

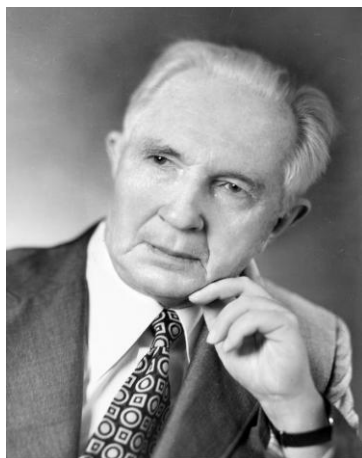
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ОТДЕЛЕНИЕ ХИМИИ И НАУК О МАТЕРИАЛАХ
НАУЧНЫЙ СОВЕТ РАН ПО ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ И ЭЛЕКТРОХИМИИ
ИМ. А.Н. ФРУМКИНА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

XII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДСОРБЦИИ

к 125-летию академика М.М. Дубинина



Мих. Дубинин

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

21 – 24 апреля 2026

г. Москва

Партнеры





**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**



**Российская академия наук
Отделение химии и наук о материалах
Научный совет РАН по физической химии**



**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт физической химии и электрохимии
им. А.Н. Фрумкина Российской академии наук**

**XII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ АДсорбции»**

к 125-летию академика М.М. Дубинина

СБОРНИК ТРУДОВ КОНФЕРЕНЦИИ

21 – 24 апреля 2026

г. Москва, ИФХЭ РАН

СИНТЕЗ СИЛИКАТНО-КАЛЬЦИЕВЫХ СОРБЕНТОВ ИЗ ОТХОДОВ БОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА И ИХ СОРБЦИОННЫЕ СВОЙСТВА

Гриценко П.В.^{1,2}, Андрющенко Э.Н.², Ярусова С.Б.^{1,2}, Панасенко А.Е.¹

¹ *Институт химии ДВО РАН, 690022, Владивосток, Россия*

² *Владивостокский государственный университет, 690014, Владивосток, Россия*

В Российской Федерации, включая Дальневосточный регион, сосредоточены значительные запасы минерального сырья и, соответственно, большие объёмы накопленных отходов, которые в настоящее время практически не перерабатываются. Примером таких многотоннажных отходов являются отходы производства борной кислоты (борогипс), из которых возможно получение силикатов кальция ($n\text{CaO} \cdot m\text{SiO}_2$) – многофункциональных материалов с широким потенциалом применения в различных отраслях промышленности [1].

Целью данной работы является синтез силикатно-кальцевого сорбента (СКС) на основе отходов борного производства и исследование его сорбционных свойств по отношению к метиленовому синему (МС).

Борогипс подвергали щелочной обработке (гидроксид калия) в автоклаве при температурах 120 °С и 200 °С в течение 24 ч [2]. Для изучения адсорбционных свойств образцов использовали метиленовый синий $\text{C}_{16}\text{H}_{18}\text{N}_3\text{SCl}$ («ч.д.а.», $M = 319,85$ г/моль). Концентрация красителя $C_0(\text{МС}) = 852,2$ мг/л. Исследование кинетики сорбции проводили в статических условиях при температурах 20, 40 и 60 °С (соотношение сорбент: раствор 1:1000) в течение 1–60 мин. Оптическую плотность растворов измеряли на спектрофотометре ЗОМЗ КФК-3-01 (Россия) при длине волны 657 нм.

Фазовый состав и плотность полученных в результате щелочной обработки материалов приведены в табл.1.

На рис. 1 приведены кинетические кривые сорбции МС при температурах 20, 40 и 60 °С. Как видно из представленных кинетических кривых, сорбционная емкость достигает максимума в течение 30 мин, возрастая с повышением температуры. Сорбционная емкость СКС, полученного при температуре 120 °С, выше по сравнению с образцом СКС, полученным при 200 °С.

Таблица 1.

Степень прохождения реакции, фазовый состав и плотность осадков, полученных при температурах 120 °С и 200 °С в течение 24 ч

Температура гидротермальной обработки, °С	Степень превращения $\text{KOH } \alpha_t$	Фазовый состав образцов до обжига	Плотность образцов, г/см ³	
			до обжига	после обжига при температуре 1000°С
120	0.87	кальцит CaCO_3 , кварц SiO_2 , тоберморит $9\text{\AA}$ $\text{Ca}_5\text{Si}_6\text{O}_{16}(\text{OH})_2$ триклинной модификации (PDF-2, 01-089-6458)	2.22	2.97
200	0.91	ксонотлит $\text{Ca}_6\text{Si}_6\text{O}_{17}(\text{OH})_2$ моноклинной модификации (PDF-2, 00-023-0125), тоберморит $9\text{\AA}$ $\text{Ca}_4\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ моноклинной модификации (PDF-2, 01-089-6459), скоутит $\text{Ca}_7\text{Si}_6\text{O}_{18}\text{CO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ моноклинной модификации (PDF-2, 01-070-1279)	2.59	3.01

Полученные данные по зависимости сорбционной емкости от температуры и времени сорбции обработаны также в соответствии с кинетическими моделями псевдо-первого и псевдо-второго порядка (табл. 2).

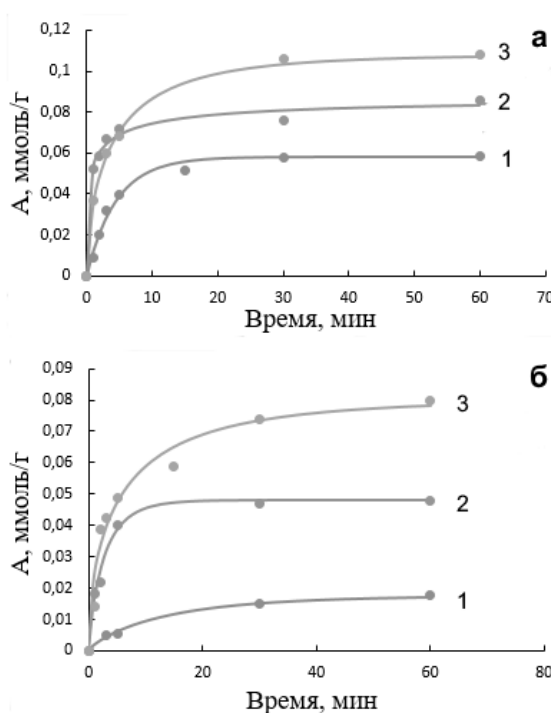


Рисунок 1. Кинетические зависимости сорбции МС при температурах 20 °С, 40 °С и 60 °С образцами СКС, полученными при различных температурах: а – 120 °С, б – 200 °С

Таблица 2. Результаты обработки кинетических кривых адсорбции МС моделями химической кинетики

Образец СКС	Температура, °С	Кинетическая модель					
		Псевдо-первого порядка			Псевдо-второго порядка		
		$A_{равн} \cdot 10^3$, ммоль/г	$k_1 \cdot 10^{-2}$, мин ⁻¹	R^2	$A_{равн} \cdot 10^3$, ммоль/г	k_2 , г·ммоль ⁻¹ ·мин ⁻¹	R^2
120 °С	20	56.6	0.10	0.990	63.7	4.37	0.986
	40	76.5	0.39	0.863	81.4	19.3	0.958
	60	105.6	0.11	0.967	112.7	3.35	0.990
200 °С	20	17.4	0.04	0.990	21.5	3.72	0.996
	40	47.3	0.16	0.983	50.3	10.4	0.979
	60	71.3	0.12	0.947	79.9	4.21	0.973

Из данных, представленных в табл. 2, следует, что процесс сорбции в анализируемом временном интервале наилучшим образом описывается моделью псевдо-второго порядка, о чем свидетельствуют соответствующие коэффициенты корреляции.

Таким образом, подтверждена возможность синтеза силикатно-кальциевых сорбентов на основе отходов борного производства. Гидротермальная обработка смеси борогипса с раствором КОН при температурах 120°С и 200°С приводит к формированию кристаллических силикатов кальция, преимущественно тоберморитовой группы. Результаты работы демонстрируют потенциал использования борогипса в качестве сырья для получения неорганических сорбентов органических красителей.

Финансирование и благодарности

Работа выполнена в рамках гос. задания Института химии ДВО РАН FWFN-2025-0002.

Литература

1. Функциональные керамические и композитные материалы практического назначения: синтез, свойства, применение: монография / под науч. ред. акад. РАН В.И. Сергиенко; отв. ред.: Е.К. Папынов, С.Б. Ярусова. – Владивосток: Изд-во ВВГУ, 2022. – 240 с. ISBN 978-5-9736-0677-0; DOI: <https://doi.org/10/12466/0677-0-2022>
2. Андриященко Э.Н., Достовалов Д.В., Замараева А.В., Шлык Д.Х., Гордиенко П.С., Ярусова С.Б. Получение тоберморита из отходов борного производства // Материалы 3(74-й) региональной итоговой научно-практической конференции преподавателей и студентов БГПУ (г. Благовещенск, 24 апреля 2025 г.). В 2-х частях. Часть 1 – Благовещенск: Благовещенский государственный педагогический университет, 2025. С.254–256.