

*Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 148-156.
ISSN 1998-8443 (print)*

*Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products. 2023. Issue 5 (145). P. 148-156.
ISSN 1998-8443 (print)*

Научная статья

УДК 504.064.45

doi: 10.17122/ntj-oil-2023-5-148-156

EDN: DSCKSW

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕАГЕНТНОГО КАПСУЛИРОВАНИЯ БУРОВЫХ ОТХОДОВ

Илида Рустамовна Даниева¹, Юлия Альбертовна Валиахметова²,
Лилия Рамилевна Акчурина³

^{1, 2, 3}Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия

¹ilida.danieva@yandex.ru

²yuliavaliakhmetova@mail.ru

³akchurina_lr@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: **Илида Рустамовна Даниева**,
ilida.danieva@yandex.ru

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме накопления и утилизации отходов, образующихся в результате бурения нефтяных скважин. Исследована степень воздействия отходов бурения на окружающую среду и проанализированы существующие методы их утилизации.

Целью работы является исследование процесса реагентного капсулирования буровых отходов. Приведены результаты лабораторных исследований по получению грунтовой смеси и возможности его дальнейшего применения без ущерба для окружающей среды.

Ключевые слова: буровые отходы, утилизация, грунтовая смесь, метод реагентного капсулирования, сырье для производства строительных материалов

© Даниева И. Р., Валиахметова Ю. А., Акчурина Л. Р., 2023

Для цитирования: Даниева И. Р., Валиахметова Ю. А., Акчурина Л. Р. Исследование процесса реагентного капсулирования буровых отходов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2023. Вып. 5 (145). С. 148-156. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-148-156>.

Original article

INVESTIGATION OF DRILLING WASTE REAGENT ENCAPSULATION PROCESS

Ilida R. Danieva¹, Yulia A. Valiakhmetova², Lilia R. Akchurina³

^{1,2,3}Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

¹ilida.danieva@yandex.ru

²yuliavaliakhmetova@mail.ru

³akchurina_lr@mail.ru

Corresponding author: **Ilida R. Danieva**, ilida.danieva@yandex.ru

Abstract. The article is devoted to an actual problem of accumulation and disposal of drilling waste resulting from oil well drilling. The degree of drilling waste impact on the environment is investigated and the existing methods of their disposal are analyzed.

The aim of the work is to study the drilling waste reagent encapsulation process. The results of laboratory studies on soil mixture obtaining and the possibility of its further use without damage to the environment are presented.

Keywords: drilling waste, disposal, soil mixture, reagent encapsulation method, raw materials for construction material production

For citation: Danieva I. R., Valiakhmetova Yu. A., Akchurina L. R. Issledovanie protsessa reagennogo kapsulirovaniya burovyykh otkhodov [Investigation of Drilling Waste Reagent Encapsulation Process]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2023, Issue 5 (145), pp. 148-156. [in Russian]. <http://doi.10.17122/ntj-oil-2023-5-148-156>.

Введение

В современном мире одним из востребованных природных ресурсов является нефть и продукты ее переработки, которые находят широкое применение во всех отраслях промышленности. Несмотря на ценность данного продукта, в условиях масштабной добычи углеводородного сырья образуется значительное количество промышленных отходов.

По статистическим данным, в процессе строительства одной нефтяной скважины образуется около 4,5 тыс. м³ буровых отходов. Буровые отходы оказывают негативное влияние на все компоненты живой природы, в частности на животный и растительный мир, водные объекты, почвенный покров и на экосистему в целом. Негативное воздействие может усиливаться в результате действия специальных химических реагентов, повышающих реологические свойства, но в то же время обладающих повышенной токсичностью. Известно, что буровые растворы включают в среднем 20 химических компонентов, способных загрязнять почву, подземные во-

ды и горные породы, и приводят к геохимическому видоизменению геологической среды.

В России ежегодно образуется от 10 млн до 25 млн т буровых отходов, из которых утилизируются не более 10 %. Существующие методы утилизации отходов представлены на рисунке 1.

Несмотря на большое разнообразие методов переработки и обезвреживания нефтяных отходов уникального метода не существует. У каждого из методов имеются как преимущества, так и недостатки, которые зависят от климатических и геологических особенностей местности, структуры используемого бурового раствора, назначения предприятия и других условий.

На выбор способа влияет также дальность расположения буровых станций относительно друг друга, издержки (транспортные и энергетические) на материализацию того или иного способа. Одним из перспективных направлений утилизации буровых отходов является использование их в качестве сырья для производства строительных материалов, в частности, полученных методом реагентного капсулирования [1, 2].

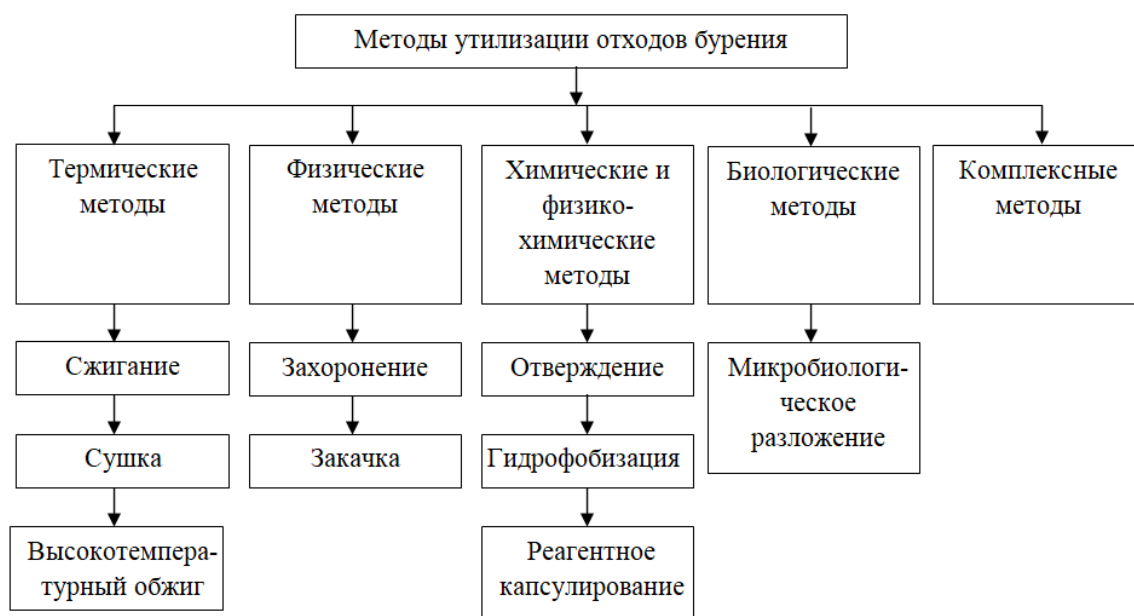


Рисунок 1. Методы утилизации отходов бурения

Figure 1. Methods of drilling waste disposal

В связи с вышесказанным целью работы является исследование процесса реагентного капсулирования буровых отходов.

В качестве объекта исследования были выбраны образцы буровых отходов, отобранные на территории Республики Башкортостан (Арланское месторождение).

На начальном этапе исследований были определены физико-механические характеристики образцов буровых отходов в соответствии с действующими методиками [3-9]. Результаты исследования свойств отобранных проб представлены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-механические характеристики образцов буровых отходов

Table 1. Physical and mechanical characteristics of drilling waste samples

Показатель	Единица измерения	Обозначения образцов буровых отходов	
		образец № 1	образец № 2
Плотность	г/см ³	2,619	1,137
Влажность	%	19	20,97
Содержание нефти	мг/кг	8500	7740
Содержание хлоридов	мг/л	2 041,25	1420
Содержание механических примесей	%	90	85
Содержание воды	%	13	8
pH		6,94	7,18

Как видно из анализа таблицы 1, образцы буровых отходов характеризуются высоким содержанием нефтепродуктов, хлоридов и механических примесей, а также низкой влажностью и нейтральным pH.

На втором этапе осуществлялся поиск и подбор реагентов для проведения процесса

капсулирования, определялось их оптимальное соотношение, которое было обусловлено химическим составом и физико-химическими характеристиками буровых отходов, климатическими факторами и возможностями использования местных ресурсов.

Исследования проводили в лабораторных условиях. Общий алгоритм процесса реагентного капсулирования осуществлялся в несколько стадий.

На первой стадии осуществлялся процесс обезвреживания входящих в состав образцов буровых отходов опасных компонентов с целью предотвращения попадания их в окружающую среду и воздействия на нее при дальнейшем использовании. Для этого к буровым отходам добавляли негашеную известь, при этом происходит процесс гомогенизации до получения смеси однородного состава. При добавлении к образованной смеси воды протекает экзотермическая химическая реакция. Образующийся гидроксид кальция ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) вступал в реакцию с углекислым газом, содержащимся в воздухе окружающей среды, и на поверхности буровых отходов осуществлялось формирование прочных, водонепроницаемых и биологически нейтральных для окружающей среды микрокапсул из карбоната кальция [10]. Соотношения буровых отходов и извести, которые использовались с целью получения капсулированного материала, представлены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика составов реагента капсулирования

Table 2. Comparative characteristics of encapsulation reagent compositions

Образец	Количество буровых отходов, г	Количество CaO , г	Соотношение
1	50	50	1 : 1
2	50	25	2 : 1
4	50	17	3 : 1
3	50	12,5	4 : 1
5	50	10	5 : 1

На второй стадии для повышения прочности получаемого материала в полученную смесь вносили цементную пыль - отход крупнотоннажного производства цемента.

Цементная пыль обладает вяжущими свойствами и, вступая в реакцию с исходной смесью, образует однородную прочную структуру.

Для определения необходимого количества цемента проведена серия опытов (таблица 3).

На третьей стадии для дополнительной защиты материала от воздействия негативных геоэкологических факторов окружающей природной среды и усиления прочности добавляли жидкое натриевое стекло. Натриевое стекло характеризуется повышенной клейкостью и хорошим взаимодействием с различными минералами.

Таблица 3. Сравнительная характеристика составов реагента капсулирования и цемента

Table 3. Comparative characteristics of the compositions of the encapsulation reagent and cement

Образец	Количество капсулированного материала, г	Количество цемента, г
1	75	1
2	75	3
3	75	5
4	75	7
5	75	9

Используя результаты эксперимента, была построена диаграмма (рисунок 2), позволяющая определить минимальное количество жидкого стекла для получения безопасного техногенного грунта.

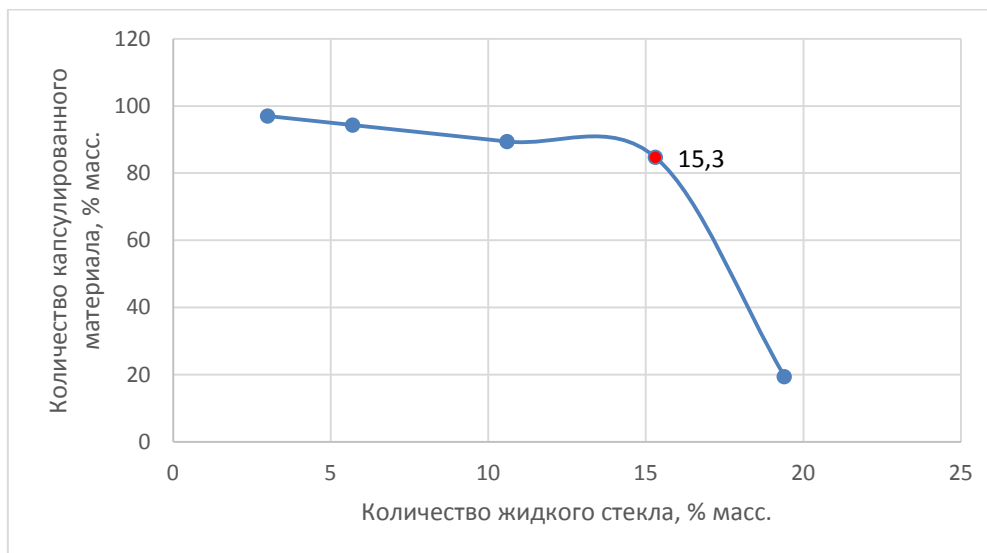


Рисунок 2. Диаграмма зависимости необходимого количества жидкого стекла для обезвреживания буровых отходов

Figure 2. Diagram of the dependence of the required amount of liquid glass for drilling waste neutralization

В результате исследований был получен образец грунтовой смеси (рисунок 3).



Рисунок 3. Образец грунтовой смеси

Figure 3. Sample of the soil mixture

Оптимальное соотношение компонентов грунтовой смеси, при котором микрокапсулы, образованные в результате химической реакции, являлись герметичными, а процесс обезвреживания считался полностью завершенным, составил:

буровые отходы - 51,02 % масс.;
оксид кальция - 25,51 % масс.;
цемент - 8,16 % масс.;
жидкое стекло - 15,3 % масс.

Полученный техногенный грунт, произведенный с использованием буровых отходов, исследовали на водостойкость. Исследование микрокапсул на герметичность проводилось по органолептическим показателям, которые проявляются после помещения капсулированного материала в водную среду на 24 ч. Основными показателями для анализа являлись: наличие мутности раствора, наличие нефтяной пленки на поверхности воды и запаха нефти, отсутствие проявления которых свидетельствовало о надежной изоляции загрязняющих веществ внутри микрокапсул. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты исследований микрокапсул на герметичность

Table 4. Results of microcapsule tightness test

Массовое содержание жидкого стекла, добавляемого в капсулированный материал, % масс.	Показатели анализа		
	Мутность раствора	Наличие нефтяной пленки	Наличие запаха нефти
3,0	+	+	+
5,7	+	+	+
10,6	+	-	-
15,3	-	-	-
19,4	-	-	-

Как видно из анализа таблицы 4, выделение токсичных компонентов практически не происходит, опасность для окружающей среды минимальна.

Была также проведена оценка токсичности грунтовой смеси. Биотестирование проводили по стандартной методике [11] на приборе «Биотестер-2» с использованием в качестве тест-объекта инфузорий - *Paramecium caudatum*. Индекс токсичности составил 0,36, что свидетельствует об экологической безопасности предлагаемой грунтовой смеси.

Определение гранулометрического (зернового) состава проводили ситовым методом [12], разделением грунта на фракции без промывки водой. Гранулометрический состав грунта определяли по массовому содержанию в нем частиц различной крупности, выраженному в процентах по отношению к массе сухой пробы грунта.

Результат исследования представлен в таблице 5.

Таблица 5. Гранулометрический состав грунта

Table 5. Granulometric composition of the soil

Показатели	Фракции грунта, мм							
	более 10	10-5	5-2	2-1	1-0,5	0,5- 0,25	0,25-0,1	менее 0,1
Масса пробы грунта, г	433							
Масса фракции, г	2	3	34	57	59	67	131	80
Содержание фракции А, %	0,5	0,7	7,8	13,1	13,6	15,5	30,2	18,5

По результатам исследований, фракции размерами 0,05-2 мм составили 72,4 %, фракции размерами более 0,7 мм составили 81,5 %.

Исследуемая субстанция по характеристикам аналогична мелкому песку.

Полученный материал может использоваться в качестве сырья при производстве строительных материалов, наполнителя для отсыпки и выравнивания ландшафта, а также для обустройства оснований в дорожном строительстве.

Вывод

Таким образом, исследован метод утилизации буровых отходов с получением техногенного грунта, основанный на обезвреживании буровых отходов щелочной добавкой (негашеной известью) и повышении прочностных характеристик с помощью цементной пыли и жидкого стекла. Использование буровых отходов в качестве компонента грунтовой смеси является перспективным направлением его утилизации и позволит в будущем сократить объемы накопления отходов.

Список источников

1. Шарова О.А. Экологические аспекты процесса бурения и способы утилизации буровых отходов // Геология, география и глобальная энергия. 2009. № 4. С. 29-36. EDN: LHMWPH.
2. Онофриенко С.А., Крымов А.В. Современные способы утилизации буровых отходов // Булатовские чтения. 2021. № 1. С. 361-363. EDN: WTPMQH.
3. ГОСТ 3900-85. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности. М.: Стандартинформ, 2006. 36 с.
4. ГОСТ 5180-2015. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М.: Стандартинформ, 2016. 23 с.
5. ПНД Ф 16.1.41-04. Количественный химический анализ почв. Методика выполнения измере-

References

1. Sharova O.A. Ekologicheskie aspekty protsessa bureniya i sposoby utilizatsii burovyykh otkhodov [Environmental Aspects of the Drilling Process and Methods of Disposal of Drilling Waste]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya - Geology, Geography and Global Energy*, 2009, No. 4, pp. 29-36. EDN: LHMWPH. [in Russian].
2. Onofrienko S.A., Krymov A.V. Sovremennye sposoby utilizatsii burovyykh otkhodov [Modern Methods of Drilling Waste Disposal]. *Bulatovskie chteniya - Readings of A.I. Bulatov*, 2021, No. 1, pp. 361-363. EDN: WTPMQH. [in Russian].
3. *GOST 3900-85. Neft' i nefteprodukty. Metody opredeleniya plotnosti* [State Standard 3900-85. Oil and Oil Products. Methods for Determining Density]. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 36 p. [in Rus-

ний массовой концентрации нефтепродуктов в пробах почв гравиметрическим методом. М., 2004. 13 с.

6. ГОСТ 26425-85. Почвы. Методы определения иона хлорида в водной вытяжке. М.: Издательство стандартов, 1985. 9 с.

7. ГОСТ 6370-2018. Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей. М.: Стандартинформ, 2018. 13 с.

8. ГОСТ Р 52911-2013. Топливо твердое минеральное. Определение общей влаги. М.: Стандартинформ, 2014. 14 с.

9. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, pH и плотного остатка водной вытяжки. М.: Стандартинформ, 2011. 6 с.

10. Ягафарова Г.Г., Сафаров А.Х., Московец А.В., Акчурина Л.Р., Федорова Ю.А., Акчурина Д.Х. Отходы нефтегазового комплекса в дорожном строительстве // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 8. С. 9-11. EDN: SJMXVV.

11. ПНД ФТ 16.2:2.2-98. Методика определения токсичности проб почв, донных отложений и осадков сточных вод экспресс-методом с применением прибора «Биотестер». М., 1998. 21 с.

12. ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. М.: Стандартинформ, 2019. 23 с.

sian].

4. GOST 5180-2015. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya fizicheskikh kharakteristik [State Standard 5180-2015. Soils. Methods for Laboratory Determination of Physical Characteristics]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 23 p. [in Russian].

5. PND F 16.1.41-04. Kolichestvennyi khimicheskii analiz pochv. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi kontsentratsii nefteproduktov v probakh pochv gravimetricheskim metodom [PND F 16.1.41-04. Quantitative Chemical Analysis of Soils. Methodology for Measuring the Mass Concentration of Oil Products in soil Samples by the Gravimetric Method]. Moscow, 2004. 13 p. [in Russian].

6. GOST 26425-85. Pochvy. Metody opredeleniya iona khlorida v vodnoi vytyazhke [State Standard 26425-85. Soils. Methods for Determining the Chloride Ion in an Aqueous Extract]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1985. 9 p. [in Russian].

7. GOST 6370-2018. Neft', nefteprodukty i prisadki. Metod opredeleniya mekhanicheskikh primesei [State Standard 6370-2018. Oil, Oil Products and Additives. Method for Determination of Mechanical Impurities]. Moscow, Standartinform Publ., 2018. 13 p. [in Russian].

8. GOST R 52911-2013. Toplivo tverdoe mineral'noe. Opredelenie obshchei vlagi [State Standard R 52911-2013. Solid Mineral Fuel. Determination of Total Moisture]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 14 p. [in Russian].

9. GOST 26423-85. Pochvy. Metody opredeleniya udel'noi elektricheskoi provodimosti, pH i plotnogo ostatka vodnoi vytyazhki [State Standard 26423-85. Soils. Methods for Determining the Electrical Conductivity, pH and Dense Residue of Aqueous Extract]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 6 p. [in Russian].

10. Yagafarova G.G., Safarov A.Kh., Moskovets A.V., Akchurina L.R., Fedorova Yu.A., Akchurina D.Kh. Otkhody neftegazovogo kompleksa v dorozhnom stroitel'stve [Waste of Oil and Gas Complex in Road Construction]. Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse - Environment Protection in Oil and Gas Complex, 2014, No. 8, pp. 9-11. EDN: SJMXVV. [in Russian].

11. PND FT 16.2:2.2-98. Metodika opredeleniya toksichnosti prob pochv, donnykh otlozhenii i osadkov stochnykh vod ekspress-metodom s primeneniem pribora «Biotester» [PND FT 16.2:2.2-98. Method for Determining the Toxicity of Soil Samples, Bottom Sediments and Sewage Sludge by an Express Method Using the Biotester Device]. Moscow, 1998. 21 p. [in Russian].

12. GOST 12536-2014. Grunty. Metody laboratornogo opredeleniya granulometricheskogo (zernovogo) i mikroagregatnogo sostava [State Standard 12536-2014. Soils. Methods for Laboratory Determination of Granulometric (Grain) and Microaggregate Composition]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 23 p. [in Russian].

Информация об авторах

• Даниева Илида Рустамовна
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Магистрант кафедры «Прикладная экология»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: ilida.danieva@yandex.ru

• Валиахметова Юлия Альбертовна, кандидат
технических наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: yuliavaliakhmetova@mail.ru

• Акчурина Лилия Рамилевна, кандидат
технических наук
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
Доцент кафедры «Прикладная экология»
Россия, 450064, Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: akchurina_lr@mail.ru

Information about the authors

• Danieva Ilida R.
Ufa State Petroleum Technological University
Undergraduate Student of Applied Ecology
Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: ilida.danieva@yandex.ru

• Valiakhmetova Yulia A., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: yuliavaliakhmetova@mail.ru

• Akchurina Lilia R., Candidate of Engineering
Sciences
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Applied Ecology Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064, Russia
e-mail: akchurina_lr@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.05.2023; одобрена после рецензирования 20.06.2023; принята к публикации 01.07.2023.

The article was submitted 29.05.2023; approved after reviewing 20.06.2023; accepted for publication 01.07.2023.