

УДК 628.1

Рябиков А.А., аспирант ИГХТУ
Натареев С.В., д.т.н., профессор
Ивановский государственный химико-технологический университет

Ryabikov A.A., Postgraduate Student of ISUCT
S.V. Natarееv, Doctor of Technical Sciences, Professor
Ivanovo State University of Chemical Technology

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ИОНООБМЕННОГО АППАРАТА ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ ИОНОВ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

DEVELOPMENT OF AN ION-EXCHANGE APPARATUS FOR WATER PURIFICATION FROM HEAVY METAL IONS

Добыча угля несет в себе негативное воздействие на гидрогеологию любого угольного региона. В результате извлечения ископаемого топлива образуются масштабные депрессионные воронки, которые могут приводить к загрязнению поверхностных и подземных вод. Поверхностные водные источники становятся непригодными для водопотребления и водопользования, ухудшаются санитарно-гигиенические условия местности [1]. Шахты являются одним из основных источников загрязнения водных ресурсов Кемеровской области. Шахтные воды, загрязненные вредными веществами, необходимо очищать перед сбросом их в естественные водоемы или при использовании для технологических нужд. К основным загрязняющим веществам относятся тяжелые металлы, взвешенные вещества и органические соединения [2].

В представленной работе рассмотрены вопросы очистки промышленных сточных вод от ионов тяжелых металлов методом ионного обмена. Для достижения заданных параметров очищенной воды необходимо использование высокоэффективного ионообменного оборудования и соответствующих ионообменных материалов.

В настоящее время все большее внимание уделяется сорбентам на основе целлюлозосодержащего сырья, которое является сравнительно дешевым и распространенным в природе. Однако, применение таких материалов невозможно в традиционных ионитовых фильтрах, поскольку плотность природного сорбента меньше чем плотность очищаемой воды, который всплывать верхнюю часть аппарата, образуя рыхлый слой. При этом эффективность работы ионитового фильтра значительно снижается.

Целью данной работы является получение нового углеродосодержащего древесно-хитозанового сорбента [3], разработка аппарата с загрузкой данным сорбентом [4] и проведение экспериментального исследования процессов ионообменной очистки воды от ионов меди (II).

На рисунке 1 представлена схема ионообменной установки. Основным элементом данной установки является аппарат 1, в котором процесс очистки воды осуществляется путем ее пропускания снизу-вверх сначала через слой инертного материала, а затем слой природного сорбента.

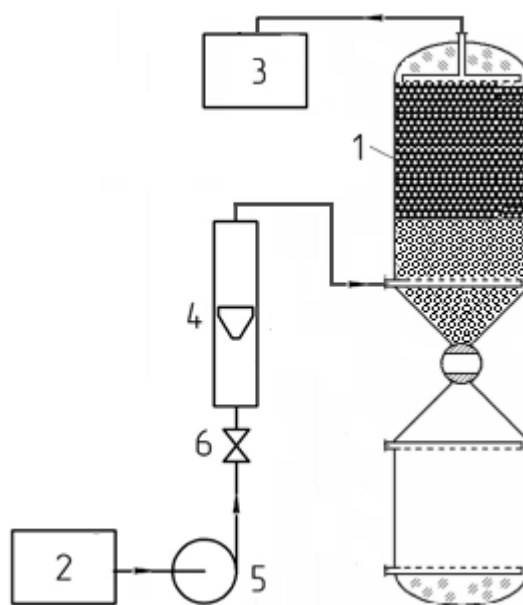


Рисунок 1. – Лабораторная установка: 1 – ионообменный аппарат; 2 – емкость с исходным раствором; 3 – емкость с очищенным раствором; 4 – ротаметр; 5 – центробежный насос; 6 – вентиль

Перед началом проведения опыта в аппарат 1 загружали углеродосодержащего древесно-хитозанового катионита и из емкости под аппаратом перемещали с помощью потока очищенной воды инертный материал, который прижимал сорбент к верхнему дренажно-распределительному устройству. Запорное устройство между аппаратом 1 и емкостью под аппаратом закрывали. Для проведения эксперимента из емкости 2 при помощи насоса 5 подавали исходный раствор в нижнюю часть аппарата 1. Расход раствора контролировали с помощью ротаметра 4. Очищаемая вода, проходя через слой инертного материала, равномерно распределяется по сечению аппарата, а затем через слой целлюлозосодержащего сорбента, где очищается от ионов меди (II). Очищенная вода удаляется в верхней части аппарата и поступает в емкость 3.

В ходе проведения эксперимента через определенные промежутки времени на выходе из аппарата 1 отбирали пробы, в которых определяли содержание ионов меди (II) при помощи спектрофотометра U – 2001 (Hitachi, Япония). Погрешность измерений не превышала 3%. На основании полученных данных строили выходные кривые ионообменной сорбции.

Для проведения опытов использовались растворы сульфата меди и углеродосодержащий древесно-хитозановый катионит (Na-форма).

Для экспериментального исследования принимались следующие параметры ионообменного процесса: концентрация исходного раствора $C_{\text{вх}} = 0,1, 0,025, 0,005$ кг-экв/м³; объем сорбента в аппарате $V_{\text{т}} = 1,7 \cdot 10^{-4}$ м³; расход раствора $Q_{\text{ж}} = 1 \cdot 10^{-5}$ и $7 \cdot 10^{-6}$ м³/с; время процесса $\tau = 1000$ с.

Результаты экспериментальных исследований приведены на рисунках 2 и 3, где по оси абсцисс указано время процесса τ , а по оси ординат – безразмерная концентрация раствора $N(\tau) = C(\tau)/C_{\text{вх}}$.

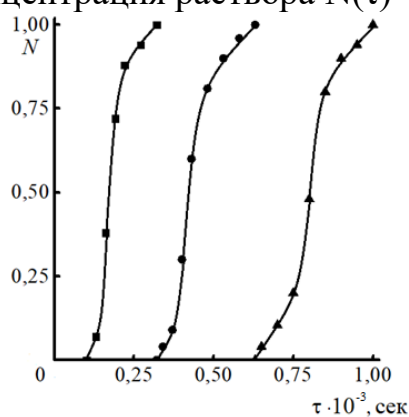


Рисунок 2. Выходные кривые ионообменной сорбции ионов меди на углеродосодержащем древесно-хитозановом катионите: $Q_{\text{ж}} = 1 \cdot 10^{-5}$ м³/с; $C_{\text{вх}} = 0,1, 0,025, 0,005$ кг-экв/м³.

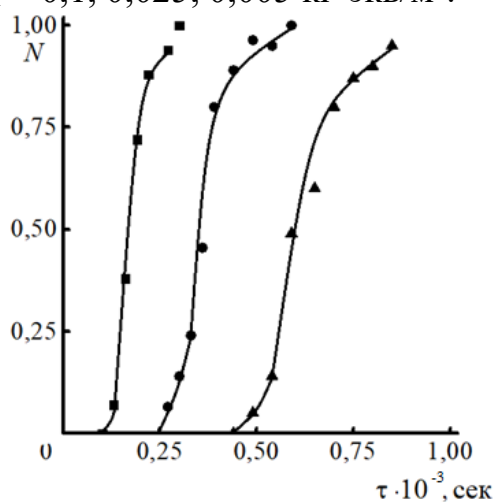


Рисунок 3. Выходные кривые ионообменной сорбции ионов меди на углеродосодержащем древесно-хитозановом катионите: $Q_{\text{ж}} = 7 \cdot 10^{-6}$ м³/с; $C_{\text{вх}} = 0,1, 0,025, 0,005$ кг-экв/м³.

Как видно из представленных на рисунках 2 и 3 графиков на форму выходных кривых процесса сорбции определённое влияние оказывают расход жидкой фазы и концентрация исходного раствора. На начальных стадиях процесса исходный раствор проходит через слой сорбента и очищается до минимальной концентрации поглощаемого вещества. Затем наступает проскок ионов меди в очищенном растворе и их концентрация резко возрастает до тех пор, пока концентрация исходного раствора на входе в аппарат не станет равна концентрации на выходе из аппарата. Анализируя форму выходной кривой можно заключить, что преобладает внутридиффузионная кинетика, где лимитирующей стадией является диффузия извлекаемого иона в порах катионита. Это характерно для процессов, протекающих в мелкопористых материалах, в которых свободный пробег иона значительно больше диаметра пор.

Таким образом, в ходе проведенных экспериментальных исследований установлена высокая эффективность полученного природного сорбента и разработанной конструкции ионообменного аппарата, которые рекомендуются для практического применения.

Исследование проведено с использованием ресурсов Центра коллективного пользования научным оборудованием ИГХТУ (при поддержке Минобрнауки России, соглашение № 075-15-2021-671).

Список литературы

1. Куликова Е.Ю., Сергеева Ю.А. Концептуальная модель минимизации риска загрязнения водных ресурсов Кемеровской области // ГИАБ. – 2020. - № 6–1. – С. 107-118.
2. Попов А.А., Хорошилова Л.С. Влияние негативных факторов на экосистему Кузбасса. – Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. – 2011. – № 11. – С. 5–8.
3. Пат. №2843791 Российская Федерация. Способ извлечения ионов тяжелых металлов из водных растворов / С.В. Натареев, Т.Е. Никифорова, А.И. Ларина, А.А. Рябиков; патентообладатель ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.–технол. ун–т. – № 2025102287; заявл. 04.02.2025; опубл. 18.07.2025. Бюл. № 20.
4. Пат. № 2806528 Российская Федерация. Ионообменная установка / С.В. Натареев, А.А. Рябиков, Никифорова Т.Е.; патентообладатель ФГБОУ ВО Иван. гос. хим.–технол. ун–т., – № 2023107639; заявл. 29.03.2023; опубл. 01.11.2023. Бюл. № 31.

References

1. Kulikova E.Yu., Sergeeva Yu.A. Conceptual Model of Minimizing the Risk of Water Pollution in the Kemerovo Region // GIAB. - 2020. No. 6–1. - P. 107-118.

2. Popov A.A., Khoroshilova L.S. The Influence of Negative Factors on the Kuzbass Ecosystem. – Bulletin of the Scientific Center for Safety in the Coal Industry. – – 2011. - No. 11. – P. 5–8.

3. Pat. no 2806528 Russian Federation. Ion exchange plant / S.V. Natareev, A.A. Ryabikov, T.E. Nikiforova; the patent holder FSBE Institution of Higher Education Ivanovo State University of Chemistry and Technology, – no 2023107639; declared 29.03.2023; published 01.11.2023. Bul. №20.

4. Pat. no 2843791 Russian Federation. Method for extracting heavy metal ions from aqueous solutions / S.V. Natareev, T.E. Nikiforova, A.I. Larina, and A.A. Ryabikov; the patent holder FSBE Institution of Higher Education Ivanovo State University of Chemistry and Technology, – no 2025102287; declared 04.02.2025; published 18.07.2025. Bul. № 31.