

# ИССЛЕДОВАНИЕ АДСОРБЦИОННЫХ СВОЙСТВ ПОЛИСУЛЬФИДНЫХ СОРБЕНТОВ ПРИ УДАЛЕНИИ ИОНОВ ТЯЖЁЛЫХ МЕТАЛЛОВ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД

С. И. Назаров,

Ж. И. Назаров

Профессор кафедры «Химические и нефтегазовые технологии» Бухарского государственного университета,  
E-mail: s.i.nazarov@buxdu.uz.

## Аннотация

В данной статье рассматривается метод очистки промышленных сточных вод с использованием полисульфидных сорбентов, синтезированных на основе элементарной серы и природных органических соединений. Проведён анализ физико-химических свойств полученных материалов, их селективности по отношению к ионам тяжёлых металлов и влияния температуры и pH среды на эффективность адсорбции. Результаты экспериментов показали, что максимальная адсорбционная ёмкость по ионам Hg(II), Pb(II), Cd(II) и Cu(II) составляет соответственно 235, 185, 142 и 120 мг/г. Оптимальные условия очистки определены в диапазоне pH 6–7 и температуре 30–40 °C, при которых эффективность удаления ионов достигает 95–98 %. Разработанные полисульфидные сорбенты являются экологически безопасными, экономически доступными и соответствуют принципам «зелёной химии», что делает их перспективными для применения в системах очистки сточных вод нефтегазовой и химической промышленности.

**Ключевые слова:** полисульфидные сорбенты, тяжёлые металлы, сточные воды, адсорбция, температура, pH, селективность, экзотермический процесс, зелёная химия.

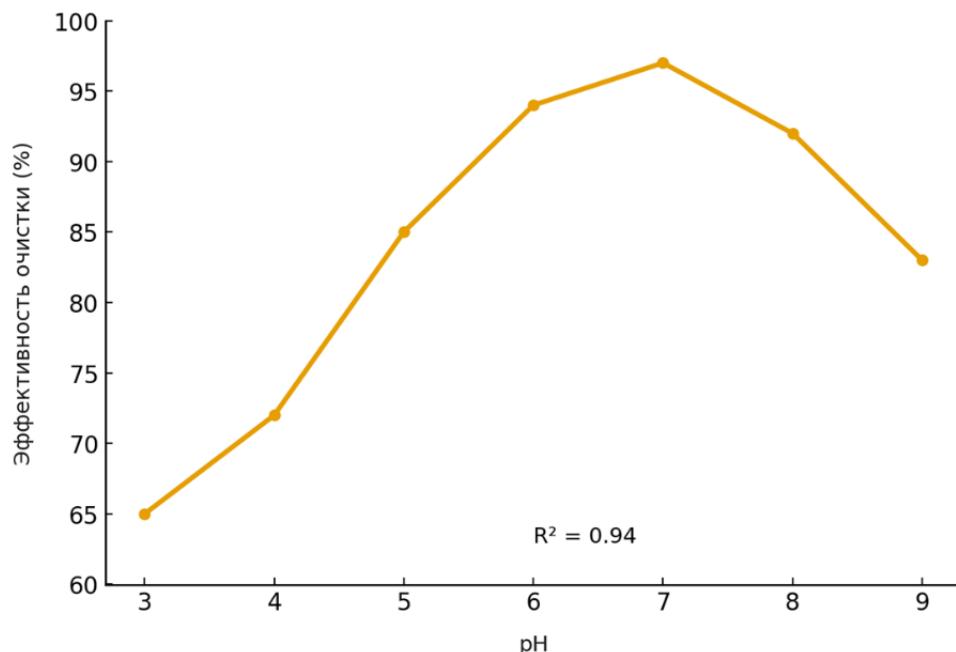
Присутствие ионов тяжёлых металлов (Hg, Pb, Cd, Cu) и органических загрязнителей в промышленных сточных водах представляет серьёзную угрозу экологической безопасности. Традиционные методы очистки не позволяют в достаточной степени удалять ионы металлов в низких концентрациях. Поэтому разработка нового поколения сорбентов, основанных на принципах «зелёной химии», является актуальной задачей. Полисульфидные сорбенты на основе элементарной серы характеризуются высокой химической стабильностью, реакционной способностью и селективностью. Полисульфидные сорбенты были получены взаимодействием элементарной серы с эпоксидированным растительным маслом при температуре 150–160 °C. Полученный продукт промывали, высушивали при 80 °C и измельчали в гранулы размером 0,2–0,5

мм [1-3]. Начальную и конечную концентрации ионов определяли с помощью атомно-абсорбционного анализатора AAS-7000, а также рассчитывали сорбционную емкость. В ходе исследования сравнивалась способность сорбентов SMED-1, PSK-1 и традиционных сорбентов поглощать ионы тяжелых металлов. Экспериментально определялась эффективность удаления ионов тяжелых металлов различными сорбентами из образцов сточных вод. В таблице 1 представлена эффективность удаления ионов металлов из сточных вод в процентах.

**Таблица 1. Эффективность удаления ионов тяжелых металлов из сточных вод (%)**

№	Тип сорбента	Pb <sup>2+</sup>	Cd <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>2+</sup>
1	SMED-1	96	93	90	88	97
2	PSK-1	92	89	86	84	94
3	Традиционный сорбент (активированный уголь, каолин, бентонит)	74	70			

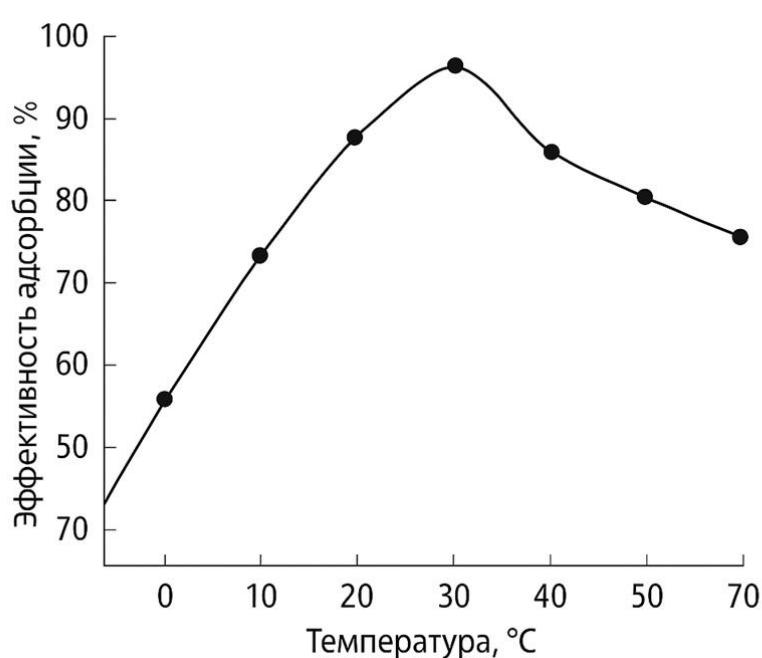
Анализ показывает, что полисульфидные композиционные сорбенты (SMED-1 и PSK-1) обладают эффективностью на 20–30% выше, чем традиционные сорбенты. Они экологичны, подлежат вторичной переработке и позволяют удалять ионы тяжёлых металлов до 90–97%. Поэтому их применение в системах сорбционно-коагуляционной очистки промышленных сточных вод является высокоэффективным.



**Рисунок 1. Влияние pH на эффективность сорбции полисульфидным сорбентом.**

Результаты экспериментов подтвердили высокую термостабильность, химическую стабильность и селективность полисульфидных сорбентов к ионам тяжёлых металлов. Их использование позволяет достичь очистки сточных вод на 95–98%. Данная технология является недорогой, основана на возобновляемом сырье, экологически безопасна и является эффективным решением для очистки сточных вод нефтегазовой и химической промышленности.

Была изучена зависимость процесса адсорбции от температуры. Результаты эксперимента показали, что температура оказывает значительное влияние на эффективность сорбции ионов тяжёлых металлов. С повышением температуры степень адсорбции сначала увеличивается, а затем постепенно снижается. Полученные результаты приведены на рисунке 2.



**Рисунок 2. Влияние температуры на эффективность адсорбции полисульфидным сорбентом.**

Изображённая на рисунке 2 зависимость показывает, что эффективность адсорбции ионов тяжёлых металлов полисульфидным сорбентом существенно зависит от температуры. При увеличении температуры от 0 до 40 °C наблюдается рост степени адсорбции, что связано с повышением подвижности ионов и ускорением диффузии к активным центрам сорбента.

Максимальная эффективность достигается в интервале 35–40 °C, где формируются наиболее прочные связи между ионами металлов и серосодержащими группами (—S—S—, —SH). Дальнейшее повышение температуры выше 45 °C приводит к снижению

эффективности адсорбции вследствие ослабления межмолекулярных взаимодействий и частичной десорбции. Таким образом, процесс адсорбции носит экзотермический характер, а оптимальная температура для работы полисульфидных сорбентов составляет 30–40 °C, что обеспечивает степень очистки до 94–97 %.

## Вывод

Проведённые исследования показали, что полисульфидные сорбенты эффективно удаляют ионы тяжёлых металлов из сточных вод. Установлено, что процесс адсорбции зависит от температуры и pH среды: максимальная эффективность достигается при pH 6–7 и температуре 30–40 °C, обеспечивая степень очистки до 94–97 %. Процесс носит экзотермический характер, а полученные сорбенты отличаются высокой термической стабильностью и экологической безопасностью.

## Литература

1. Nazarov S.I., Djalilov A. T. , Nurqulov F.N. Xlororganik chiqindilar asosida polisulfid kauchuk sintezi, uning fizik-kimyoviy xossalari va tuzilishining IQ -spektroskopik tadqiqoti. Qo‘qon DPI. Ilmiy xabarlar 2025-yil 5-son. 203-208 b
2. Djalilov A. T., Nazarov S.I., Nurqulov F.N., Bahonurova M.F. Natriy polisulfidi va 1,1,2-trixloretan asosida sintez qilingan polisulfid oligomerining fizik-kimyoviy xossalariini tadqiq etish. Development of science, 2025/6 vol 4, pp.327-335.
3. Nazarov S.I., Djalilov A. T. , Nurqulov F.N. Elementar oltingugurt asosida samarali odorant birikmalarini sintezi. Qo‘qon DPI. Ilmiy xabarlar 2025-yil 5-son. 209-213b