

## **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА НА ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЯХ КАНАЛИЗАЦИИ**

Фосфор (Р) относится к наиболее важным биогенным элементам, влияющим на энергетические и биохимические процессы клеток всех живых организмов. В связи с этим человечество сильно зависит от его доступности. В настоящее время основным источником Р являются фосфориты и апатиты, запасы которых сконцентрированы в ограниченном числе стран, таких как Марокко, Китай, США, Россия и Алжир [1]. Так как альтернативной замены фосфорным удобрениям в сельском хозяйстве не существует, то оставшиеся 90 % стран мира, включая Беларусь, вынуждены импортировать сырье для их получения. Кроме того, фосфорсодержащие горные породы относятся к невозобновляемым природным ресурсам. Прогнозируется, что легкодоступные разведанные запасы при современном уровне добычи и потребления иссякнут в обозримом будущем [2]. В связи с этим страны Европейского союза включили фосфорсодержащие горные породы и белый фосфор в перечень стратегического сырья.

Сформированный в результате деятельности человека техногенный круговорот фосфора, от добычи фосфорсодержащего сырья до потребления продукции, главным образом минеральных удобрений, продовольствия и моющих средств, является разомкнутым [2]. Значительные потери Р связаны с его миграцией в сточные воды и далее в водные объекты. Антропогенная эвтрофикация водных объектов сопровождается уменьшением прозрачности, «цветением» воды, увеличением количества сине-зеленых водорослей и цианобактерий, накоплением органического вещества в воде и осадках, заиливанием берегов, ростом дефицита кислорода, гибелью гидробионтов, деградацией водных ресурсов [3].

В связи с необходимостью ограничения поступления Р в водные объекты, а также его возврата в хозяйственный оборот развитые государства начинают принимать «жесткие» законодательные нормы по удалению и извлечению фосфора на очистных сооружениях канализации. Первой страной, которая законодательно закрепила необходимость извлекать Р из осадков сточных вод и бойнь с 1 января 2016 г., была Швейцария. В Германии в мае 2017 г. был утвержден Закон

об осадках сточных вод. В законе оговорена минимальная степень извлечения Р на очистных сооружениях мощностью более 50 000 ЭН (эквивалентное население), которая должна к 2029 г. превышать 50 мас. %. В названных странах введен мораторий на использование осадков сточных вод в сельском хозяйстве.

В процессе очистки сточных вод на очистных сооружениях канализации фосфор удаляется и аккумулируется в сыром осадке и избыточном активном иле. В результате длительного уплотнения, анаэробной стабилизации, совместного механического обезвоживания, а также уплотнения на иловых площадках этих осадков значительное количество Р может переходить в иловую воду (до 60 мас. %). В следствие возврата иловых вод в приемную камеру очистных сооружений возрастает нагрузка по Р на основную систему очистки. Таким образом, извлечение Р из возвратных потоков является актуальным.

Для извлечения Р из жидкой фазы иловых суспензий в основном используют процессы осаждения, кристаллизации или адсорбции. Как правило, извлечению Р предшествует стадия, обеспечивающая его максимальный переход в жидкую фазу. Это может достигаться за счет изменения рН, окислительно-восстановительного потенциала или температуры. В результате извлечения получают либо магний аммоний фосфат (струвит), либо гидроксипатит, либо фосфат кальция. Существует множество технологий, позволяющих извлекать Р из иловых вод [4]:

- |                      |                                 |
|----------------------|---------------------------------|
| 1) Phostrip;         | 8) Ebara Corp.;                 |
| 2) Ostara PEARL;     | 9) MAP crystallization;         |
| 3) DHV Crystalactor; | 10) Kurita Ltd.;                |
| 4) Unitika Phosnix;  | 11) P-RoC or PROPHOS;           |
| 5) Nishihara Ltd.;   | 12) CSIR fluidized bed reactor; |
| 6) REPHOS;           | 13) Sydney Waterboard Reactor.  |
| 7) PRISA;            |                                 |

Среди представленных технологий наиболее известна Ostara PEARL, обеспечивающая высокую степень извлечения (более 90 %) и низкое содержание тяжелых металлов в образующихся гранулах струвита, названных Crystal Green.

Внедрение таких технологий позволяет возвращать извлеченный Р в хозяйственный оборот и снижать отрицательное воздействие на окружающую среду при получении и использовании классических фосфорных удобрений. Например, при сокращении объемов применения минеральных удобрений, произведенных на основе природного сырья, можно ожидать сокращение поступления кадмия в биосферу.

На кафедре промышленной экологии также разработана технология извлечения Р из иловых вод, образующихся при обработке осадков

сточных вод. В основе технологии лежит использование измельченного каустического доломита, полученного в результате обжига при температуре 650–750 °С в качестве сорбционного материала. Во время извлечения в результате хемосорбционных процессов фосфор связывается в малорастворимые соединения магний аммоний фосфат и фосфат магния [5]. Высокая эффективность извлечения Р (более 90 %) была подтверждена экспериментально при обработке фугата, полученного путем обезвоживания осадков сточных вод, сброженных в мезофильных условиях.

Полученный в результате извлечения осадок содержит до 8 мас. % фосфора и до 1 мас. % азота. При этом содержание тяжелых металлов в нем не превышает предельно допустимых концентраций в почве, установленных Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО) и Министерством здравоохранения Беларуси. Таким образом, полученный осадок может найти применение в сельском и лесном хозяйстве в качестве комплексной почвоулучшающей добавки.

Установлено, что извлечение Р из возвратных потоков очистных сооружений с применением данной технологии позволяет снизить общую нагрузку по Р на очистные сооружения до 30 %. В свою очередь это повлечет за собой повышение эффективности удаления Р на основной стадии очистки. Кроме того, использование данной разработки обеспечивает возможность последующего использования извлеченных биогенных элементов.

### Литература

1. Mineral commodity summaries 2019 / Edited by Amy C. Tolcin. – Reston, VA: U.S. Geological Survey, 2019. – 204 p. – DOI: org/10.3133/70202434.
2. Ashley, K. A brief history of phosphorus: from the philosopher's stone to nutrient recovery and reuse / K. Ashley, D. Cordell, D. Mavinic // *Chemosphere*. – 2011. – Vol. 84, no. 6. – P. 737–746.
3. Mechanisms and assessment of water eutrophication / Yang Xiao-E [et al.] // *Journal of Zhejiang University Science B*. – 2008. – Vol. 9, no. 3. – P. 197–209.
4. Sartorius, C. Phosphorus recovery from wastewater – Expert survey on present use and future potential / C. Sartorius, J. von Horn, F. Tettborn // *Water Environment Research*. – 2012. – Vol. 84, no. 4. – P. 313–322.
5. Сапон, Е.Г. Очистка возвратных потоков очистных сооружений от фосфатов обожженным доломитом / Е.Г. Сапон, В.Н. Марцуль // *Труды БГТУ. Сер. 2, Хим. технологии, биотехнология, геоэкология*. – 2017. – № 1. – С. 106–113.