

## ROLE OF THE SURFACE LAYER OF EPOXY RESIN

E.A. Kambarova <sup>1</sup>\*, N.A. Bektenov <sup>2-3</sup>, M.A. Gavrilenko <sup>4</sup>, G.E. Abdraliyeva <sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>M.Kh.Dulaty Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan

<sup>2</sup>A.B. Bekturov Institute of Chemical Sciences JSC, Almaty, Kazakhstan

<sup>3</sup>Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

<sup>4</sup>National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

<sup>5</sup>Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [ilmira080884@mail.ru](mailto:ilmira080884@mail.ru)

**Abstract.** *Introduction.* Water pollution threatens human health, and the safe supply of drinking water has been recognized as a problem worldwide. The increasing accumulation of heavy metals in water from various sources has led to the search for effective and environmentally friendly treatment methods and materials for their removal. To impart the necessary characteristics to minerals, in particular to improve sorption properties, one of the methods is modification. Modern technologies using sorbents require qualitatively new sorption materials with increased capacity and high selectivity of action. Epoxy resins are widely used as a base material in the coating field due to their advantages including adsorption properties. In this work, shungite from the Koku deposit and Shankhanai zeolite were used as natural sorbents for modification. *The purpose of this work* is to study the interaction of epoxy resin ED-20 with the surface of a natural sorbent through a layer of polyethylene polyamine. *Methodology.* To study the surface of the prepared samples, methods such as infrared spectroscopy, gravimetry and the temperature-programmed desorption method were used. *Results and discussion.* This article presents the results of IR spectroscopic analysis of natural sorbents shungite and zeolite modified with epoxy resin ED-20 and polyethylene polyamine. The obtained surface epoxy layers were studied for resistance to aqueous environments of varying acidity for 90 days. The acid-base properties of the surface layers of modified sorbents were studied by the method of temperature-programmed ammonia desorption. *Conclusion.* By modifying shungites and zeolites with polyethylene polyamine, followed by cross-linking them on the surface of a natural mineral with ED-20 epoxy resin, a durable layer of epoxy resin was obtained.

**Keywords:** sorbents, modification, sorption, shungite, epoxy resin ED-20, polyethylene polyamine.

---

*Elmira Kambarova*

*Master of Chemistry, e-mail: [ilmira080884@mail.ru](mailto:ilmira080884@mail.ru)*

---

*Nesiphan Bektenov*

*Doctor of Chemical Science, Professor, e-mail:  
[bekten\\_1954@mail.ru](mailto:bekten_1954@mail.ru)*

---

*Mikhail Gavrilenko*

*Doctor of Chemical Science, Professor, e-mail: [dce@mail.ru](mailto:dce@mail.ru)*

---

*Abdraliyeva Gulzhan*

*Master of Chemistry, e-mail: [gulzhan.1603@mail.ru](mailto:gulzhan.1603@mail.ru)*

---

**Citation:** Kambarova E. A., Bektenov N. A., Gavrilenko M. A., Abdraliyeva G.E. Role of the surface layer of epoxy resin. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 1(85), 99-108. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-1.2710-1185.10>

## РОЛЬ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ

Э.А. Камбарова<sup>1\*</sup>, Н.А. Бектенов<sup>2,3</sup>, М.А. Гавриленко<sup>4</sup>, Г.Е. Абдралиева<sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>Таразский региональный университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

<sup>2</sup>АО «Институт химических наук имени А.Б. Бектурова», Алматы, Казахстан

<sup>3</sup>Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, Алматы, Казахстан

<sup>4</sup>Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>5</sup>АО «Казахстанско-Британский технический университет», Алматы, Казахстан

\*E-mail:ilmira080884@mail.ru

**Резюме.** *Введение.* Загрязнение воды ставит под угрозу здоровье человека, и безопасное снабжение питьевой водой было признано проблемой во всем мире. Увеличение накопления тяжелых металлов в воде из разных источников привело к поиску эффективных и экологически чистых методов очистки и материалов для их удаления. Для придания необходимых характеристик минералам, в частности улучшения сорбционных свойств, одним из методов является модификация. Современные технологии, использующие сорбенты, требуют качественно новых сорбционных материалов с повышенной емкостью и высокой избирательностью действия. Полимеры эпоксидных смол широко применяются в качестве основного материала в области покрытий благодаря своим преимуществам, включая адсорбционные свойства. В данной работе в качестве природных сорбентов для модификации использовали шунгит Коксуйского месторождения и Шанханайский цеолит. *Целью данной работы* является исследование взаимодействия эпоксидной смолы ЭД-20 с поверхностью природного сорбента через слой полиэтиленполиамина. *Методология.* Для изучения поверхности подготовленных образцов использованы такие методы как инфракрасная спектроскопия, гравиметрия и термопрограммируемый метод десорбции. *Результаты и обсуждение.* В данной статье представлены результаты ИК-спектроскопического анализа природных сорбентов шунгита и цеолита модифицированной эпоксидной смолой ЭД-20 и полиэтиленполиамином. Проведены исследования полученных поверхностных эпоксидных слоев на устойчивость к водной среде разной кислотности в течение 90 дней. Кислотно-основные свойства поверхностных слоев модифицированных сорбентов исследованы методом термопрограммируемой десорбции аммиака. *Заключение.* Модификацией шунгитов и цеолитов полиэтиленполиамином с последующим сшиванием их на поверхности природного минерала эпоксидной смолой ЭД-20 получен прочный слой эпоксидной смолы.

**Ключевые слова:** сорбенты, модификация, сорбция, шунгит, эпоксидная смола ЭД-20, полиэтиленполиамин.

---

*Камбарова Эльмира Абдувалиевна*

*магистр химии*

---

*Бектенов Несипхан Абжапарович*

*доктор химических наук, профессор*

---

*Гавриленко Михаил Алексеевич*

*доктор химических наук, профессор*

---

*Абдралиева Гульжан Ендихановна*

*магистр химии*

---

## 1. Введение

В настоящее время разработаны простые методики синтеза сорбентов с поверхностным слоем органических полимеров различной природы [1]. Разработка таких сорбентов позволяет решать задачи очистки воды [2]. Одним из наиболее удачных вариантов является модифицирование дешевых природных минералов поверхностным слоем полимерной эпоксидной смолы ЭД-20 (далее ЭС ЭД-20) совместно с отвердителем полиэтиленполиамин (далее ПЭПА). Применение таких мономеров позволяет синтезировать высокопрочные сорбенты с широким набором

функциональных групп путем полимер аналогичных превращений их ангидридных групп. Минеральные сорбенты, модифицированные эпоксидными смолами приобретают ряд преимуществ, таких как повышенная прочность, химическая стойкость и устойчивостью к агрессивным средам. Кроме того, это покрытие обеспечивает эффективное удержание вредных веществ и загрязняющих веществ, что делает его применимым в различных областях, таких как защита поверхности от коррозии, очистка воды или воздуха от загрязнителей, а также для улучшения адсорбционных свойств минеральных сорбентов. Сорбенты на основе промышленной смолы ЭД-20 находят широкое применение в различных отраслях индустрии и занимают важное место в ряду промышленных материалов [3].

Образованный поверхностный слой обладает необходимыми характеристиками для сорбции катионов тяжелых металлов из водных растворов. Для получения слоя пространственно-сшитой эпоксидной смолы на поверхность носителя вносят отвердители, которые создают появление сетчатой структуры макромолекул [4]. Дополнительно могут быть внесены добавки полимерных веществ для модификации эпоксидных олигомеров, которые приводят к повышению сорбционных показателей [5]. Перспективным является комплексный подход изучения реакций составных частей (полимерных и минеральных) с дальнейшим исследованием их взаимного влияния [6] и подготовка состава модифицирующего слоя смолы на поверхности сорбентов.

Исследование структуры и особенностей формирования эпоксидных смол на поверхности различных носителей осуществлено с использованием таких методов как электрохимическая импедансная спектроскопия, сканирующая электронная микроскопия и энергодисперсионная рентгеновская спектроскопия [7]. Особенно часто используют методы ИК-спектроскопии, поскольку важным аспектом модифицирования является характеристика функциональных групп поверхностного слоя эпоксидной смолы [8]. Адсорбция на поверхности цеолита лимонной кислоты и дальнейшее полимераналогичное превращение  $-COOH$  групп в предлагаемых условиях приводит к полимеризации ГМА и сшивке продукта, происходящей за счет  $-OH$  групп в 3-положении эпоксидного мономера и поверхностных  $-OH$  групп алюмосиликата. В спектре исходного цеолита присутствуют полосы при  $464, 776 \text{ см}^{-1}$ , характерные для деформационных и валентных колебаний  $Si-OAl$ . Асимметричные валентные колебания связи  $Si-O$  при  $1040 \text{ см}^{-1}$  исчезают с одновременным увеличением интенсивности при  $976 \text{ см}^{-1}$  в результате модификации. В спектре эпоксидного мономера серия частот -  $1328, 1376, 1392, 1408 \text{ см}^{-1}$  характерна для деформационных колебаний групп  $NCH, OCH$ . Наличие в спектрах слабых полос при  $1632$  (двойная связь) и  $976 \text{ см}^{-1}$  (эпоксидная группа) свидетельствует о неполном протекании превращения.

Другим примером является модификация поверхности бентонита в присутствии  $\text{H}_3\text{PO}_4$  эпоксидными соединениями благодаря вовлечению в процесс конденсации большого количества активных центров, равномерному связыванию функциональных групп и сшиванию полимерных цепей. В качестве эпоксидного соединения использовали ГМА, сочетающий в себе двойную связь и реакционноспособное оксирановое кольцо. Адсорбция  $\text{H}_3\text{PO}_4$  на поверхности глины и дальнейшее превращение кислотных групп в предлагаемых условиях приводит к полимеризации ГМА и сшивке мономерных звеньев [9].

В работе [10] приведен пример аналогичного химического взаимодействия ЭС ЭД-20 с верхним слоем аморфного  $\text{Ti}_3(\text{PO}_4)_2$  с разрывом эпоксидного цикла. Полоса поглощения ИК-спектров допускают возможность протекания дополнительных взаимодействий за счет координации через водородные связи при адсорбции на гидроксильных группах поверхности минералов [11]. По интенсивности полосы  $830\text{ см}^{-1}$  связи  $\text{C}-\text{O}-\text{C}$  в эпоксидной группе определяют как количественные показатели реакционно-способных эпоксидных групп в полимере, так и степень олигомеризации слоя смолы [12,13].

Данная работа посвящена изучению свойств поверхности модифицированных шунгитов и цеолитов эпоксидной смолой ЭД-20 и ПЭПА. Методом ИК-спектроскопии изучены механизмы взаимодействия эпоксидной смолы с поверхностью природного сорбента через слой полиамина.

## 2. Экспериментальная часть

В данной работе в качестве природных сорбентов для модификации использовали шунгит Коксуйского месторождения и Шанханайский цеолит. Сорбенты были получены на основе природных минералов модифицированных ЭС ЭД-20 и добавления различного содержания ПЭПА (10 - 30 мас. ч.).

Для синтеза сорбентов использовали следующие химические реактивы: полиэтиленполиамин (ПЭПА, Россия, ТУ 2413-357-00203447-9920), эпоксидная смола (ЭД-20, Россия, ГОСТ 10587-84). Для проведения экспериментальных работ использовали: 5% раствор  $\text{HCl}$ , 5 % раствор  $\text{NaOH}$ , (Sigma-Aldrich, США). Реактивы соответствовали степени чистоты ч.д.а. и использованы без дополнительной очистки.

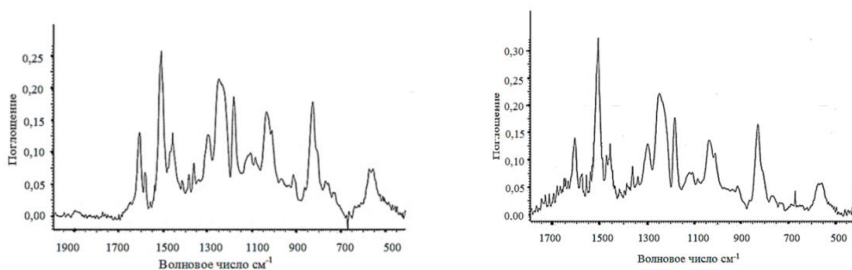
Для исследования текстуры поверхности использован термопрограммируемый метод десорбции (ТПД) [14]. Адсорбцию  $\text{NH}_3$  проводили до насыщения поверхности образцов. Процесс термодесорбции  $\text{NH}_3$  проходил при постоянных скоростях потока  $120\text{ см}^3/\text{мин}$  и обогрева сорбента  $10\text{ град}/\text{мин}$ . Концентрации кислотных центров определяли по количественным значениям  $\text{NH}_3$  соответственно площади пиков ТПД.

ИК-спектральный анализ проводили с использованием спектрофотометра NICOLET5700 (FT-IR) с Фурье-преобразованием по программе OMNIC в области волновых чисел 800–4000 см<sup>-1</sup>.

### 3. Результаты и обсуждение

С помощью метода ИК-спектроскопии изучены механизмы взаимодействия эпоксидной смолы с поверхностью природных сорбентов шунгита и цеолита через слой ПЭПА. Установлено, что независимо от природы носителя (шунгит, цеолит) ИК-спектры поверхностного слоя эпоксидной смолы являются идентичными. Вполне логично, что в отсутствие открытых участков поверхности адсорбция проходит на поверхностном слое ЭД-20 и ее спектр фиксируют на аналитическом оборудовании. В ИК-спектре модифицированного цеолита (рисунок 1а) и шунгита (рисунок 2б) присутствуют полосы поглощения эпокси-группы, валентных колебаний эпоксидного кольца в низкочастотной области - полосы 920 см<sup>-1</sup>, 830 см<sup>-1</sup>, 870 см<sup>-1</sup>, 1186 см<sup>-1</sup>, полоса колебаний соответствует С-О в эпоксидном кольце; 1460 см<sup>-1</sup> указывает на наличие СН- в оксирановом цикле. В спектре эпоксидной смолы не обнаружены полосы 830 см<sup>-1</sup>, 920 см<sup>-1</sup>, 1460 см<sup>-1</sup>, из чего следует механизм реакции между эпоксидной смолой и гидроксильной основой с образованием химической связи с азотсодержащим слоем ПЭПА через раскрытие эпоксидного цикла [15]. В ИК-спектре понижается интенсивность полос 870 и 920 см<sup>-1</sup> (деформационные колебания С-С); повышается интенсивность полосы 1420 см<sup>-1</sup> (искаженные колебания в СН<sub>2</sub>-СО эпоксидной группе), подтверждающие снижение количества эпоксидных групп после разрыва СН<sub>2</sub>-СО цикла.

Отдельно выполнен ИК-спектроскопический анализ поверхностного слоя сорбента на основе эпоксидной смолы ЭД-20 с различным содержанием ПЭПА (10 - 30 мас. ч.). Данный анализ выявил взаимодействия между отвердителем и эпоксидной смолой и образование сетчатой полимерной структуры. Установлены выраженные пики колебаний связей эпоксидной группы —СН<sub>2</sub>—О—СН при 914 см<sup>-1</sup>, С—О при 827 и 1247 см<sup>-1</sup>, —С—Н при 3055 см<sup>-1</sup>. Повышение содержания отвердителя ПЭПА обеспечивает сшивание ЭС ЭД-20 в трехмерную структуру через реакционно-способные участки аминогруппы С—NH<sub>2</sub> в виде широкой полосы 700–900 см<sup>-1</sup>. Отверждение ЭС ЭД-20 полиэтиленполиаминном подтверждено полосами поглощения 862 см<sup>-1</sup> и 875 см<sup>-1</sup>. Полученные результаты позволяют сделать вывод, что понижение количества концентрации полиэтиленполиамин приводит к понижению поперечных сшивок в ЭД-20. Дальнейшее реагирование эпоксидных групп с поверхностью сорбента вызывает образование активных -ОН групп, которые обладают сорбционной способностью по отношению к положительно заряженным катионам металлов.



а б  
**Рисунок 1** – ИК спектр эпоксидной смолы ЭД-20, отвержденной ПЭПА  
 (а-10 мас. ч.; в -30 мас. ч.).

Проведены исследования полученных поверхностных эпоксидных слоев на устойчивость к водной среде, поскольку сорбенты предполагается использовать для очистки природной воды от катионов тяжелых металлов. Исследуемые образцы выдерживали в течение 90 дней в воде разной кислотности (нейтральной, кислой и щелочной), что соответствует большинству природных вод РК. Данные полученных результатов приведены в таблице 1. Эксперимент выявил не значительное повышение массы заявленных образцов в процессе сорбции, что свидетельствует о стабильности как сорбционного слоя ЭД-20. Увеличение веса составило не более 3 % , что свидетельствует об устойчивости сорбционного слоя.

**Таблица 1** – Изменение массы сорбентов с поверхностным слоем эпоксидной смолы ЭД-20 при различной добавке ПЭПА, %

W,пэпа	10 дн.			30 дн.			90 дн.		
	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaOH	H <sub>2</sub> O
10,цеолит	1.25	1.36	0.68	2.44	2.09	1.36	3.69	3.27	2.01
10,шунгит	0.77	0.96	0.68	1.49	1.58	1.37	2.33	2.50	2.11
20,шунгит	1.07	1.15	0.25	2.17	2.08	0.95	3.19	3.17	1.81
30,шунгит	0.97	1.06	0.61	1.83	1.64	1.88	2.18	2.73	3.15

Поверхность модифицированных сорбентов исследовали методом температурно-программированной десорбции (ТПД) NH<sub>3</sub> (**Ошибка! Источник ссылки не найден.**2). На поверхности наблюдается наличие 2 типов кислотных центров. Низкотемпературный пик в диапазоне 463-468 К отнесен к десорбционному процессу NH<sub>3</sub> с льюисовских кислотных центров, а высокотемпературный пик в диапазоне 663-703 К показывает десорбционный процесс с бренстедовских кислотных центров [16].

**Таблица 2** – Количественная оценка кислотных центров на поверхности слоя ЭД-20 с различным содержанием ПЭПА, %

ПЭПА	Е, кДж/моль		С, мкмоль/г		С <sub>общ</sub> , мкмоль/г
	Л-центры	В-центры	Л-центры	В-центры	
0	60±5	92±7	309±35	139±10	448±40
10	64±6	95±8	275±30	203±20	478±40
20	62±6	94±7	429±40	200±20	629±60
30	60±6	90±9	346±35	87±5	433±40

Сорбенты имеют практически одинаковую силу кислотных центров L-типа и незначительно отличаются энергией десорбции аммиака с бренстедовских кислотных центров. Минимальными показателями силы кислотных центров обладает образец 30 % ПЭПА, а максимальными исходный сорбент, причем он обладает наибольшей адсорбционной емкостью и объемом микропор.

#### 4. Заключение

С помощью метода ИК-спектроскопии исследовано взаимодействие эпоксидной смолы с поверхностью природного сорбента через слой полиэтиленполиамиона. Полученные данные свидетельствуют о том, что уменьшение концентрации ПЭПА приводит к снижению количества поперечных сшивок. Последующее контактирование эпоксидных групп с ПЭПА приводит к образованию активных -ОН групп. Поверхность модифицированных ЭС ЭД-20 сорбентов обладает льюисовскими и бренстедовскими кислотными центрами, которые отличаются сорбционной способностью по отношению к положительно заряженным катионам металлов.

**Финансирование:** Работа выполнена в АО «Институт химических наук им. А.Б. Бектурова» в рамках программы целевого финансирования научных исследований на 2023–2025 годы, реализуемой Комитетом науки МНВО РК, по программе BR21882220. (ПЦФ 23-25)

**Конфликт интересов:** Конфликт интересов между авторами отсутствует.

#### ЭПОКСИДТІ ШАЙЫРДЫҢ БЕТКІ ҚАБАТЫНЫҢ РӨЛІ

Э.А. Камбарова <sup>1\*</sup>, Н.А. Бектенов <sup>2-3</sup>, М.А. Гавриленко <sup>4</sup>, Г.Е. Абдралиева <sup>2,5</sup>

<sup>1</sup>М.Х.Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан

<sup>2</sup> «Ә.Б. Бектұров атындағы химия ғылымдары институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

<sup>3</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

<sup>4</sup>Томск политехникалық университеті, Томск, Ресей

<sup>5</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

\*E-mail:ilmira080884@mail.ru

**Түйіндеме.** *Kіріспе.* Судың ластануы адам денсаулығына қауіп төндіреді және ауыз сумен қауіпсіз қамтамасыз ету бүкіл әлемдік өзекті мәселе болып табылады. Өртүрлі көздерден келіп түсетін суда ауыр металдардың көбеюі оларды жоюға арналған тиімді және экологиялық таза тазарту

әдістері мен материалдарды қарқынды іздеуге алып келді. Минералдардың қажетті қасиеттерін арттыру үшін, соның ішінде сорбциялық қасиеттерін жақсартуға арналған әдістердің бірі модификация болып табылады. Сорбенттерді қолданатын заманауи технологиялар, сыйымдылығы жоғары және жоғары селективті, сапалы, жаңа сорбциялық материалдарды қажет етеді. Эпоксидті шайырлар адсорбциялық қасиеттерімен қатар, бірқатар артықшылықтарына байланысты жабу саласында негізгі материал ретінде кеңінен қолданылады. Бұл жұмыста модификациялау үшін табиғи сорбенттер ретінде Көксу кен орнындағы шунгит пен Шанханай цеолиті пайдаланылды. Бұл жұмыстың мақсаты ED-20 эпоксидті шайырының полиэтиленді полиамин қабаты арқылы табиғи сорбент бетімен әрекеттесуін зерттеу болып табылады. *Әдістеме.* Дайындалған үлгілердің бетін зерттеу үшін инфрақызыл спектроскопия, гравиметрия және температуралық бағдарламаланған десорбция әдісі сияқты әдістер қолданылды. *Нәтижелер мен талдау.* Бұл мақалада ЭД-20 эпоксидті шайырымен және полиэтиленді полиаминмен модификацияланған табиғи сорбенттер шунгит пен цеолиттің ИҚ-спектроскопиялық талдау нәтижелері көрсетілген. Алынған беттік эпоксидті қабаттардың 90 күн бойы әртүрлі қышқылдықтағы сулы орталардағы төзімділіктері зерттелді. Модификацияланған сорбенттердің беткі қабаттарының қышқылдық-негіздік қасиеттері температуралық бағдарламаланған аммиақты десорбциялау әдісімен зерттелді. *Қорытынды.* Шунгиттер мен цеолиттерді полиэтиленді полиаминмен модификациялау, кейін оларды табиғи минералдың бетіне ЭД-20 эпоксидті шайырмен айкастыру арқылы эпоксидті шайырдың берік қабаты алынды.

**Түйінді сөздер:** сорбенттер, модификация, сорбция, шунгит, эпоксидті шайыр ЭД-20, полиэтиленполиамин.

<i>Камбарова Эльмира Абдувалиевна</i>	<i>Химия магистрі</i>
<i>Бектенов Несипхан Абжапарович</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Гавриленко Михаил Алексеевич</i>	<i>Химия ғылымдарының докторы, профессор</i>
<i>Абдралиева Гүлжан Ендіханқызы</i>	<i>Химия магистрі</i>

## Список литературы:

- Акимбаева А. М., Ергожин Е. Е. Механохимическая модифицирование природного целита эпоксидной смолой. *Хим. и хим. техн.* **2006**, 49, No. 6, 126-128. <https://cyberleninka.ru/article/n/mehanoхимическое-модифицирование-природного-цеолита-эпоксидной-смолы/viewer> (дата обращения: 03.03.2024).
- Ергожин Е.Е., Чалов Т.К., Мельников Е.А., Хакимбулатова К.Х., Никитина А.И. Сорбция ионов  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  полифункциональными анионитами на основе эпоксидных производных ароматических аминов и полиэтиленмина. *Вода: Хим. и эколог.* **2012**, No. 8, 74-79. <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pbhpfb> (дата обращения: 02.03.2024).
- Камбарова Э.А., Бектенов Н.А., Гавриленко М.А. Модифицированные полиэтиленполиамином и эпоксидной смолой шунгиты для извлечения ионов свинца из сточных вод. *Хим. Журн. Каз.* **2020**, No. 2, 170-179. <https://chemjournal.kz/index.php/journal/article/view/85> (дата обращения: 02.03.2024).
- Крутько Э.Т., Прокопчук Н.Р. Химическая модификация меламиналкидной и эпоксидной смол. *Полим. мат. и техн.* **2017**, 3, No. 1, 47-59. <https://elib.belstu.by/handle/123456789/22320> (дата обращения: 02.03.2024).
- Тхуан Ф.К., Костромина Н.В., Осипчик В.С. Изучение поверхностных свойств наполненных композитов на основе эпоксидного олигомера. *Успехи хим. и хим.техн.*, **2011**, 25, No. 3 (119), 96-101. <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 02.03.2024).
- Эшкурбонов Ф.Б. и др. Синтез и свойства новых ионообменных смол. *Хим. и био.* **2018**, 47, No. 5, Доступно по адресу: <https://7universum.com/ru/nature/archive/item/5820> 23.12.2023 (дата обращения: 02.03.2024).
- Dong Y., Zhou Q., Meng X., Cong C., Su X. Anti-H<sub>2</sub>S corrosion property of bipolar epoxy-resin coatings. *Prog. in Organ. Coat.* **2019**, 130, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.01.036>
- Чашкин М.А., Тринеева В.В., Вахрушина М.А., Захаров А.И., Кодолов В.И. ИК спектроскопическое исследование структуры эпоксидной композиции, модифицированной



медь/углеродным наноккомпозитом, и процессов, связанных с ее модификацией. *Хим. физ. и мезоск.* **2012**, 14, No. 2, 223-230. <https://cyberleninka.ru/article/n/ik-spektroskopicheskoe-issledovanie-struktury-epoksidnoy-kompozitsii-modifitsirovannoy-med-uglerodnym-nanokompozitom-i-protsesov/viewer> (дата обращения: 02.03.2024).

9. Акимбаева А.М., Ергожин Е.Е. Фосфорнокислый органоминеральный катионит на основе бентонита. *Журн. прикл. хим.* **2005**, 79, No. 2, 226-229. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9180646> (дата обращения: 02.03.2024).

10. Урюпина О. Я. *Адсорбционное модифицирование фосфата титана в многокомпонентных полимерных композициях* [автореф. ... канд. хим. наук.]. 02.00.11. Институт физической химии РАН, **1998**, 24с. <https://www.disscat.com/content/adsorbtsionnoe-modifitsirovanie-fosfata-titana-v-mnogokomponentnykh-polimernykh-kompozitsiy>

11. Устинова Т. П. Направленное регулирование структуры и свойств полимерматричных композиционных материалов. *Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та*, **2015**, 21, No. 4, 644 – 652. <https://cyberleninka.ru/article/n/napravlennoe-regulirovanie-struktury-i-svoystv-polimernatrichnyh-kompozitsionnyh-materialov/viewer> (дата обращения: 02.03.2024).

12. Jin F.L., Li X., Park S.J. Synthesis and application of epoxy resins: A review. *J. Ind. Eng. Chem.* **2015**, 29, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.026>

13. Рудаков О. Б. и др. Контроль отверждения эпоксидной смолы по содержанию свободного бисфенола А методом ТСХ. *Анал. и конт.* **2017**, 21, No. 2, 135 – 143. <http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2017.21.2.004>

14. Михайлов С.П., Бровка Р.В., Лакина Н.В. Исследование методов восстановления активности смешенного цеолита MFI-MORD в условиях микроструктурированного реактора в реакции трансформации метанола в углеводороды. *Бюлл. науки и практ.*, **2023**, 9, No. 1, 17-23. <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-vosstanovleniya-aktivnosti-smeshennogo-tseolita-mfi-mord-v-usloviyah-mikrostrukturirovannogo-reaktora-v/viewer> (дата обращения: 02.03.2024).

15. Podkościelna B., Wawrzekiewicz M., Klapiszewski Ł. Synthesis, Characterization and Sorption Ability of Epoxy Resin-Based Sorbents with Amine Groups. *Polym. (Basel)*, **2021**, 27, No. 13, (23), 4139. <https://doi.org/10.3390/polym13234139>

16. Гордина Н. Е., Прокофьев В. Ю. Низкомодульные цеолиты. Структура, свойства, синтез. URSS Красанд, **2018**, 234 с. <https://search.rsl.ru/ru/record/01009493668>

## References

1. Akimbaeva A. M., Ergozhin E. E. Mekhanohimicheskaya modifitsirovanie prirodnogo celita epoksidnoj smoloy. *Him. i him. Tekhn.* **2006**, 49, No. 6, 126- 128. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/mechanohimicheskoe-modifitsirovanie-prirodnogo-tseolita-epoksidnoy-smoloy/viewer> (data obrashcheniya: 03.03.2024).

2. Ergozhin E.E., Chalov T.K., Mel'nikov E.A., Hakimbulatova K.H., Nikitina A.I. Sorbtsiya ionov  $Su^{2+}$  i  $Ni^{2+}$  polifunktsional'nymi anionitami na osnove epoksidnykh proizvodnykh aromatcheskikh aminov i polietilenimina. *Voda: Him. i ekolog.* **2012**, No. 8, 74-79. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=pbhpf> (data obrashcheniya: 02.03.2024).

3. Kambarova E.A., Bektenov N.A., Gavrilenko M.A. Modifitsirovannye polietilenpoliaminom i epoksidnoj smoloy shungity dlya izvlecheniya ionov svinca iz stochnykh vod. *Him. Zhurn. Kaz.* **2020**, No. 2, 170-179. (In Russ.). <https://chemjournal.kz/index.php/journal/article/view/85> (data obrashcheniya: 02.03.2024).

4. Krut'ko E.T., Prokopchuk N.R. Himicheskaya modifikatsiya melaminoalkidnoj i epoksidnoj smol. *Polim. Mat. i tekhn.* **2017**, 3, No. 1, 47–59. (In Russ.). <https://elib.belstu.by/handle/123456789/22320> (data obrashcheniya: 02.03.2024).

5. Thuan F.K., Kostromina N.V., Osipchik V.S. Izuchenie poverhnostnykh svoystv napolnennykh kompozitov na osnove epoksidnogo oligomera. *Uspekhi him. i him. Tekhn.*, **2011**, (In Russ.). 25, No.3, (119), 96-101. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/> (data obrashcheniya: 02.03.2024).

6. Eshkurbanov F.B. i dr. Sintez i svoystva novykh ionoobmennyykh smol. *Him. i bio.* **2018**, 47, No. 5, (In Russ.). Dostupno po adresu: <https://universum.com/ru/nature/archive/item/5820> 23.12.2023 (data obrashcheniya: 02.03.2024).

7. Dong Y., Zhou Q., Meng X., Cong C., Su X. Anti-H<sub>2</sub>S corrosion property of bipolar epoxy-resin coatings. *Prog. in Organ. Coat.* **2019**, 130, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2019.01.036>

8. Chashkin M.A., Trineeva V.V., Vahrushina M.A., Zaharov A.I., Kodolov V.I. ИК спектроскопическое исследование структуры эпоксидной композиции, модифицированной мед/углеродным нанокomпозитом, и процессов, связанных с ее модификацией. *Him. fiz. i mezosk.* **2012**, 14, No. 2, 223-230. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/ik-spektroskopicheskoe-issledovanie-struktury-epoksidnoy-kompozitsii-modifitsirovannoy-med-uglerodnym-nanokompozitom-i-protssessov/viewer> (data obrashcheniya: 02.03.2024).
9. Akimbaeva A.M., Ergozhin E.E. Fosfornikislyj organomineral'nyj kationit na osnove bentonita . *Zhurn. prikl. him.* **2005**, 79, No. 2, 226-229. (In Russ.). <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9180646> (data obrashcheniya: 02.03.2024).
10. Uryupina O. Ya. *Adsorbcionnoe modifitsirovanie fosfata titana v mnogokomponentnykh polimernykh kompozitsiyah* [avtoref. ... kand. him. nauk.]. 02.00.11, Institut fizicheskoy himii RAN, **1998**, 24s. (In Russ.). <https://www.dissercat.com/content/adsorbtsionnoe-modifitsirovanie-fosfata-titana-v-mnogokomponentnykh-polimernykh-kompozitsiya>
11. Ustinova T. P. Napravlennoe regulirovanie struktury i svoystv polimermatrichnykh kompozitsionnykh materialov. *Vestn. Tamb. gos. tekhn. un-ta* **2015**, 21, No. 4, 644 – 652. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/napravlennoe-regulirovanie-struktury-i-svoystv-polimermatrichnyh-kompozitsionnykh-materialov/viewer> (data obrashcheniya: 02.03.2024).
12. Jin F.L., Li X., Park S.J. Synthesis and application of epoxy resins: A review. *J. Ind. Eng. Chem.* **2015**, 29, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.03.026>
13. Rudakov O. B. i dr. Kontrol' otverzheniya epoksidnoj smoly po sodержaniyu svobodnogo bisfenola A metodom TSH. *Anal. i kont.* **2017**, 21, No. 2, 135 – 143. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.15826/analitika.2017.21.2.004>
14. Mihajlov S.P., Brovko R.V., Lakina N.V. Issledovanie metodov vosstanovleniya aktivnosti smeshennogo ceolita MFI-MORD v usloviyah mikrostrukturirovannogo reaktora v reakcii transformacii metanola v uglevodorody. *Byull. nauki i prakt.* **2023**, 9, No. 1, 17-23. (In Russ.). <https://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-metodov-vosstanovleniya-aktivnosti-smeshennogo-tseolita-mfi-mord-v-usloviyah-mikrostrukturirovannogo-reaktora-v/viewer> (data obrashcheniya: 02.03.2024).
15. Podkościelna B., Wawrzkiwicz M., Klapiszewski Ł. Synthesis, Characterization and Sorption Ability of Epoxy Resin-Based Sorbents with Amine Groups. *Polymers (Basel)* **2021**, 27, No. 13, (23), 4139. <https://doi.org/10.3390/polym13234139>
16. Gordina N. E., Prokof'ev V. Yu. Nizkomodul'nye ceolity. *Struktura, svoystva, sintez.* URSS Krasand, **2018**, 234 s. (In Russ.). <https://search.rsl.ru/ru/record/01009493668>