аккумулирующую способность водосбора, время добегания поверхностных и подземных вод к створу и разность запасов влаги на начало и конец расчетного периода;
- гидрогеологические условия, характеризующие подземное питание рек, особенно из зоны активного водообмена. Влияние этих факторов сказывается существенно на минимальном стоке, а в меньшей степени на сезонном.

Эти три группы определяющих факторов в той или иной степени должны быть учтены при анализе условий формирования сезонного стока. Связь между стоком рек и этими явлениями настолько сложна и многообразна, что зависимость между ними не всегда четко проявляется, она приобретает приближенный статистический характер.

Выявление основных факторов и оценка их влияния на формирование летне-осеннего стока может быть объективно выполнена с использованием аппарата множественной линейной корреляции. Вычисленные коэффициенты корреляции позволяют судить о степени статистических связей между стоком и физико-географическими факторами.

Расчет парных коэффициентов корреляции выполнен для двух характеристик летне-осеннего стока:

$$\begin{aligned} &\text{средний сток за сезон} - y_2, \text{ л/с·км}^2; \\ &\text{минимальный средний месячный сток} - y_2, \text{ л/с·км}^2. \end{aligned}$$

В качестве аргументов, характеризующих условия формирования стока, использовано 10 физико-географических факторов:

$$\begin{aligned} 0 &- \text{сумма годовых осадков, мм;} \\ x &- \text{норма годового стока, л/с·км}^2; \\ h &- \text{глубина вреза русла, м;} \\ \lambda &- \text{лесистость, \%;} \\ \varphi_1 &- \text{заболоченность, \%;} \\ J &- \text{средний взвешенный уклон, \%o;} \end{aligned}$$