

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-

тивным является использование модифицированных материалов [5]. В качестве инертного субстрата предлагается применение дешевых гранулированных природных материалов либо отходов производств [6; 7].

Существующие методы модификации позволяют изменить морфологические и химические свойства материала [8–9]. При этом выбранный метод должен использовать легкодоступные материалы и реагенты, а также не приводить к загрязнению окружающей среды. Наиболее подходящим по этим параметрам является метод экзотермического горения в растворах (SCS) [10]. Помимо этого, для данного метода требуется меньший расход реагента и времени обработки исходного материала.

В предыдущих исследованиях [11–13] были просинтезированы образцы с покрытием из оксидов железа и цинка. Данные разновидности покрытий позволяют увеличить эффективность обезжелезивания подземных вод и инактивацию микроорганизмов. Оптимальная доза нитрата металла, согласно предыдущим исследованиям, составила 0,05 г нитрата металла на 1 г исходного материала. В качестве восстановителя более эффективным оказалось использование мочевины.

Изучено влияние различных условий синтеза на изменение морфологических и химических свойств поверхности модифицированного материала. В качестве изменяемых параметров синтеза выбраны последовательность нанесения оксидов металлов и способ обработки раствором. Таким образом были изготовлены 2 группы образцов. В первой группе (F) исходные материалы вымачивались в растворе с последующей фильтрацией. В другой группе (V) синтез образцов осуществлялся непосредственно в растворе. Следует отметить, что использование способа обработки из группы V нецелесообразно с точки зрения энергетических затрат на выпаривание раствора во время синтеза. По этой причине данный способ рассматривался в сравнительных целях. Далее обработанные образцы подвергались обжигу в муфельной печи при температуре 600 °С в течение 5 мин до окончания экзотермической реакции. Затем образцы остывали при комнатной температуре, промывались дистиллированной водой и высушивались. Последовательность нанесения покрытий была выбрана следующей: образцы Fe/Zn обрабатывались по порядку нитратом железа и нитратом цинка. Соответственно, Zn/Fe – оксидом цинка и затем железа. Образцы Zn+Fe синтезировались в совместном растворе двух нитратов металлов.

Сравнение полученных образцов осуществлялось по результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (Energy-dispersive X-ray). EDX анализ позволил изучить особенности нанесения оксидов на обрабатываемые образцы. В табл. представлена массовая доля металлов на поверхности изучаемых образцов.

Результаты EDX анализа

	Fe, мас. %	Zn, мас. %
Образцы с фильтрацией раствора (F)		
F-Fe/Zn	1,23 ± 0,83	0,7 ± 0,36
F-Zn/ Fe	1,53 ± 0,69	0,33 ± 0,09
F-Zn+ Fe	0,47 ± 0,09	0,2 ± 0,0
Образцы без фильтрации раствора (V)		
V-Fe/Zn	10,33 ± 5,29	9,33 ± 6,41
V-Zn/Fe	8,43 ± 3,75	6,5 ± 4,33
V-Zn+ Fe	17,57 ± 2,62	15,47 ± 2,88

Согласно табл., нанесение металлов на поверхность образцов в группе F проходило равномерно, но малоэффективно. Наиболее оптимальным способом нанесения оксидов можно считать образец F-Fe/Zn. Массовая доля железа в таком образце на поверхности материала была в 1,75 раза выше, чем цинка. В остальных случаях массовая доля железа была в 2–3 раза больше, чем цинка. Между синтез материала при дозе нитрата металла 0,05 г на 1 г исходного материала не привела к значительному увеличению массовой доли двух металлов на поверхности образцов группы F. Это связано с тем, что в предыдущих исследованиях изготавливались образцы с монопокрытием без фильтрации раствора (аналогично образцам группы V). Таким образом, целесообразным является проведение исследования оптимальной дозы нитрата металла для получения полифункционального материала. Для этого необходимо подготовить и исследовать образцы с фильтрацией (F) в более концентрированных растворах (с дозами в 2, 3, 4 раза выше 0,05).

Для образцов без фильтрации раствора (группа V) покрытие поверхности было более эффективно в образце V-Zn + Fe. Массовая доля железа и цинка на поверхности данного образца почти в 2 раза выше остальных образцов группы V. Для образцов V-Fe/Zn и V-Zn/Fe наблюдались ярко выраженные очаги при нанесении на поверхность железа. В образце V-Zn + Fe покрытие было равномерным для двух металлов.

Также следует отметить, что для всех образцов двух групп нанесение железа было более эффективно в сравнении с цинком независимо от способа обработки раствором и последовательности нанесения оксидов.

Таким образом, использование полифункциональных фильтрующих материалов является перспективным направлением в водоподготовке.

Литература

1. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Строительные нормы Республики Беларусь: СН 4.01.01-2019. – Введ. 31.10.2019 (с отменой на

территории РБ ТКП 45-4.01-320-2018 (33020). – Минск: Минстройархитектуры, 2020. – 72 с.

2. Yushchenko, V. (2023) Development of a new design of deironing granulated filter for joint removal of iron and ammonium nitrogen from underground water / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // *Environmental Technology*. – 2023. – Vol. 44, № 3. – P. 1–8. – <https://doi.org/10.1080/09593330.2023.2185820>.

3. Yushchenko V., Velyugo E., Romanovski V. (2023) Influence of ammonium nitrogen on the treatment efficiency of underground water at iron removal stations / V. Yushchenko, E. Velyugo, V. Romanovski // *Groundwater for Sustainable Development*. – 2023. – Vol. 22, № 8. – P. 100943.

4. Романихин, М. В. О применении новых фильтрующих материалов в системе водоподготовки / М. В. Романихин, А. А. Терентьев // *Великие реки 2016: материалы 18-й междунар. науч.-промыш. форума, Нижний Новгород, 17–20 мая 2016 г.*: Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. А. А. Лапшин. – Нижний Новгород, 2016. – С. 366–368.

5. Romanovski, V. Recycling of iron-rich sediment for surface modification of filters for underground water deironing / V. Romanovski, E. Romanovskaia, D. Moskovskikh, K. Kuskov, V. Likhavitski, F. A. Mehmet, S. Beloshapkin, I. Matsukevich, A. Khort // *Journal of Environmental Chemical Engineering*. – 2021. – Vol. 4, № 9. – P. 105712.

6. Ahmed, M. B. Progress in the preparation and application of modified biochar for improved contaminant removal from water and wastewater / M. B. Ahmed, J. L. Zhou, H. H. Ngo, W. Guo, M. Chen // *Bioresource Technology*. – 2016. – Vol. 214. – P. 836–851.

7. Thomas, B. N. Production of Activated Carbon from Natural Sources / B. N. Thomas, S. C. George // *MedPub Journals*. – 2015. – Vol. 1, № 1. – P. 1–5.

8. Клебеко, П. А. Модифицированные антрациты – эффективные каталитические материалы для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2020. – № 7. – С. 24–29.

9. Клебеко, П. А. Влияние условий синтеза на фазовый состав модифицированного покрытия антрацитов для обезжелезивания подземных вод / П. А. Клебеко, В. И. Романовский // *Вестник БрГТУ. Водохозяйственное строительство, теплоэнергетика и геоэкология*. – 2020. – № 2. – С. 65–67.

10. Пропольский, Д. Э. Сравнительный анализ методов модификации фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, Е. В. Романовская // *Инновационные материалы и технологии – 2020: материалы междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Минск, 9–10 янв. 2020 г.* / Белорус. гос. техн. ун-т; редкол.: И. В. Войтов (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2020. – С. 146–147.

11. Пропольский, Д. Э. Модификация фильтрующих загрузок для очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский // Вода. Газ. Тепло – 2020: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-летию Белорус. нац. техн. ун-т, 100-летию кафедры «Гидротехническое и энергетическое строительство, водный транспорт и гидравлика», 90-летию кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция», Минск, 8–10 октября 2020 г. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Минск, 2020. – С. 139–141.

12. Пропольский, Д. Э. Методы модификации фильтрующих материалов загрузок для целей водоподготовки подземных вод / Д. Э. Пропольский // Новые функциональные материалы, современные технологии и методы исследования: материалы Шестой республ. науч.-техн. конф. молодых ученых, посвящ. памяти члена-корреспондента НАН Беларуси С. С. Песецкого, Гомель, 9–11 нояб. 2020 г. / ИММС НАН Беларуси; редкол.: С. В. Харитончик [и др.]. – Гомель, 2020. – С. 118–120.

13. Пропольский, Д. Э. Применение полифункциональных модифицированных материалов для комплексной очистки подземных вод / Д. Э. Пропольский, С. В. Красковский // Технологія – 2020: матеріали 23 міжнар. наук.-техн. конф., Северодонецьк, 24–25 квіт. 2020 р. / Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля; редкол.: Є. І. Овчаренко, О. В. Суворін, В. І. Соколов. – Северодонецьк, 2020. – С. 95.

УДК 628.356

Особенности учета и прогнозирования образования биогаза в технологии анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным активным илом

Рымовская М. В., Гребенчикова И. А.

Белорусский государственный технологический университет
Минск, Республика Беларусь

В Республике Беларусь эксплуатируется несколько установок для анаэробной очистки сточных вод в системах с гранулированным илом. В работе рассмотрены системы учета биогаза на этих объектах, сопоставлены фактические и полученные расчетным путем объемные расходы биогаза. Показано, что выявленные расхождения в области низких и высоких нагрузок по органическим веществам коррелируют с активностью ферментных систем микроорганизмов в системе биореактора.

Биологические методы удаления загрязнений из сточных вод общепризнанно считаются наиболее экономически эффективными и экологически при-