

оперативное использование с привязкой к конкретной территории. При этом отсутствует единый ГИС-портал с обобщенной водноэкологической информацией, вследствие чего для ее получения в различных разрезах (территориально-административном, в разрезе речного бассейна, в разрезе отдельного водного объекта) необходимо собирать эту информацию из различных и разрозненных источников с последующей ее компиляцией на картографической основе.

### Литература

1. Закон Республики Беларусь от 26.11.1992 № 1982-ХІІ «Об охране окружающей среды»
2. Раздел «Электронные информационные ресурсы» сайта Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь [Электронный ресурс] // Сайт Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Режим доступа: [http://https://minpriroda.gov.by/ru/new\\_url\\_19948904-ru/](http://https://minpriroda.gov.by/ru/new_url_19948904-ru/). – Дата доступа: 03.04.2023.
3. Кадастр возобновляемых источников энергии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.239/Cadastre/Map>. – Дата доступа: 03.04.2023.
4. Государственный водный кадастр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://195.50.7.216:8081/> – Дата доступа: 03.04.2023.

УДК 628.35

### **Факторы, влияющие на миграцию соединений фосфора в иловой смеси при биологической очистке сточных вод**

Дубовик О. С.<sup>1</sup>, Иванович В. В.<sup>2</sup>, Маркевич Р. М.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет,  
<sup>2</sup>УП «Минскводоканал»,

<sup>3</sup>Белорусский государственный технологический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Изучение миграции соединений фосфора в иловой смеси показало, что значительная часть фосфатов в циркуляционном активном иле находится в сорбированном на хлопках состоянии и легко смывается сточными водами при смешивании. Высвобождение фосфатов из активного ила при выдерживании смеси без аэрации протекает от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от их распределения на поверхности хлопков и в клетках. Для поглощения фосфатов активным илом из жидкой фазы в условиях аэрации необходимо до 1,5 ч.*

Биологическое удаление соединений фосфора из сточных вод основано на накоплении полифосфатов в клетках фосфатаккумулирующих организмов (ФАО) в условиях аэрации и выведении их из системы с избыточным активным илом. Накоплению этих микроорганизмов в биоценозе активного ила способствует наличие анаэробной зоны, где они имеют преимущество в развитии благодаря энергии расщепления полифосфатов, используя в качестве субстрата летучие жирные кислоты (ЛЖК) – продукт ацидофикации органических веществ [1; 2].

Рядом исследований показано, что на эффективность биологической очистки сточных вод от соединений фосфора оказывает влияние ряд факторов: температура и значение pH иловой смеси; соотношение БПК и содержание общего фосфора; концентрация ЛЖК, ионов кальция, калия, магния, железа; уровень аэрации в аэробной зоне и отсутствие как растворенного кислорода, так и связанного в нитритах и нитратах в анаэробной зоне; возраст активного ила и доля в нем ФАО [3; 4].

Авторы [5–7] считают, что для эффективного управления процессом биологической очистки сточных вод с целью повышения эффективности удаления соединений фосфора важное значение имеет изучение миграции фосфора в системе сточная вода – активный ил. В лабораторных экспериментах и на городских очистных сооружениях ими установлена корреляция между окислительно-восстановительным потенциалом (ОВП) иловой смеси (или более конкретно разностью ОВП между зонами) и миграцией фосфатов в системе сточная вода – активный ил.

Кроме того, отмечено, что для эффективного удаления соединений фосфора из сточных вод, т. е. обеспечения более низкого содержания фосфора на выходе из аэробной зоны чем в поступающих сточных водах необходимо подбирать длительность пребывания в зонах и дозу активного ила [7]. Авторы [5] считают, что наряду с миграцией фосфатов в клетки ФАО и обратно в жидкую фазу при чередовании аэробных и анаэробных условий некоторое количество фосфатов удерживается внеклеточными полимерами.

Таким образом, обнаруживаются все новые факторы, оказывающие влияние на эффективность удаления соединений фосфора из сточных вод при их биологической очистке.

Цель нашей работы заключалась в изучении факторов, влияющих на процессы миграции фосфора в иловой смеси.

Объектами исследования послужили циркуляционный активный ил и осветленные сточные воды, отобранные в период с 14.02.2017 г. по 12.04.2017 г. с двух площадок городских очистных сооружений.

Стадия биологической очистки на первой площадке очистных сооружений (МОС-1) представляет собой классические аэротенки-вытеснители,

рассчитанные на биологическое окисление органических веществ, на второй площадке (МОС-2) данная стадия представлена биореакторами, функционирующими в режиме каскадной денитрификации.

Циркуляционный активный ил и осветленные сточные воды смешивали в соотношении 1:1. Приготовленную иловую смесь с закрытых флаконов (для предотвращения поступления воздуха) инкубировали в хладотермостате с температурой 25°C на протяжении 1,5 ч, отбирая пробы для анализа через каждые 30 мин инкубирования. После инкубирования без аэрации иловую смесь переливали в конические колбы, закрывали колпачками и помещали в шейкер-инкубатор с рабочей частотой 160 мин<sup>-1</sup>, температурой 25°C и инкубировали на протяжении 1,5 ч. Отбор проб также производили через каждые 30 мин инкубирования.

Содержание фосфора фосфатного в циркуляционном активном иле (ЦАИ), осветленных сточных водах (ОВ) и иловой смеси приведено на рис. 1, 2. Отмечено различное содержание фосфора в пробах, отобранных на МОС-1 и МОС-2.

Сточные воды, поступающие на биологическую очистку на МОС-1, содержали фосфор фосфатный в концентрации 7,5–12,0 мг/дм<sup>3</sup>, а на МОС-2 содержание фосфора фосфатного находилось в пределах 5,8–8,6 мг/дм<sup>3</sup>.

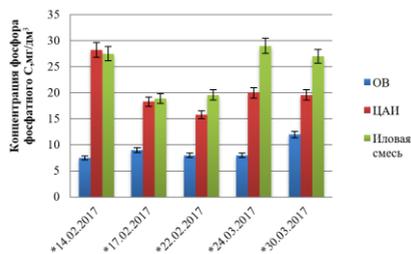


Рис. 1. Содержание фосфора фосфатного (МОС-1)

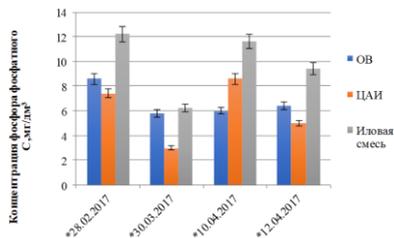


Рис. 2. Содержание фосфора фосфатного (МОС-2)

Содержание фосфора фосфатного в жидкой фазе циркуляционного активного ила на МОС-1 и МОС-2 находилось в пределах 15,8–28,2 мг/дм<sup>3</sup> и 3,0–8,6 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. При смешивании циркуляционного активного ила и осветленных сточных вод достигалось увеличение содержания фосфора фосфатного в иловой смеси до концентрации 28,8–29,0 мг/дм<sup>3</sup> (МОС-1) и 9,4–11,6 мг/дм<sup>3</sup> (МОС-2). Существенное увеличение концентрации фосфора фосфатного в иловой смеси по сравнению с циркуляционным активным илом с учетом разбавления сточными водами можно объяснить тем, что часть фосфатов сорбирована на поверхности хлопка активного ила и смывается в результате смешивания активного ила с осветленными сточными водами.

Динамика высвобождения фосфора фосфатного из клеток и дальнейшего его поглощения биомассой активного ила МОС-1 представлена на рис. 3.

На оси абсцисс отмечено время отбора проб в течение 1,5 ч инкубирования иловой смеси без аэрации и последующего инкубирования в условиях аэрации (1,5 ч). Начальное содержание фосфора фосфатного в иловой смеси находилось в пределах 28,8–29,0 мг/дм<sup>3</sup>. Активное выделение фосфора наблюдалось в течение 0,5 ч (для пробы от 24.03.2017) и 1,0 ч (для пробы от 27.03.2017), при этом максимальное значение достигало 55,6 мг/дм<sup>3</sup>. Спустя 0,5 или 1,0 ч было зафиксировано уменьшение содержания фосфатов в жидкой фазе.

Далее, при помещении смеси в условия аэрации наблюдалось поглощение фосфора фосфатного биомассой активного ила на протяжении 1,5 ч проведения эксперимента. Конечное содержание фосфора фосфатного в жидкой фазе составило 0,4–1,6 мг/дм<sup>3</sup>.

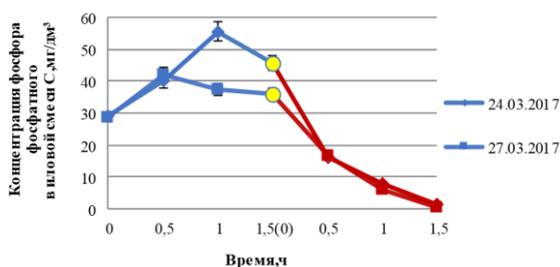


Рис. 3. Динамика миграции фосфора (МОС-1): синий цвет – инкубирование без аэрации; красный цвет – инкубирование в условиях аэрации

Для иловой смеси МОС-2 динамика высвобождения фосфора фосфатного из клеток и дальнейшего его поглощения биомассой активного ила представлена на рис. 4.

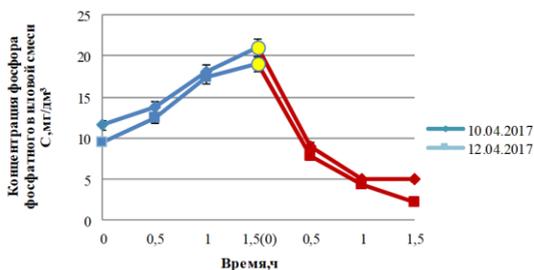


Рис. 4. Динамика миграции фосфора (МОС-2): синий цвет – инкубирование без аэрации; красный цвет – инкубирование в условиях аэрации

Начальное содержание фосфатов находилось в пределах 9,4–11,6 мг/дм<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что для иловой смеси МОС-2 на протяжении 1,5 ч наблюдалось стабильное высвобождение фосфора фосфатного в жидкость, и его концентрация составила 19,0–21,0 мг/дм<sup>3</sup>. Далее при помещении смеси в условия аэрации наблюдалось поглощение фосфатов биомассой активного ила на протяжении 1,5 ч проведения эксперимента. Конечное содержание фосфора фосфатного составило 2,2–5,5 мг/дм<sup>3</sup>.

Установленный ранее факт о существенном увеличении содержания фосфора фосфатного в смеси циркуляционного активного ила со сточными водами в соотношении 1:1 за счет смыва с поверхности хлопков сорбированных фосфатов получил подтверждение в экспериментах в апреле 2023 г. (рис. 5, 6).

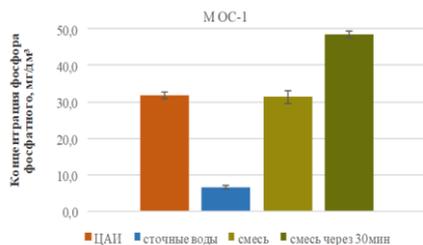


Рис. 5. Содержание фосфора фосфатного (МОС-1, апрель 2023 г.)

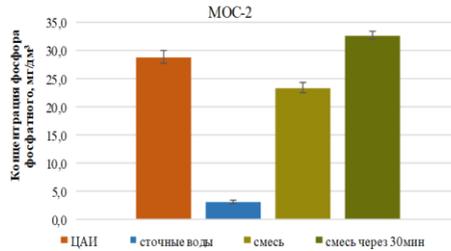


Рис. 6. Содержание фосфора фосфатного (MOC-2, апрель 2023 г.)

Следует отметить, что в данном случае наблюдается менее существенное увеличение концентрации фосфора фосфатного в смеси по сравнению с циркуляционным илом, а для MOC-2 даже небольшое снижение. Однако, с учетом разбавления сточными водами факт смыва сорбированных фосфатов подтверждается. Выдерживание иловой смеси без аэрации в течение 30 мин приводит к дальнейшему высвобождению фосфатов.

Таким образом, изучение миграции соединений фосфора в иловой смеси показало, что значительная часть фосфатов в циркуляционном активном иле находится в сорбированном на хлопках состоянии и легко смывается сточными водами при смешивании.

Высвобождение фосфатов из активного ила при выдерживании смеси без аэрации протекает от 0,5 до 1,5 ч в зависимости от того, находятся они на поверхности хлопков или в клетках. Для поглощения фосфатов активным илом из жидкой фазы в условиях аэрации необходимо 1,5 ч.

### Литература

1. Кевбрина, М. В. Ацидификационный потенциал поступающей сточной воды и сырого осадка московских очистных сооружений / М. В. Кевбрина [и др.] // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – № 10. – С. 68–70.
2. Келль, Л. С. Внедрение технологии биологической дефосфотации УСТК / Л. С. Келль // Экология производства. – 2011. – № 5. – С. 75–77.
3. Амбросова, Г. Т. Закономерности процесса дефосфатизации активного ила в анаэробных условиях / Г. Т. Амбросова [и др.] // Известия вузов. Строительство. – 2003. – № 6. – С. 73–78.
4. Blackall, L. L. A review and update of the microbiology of enhanced biological phosphorus removal in wastewater treatment plants / L. L. Blackall, G. R. Crocetti, A. M. Saunders, P. L. Bond // Antonie Van Leeuwenhoek. – 2002. – Vol. 81. – Issue 1–4. – P. 681–691. – DOI: 10.1023/a:1020538429009.

5. Юрченко, В. А. Влияние редокс потенциала среды на миграцию фосфора в иловой смеси / В. А. Юрченко, А. В. Смирнов, А. Ю. Бахарева // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2015. – Т. 78, № 6/6. – С. 78–84. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.55395.

6. Теплых, С. Ю. Перспективные методы биологического удаления фосфатов из сточной воды / С. Ю. Теплых, Д. С. Бочков, А. О. Базарова // Водоснабжение, канализация, строительные системы охраны водных ресурсов. – 2021. – Т. 11, № 2. – С. 42–47. – DOI: 10.17673/Vestnik.2021.02.07.

7. Юрченко, В. А. Влияние редокс-потенциала на фосфатацию иловой жидкости в технологиях биологического удаления фосфора / В. А. Юрченко, А. В. Смирнов, Е. М. Асин, Ю. С. Левашова // Вода и экология: проблемы и решения. – 2019. – Т. 79, № 3. – С. 26–37. – DOI: 10.23968/2305-3488.2019.24.3.26-37.

УДК: 628.196

### **Влияние условий модификации на изменение параметров полифункциональных фильтрующих материалов**

Пропольский Д. Э., Павич Е. С., Мякина М. А.  
Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

*Выбор фильтрующего материала в системах фильтров станций водоподготовки во многом влияет на качество обезжелезивания подземных вод. Для увеличения эффективности окисления железа с помощью фильтрующего материала могут использоваться полифункциональные модифицированные материалы с каталитическим покрытием. Установлено, что массовая доля железа на поверхности образца с фильтрацией раствора F-Fe/Zn была в 1,75 раза выше, чем цинка.*

Для ряда стран актуальным является вопрос обезжелезивания подземных вод. Выбор фильтрующего материала в системах фильтров станций водоподготовки во многом влияет на качество обезжелезивания подземных вод. Материалы таких фильтров бывают природного и синтетического происхождения [1]. Для увеличения эффективности окисления железа могут использоваться импортные каталитические загрузки (Birm, MTM, Filter AG, Manganese Greensand, саркнит, цеолит и т. д. [2–4]). Между тем такие материалы являются дорогостоящими за счет их дополнительной модификации. Для сокращения затрат на обезжелезивание подземных вод перспек-