



КАФЕДРА «ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭКОЛОГИЯ И ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»

МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ, МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ,
ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ «ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ: НА
ПУТИ К УСТОЙЧИВОМУ РАЗВИТИЮ», ПРИУРОЧЕННАЯ К
X ЕЖЕГОДНОМУ МОЛОДЕЖНОМУ ФЕСТИВАЛЮ В ОБЛАСТИ
УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ВУЗЭКОФЕСТ

СБОРНИК НАУЧНЫХ РАБОТ



ВУЗЭКОФЕСТ²⁴



ТЕРРИТОРИЯ
УСТОЙЧИВОГО
РАЗВИТИЯ

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«УЛЬЯНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ: на пути к устойчивому развитию

**Международная научно-практическая конференция
студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей,
приуроченная к X Ежегодному молодежному фестивалю
в области устойчивого развития ВузЭкоФест**

(Россия, г. Ульяновск, 19–23 марта 2024 г.)

Сборник научных трудов

Ульяновск
УлГТУ
2024

УДК 502/504(082)
ББК 20.1я43
Э 40

Рецензент: канд. биол. наук, доцент кафедры химии и методики преподавания химии ГОУ ВО МО «Государственный гуманитарно-технологический университет» *Горячева О. А.*

Э 40 **Экология и природопользование: на пути к устойчивому развитию:** [Электронный ресурс] Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей, приуроченная к X Ежегодному молодежному фестивалю в области устойчивого развития ВузЭкоФест (Россия, г. Ульяновск, 19–23 марта 2024 г.) : сборник научных трудов / отв. за выпуск Е.Н. Ерофеева. – Электрон. текст. дан. – Ульяновск : УлГТУ, 2024. – 303 с.

ISBN 978-5-9795-2379-8

Сборник содержит материалы докладов и научных сообщений студентов, аспирантов, молодых учёных, преподавателей по актуальным вопросам устойчивого развития и применяемых в экологии и техносферной безопасности энергосберегающих технологий, повторном использовании и восстановлении ресурсов, технологии переработки отходов, эффективном функционировании системы охраны труда.

Сборник подготовлен на кафедре «Промышленная экология и техносферная безопасность» УлГТУ.

Статьи представлены в авторской редакции.

УДК 502/504+628.5
ББК 20.1я43

ISBN 978-5-9795-2379-8

© Колл. авторов, 2024
© Оформление. УлГТУ, 2024

УДК 544.723

АВТОКЛАВНЫЙ СИНТЕЗ МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ ТОБЕРМОРИТА ИЗ ПРИРОДНОГО СЫРЬЯ И ЕГО СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

С.Б. Ярусова^{1,2}, А.С. Авраменко³, А.Е. Панасенко¹, Д.В. Достовалов¹, П.В. Гриценко^{1,2}, М.В. Черепанова³, П.С. Гордиенко¹

¹Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

²Владивостокский государственный университет, г. Владивосток, Россия

³ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, г. Владивосток, Россия

Аннотация. В статье представлены результаты автоклавного синтеза тоберморитсодержащего продукта из диатомита и морских раковин. Исследованы сорбционные свойства полученного материала по отношению к метиленовому синему.

Ключевые слова: тоберморит, природное сырье, диатомит, морские раковины, автоклавный синтез, сорбция, метиленовый синий.

AUTOCLAVE SYNTHESIS OF TOBERMORITE-BASED MATERIAL FROM NATURAL RAW MATERIALS AND ITS SORPTION PROPERTIES

Yarusova S.B.^{1,2}, Avramenko A.S.³, Panasenko A.E.¹, Dostovalov D.V.¹, Gritsenko P.V.¹, Cherepanova M.V.³, Gordienko P.S.¹

¹Institute of Chemistry, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

²Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

³Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

Annotation. The article presents the results of autoclave synthesis of tobermorite-containing product from diatomite and sea shells. The sorption properties of the obtained material in relation to methylene blue are considered.

Keywords: tobermorite, natural raw materials, diatomite, sea shells, autoclave synthesis, sorption, methylene blue.

Одной из областей применения силикатов $n\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2$ и гидросиликатов $n\text{CaO}\cdot m\text{SiO}_2\cdot p\text{H}_2\text{O}$ кальция является их использование в качестве сорбентов для извлечения из объектов окружающей среды различных поллютантов (тяжелых металлов, долгоживущих радионуклидов, пестицидов, красителей, фенолов, неорганических анионов, а также патогенных и условно-патогенных микроорганизмов) [1]. В научной литературе имеется достаточно большое число работ, где в качестве ионообменного материала для извлечения ионов токсичных металлов из водных сред используют собой разновидность данного класса соединений – гидросиликат кальция – тоберморит $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$. В качестве исходных соединений для его получения (преимущественно гидротермальным методом в интервале температур 90-120°C и временных интервалах от 2 ч до 14 суток) используют широкий спектр отходов, например, золу от сгорания газетной бумаги, пыль цементного производства, стеклобой, отходы производства оксихлорида циркония, отходы термической инертизации цементно-асбестового камня, пищевые отходы и ряд др. [2–7].

Авторами данной работы проведен автоклавный синтез материала на основе тоберморита из природного сырья в виде диатомита и морских раковин. В качестве модельного органического красителя для исследования сорбционных свойств полученного материала использовали метиленовый синий (МС).

Диатомит Пионерского месторождения (Приморский край) представляет собой высокодисперсный диоксид кремния природного происхождения с содержанием $\text{SiO}_2 > 80\%$. Морские раковины спизулы сахалинской *Spisulasachalinensis* состоят преимущественно из фазы карбоната кальция CaCO_3 .

Исходное сырье (диатомит и морские раковины) предварительно измельчали и сушили до постоянного веса. Морские раковины подвергались измельчению в шаровой мельнице. Мольное соотношение исходных компонентов $\text{CaO}:\text{SiO}_2 = 1:1$.

Гидротермальную обработку измельченной реакционной смеси диатомита и морских раковин проводили в лабораторном автоклаве в водной щелочной среде (гидроксид натрия) при температуре 200°C в течение 6 ч. После окончания заданного временного интервала осадки отделяли от раствора фильтрованием, промывали дистиллированной водой и сушили при температуре $85\text{--}90^\circ\text{C}$ в течение нескольких часов.

Рентгенограммы образцов снимали на автоматическом дифрактометре D8 ADVANCE (Германия) с вращением образца в CuK_α -излучении. Рентгенофазовый анализ (РФА) проводили с использованием программы поиска EVA с банком порошковых данных PDF-2. Морфологию тоберморита изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) Merlin при увеличении до 15000.

Для изучения адсорбционных свойств тоберморита использовали метиленовый синий $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$ («ч.д.а.», $M = 319.85$ г/моль). Исследование сорбции метиленового синего (МС) из водных растворов проводили в статических условиях при температуре 20°C . К навескам образца прибавляли раствор красителя (соотношение сорбент : раствор 1 : 1000) концентрации $50\text{--}500$ мг/л и перемешивали в течение 40 мин. После перемешивания суспензию центрифугировали, оптическую плотность раствора измеряли на спектрофотометре ЗОМЗ КФК-3-01 (Россия) при длине волны 657 нм.

Сорбционную емкость (A_c , ммоль·г⁻¹) исследуемых образцов рассчитывали по формуле:

$$A_c = \frac{(C_{\text{исх}} - C_p)}{m} \cdot V, \quad (1)$$

где $C_{\text{исх}}$ – исходная концентрация МС в растворе, ммоль·л⁻¹; C_p – равновесная концентрация МС в растворе, ммоль·л⁻¹; V – объем раствора, л; m – масса сорбента, г.

Удельную поверхность образцов ($S_{\text{уд}}$, м²/г) определяли по стандартной методике по формуле:

$$S_{\text{уд}} = A_m \cdot 6.02 \cdot \omega_0,$$

где A_m – емкость монослоя адсорбированного метиленового голубого, ммоль/г, ω_0 – площадь, занимаемая молекулой адсорбированного метиленового голубого в плотном монослое на поверхности образца, Å^2 .

Согласно данным РФА, в составе продукта гидротермальной обработки реакционной смеси присутствуют кристаллические фазы кальцита CaCO_3 , кварца SiO_2 , анальцима $\text{Na}_{15.76}\text{Al}_{15.26}\text{Si}_{32.74}\text{O}_{96} \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ и тоберморит орторомбической модификации $\text{Ca}_{2.25}\text{Si}_3\text{O}_{7.5}(\text{OH})_{1.5} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Морфология полученного продукта гидротермальной обработки представлена частицами преимущественно игольчатой формы длиной до 10 мкм и диаметром от 20 до 200 нм (рис.1).

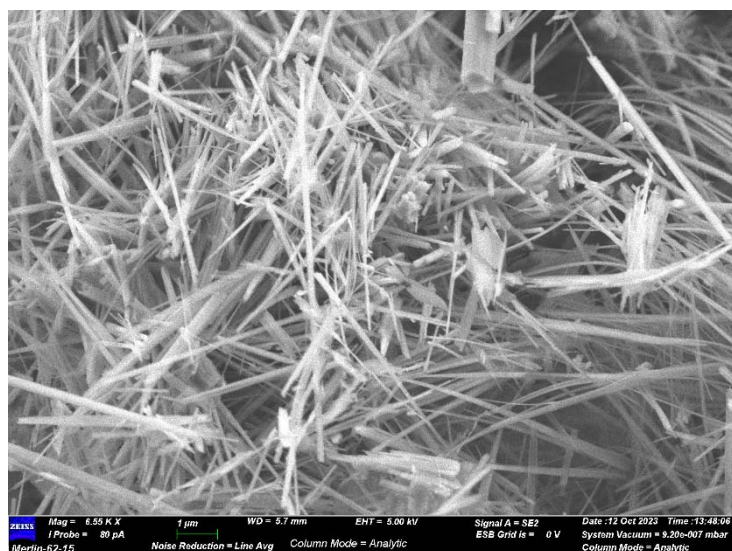


Рис. 1. СЭМ изображение продукта гидротермальной обработки диатомита и мела при температуре 200°C в течение 6 ч

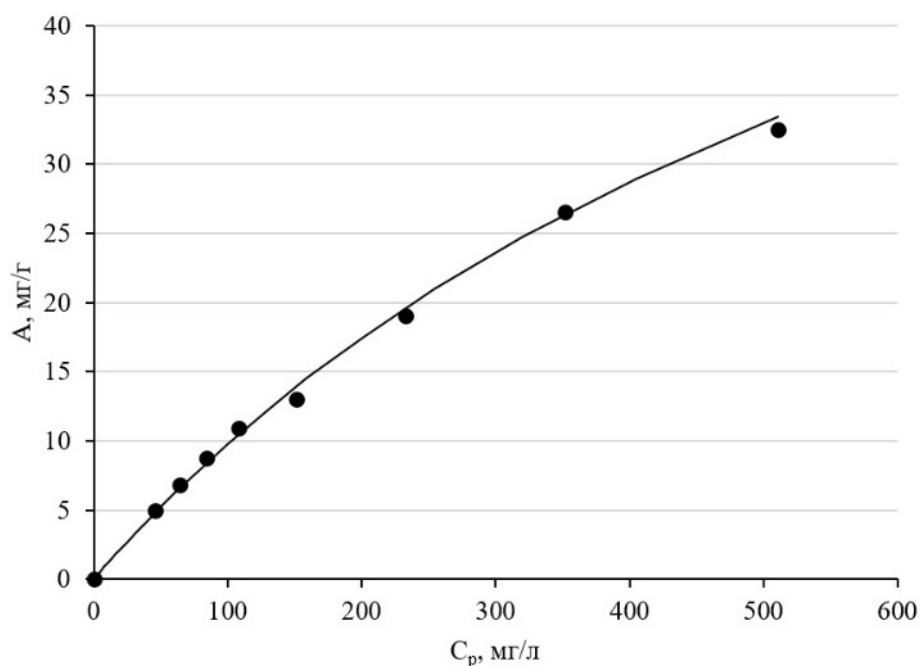


Рис. 2. Изотерма адсорбции метиленового синего

На рис. 2 приведена изотерма адсорбции МС исследуемым материалом. Установлено, что сорбция метиленового синего (МС) на исследуемом продукте происходит по монослойному механизму, что подтверждается видом изотермы, в целом соответствующей модели Ленгмюра (константа $k_L = 13.6 \cdot 10^{-4} \text{ л} \cdot \text{мг}^{-1}$, коэффициент корреляции $R^2 = 0.998$). Значение максимальной сорбционной емкости по МС составляет 81.7 мг/г, что сопоставимо с другими силикатными материалами, близкими по составу, но полученными из диатомита, растительного сырья и промышленных отходов [8, 9, 10].

Исследование выполнено в рамках государственных заданий Института химии ДВО РАН (FWFN(0205)-2022-0002, тема 2, разделы 3, 5) и ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (тема № 124012200182-1).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярусова С.Б., Гордиенко П.С., Панасенко А.Е., Харченко У.В., Беленева И.А., Нехлюдова Е.А. Потенциал использования синтетических силикатов кальция для очистки водных сред от различных поллютантов (глава 24) // Экологические исследования на Дальнем Востоке России: история и современность: монография / под ред. В.Ю. Цыганкова, С.Б. Ярусовой. – Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2022. – 380 с.
1. ISBN 978-5-9736-0685-5; DOI: <https://doi.org/10.24866/0685-5-2022-380>
2. Coleman N.J., D.S. Brassington, A.Raza, A.P. Mendham Sorption of Co²⁺ and Sr²⁺ by waste-derived 11 Å tobermorite // Waste Management.2006. Vol.26. P.260–267.DOI:10.1016/j.wasman.2005.01.019
3. Coleman N.J., Trice C.J., Nicholson J.W. 11 Å tobermorite from cement bypass dust and waste container glass: A feasibility study // International Journal of Mineral Processing.2009. Vol.93. P.73–78. DOI:10.1016/j.minpro.2009.06.002
4. Juan Qin, Sujuan Yuan, Mauricio Córdova-Udaeta, Keishi Oyama, Chiharu Tokoro Highly Efficient Cd²⁺ Removal Using Tobermorite with pH Self-Adjustment Ability from Aqueous Solution // Materials.2023. 16. 1314. <https://doi.org/10.3390/ma16031314>
5. Лебедева Е.Ю., Кобякова А.А., Усова Н.Т., Казьмина О.В. Синтез тоберморитового адсорбента для очистки воды // Известия ТПУ. 2014. №3. С. 137-142 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sintez-tobermoritovogo-adsorbenta-dlya-ochistki-vody> (дата обращения: 11.03.2024).
6. Daniele Malferrari, Fabrizio Bernini, Dario Di Giuseppe, Valentina Scognamiglio, Alessandro F. Gualtieri Al-Substituted Tobermorites: An Effective Cation Exchanger Synthesized from “End-of-Waste” Materials // ACS Omega. 2022. Vol.7. P. 1694–1702. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c04193>
7. Yinusa Daniel Lamidi, Seun Samuel Owoeye, Segun Michael Abegunde Removal of heavy metals (Cd and Pb) from aqueous solutions by adsorption using synthetic tobermorite prepared from bio-municipal wastes as adsorbent // Global Journal of Engineering and Technology Advances. 2021. Vol. 06(01). P. 076–090. DOI: <https://doi.org/10.30574/gjeta.2021.6.1.0002>
8. Maeda H., Ishida E.H. Hydrothermal preparation of diatomaceous earth combined with calcium silicate hydrate gels // Journal of Hazardous Materials. 2011. Vol.185. pp. 858-861. DOI:10.1016/j.jhazmat.2010.09.099
9. Ярусова С.Б., Панасенко А.Е., Харченко У.В., Сомова С.Н., Гордиенко П.С., Земнухова Л.А. Синтез сорбента на основе техногенных отходов и возможности его использования для очистки водных сред от различных поллютантов // Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием молодых ученых и специалистов «Инновационные технологии защиты окружающей среды в современном мире», 18-19 марта 2021 г. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2021. С.542-545. ISBN 978-5-7882-3028-3
10. Terminov S.A., Panasenکو A.E., Kolycheva V.B. Silicates and aluminosilicates from rise waste // The 7th annual student scientific conference in English, Vladivostok. 2020. P. 68–69.