

3. Ануфриев, В. Н. Проектирование сетей наружной канализации и сооружений на них / В. Н. Ануфриев // Экология на предприятии. – 2025. – № 3. – С. 45–51.

4. Перспективы применения напорных систем канализации, принципы расчета и проектирования / В. Н. Ануфриев, В. В. Алферчик, Э. Э. Семикашева [и др.] // Актуальные вопросы эффективного и комплексного использования водных ресурсов : материалы материалов международной научно-практической конференции, приуроченной ко Всемирному дню водных ресурсов. – Минск, 2023. – С. 120–123.

УДК 691.311:628.162.5

**Анализ направлений использования отходов водоподготовки
и осадков очистки коммунальных сточных вод**

Комаров М. А.^{1, 2}, Кураленок А. А.²

¹Белорусский государственный технологический университет,

²Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

Вовлечение отходов производства и потребления в хозяйственный оборот является актуальной задачей промышленности и экономики во всем мире. Одними из наиболее перспективных видов отходов, имеющих огромный потенциал в качестве сырья для производства высокотехнологических функциональных материалов, являются отходы водоподготовки и осадки очистки коммунальных сточных вод. Использование современных методов синтеза открывает новые перспективы по получению полифункциональных сорбционных материалов, пригодных для очистки природных и сточных вод.

При очистке коммунальных сточных вод образуется большое количество осадка, влажность которого обычно превышает 95 %. Содержание воды может быть снижено до менее чем 60 % с помощью различных методов: кондиционирование с последующим центрифугированием, различные варианты сушки и др. Из-за особой коллоидной структуры осадка обезвоживание и сушка осадка становятся очень сложными. Сушка осадка обычно должна проходить через три процесса: концентрирование, обезвоживание и сушка. Сгущение ила может удалить только часть свободной воды и иловой воды в иле, а степень обезвоживания ограничена. Обезвоживание является важным этапом сушки осадка, при этом на большинстве очистных сооружений используют только оборудование для обезвоживания осадка, но эффект от использования лишь оборудования не идеален, за счет того, что

вода в осадке не может быть полностью отделена. Таким образом, последующая стоимость удаления осадка на очистных сооружениях очень высока.

Кондиционирование осадка может эффективно уменьшить содержание воды в осадке. Чтобы снизить стоимость глубокого обезвоживания широко используется химическое кондиционирование в сочетании с технологией пластинчатых и рамных фильтр-прессов. Общая стоимость эксплуатации ниже, чем у технологии термической сушки, но и проблем больше. Для кондиционирования обычно используются трихлорид железа, негашеная известь, летучая зола и так далее. Обычно добавление коагулянта или флокулянта в сочетании с пластинчатой и рамной напорной фильтрацией может снизить содержание воды в осадке с 80 % до 60 % [1]. Из-за низкой цены широко распространена негашеная известь, с высокой эффективностью обезвоживания. Тем не менее, с точки зрения подхода к окончательному обезвоживанию шлама при добавлении химических солей и извести имеется главный недостаток: последующая обработка может осуществляться только на полигоне. Данную операцию трудно проводить за счет сжигания или компостирования с одновременного использования других утилизируемых отходов на полигоне. Следовательно, как обращаться с этим обезвоженным илом, содержащим неорганические добавки, стало важным вопросом обработки и удаления осадка.

Известны исследования, использующих муниципальный ил путем различных обжигов и модификаций для производства биологических адсорбционных материалов на основе углерода и достигших хороших результатов [2; 3]. Однако исследования адсорбционного материала городского ила, содержащего кальций и железо, недостаточны. Фактически, сульфат кальция также может стать отличным адсорбционным материалом [4] благодаря модификации и структурному регулированию. Например, Ху и др. [5] приготовили адсорбент сульфата кальция с использованием отходов сульфата кальция, полученных при электролитической обработке алюминия отработанной кислотой гидротермальным методом, и адсорбционная емкость адсорбента сульфата кальция по конго красному достигает 1860,11 мг/г. Яо и др. [6] сообщили, что $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладает хорошей способностью связывать фосфор. Результаты исследования [7] показывают, что наностержни $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ обладают превосходной эффективностью удаления фтора. Чен и др. [8] обнаружили, что нитевидные кристаллы $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ могут эффективно удалять мышьяк из водного раствора, а его основной механизм адсорбции можно резюмировать как сочетание поверхностного растворения и химического осаждения.

Одним из перспективных подходов является обработка осадков негашеной известью из-за ее низкой стоимости и высокой эффективности обез-

воживания, а также для обеззараживания осадка. С целью ресурсосбережения для этих целей можно использовать некоторые отходы водоподготовки (известный недопал и осадки коагуляции) [9;10]. Переработанный данным способом осадок может быть использован в качестве почвоулучшающей добавки [11], например, для раскисления кислых почв. Однако, при доработке данного подхода с точки зрения современной химической инженерии можно получить высокоэффективные сорбционные материалы для очистки водных сред от высокотоксичных соединений, в том числе радионуклидов.

Полученные ранее данные по получению синтетических сульфатов кальция на основе кальцийсодержащих осадков водоподготовки [12–16] открыли другое перспективное направление – синтез сульфатов кальция из отходов водоподготовки и отхода серной кислоты в объеме обезвоженного осадка очистки городских сточных вод и последующего низкотемпературного и среднетемпературного пиролиза с каталитическим окислением для создания композитного адсорбционного материала $\text{CaSO}_4/\text{M-N-C}$ – кальцийсодержащего сорбционного материала, полученного при переработке отходов производств. Разрабатываемый материал содержит скелет сульфата кальция, активных центров M-N-C и значительного количества карбоксильных и гидроксильных структур гуминовых кислот и может быть переработан и регенерирован с помощью простого режима температурной или химической активации [17–20].

Разработанный материал может реализовать глубокое удаление различных загрязнителей и предполагает новую идею и метод разработки адсорбционного удаления загрязнителей воды. Результаты работы представят новое техническое решение по переработке отходов водоподготовки и очистки коммунальных сточных вод и обеспечат важную теоретическую и прикладную основу для механизма адсорбции, повышения производительности и переработки отходов в высокоэффективные адсорбционные материалы. Отличие данных материалов от аналогов – это инновационность; получение из отходов, что решает задачи ресурсосбережения и охраны окружающей среды, а как следствие приводит к уменьшению стоимости и повышению конкурентоспособности. Это полностью соответствует современному направлению циркулярной экономики (экономики замкнутого цикла).

Литература

1. Regkouzas, P., Diamadopoulou E. Adsorption of selected organic micropollutants on sewage sludge biochar / P. Regkouzas, E. Diamadopoulou // *Chemosphere*. – 2019. – Vol. 224. – P. 840–851.
2. Conversion of sewage sludge into biochar: A potential resource in water and wastewater treatment / A. Gopinath, D. Govindaraj, V. Srivastava [et al.] // *Environmental Research*. – 2021. – Vol. 194. – P. 110656.

3. Ifthikar, J. Highly efficient lead distribution by magnetic sewage sludge biochar: sorption mechanisms and bench applications / J. Ifthikar // *Bioresource technology*. – 2017. – Vol. 238. – P. 399–406.

4. Approaches for filtrate utilization from synthetic gypsum production / V. Romanovski, X. Su, L. Zhang [et al.] // *Environmental Science and Pollution Research*. – 2023. – Vol. 30, № 12. – P. 33243–33252.

5. Facile Preparation of Super Absorbent from Calcium-Aluminum Waste Residue and Its Application for Adsorption of Congo Red / C. Hu, H. Zhang, X. Liu [et al.] // *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*. – 2020. – Vol. 20, № 2. – P. 769–778.

6. Thomas, M. T. Calcium sulfate: a review / M. T. Thomas, D. A. Puleo, M. Al-Sabbagh // *Journal of long-term effects of medical implants*. – 2005. – Vol. 15, № 6. – P. 599–607.

7. Behavior and mechanism of fluoride removal from aqueous solutions by using synthesized $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ nanorods / S. Shao, B. Ma, Y. Chen [et al.] // *Chemical Engineering Journal*. – 2021. – Vol. 426. – P. 131364.

8. Exploration of As (III)/As (V) uptake from aqueous solution by synthesized calcium sulfate whisker / X. Chen, L. Yang, J. Zhang [et al.] // *Chinese Journal of Chemical Engineering*. – 2014. – Vol. 22, № 11–12. – P. 1340–1346.

9. High strength anhydrite cement based on lime mud from water treatment process: one step synthesis in water environment, characterization and technological parameters / M. Kamarou, H. Tan, D. Moskovskich [et al.] // *Engineering Reports*. – 2025. – Vol. 7. – № 1. – P. e13054.

10. High-strength gypsum binder with improved water-resistance coefficient derived from industrial wastes / M. Kamarou, D. Moskovskich, K. V. Kuskov [et al.] // *Waste Management & Research*. – 2025. – Vol. 43, № 2. – P. 213–224.

11. Комаров, М. А. Синтез дигидрата сульфата кальция из техногенного сырья / М. А. Комаров, Н. Г. Короб, В. И. Романовский // *Вестник Полоцкого государственного университета. Серия F. Строительство. Прикладные науки*. – 2020. – № 16. – С. 76–82.

12. Gypsum binder with increased water resistance derived from membrane water desalination waste / V. Romanovski, D. Moskovskich, H. Tan [et al.] // *Engineering Reports*. – 2025. – Vol. 7. – № 1. – P. e13028.

13. Preparation of calcium sulfate from recycled red gypsum to neutralize acidic wastewater and application of high silica residue / C. Wang, X. Ma, W. Zhong [et al.] // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2024. – Vol. 26, № 3. – P. 1588–1595.

14. Preparation of anhydrite whiskers from red gypsum and application in polyvinyl chloride / C. Wang, J. Chen, D. Liu [et al.] // *Journal of Material Cycles and Waste Management*. – 2025. – Vol. 27, № 2. – P. 973–983.

15. Effect of calcination temperature and superplasticizer on the properties of anhydrite II from phosphogypsum / D. Liu, J. Chen, X. Ma [et al.] // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. – 2024. Vol. 149., № 21. – P. 11587–11597.
16. Low energy synthesis of anhydrite cement from waste lime mud / M. Kamarou, D. Moskovskich, H. L. Chan [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2023. – Vol. 98, № 3. – P. 789–796.
17. Low-temperature desiliconization of activated zircon concentrate by NH₄HF₂ solution / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Minerals Engineering. – 2022. – Vol. 189. – P. 107909.
18. A novel low-energy approach to leucoxene concentrate desiliconization by ammonium bifluoride solutions / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Journal of Chemical Technology & Biotechnology. – 2023. – Vol. 98, № 3. – P. 726–733.
19. Low-temperature method for desiliconization of polymetallic slags by ammonium bifluoride solution / A. Smorokov, A. Kantaev, D. Bryankin [et al.] // Environmental Science and Pollution Research. – 2023. – Vol. 30, № 11. – P. 30271–30280.
20. Abdulwahid, M. Y. The production of environmentally friendly building materials out of recycling walnut shell waste: A brief review / M. Y. Abdulwahid, A. A. Akinwande, M. Kamarou [et al.] // Biomass Conversion and Biorefinery. – 2024. – Vol. 14, № 20. – P. 24963–24972.

УДК 627.17

Озеро собирающее каждую крупницу воды в пустыне

Мередова Х. А., Таганов Ч. Х., Аширов А. И.

Туркменский государственный архитектурно строительный институт
Ашгабад, Туркменистан

В Туркменистане ведется грандиозная работа по рациональному использованию водных ресурсов, улучшению водоснабжения орошаемых земель, освоению новых посевных площадей. Уникальное озеро «Алтын асыр» – рукотворный водоем Центральных Каракумов, который будет служить веками во благо туркменского государства. Это озеро призвано изменить облик всей туркменской земли, оживить ее пески и степи, внести новые краски в ее флору и фауну.

Обдуманый и комплексный подход к вопросам рационального использования водных ресурсов, снабжения населения чистой питьевой водой – неотъемлемая часть всей проводимой в стране государственной политики. Законодательной базой здесь выступает Кодекс Туркменистана «О воде».