

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2024, Том 16, № 4 / 2024, Vol. 16, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2024.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/53NZVN424.pdf>

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Гаевая, Е. В. Исследование закономерностей изменения компонентного состава углеводородов нефтяных фракций в буровом шламе при внесении глауконита / Е. В. Гаевая, Л. В. Рудакова // Вестник евразийской науки. — 2024. — Т. 16. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/53NZVN424.pdf>

For citation:

Gaevaya E.V., Rudakova L.V. Study of the patterns of change in the component composition of hydrocarbons of oil fractions in drilling mud with the introduction of glauconite. *The Eurasian Scientific Journal*. 2024;16(4): 53NZVN424. Available at: <https://esj.today/PDF/53NZVN424.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

Гаевая Елена Викторовна

ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», Тюмень, Россия

Доцент

Кандидат биологических наук, доцент

E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0631-9149>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=816670

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190855584>

Рудакова Лариса Васильевна

ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Пермь, Россия

Заведующий кафедрой «Охрана окружающей среды»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=423174

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55970746100>

Исследование закономерностей изменения компонентного состава углеводородов нефтяных фракций в буровом шламе при внесении глауконита

Аннотация. Одной из наиболее актуальных проблем при обеспечении геоэкологической безопасности при бурении нефтяных скважин является утилизация буровых шламов. Буровые шламы оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, связанное прежде всего с их физико-химическими свойствами. Буровой шлам на углеводородной основе представлял собой тёмно-серую массу с запахом нефти. В состав бурового раствора на углеводородной основе входит дизельное топливо, которое в своём составе имеет парафиновые углеводороды до 40 %, нафтеновые углеводороды до 55 %, ароматические углеводороды до 5 %. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама состоял из низкомолекулярных и высокомолекулярных фракций нефти. Установлено, что внесение природного сорбента глауконита в разных объёмных долях приводило к снижению концентрации нефтепродуктов в буровых шламах. При этом отмечается, что увеличение массы внесённого глауконита способствовало значительному снижению массовой концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах. Максимальная эффективность снижения нефтепродуктов наблюдалась на 28-й день исследования и составила 79,9 %. Выявлено, что внесение глауконита в объёмной доле 20 % способствовало достоверному снижению компонентного состава углеводородов нефтяных фракций на 28-й

день исследования. В период проведения исследований отмечалось отсутствие десорбции, что связано макроструктурой и объёмной массой глауконита. Разработана и экспериментально апробирована математическая модель снижения содержания нефтепродуктов в буровых шламах в зависимости от периода исследований и нормы внесения глауконита. Полученные результаты позволяют рассматривать глауконит в качестве эффективного сорбента при утилизации буровых шламов.

Ключевые слова: буровой шлам; раствор на углеводородной основе; глауконит; нефтепродукты; математическая модель

Одной из наиболее актуальных проблем при обеспечении геоэкологической безопасности при бурении нефтяных скважин является снижение уровня опасности при обращении с промышленными отходами [1]. Одним из таких видов отходов являются буровые шламы, представляющие собой частицы выбуренной горной породы, взвешенные в буровом растворе.

Буровые шламы оказывают значительное негативное воздействие на окружающую среду, связанное прежде всего с их физико-химическими и токсическими свойствами. При оценке токсичности шламов решающую роль играет присутствие в них нефтяных углеводородов, токсичных компонентов буровых растворов и тяжёлых металлов. Химические свойства буровых шламов в значительной степени зависят от состава горной породы, от технологии бурения, в частности, от типа применяемого бурового раствора. Воздействие буровых шламов на окружающую среду, особенно на состояние почвы, является отрицательным. Основные факторы, приводящие к ухудшению состояния почвенного покрова — это загрязняющие компоненты буровых шламов и растворов, такие как нефтепродукты. Нефтепродукты могут мигрировать в почве как вертикальном, так и горизонтальном направлении.¹

Буровые растворы используются для транспортировки выбуренной горной породы, поддержания пластового давления в нужных пределах, а также охлаждения оборудования. Буровой раствор представляет собой сложную многокомпонентную дисперсную систему жидкостей, включающих твёрдые вещества, растворенные в жидкости (например, в воде или в нефти) или в эмульсиях с химическими добавками [2].

Нефть и нефтепродукты в буровой шлам попадают из буровых растворов на углеводородной основе, шлам в своём составе содержит глинистые минералы, которые обладают высокими сорбционными свойствами. По данным авторов, содержание нефтепродуктов в буровом шламе колеблется в пределах от 0,2 до 1,5 % [3; 4]. Отмечается, что нефтепродукты в шламе представлены в основном парафино-нафтеновыми углеводородами (из которых 20 % — твёрдые парафины), асфальтенами (5,6 %), смолами (19,2 %), полициклическими ароматическими углеводородами (20,1 %) [5].

Среди способов снижения нефтепродуктов в нефтезагрязнённых почвах и грунтах, наиболее эффективным является сорбционный. Он имеет ряд преимуществ: возможность удаления загрязнений самой широкой природы до любых остаточных концентраций, управляемость процессом, отсутствие вторичных загрязнений [6–8].

¹ Остах, О.С. Эколого-экономический потенциал технологий утилизации буровых шламов: 03.02.08 «Экология» дисс. ... канд. техн. наук / О.С. Остах; ФГАОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа НИУ имени И.М. Губкина». — Москва, 2021 г. — 184 с.

С целью снижения нефтепродуктов в нефтезагрязненных почвах и грунтах используют различные природные, минеральные и синтетические сорбенты: торф, опилки, диатомит, вермикулит, цеолит и т. д. [9–11]. В то же время остаётся малоизученным вопрос снижения концентрации нефтепродуктов в буровых шламах, которые используют в качестве техногенных грунтов для восстановления нарушенных земель.

Материалы исследования

Объектом исследования был буровой шлам, образованный с использованием раствора на углеводородной основе. В состав бурового раствора входит дизельное топливо, которое в своём составе имеет парафиновые углеводороды до 40 %, нафтеновые углеводороды до 55 %, ароматические углеводороды до 5 %. При проведении исследований было произведено смешение бурового шлама и глауконита в разном процентном соотношении: (95 %:5 %); (90 %:10 %); (85 %:15 %); (80 %:20 %). Характеристика глауконита представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика глауконита

Наименование показателя	Характеристика сорбента
Состав	SiO ₂ , Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃ , MgO, CaO, K ₂ O, Na ₂ O, MnO, P ₂ O ₅
Размер по фракциям, мм	0,03–0,65
Удельная поверхность, м ² /г	180–200
Насыпная плотность, т/м ³	1,3–1,4
Сорбционная ёмкость, %	не менее 100 от массы

Составлено авторами

Исследование нефтепродуктов осуществляли в соответствии с ПНД Ф 16.1:2.2.2.3:3.64-10, компонентный состав углеводородов нефтяных фракций определяли на хроматографе Кристаллюкс-4000М.

Результаты и обсуждение

Буровой шлам представлял собой тёмно-серую массу с запахом нефти, влажность которого на период исследования составила 42 %. Содержание нефтепродуктов в буровом шламе было 0,34 %. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама состоял из фракций C12–C32 и относился к низкомолекулярной (C5–C20) с содержанием 57,5 % и высокомолекулярной (> C20) до 38,3 % фракциям нефти. Высокомолекулярные парафины (> C20) отличаются тем, что имеют длительный период разложения и окисления на воздухе. К низкомолекулярной фракции нефти (алканы, алкены и ароматические углеводороды нефти) относятся C5–C20, характеризуется токсичностью, но за короткий период легко разлагаются за счёт улётучивания.

Одним из основных показателей эффективности сорбционного материала является его сорбционная способность (нефтеёмкость), которая зависит от удельной поверхности. Глауконит обладает удельной поверхностью 180–200 м²/г, сорбционная ёмкость составляет не менее 100 % от массы. Благодаря этим свойствам, а также слоистой структуре глаукониты характеризуются высокой сорбционной способностью по отношению к нефтепродуктам.

По результатам проведённых исследований установлено, что внесение природного сорбента глауконита в разных объёмных долях приводило к снижению концентрации нефтепродуктов в буровых шламах. При этом отмечается, что увеличение массы внесённого глауконита способствовало значительному снижению массовой концентрации нефтепродуктов в исследуемых образцах. Результаты исследований содержания нефтепродуктов в буровом шламе при внесении глауконита представлены на рисунке 1.

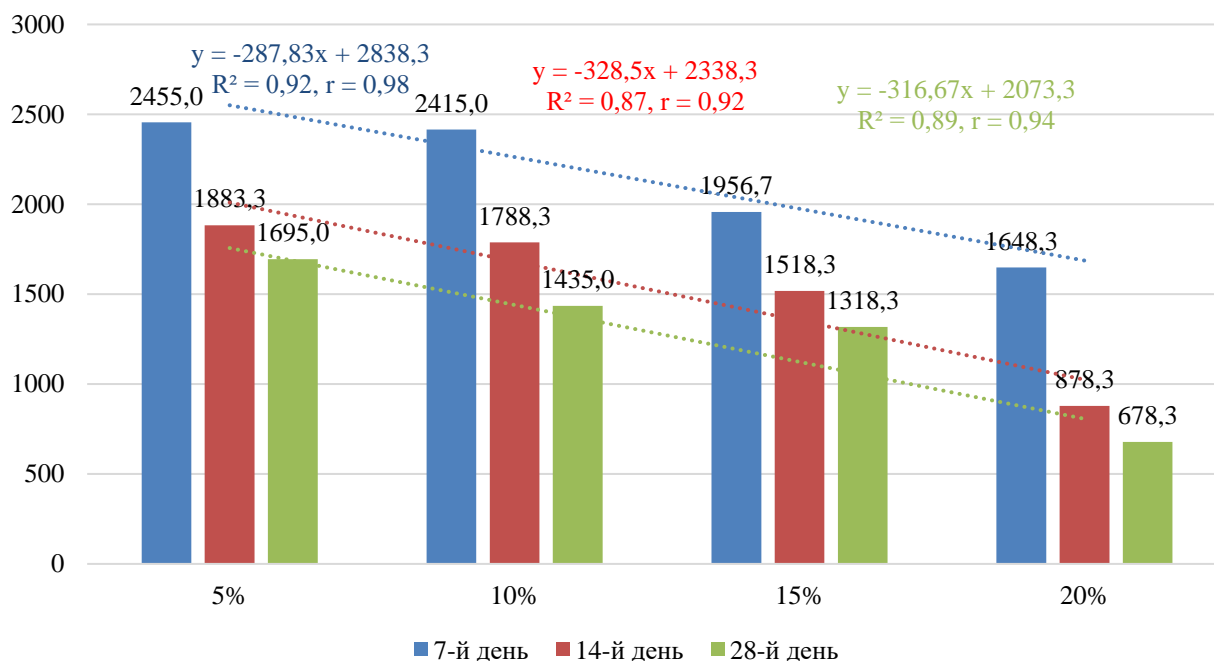


Рисунок 1. Концентрация нефтепродуктов (мг/кг) в буровом шламе при внесении глауконита в разных объёмных долях на 7-й, 14-й и 28-й день (составлено авторами)

Внесение глауконита указывает на снижение содержания нефтепродуктов в зависимости от объёмной доли природного сорбента 5–20 %, коэффициент корреляции составил $r = 0,92–0,98$, что указывает на прямую сильную связь. Коэффициент детерминации составил от 0,87 до 0,92 и имел высокую значимость модели. Максимальная эффективность снижения нефтепродуктов наблюдалась на 28-й день исследования и составила 79,9 % (рис. 2).

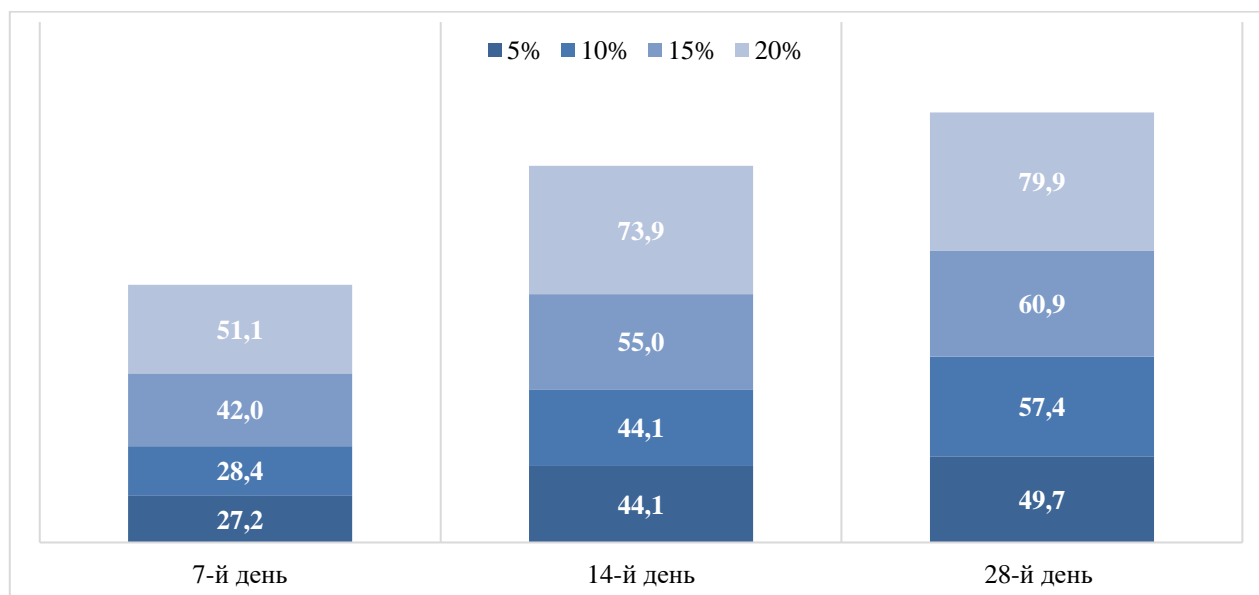


Рисунок 2. Эффективность снижения нефтепродуктов в буровом шламе, % (составлено авторами)

В рамках проведения исследования был изучен компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита в объёмной доле от 5 % до 20 %, в период исследований с 7 по 28-й день (рис. 3–6).

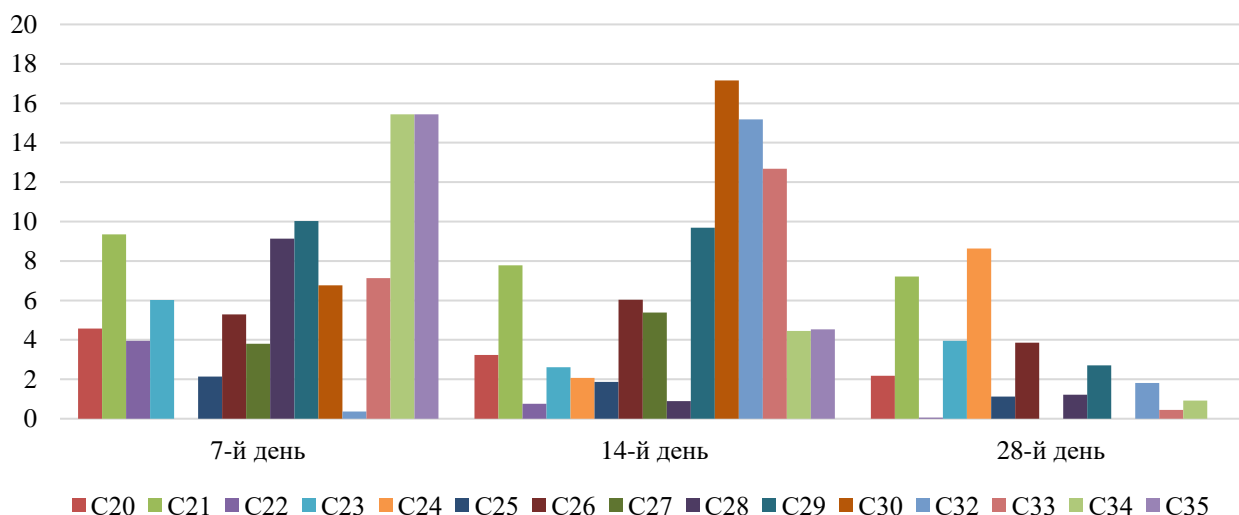


Рисунок 3. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита в объёмной доле 5 % (составлено авторами)

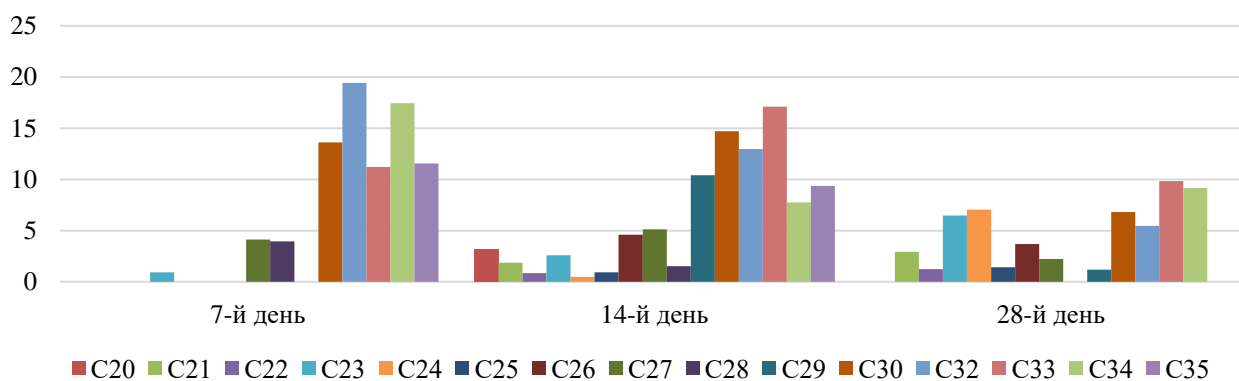


Рисунок 4. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита в объёмной доле 10 % (составлено авторами)

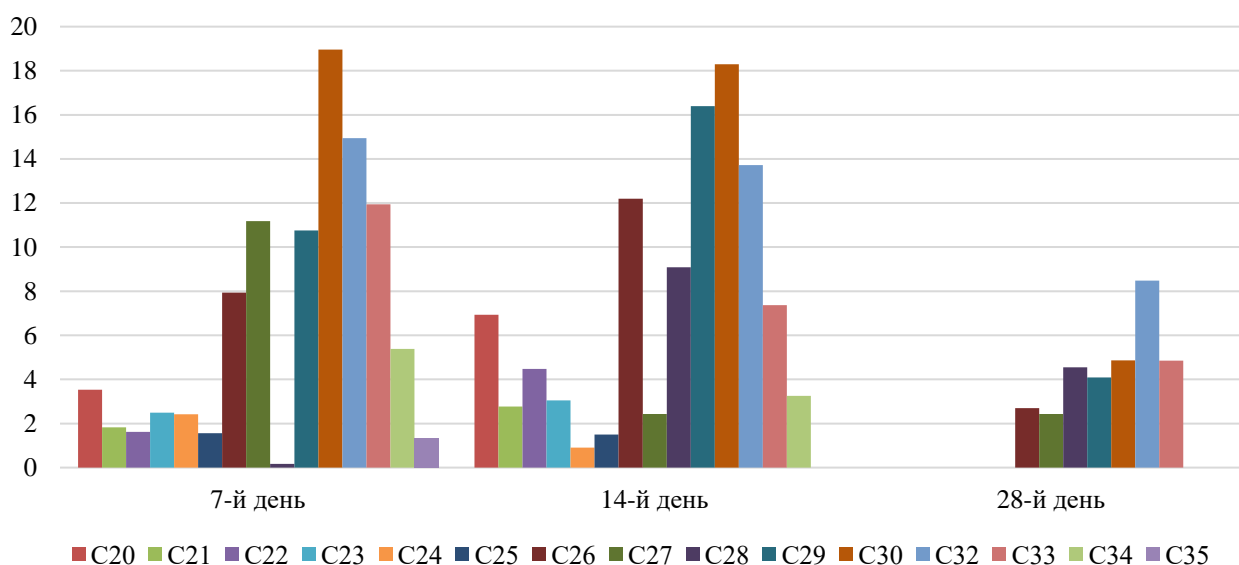


Рисунок 5. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита в объёмной доле 15 % (составлено авторами)

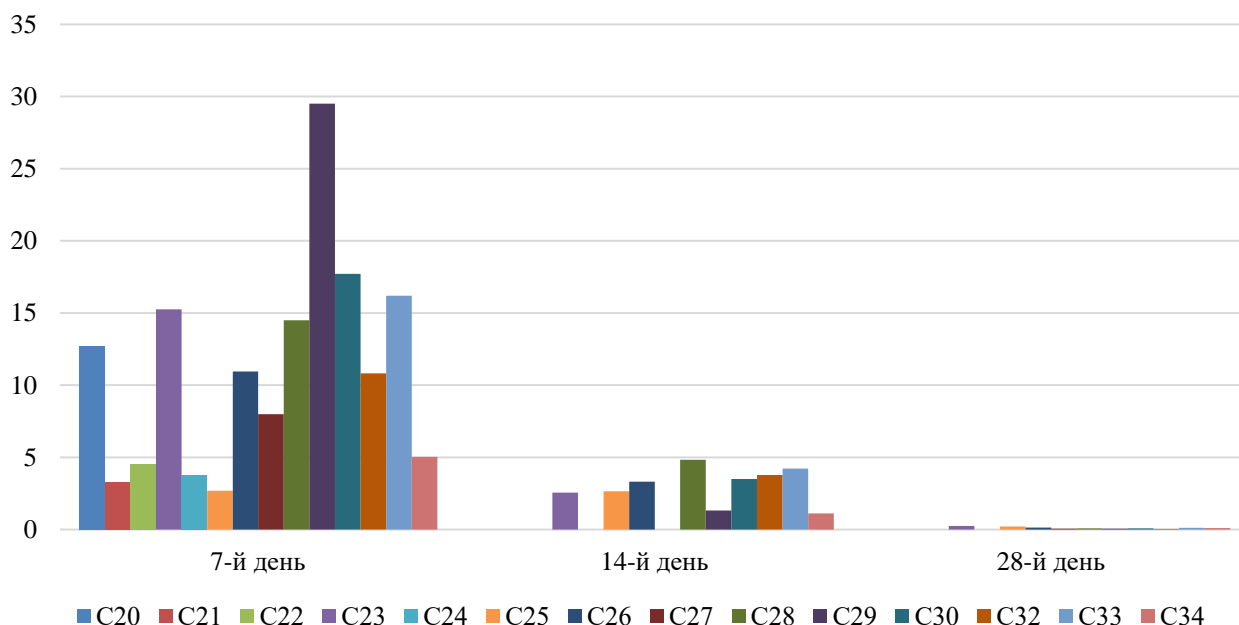


Рисунок 6. Компонентный состав углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита в объёмной доле 20 % (составлено авторами)

Исследования компонентного состава углеводородов нефтяных фракций бурового шлама при внесении глауконита 5–20 % указывают, что наблюдались только высокомолекулярные фракции (C20–C38), данные фракции относятся к длительному периоду разложения. В тоже время отмечается, что внесение глауконита в объёмной доле 20 % способствовало достоверному снижению углеводородов нефтяных фракций на 28-й день исследования.

При внесении глауконита в разных соотношениях в буровой шлам выявлено, что максимальное снижение концентрации нефтепродуктов было на 28-й день проведения исследований. Высокая степень снижения концентрации нефтепродуктов указывает на эффективность внесения природного сорбента.

При использовании природных сорбентов для снижения нефтепродуктов в буровом шламе, под его воздействием происходит изменение концентрации нефтепродуктов, кроме того, часть компонентов нефти может разлагаться под действием физико-химических факторов. Математическая модель представляет систему обыкновенных дифференциальных уравнений. Основным способом решения такого рода систем являются численные методы [12].

На процесс снижения содержания нефтепродуктов в буровом шламе могут влиять следующие факторы: физико-химические факторы; внесение глауконита в буровой шлам; разбавление бурового шлама при внесении глауконита.

В соответствии с этим рассматривалась следующая математическая модель снижения нефтепродуктов в буровом шламе:

$$C(t) = C_1(t) + C_2(t) + C_3(t), \quad (1)$$

$$\frac{dC_1(t)}{dt} = -\frac{k}{\mu} C_1(t), \quad (1)$$

$$\frac{dC_2(t)}{dt} = -\lambda C_2(t), \quad (3)$$

$$\frac{dC_3(t)}{dt} = -\alpha C_3(t), \quad (4)$$

где $C_1(t)$ — концентрация нефтепродуктов, разлагаемая под действием физико-химических факторов; $C_2(t)$ — концентрация нефтепродуктов после внесения глауконита в буровой шлам; $C_3(t)$ — концентрация нефтепродуктов в результате разбавления бурового шлама при внесении глауконита.

Далее были проведены исследования по изучению динамики снижения нефтепродуктов в лабораторных условиях (т. е. в буровом шламе без глауконита). В предположении, что часть нефтепродуктов разлагается за счёт физико-химических факторов, была рассмотрена следующая математическая модель:

$$\frac{dC(t)}{dt} = kC_0 - \mu C(t), \quad (6)$$

где $C(t)$ — концентрация нефтепродуктов в момент времени t . При приближении к коэффициенту k/μ отношения $C(t)/C_0$ скорость снижения нефтепродуктов падает. Таким образом, отношение коэффициентов k/μ показывает, какая часть нефтепродуктов разлагается (испаряется) в лабораторных условиях в буровом шламе. Расчёт отношения k/μ составил $0,88 \pm 0,01$, разложение нефтепродуктов за счёт испарения и фотохимических эффектов составило 11 %. По экспериментальным исследованиям производили расчёты коэффициентов δ и λ (варьируются в зависимости от объёмной доли внесения глауконита 5–20 %) и $\alpha = 0,02$.

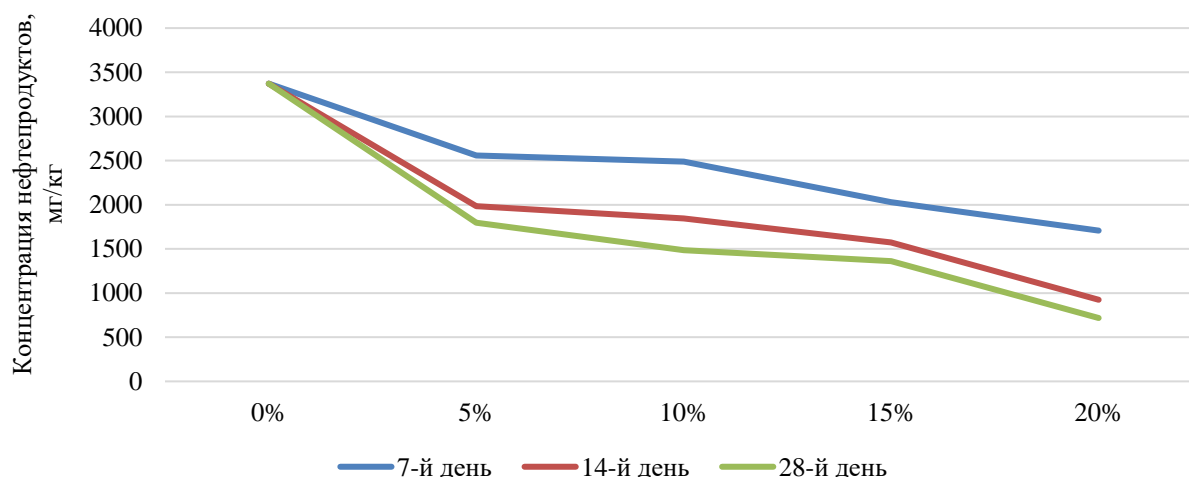


Рисунок 7. Динамика изменения концентрации нефтепродуктов в буровом шламе при внесении глауконита. Значения коэффициентов: $\delta = 1,05$, $\alpha = 0,02$ (составлено авторами)

Рассмотрим влияние природного минерального сорбента на снижение нефтепродуктов в буровом шламе, для этого $C(t)$ — концентрация содержания нефтепродуктов в момент времени t . Для описания данных процессов предлагается следующая математическая модель:

$$\frac{dC(t)}{dt} = \frac{dC_1(t)}{dt} - \frac{dC_2(t)}{dt} - \frac{dC_3(t)}{dt}, \quad (6)$$

$$\begin{cases} \frac{dC_1(t)}{dt} = -\delta C_1(t), \\ \frac{dC_2(t)}{dt} = -\lambda C_2(t), \\ \frac{dC_3(t)}{dt} = -\alpha C_3(t). \end{cases}$$

Начальные условия уравнений имеют вид:

$$C(0) = C_0, C_1(0) = \delta C_0, C_2(0) = \lambda C_0, C_3(0) = \alpha C_0.$$

где $C_1(t)$ — концентрация нефтепродуктов в буровом шламе; $C_2(t)$ — концентрация нефтепродуктов в буровом шламе при внесении глауконит; $C_3(t)$ — концентрация нефтепродуктов в буровом шламе в результате разбавления при внесении сорбента; λ — коэффициент скорости снижения нефтепродуктов, зависящий от объёмной доли внесения глауконита; δ — коэффициент, зависящий от характера загрязнения и свойств бурового шлама; α — коэффициент, зависящий от разбавления бурового шлама при внесении сорбента; t — время (в дн.).

Для проверки адекватности построенной модели реальным процессам были проведены численные эксперименты при начальных условиях, что отвечало условиям с разным объёмом внесения глауконита. Расчёты показали достоверное согласование с лабораторными исследованиями и экспериментальными результатами (рис. 7).

Таким образом, построенная модель адекватно описывает динамику изменения концентрации нефтепродуктов в буровом шламе при внесении глауконита.

Заключение

Таким образом, в ходе проведённых исследований было установлено, что внесение глауконита в объёмных долях 5–20 % в буровой шлам на углеводородной основе положительно сказывалось на снижении концентрации нефтепродуктов. Установлена прямая зависимость интенсивности снижения массовой концентрации нефтепродуктов от объёмной доли внесённого глауконита и периода проведения исследований. Эффективность снижения нефтепродуктов достигала до 79,9 %. В период проведения исследований отмечалось отсутствие десорбции, что связано макроструктурой и объёмной массой сорбентов.

Разработана и экспериментально апробирована математическая модель снижения содержания нефтепродуктов в буровых шламах в зависимости от периода исследований и нормы внесения глауконита. Полученные результаты позволяют рассматривать глауконит в качестве эффективного сорбента при утилизации буровых шламов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев А.В., Тупицына О.В. Экологическое воздействие буровых шламов и подходы к их переработке // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2014. — Т. 16. — № 5 — С. 308–313.
2. Пичугин Е.А. Система управления нефтесодержащими отходами с использованием экологически безопасной технологии их утилизации // Экология и промышленность России. — 2014. — № 11. — С. 32–35.
3. Сакаева Э.Х., Рудакова Л.В. Оценка биологической активности техногрунтов на основе буровых шламов для рекультивации нарушенных земель // Теоретическая и прикладная экология. — 2020. — № 4. — С. 192–197. doi: 10.25750/1995-4301-2020-4-192-197.
4. Мещеряков С.В., Гонопольский А.М., Осташ С.В., Осташ О.С. Прогнозно-аналитическая оценка распространения загрязнения за пределы шламонакопителей промышленных предприятий // Экология и промышленность России. — 2017. — Т. 21. — № 10. — С. 22–27.
5. Ягафарова Г.Г., Баракшина В.Б. Утилизация экологически опасных буровых отходов // Нефтегазовое дело. — 2006. — № 2. — С. 48–61.

6. Марченко Л.А. Исследование возможности сорбционной очистки при ликвидации нефтяных загрязнений / Л.А. Марченко, Е.А. Белоголов, А.А. Марченко, О.Н. Бугаец, Т.Н. Боковинова // Научный журнал КубГАУ. — 2012. — № 84(10). — С. 23–32.
7. Gaevaya E., Tarasova S., Bytsko A. The environmental impact of drilling sludge and ways of their utilization // Journal of Ecological Engineering. — 2019. — Т. 20. — № 7. — С. 26–30.
8. Бобренко И.А., Павлова Е.Ю. Проблема повышения экологической безопасности при обращении с отходами бурения на территории Западной Сибири // Омский научный вестник. — 2015. — № 1(138). — С. 198–202.
9. Пашаян А.А., Нестеров А.В. Создание нефтепоглощающих сорбентов совместной утилизацией древесных опилок и нефтяных шламов // Вестник технологического университета. 2017. — Т. 20. — № 9. — С. 144–147.
10. Якубовский С.Ф., Булавка Ю.А., Попкова Л.А., Писарева С.С. Сорбционные свойства природных целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов для сбора проливов нефтепродуктов // Вестник Полоцкого государственного университета. Серия В. — 2013. — С. 110–114.
11. Сергеева Е.С. Исследование поглощающих свойств сорбентов для ликвидации разливов нефтепродуктов // Вода: химия и экология. — 2010. — № 8. — С. 32–36.
12. Водопьянов В.В., Гузаиров М.Б. Моделирование процессов управления биологическим разложением нефти в загрязненной почве // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2008. Т. 4. № 1. С. 94–98.

Gaevaya Elena Viktorovna

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia

E-mail: gaevajaev@tyuiu.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0631-9149>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=816670

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57190855584>

Rudakova Larisa Vasilievna

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russia

E-mail: larisa.rudakova.007@gmail.com

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=423174

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55970746100>

Study of the patterns of change in the component composition of hydrocarbons of oil fractions in drilling mud with the introduction of glauconite

Abstract. One of the most pressing issues in ensuring geocological safety during oil well drilling is the disposal of drill cuttings. Drill cuttings have a significant negative impact on the environment, primarily due to their physical and chemical properties. Hydrocarbon-based drill cuttings were a dark gray mass with an oil odor. The hydrocarbon-based drilling mud included diesel fuel, which contained up to 40 % paraffinic hydrocarbons, up to 55 % naphthenic hydrocarbons, and up to 5 % aromatic hydrocarbons. The component composition of hydrocarbons in the oil fractions of drill cuttings consisted of low-molecular and high-molecular fractions of oil. It was found that the introduction of the natural sorbent glauconite in different volume fractions led to a decrease in the concentration of oil products in drill cuttings. It was noted that an increase in the mass of the introduced glauconite contributed to a significant decrease in the mass concentration of oil products in the samples studied. The maximum efficiency of oil product reduction was observed on the 28th day of the study and amounted to 79,9 %. It was revealed that the introduction of glauconite in a volume fraction of 20 % contributed to a reliable reduction in hydrocarbons of oil fractions on the 28th day of the study. During the study, there was no desorption, which is due to the macrostructure and bulk density of glauconite. A mathematical model for reducing the content of oil products in drill cuttings depending on the study period and the rate of glauconite introduction was developed and experimentally tested. The obtained results allow us to consider glauconite as an effective sorbent for the disposal of drill cuttings.

Keywords: drilling mud; hydrocarbon-based solution; glauconite; petroleum products; mathematical model