

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198

EDN: WYLLTO

УДК 504.06

Научная статья / Research article

Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения

О.С. Выродов¹, Ю.Е. Токач¹, Ю.К. Рубанов¹,
Е.А. Пендюрин¹, Г.Р. Федюк²

¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова,
Белгород, Российская Федерация

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Российская Федерация
 iogig@yandex.ru

Аннотация. Ежегодно в результате проведения буровых работ в связи с вводом в эксплуатацию новых месторождений на предприятиях ПАО «Газпром» образуются до нескольких миллионов тонн отходов бурения. Отходы бурения составляют до 63 % от общего объема образующихся отходов. Согласно экологическим отчетам ПАО «Газпром», до 23 % объема отходов бурения остается на объектах хранения. В то же время данные виды отходов могут быть утилизированы в качестве сырья для производства обжиговых строительных материалов и другими способами. Цель исследования – определение биотоксичности водных вытяжек обжиговых материалов строительного назначения на основе буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения для последующей оценки возможности утилизации данных шламов при производстве различных функциональных материалов строительного назначения. Объектом исследования являлись отходы бурения, образовавшиеся при бурении разведывательных скважин газоносного пласта Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения с глубины 3400–3800 м на объектах ООО «Газпром добыча Ямбург». Исследование биотоксичности образцов бурового шлама проводилось с использованием в качестве тест-объектов *Daphnia magna Straus*. Для исключения влияния pH среды исследованы образцы водных вытяжек буровых растворов с уровнем pH от 5,45 (исходный буровой раствор) до 12,6 (исходная вытяжка), а также вытяжки, нейтрализованные до pH 6,5–7,2. В растворах с исходным уровнем pH процент гибели дафний свидетельствует о негативном воздействии щелочной среды. Анализируемые среды не оказывают острого токсического действия на гидробионты. Высокотемпературная обработка дает возможность получения функциональных материалов строительного назначения с низким уровнем биотоксичности и влияния на живые организмы, что является важным аспектом разработки технологий утилизации отходов бурения ПАО «Газпром» с высокой долей вовлечения в технологический процесс переработки потенциального отхода.

© Выродов О.С., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Пендюрин Е.А., Федюк Г.Р., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Ключевые слова: буровой шлам, биотестирование, *Daphnia magna Straus*, тест-функция, токсические эффекты

Вклад авторов. Выродов О.С. — проведение экспериментов, подготовка и создание рукописи, визуализация данных. Токач Ю.Е. — идея исследования, подготовка и создание рукописи. Рубанов Ю.К. — редактирование текста. Пендюрин Е.А. — консультирование, подготовка и создание рукописи. Федюк Г.Р. — сбор статистических данных, подготовка и создание рукописи. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Благодарности и финансирование. Работа выполнена в рамках программы «Приоритет 2030» на базе Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова с использованием оборудования Центра высоких технологий БГТУ им. В.Г. Шухова.

История статьи: поступила в редакцию 29.08.2024; доработана после рецензирования 10.06.2025; принята к публикации 20.11.2025.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Выродов О.С., Токач Ю.Е., Рубанов Ю.К., Пендюрин Е.А., Федюк Г.Р. Оценка биотоксичности строительных материалов на основе отходов бурения Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 1. С. 184–198. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198> EDN: WYLLTO

Assessment of the biotoxicity of drilling waste from the Yamburgsky oil and gas condensate field

Oleg S. Vyrodov¹  , Yulia E. Tokach¹ , Yury K. Rubanov¹ ,
Evgeniy A. Pendyrin¹ , German R. Fediuk² 

¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, Belgorod, Russian Federation

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

 iogig@yandex.ru

Abstract. Every year, as a result of drilling activities in connection with the development of new fields, Gazprom companies generate up to several million tons of drilling waste. This waste accounts for up to 63% of the total waste generated. According to Gazprom's environmental reports, up to 23% of this drilling waste remains in storage facilities. At the same time, this type of waste can be used as raw material for the production of fired construction materials and other purposes. The goal of this study was to determine the toxicity of aqueous extracts from roasting materials based on drilling waste from the Yamburgskoye oil and gas condensate field in order to assess the potential for using this waste in the production of different functional materials for construction. The object of this study was drilling waste from the Yamburgskoye oil and gas condensate field, which was generated during the drilling of exploration wells at a depth of 3,400–3,800 meters. The drilling fluids used were collected at the Gazprom Dobycha Yamburg LLC facilities. To investigate the biotoxicity of these drilling fluids, *Daphnia magna Straus* was used as a test object. To eliminate the influence of pH, samples of drilling fluid

extracts with various pH levels were studied, including those with initial pH levels ranging from 5.45 to 12.6, as well as those that were neutralized to a pH of 6.5–7.2. In solutions with an initial pH, the percentage of *Daphnia* deaths indicated the negative effects of the alkaline medium. However, it was shown that the studied media did not have an acute toxic effect on aquatic organisms. The study demonstrates that high-temperature treatment allows for the production of functional materials for construction with a low level of toxicity and impact on living organisms. This is an important consideration in the development of technologies for managing drilling waste from Gazprom, which has a significant impact on the technological process of handling potential waste.

Keywords: drilling mud, biotesting, *Daphnia magna Straus*, test function, toxic effects

Acknowledgements and Funding. The work was carried out within the framework of the «Priority 2030» program on the basis of the Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov using the equipment of the High Technology Center of the BSTU named after V.G. Shukhov.

Authors' contribution. O.S. Vyrodov — conducting experiments, writing an article; preparation of illustration. Yu.E. Tokach — idea of investigation, writing an article. Yu.K. Rubanov — editing of the text. E.A. Pendyrin — idea of investigation, scientific guidance. G.R. Fediuk — collection of statistical data, preparation and creation of the manuscript. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Article history: received 29.08.2024; revised 10.06.2025; accepted 20.11.2025.

Conflicts of interest. The authors declare no conflicts of interest.

For citation: Vyrodov OS, Tokach YuE, Rubanov YuK, Pendyrin EA, Fediuk GR. Assessment of the biotoxicity of drilling waste from the Yamburgsky oil and gas condensate field. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(1):184–198. (In Russ.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-1-184-198> EDN: WYLLTO

Введение

Отрасль добычи нефти и газа является одной из основных отраслей экономики Российской Федерации, обеспечивающей экономическую и энергетическую безопасность государства. При этом нефтегазовая отрасль остается одной из наиболее значительных по уровню своего неблагоприятного воздействия на экологическую обстановку в регионах присутствия.

К основным крупнотоннажным отходам нефтегазового сектора относятся отходы бурения, золошлаковые отходы, нефтешламы и прочие виды отходов. Решение проблемы утилизации данных отходов является важной государственной задачей.

Согласно данным ежегодного экологического отчета ПАО «Газпром» объем отходов бурения составляет около 1000 тыс. тонн (2199,3 т в 2023 г.), рис. 1 и 2¹.

¹ Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2023 год. URL: <https://pererabotka.gazprom.ru/d/textpage/ab/171/ehkologicheskij-otchet.pdf?ysclid=mkqq2w6wts166437355> (дата обращения: 10.03.2025).

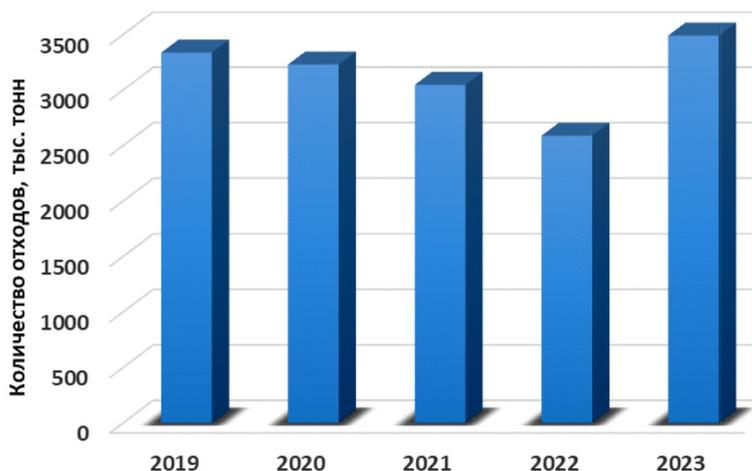


Рис. 1. Динамика образования отходов в Группе «Газпром» в 2019–2023 гг.

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

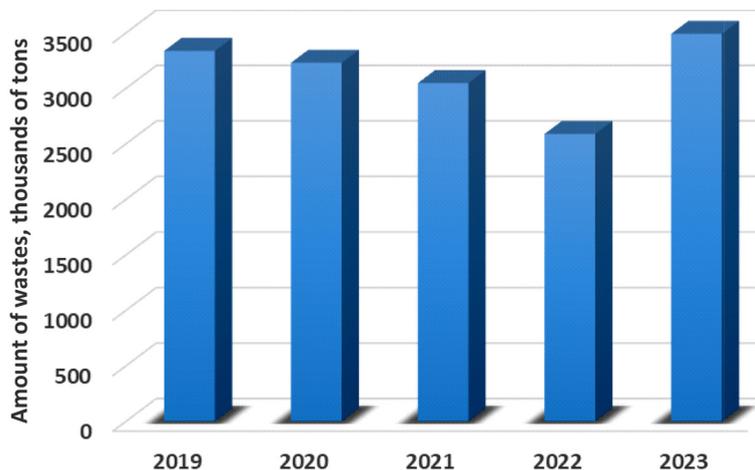


Figure 1. The dynamics of waste generation in the Gazprom PJSC in 2019-2023

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

В последнее время на объектах Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения ПАО «Газпром» увеличился объем буровых работ, о чем свидетельствует увеличение объемов отходов бурения с 34 % в 2021 г. до 63 % в 2023 г., в связи с введением в эксплуатацию новых месторождений — дебита скважин (реализация проектов «Сила Сибири (2)» и развития торговых и экономических связей государства. При этом, согласно Экологическому отчету ПАО «Газпром», 53 % отходов передается для утилизации сторонним организациям, 23 % утилизируется на предприятиях, и до 23 % остается на объектах хранения². В то же время данные виды отходов могут быть утилизи-

² Экологический отчет ПАО «Газпром» за 2023 год. URL: <https://pererabotka.gazprom.ru/d/textpage/ab/171/ehkologicheskij-otchet.pdf?ysclid=mkqq2w6wts166437355> (дата обращения: 10.03.2025).

рованы в качестве сырья для производства обжиговых строительных материалов и другими способами³ [1].

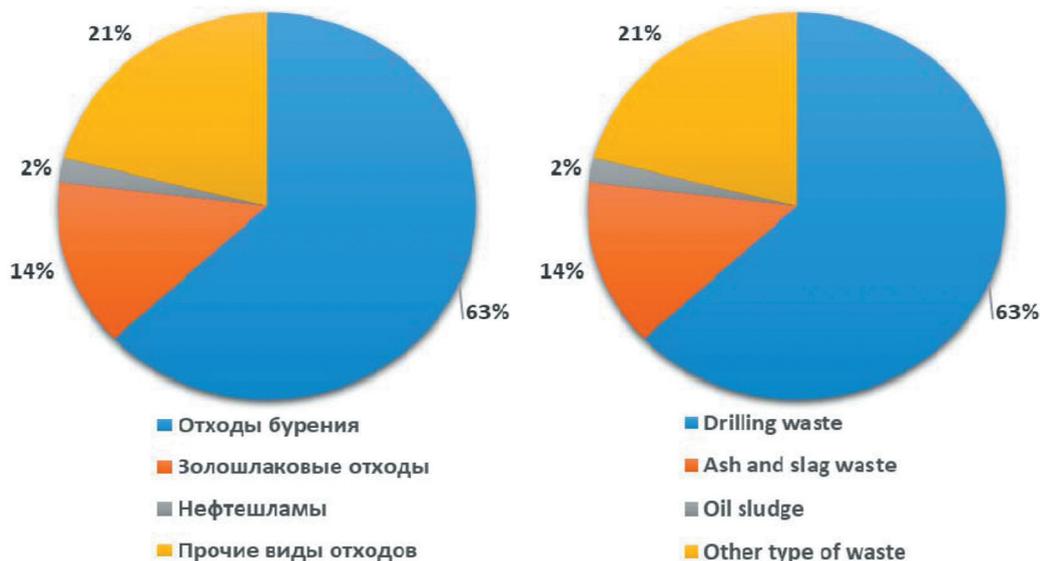


Рис. 2. Структура отходов Группы Газпром по видам, 2023 г., %

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Figure 2. The structure of Gazprom PJSC waste by type in 2019–2023.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendencyrin.

Важнейшим требованием к технологическому процессу добычи нефти и газа является обеспечение предотвращения неблагоприятного воздействия отходов бурения, образующихся в процессе бурения и эксплуатации скважин на окружающую природную среду. Особенно данное требование актуально для сложных природных и климатических условий северной Арктической зоны Российской Федерации. Для решения данной задачи при проектировании и строительстве объектов на месторождениях широко применяются различные проектные решения, минимизирующие последствия ведения буровых работ на экосистемы региона. В частности, в период строительства скважин производятся и используются так называемые «зеленые» буровые растворы, а также безамбарные методы бурения. Помимо этого, постоянно разрабатываются различные технологии утилизации отходов бурения путем получения строительных материалов, используемых для производства общестроительных работ при строительстве объектов на месторождениях.

В состав отходов бурения, который является многокомпонентным, входят остатки буровых растворов, вода, химические реагенты и шламы горных пород. Помимо перечисленных компонентов в него включены углеводородные

³ Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами // ИТС 9-2020. Москва : Бюро НДТ, 2020. 236 с.

соединения (нефтепродукты), полимеры (добавки для буровых растворов (карбоксиметилцеллюлоза, полиакриламид, полифенол лесохимический, сульфитно-спиртовая барда, окзил и др.) [1–6]. При этом самыми опасными для окружающей природной среды являются органические соединения нефти: углеводороды, фенольные соединения, карбоновые и нафтеновые кислоты, асфальтосмолистые вещества.

Перспективным методом утилизации буровых отходов является их использование при производстве различных строительных материалов. Так, в [2] представлено исследование способа использования бурового шлама для производства дорожно-строительного материала, цементогрунта для укрепления обочин автомобильных дорог. В [3] изучена возможность применения отходов бурения в качестве добавки к портландцементу. Однако наиболее перспективно направление использования бурового шлама в производстве керамических строительных материалов. Исследования в данном направлении проводились авторами [4; 5], которые показали возможность применения буровых шламов в качестве отошающих и выгорающих добавок, а также в качестве добавки к связующему, позволяющей получать широкую номенклатуру обжиговых керамических материалов. В [6] показана возможность высокотемпературной утилизации буровых шламов с получением обжигового инертного материала.

При использовании отходов промышленности в производстве материалов строительного назначения всегда появляется вопрос необходимости оценки степени биологической токсичности данных отходов и их применимости для различных видов материалов [7; 8].

Цель исследования — определение биотоксичности водных вытяжек обжиговых материалов строительного назначения на основе буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения для последующей оценки возможности утилизации данных шламов при производстве различных функциональных материалов строительного назначения.

В работе решены следующие задачи:

- исследование физико-химических свойств исходных образцов буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения;
- получение образцов обжиговых материалов строительного назначения с использованием отходов буровых шламов;
- биотестирование водных вытяжек полученных образцов с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus*.

Материалы и методы исследований

Объектом исследования в данной работе являлись отходы бурения, образовавшиеся при бурении разведывательных скважин газоносного пласта Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения (ЯНГКМ) с глубины

3400–3800 м на объектах ООО «Газпром добыча Ямбург» (п. Ямбург, Надымский район, Тюменская область, Ямало-Ненецкий автономный округ) [9].

Буровые отходы в большинстве своем состоят на 30–45 % из выбуренной породы (частицы глины и песка), 30–45 % — это БР и 10–20 % — возможные технологические сбросы подземные воды и нефть: промывные воды, травильные растворы, отработанные электролиты [9].

В табл. 1 представлен химический состав бурового шлама.

Таблица 1. Химический состав бурового шлама, масс. % /
Table 1. Chemical composition of drilling mud, wt. %

BaSO ₄	SiO ₂	Ca(CO ₃)	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Na ₂ O	MgO	Fe ₂ O ₃
26,19	33,09	8,73	15,54	5,35	6,76 %	4,34 %

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Рентгенофазовый состав представлен следующими фазами: Kaolinite Al₂Si₂O₅(OH)₄, Kaolinite-montmorillonite Na_{0,3}Al₄Si₆O₁₅(OH)₆H₂O, Muscovite KAl₃Si₃O₁₀(OH)₂, Barite BaSO₄, Quartz SiO₂.

В табл. 2 и на рис. 3 представлены данные о гранулометрическом составе исследуемых отходов бурения.

Таблица 2. Гранулометрический состав /
Table 2. Granulometric composition

Размер фракций, мм / Size of fractions, mm	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001
Содержание, % / Content, %	25,81	25,59	23,12	4,72	6,62

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

На основе исследуемых буровых шламов были получены образцы строительных материалов с содержанием бурового шлама 30, 40, 50, 60 % по массе, кварцевого песка и портландцемента ПЦ 42,5Н. Обжиг образцов проводился после твердения в нормальных условиях в течение 3 ч при температуре 950 °С в муфельной печи. Составы образцов приведены в табл. 3. После изготовления образцы испытывали по ГОСТ 310.4-81, после чего проводили оценки биотоксичности полученных материалов.

Исследование проводилось следующим образом: готовили водные вытяжки из образцов бурового шлама, затем делали растворы водных вытяжек с дистиллированной водой в соотношении 1:10 (по массе) и выдерживали в течение 10 дней. Уровень pH отфильтрованных растворов составил 14. После этого одну часть отфильтрованной водной вытяжки разбавляли водопроводной водой, а другую нейтрализовали HCl до получения модельных сред с водородным показателем pH = 6,8–7,2 [10]. Для сравнения проводили контроль на водопроводной воде.

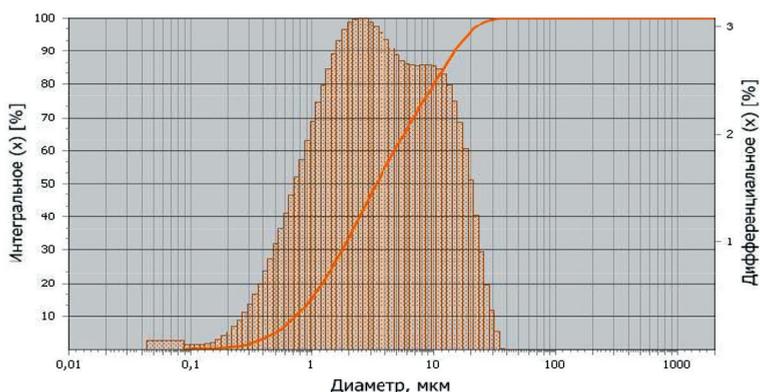


Рис. 3. Распределение частиц по размерам

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

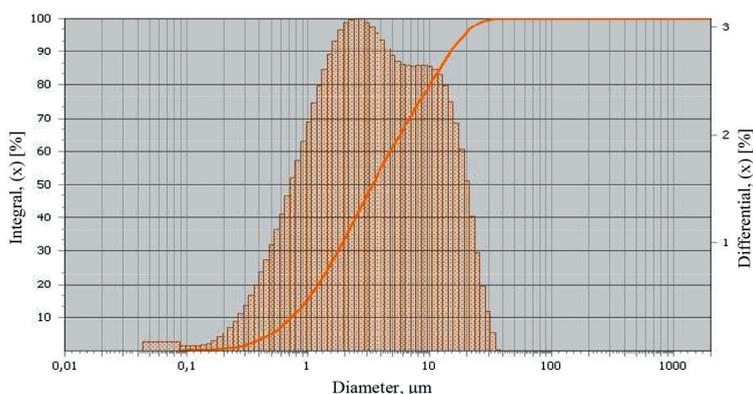


Figure 3. Particle size distribution

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Гигиеническую оценку исследуемых материалов исследовали способом биотестирования водных вытяжек химических соединений, полученных из исследуемых образцов отходов бурения. Биотестирование проводили в соответствии с Методикой ФР.1.39.2007.03222⁴. Объектом для тестирования были выбраны дафнии *Daphnia magna Straus*.

Для исследований готовили сосуды для биотестирования по 100 мл, в которые наливали контрольную и тестируемую водные вытяжки. Затем в сосуды помещали объекты биотестирования (*Daphnia magna Straus*) следующим образом [11]: с использованием трубки из стекла диаметром 5–7 мм отлавливали дафний, помещали в сачок, погружали его в тестируемые образцы вытяжек, переводили в них дафний. При этом посадку дафний вели от тестируемого образца с большей кратностью разбавления к меньшей.

⁴ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

Таблица 3. Составы исследуемых образцов /
Table 3. Compositions of the samples

№ состава / № of sample	Содержание бурового шлама, % / Drilling mud content, %	Содержание кварцевого песка, масс. часть / Quartz sand content, wt. part	Содержание портландцемента, масс. часть / The content of Portland cement, wt. part
1	30	0,9	1
2	40	1,2	1
3	50	1,5	1
4	60	1,8	1
Контроль / Control	–	3	1

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

В каждый сосуд помещали по 10 односуточных дафний, которые экспонировались при оптимальных условиях в течение периода времени до 96 часов. Эксперимент повторяли три раза. При кратковременном эксперименте по биотестированию кормление дафний не проводилось⁵ [11].

Подсчет выживших в ходе эксперимента дафний осуществляли через интервалы в 1, 6, 24, 48, 72 и 96 ч. При этом считали выжившими особей, которые были способны передвигаться в толще воды или всплывали со дна сосуда в течение 15 с после легкого встряхивания⁶ [11].

Результаты

Проведено биотестирование водных вытяжек образцов на основе отходов бурового шлама с использованием дафний. Установлено, что выбранные для эксперимента тест-объекты высокочувствительны к уровню щелочности среды, что является причиной их угнетенного состояния либо гибели. В связи с этим для оценки влияния компонентов, входящих в состав исследуемых образцов буровых растворов, было необходимо исключить влияние уровня щелочности или кислотности (рН среды). Для этого тестируемые образцы были разделены на две группы (табл. 4) [10]:

– исходные водные вытяжки с уровнем рН от 5,45 (для исходного бурового раствора) до 12,43 (для исходной вытяжки);

– вытяжки, разбавленные отстоянной водопроводной водой до рН = 6,5 – 7,2; (вытяжки, нейтрализованные до рН = 6,5 – 7,2).

В качестве контроля использовалась отстоянная водопроводная вода [10].

⁵ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

⁶ ФР.1.39.2007.03222. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

Таблица 4. Значения pH водных вытяжек, используемых для биотестирования /
Table 4. pH values of aqueous extracts used for biotesting

№ пробы / No. of sample	1	2	3	4	Контроль / Control
pH исходной вытяжки / pH of initial water extracts	11,3	11,1	10,9	10,6	12,6
pH нейтрализованной пробы / pH of neutralized water extracts	6,4	6,45	6,5	6,22	6,9

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Результаты исследований представлены в табл. 5.

Таблица 5. Результаты биотестирования с использованием дафний рода *Daphnia magna Straus* /
Table 5. Biotesting results using daphnia of the genus *Daphnia magna Straus*

№ пробы / No. of sample	Процент погибших дафний в образце состава, % Percentage of dead daphnia in the sample, %				
	1	2	3	4	Контроль / Control
Водные вытяжки с исходным уровнем pH (контроль) / Water extracts with the initial pH level (control)					
Через 1 ч / After 1 hour	0	0	0	0	0
Через 2 ч / After 2 hour	1	2	0	3	2
Через 24 ч / After 24 hour	12	16	11	20	9
Через 48 ч / After 48 hour	31	33	27	43	17
Через 96 ч / After 96 hour	63	68	61	72	23
Острая токсичность / Acute toxicity	+	+	+	+	+
Водные вытяжки, нейтрализованные / Neutralized water extracts					
Через 1 ч / After 1 hour	0	0	0	0	0
Через 2 ч / After 2 hour	0	0	0	5	0
Через 24 ч / After 24 hour	17	16	15	18	5
Через 48 ч / After 48 hour	24	27	22	27	9
Через 96 ч / After 96 hour	48	47	42	48	10
Острая токсичность / Acute toxicity	–	–	–	–	–

Источник: составлено О.С. Выродовым, Ю.Е. Токач, Ю.К. Рубановым, Е.А. Пендюриным.

Source: compiled by O.S. Vyrodov, Yu.E. Tokach, Yu.K. Rubanov, E.A. Pendyrin.

Методика ФР.1.39.2007.03222⁷ основана на определении смертности дафний (*Daphnia magna Straus*) при воздействии токсических веществ, присутствующих в исследуемой среде, по сравнению с контрольной культурой в пробах, не содержащих токсических веществ (контроль). Острое токсическое действие на дафнии определялось по их смертности (летальности) за определенный период экспозиции. Критерием острой токсичности служила гибель 50 % и более дафний за 96 ч в исследуемой пробе при условии, что в контрольном эксперименте все рачки сохраняли свою жизнеспособность.

⁷ ФР.1.39.2007.03222 Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. Москва : Акварос, 2007. 51 с.

В растворах с исходным уровнем pH процент гибели дафний свидетельствует о негативном воздействии щелочной среды. В нейтрализованных и разбавленных процент погибших дафний не превышал 50 %, следовательно, анализируемые среды не оказывали острого токсического действия на гидробионты. Полученные результаты согласуются с результатами многочисленных исследований воздействия отходов бурения нефтегазовой промышленности методами биотестирования [12–20], что свидетельствует об эффективности использования метода высокотемпературной утилизации буровых шламов с получением функциональных материалов строительного назначения.

Выводы

1. Проведенные исследования физико-химических свойств исходных образцов буровых шламов Ямбургского нефтегазоконденсатного месторождения показали, что основными компонентами в составе данных отходов являются барит, кварц, каолинит и другие глинистые минералы;

2. Учитывая химический состав образцов, определено наиболее перспективное направление утилизации данного вида отходов в виде получения образцов обжиговых материалов строительного назначения;

3. Биотестирование водных вытяжек полученных образцов с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus* показало низкий уровень биотоксичности полученных материалов.

4. Высокотемпературная обработка дает возможность получения функциональных материалов строительного назначения с низким уровнем биотоксичности и влияния на живые организмы, что является важным аспектом разработки технологий утилизации отходов бурения ПАО «Газпром» с высокой долей вовлечения в технологический процесс переработки потенциального отхода, что несет экономический эффект без риска биологического ущерба.

Список литературы

- [1] Леонтьев С.В., Югов В.В. Перспективы использования буровых шламов в производстве строительных материалов // Современные технологии в строительстве. Теория и практика. 2020. Т. 1. С. 294–298. EDN: FOILIO
- [2] Власов А.С., Пугин К.Г., Тюрюханов К.Ю., Глушанкова И.С., Рудакова Л.В. Использование отходов бурения в составе дорожно-строительных материалов // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2019. Т. 9. № 3 (30). С. 510–521. <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-510-521> EDN: FCAXPR
- [3] Ягафарова Г.Г., Матвеев Ю.Г., Аззамов Ф.А., Рахматуллин В.Р., Рахматуллин Д.В. Применение утилизированного бурового шлама в качестве добавки к портландцементу // Нефтегазовое дело. 2011. Т. 9. № 4. С. 37–39. EDN: PANENP
- [4] Абдрахимов В.З., Абдрахимова Е.С. Инновационные направления по использованию бурового шлама в производстве керамических материалов на основе межслан-

- цевой глины — перспективное направление для «зеленой» экономики // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 3. С. 26–31. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-3-26-31> EDN: YJBYNJ
- [5] Гурьева В.А., Бутримов Н.В., Дорошин А.В., Дубинецкий В.В., Вдовин К.М. Эколого-экономический эффект применения нефтешламов при производстве керамического кирпича // Международный научно-исследовательский журнал. 2016. Вып. 11 (53). С. 50–53. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.002> EDN: XBDONF
- [6] Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В. Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2024. Т. 32. № 2. С. 155–162. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162> EDN: WQY TZY
- [7] Тарасова С.С., Гаевая Е.В. Исследования токсичности буровых шламов и возможности их утилизации // Проблемы региональной экологии. 2021. № 3. С. 75–79. <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-3-75-79> EDN: TB SLWO
- [8] Климова А.А., Мишунина А.С., Азарова С.В., Фоминых Д.Е., Язиков Е.Г. Определение токсичности бурового шлама с территории Томской области методами биотестирования для оценки возможности его дальнейшего использования // Нефтяное хозяйство. 2018. № 4. С. 108–111. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-4-108-111> EDN: YWTUHQ
- [9] Выродов О.С., Токач Ю.Е. Технология утилизации отходов бурения в производстве композиционных материалов, обеспечивающих защиту живых организмов от вредного воздействия // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : Всероссийская научная конференция. 2019. Ч. 2. С. 30–35. EDN: WXORLA
- [10] Старостина И.В., Пендюрин Е.А., Смоленская Л.М. Оценка токсикологических свойств шламовых отходов феррованадиевого производства // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7979> (дата обращения: 05.04.2025). EDN: TODMDX
- [11] Невский А.В. Анализ и синтез водных ресурсосберегающих химико-технологических систем : монография / под ред. В.П. Мешалкин, В.А. Шарнин. Москва : Наука, 2004. 212 с. EDN: QNKRVH
- [12] Брежнева И.Н., Трифонова М.П. Биотестирование бурового шлама на экотоксичность // Проблемы региональной экологии. 2019. № 3. С. 38–41. <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13038> EDN: ETSIUU
- [13] Капелькина Л.П., Чугунова М.В., Бардина Т.В., Малышкина Л.А. Биотестирование буровых шламов нефтяных месторождений // Экологический вестник России. 2013. № 8. С. 25–29. EDN: QZAHQZ
- [14] Тимофеева С.С., Тимофеев С.С. Методы биотестирования для контроля отходов нефтедобычи // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2010. № 6 (46). С. 71–76. EDN: NAWXNN
- [15] Крючков В.Н., Курапов А.А. Оценка влияния отходов бурения на гидробионтов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2012. № 1. С. 60–65. EDN: OWPXEB
- [16] Капелькина Л.П., Чугунова М.В., Бардина Т.В., Малышкина Л.А., Герасимов А.О. Оценка токсичности буровых шламов // Токсикологический вестник. 2013. № 6 (123). С. 46–51. EDN: RSODRP
- [17] Саксонов М.Н., Балаян А.Э., Бархатова О.А., Стом Д.И. Использование биотестирования для контроля токсичности компонентов буровых растворов и бурового

шлама // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2008. № 6 (72). С. 32–38. EDN: JVOFGT

- [18] Сипулинов Р.Б., Карагайчева Ю.В., Шилова Н.А., Рогачева С.М. Оценка токсичности отходов нефтедобычи методами биотестирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 5–2. С. 695–699. EDN: VYZNBP
- [19] Гинц А.В., Никитина Н.Я., Кравцов О.Ю., Кожевников А.А., Парфенюк В.И. Экспресс-методика оценки возможности утилизации буровых шламов // Известия Всероссийского научно-исследовательского института гидротехники им. Б.Е. Веденеева. 2007. Т. 248. С. 44–50. EDN: IBWJCR
- [20] Балыев Т.В., Шумаев А.А., Токач Ю.Е. Экологическое воздействие буровых растворов на окружающую среду // Безопасность, защита и охрана окружающей природной среды: фундаментальные и прикладные исследования : сборник докладов Всероссийской научной конференции. 2019. Ч. 1. С. 45–49. EDN: QECQPY

References

- [1] Leontev SV, Yugov VV. Prospects for the use of drill cuttings in the production of building materials application of bored piles at construction on soft soils. *Modern technologies in construction. Theory and practice*. 2020;1:294–298. (In Russ.) EDN: FOILIO
- [2] Vlasov AS, Pugin KG, Tyuryukhanov KYu, Glushankova IS, Rudakova LV. Use of drilling waste as road construction materials. *Izvestiya vuzov Investitsiyi Stroyitelstvo Nedvizhimost*. 2019;3(30):510–521. (In Russ.) <https://doi.org/10.21285/2227-2917-2019-3-510-521> EDN: FCAXPR
- [3] Yugafarova GG, Matveev YuG, Agzamov FA, Rakhmatullin VR, Rakhmatullin DV. Using utilized drillings ludge as additive s to portland cement. *Oil and gas business*. 2011;9(4):37–39. (In Russ.) EDN: PANEHP
- [4] Abdrakhimov VZ, Abdrakhimova ES. Innovative directions for the use of drilling mud in the production of ceramic materials based on shale clay — a promising direction for the “green” economy. *Ecology and industry of Russia*. 2017;21(3):26–31. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-3-26-31> EDN: YJBYHJ
- [5] Guryeva VA, Butrimova NV, Doroshin AV, Dubinetsky VV, Vdovin KM. Ecological and economic effect of the use of oil sludge in the production of ceramic bricks. *International Scientific Research Journal*. 2016;11(53):50–53. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/IRJ.2016.53.002> EDN: XBDONF
- [6] Zimnukhova AE, Gaevaya EV. Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2024;32(2):155–162. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162> EDN: WQYTYZ
- [7] Tarasova SS, Gaevaya EV. Research of the toxicity of drill sludges and the possibility of their disposal. *Problems of Regional Ecology*. 2021;3:75–79. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2021-3-75-79> EDN: TBSLWO
- [8] Klimova AA, Mishunina AS, Azarova SV, Fominykh DE, Yazikov EG. Determining the toxicity of drilling muds using the methods of biotesting, case study of Tomsk region the territory. *Oil industry*. 2018;4:108–111. (In Russ.) <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2018-4-108-111> EDN: YWTUHQ
- [9] Vyrodov OS., Tokach YuE. Technology of drilling waste disposal in the production of composite materials that protect living organisms from harmful effects. *Safety, protection and protection of the natural environment: fundamental and applied research. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference*. 2019;2:30–35. (In Russ.) EDN: WXORLA

- [10] Starostina IV, Pendyurin EA, Smolenskaya LM. Toxicological properties of sludge waste production ferrovanadium. *Modern Problems of Science and Education*. 2012;(6). (In Russ.) Available from: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=7979> (accessed: 05.04.2025). EDN: TODMDX
- [11] Nevsky AV. *Analysis and synthesis of water resource chemical processes systems*. VP Meshalkin, VA Sharnin (eds.). Moscow: Nauka Publ.; 2004, 212 p. (In Russ.). EDN: QNKRVH
- [12] Brezhneva IN, Trifonova MP. Biotesting of drilling cuttings on ecotoxicity. *Problems of Regional Ecology*. 2019;3:38–41. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/1728-323X-2019-13038> EDN: ETSIUU
- [13] Kapelkina LP, Chugunova MV, Bardina TV, Malyshkina LA. Biotesting of drilling sludge from oil fields. *Ecological Bulletin of Russia*. 2013;8:25–29. (In Russ.) EDN: QZAHQZ
- [14] Timofeeva SS, Timofeev SS. Biotesting methods to control petroleum production wastes. *Proceedings of Irkutsk State Technical University*. 2010;(6):71–76. (In Russ.) EDN: NAWXNN
- [15] Kryuchkov VN, Kurapov AA. Assessment of the impact of drilling waste on hydrobionts. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*. 2012;(1):60–65. (In Russ.) EDN: OWPXEB
- [16] Kapelkina LP, Chugunova MV, Bardina TV, Malyshkina LA, Gerasimov AO. Evaluation of drill cuttings toxicity. *Toxicological Review*. 2013;(6):46–51. (In Russ.) EDN: RSODRP
- [17] Saksonov MN, Balayan AE, Barkhatova OA, Stom DI. Use of biotesting to control toxicity of drilling muds and sludge components. *Oil and Gas Studies*. 2008;(6):32–38. (In Russ.) EDN: JVOFGT
- [18] Sipulinov RB, Karagaycheva YuV, Shilova NA, Rogacheva SM. Estimation the toxicity of oil production waste by biotesting methods. *Izvestiya of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(5-2):695–699. (In Russ.) EDN: VYZNBP
- [19] Gintz AV, Nikitina NYa, Kravtsov OYu, Kojevnikov AA, Parfenuk VI. The express-method to assess possibilities of drilling sludge utilization. *Izvestija VNIIG im. B.E. Vedeneeva — Proceedings of the VNIIG*. 2007;248:44–50. (In Russ.) EDN: IBWJCR
- [20] Baluyev TV, Shumaev AA, Tokach YuE. Environmental impact of drilling fluids on the environment. *Safety, Protection and Protection of the Natural Environment: Fundamental and Applied Research. Proceedings of the All-Russian Scientific Conference*. 2019;1:45–49. (In Russ.) EDN: QECQPY

Сведения об авторах:

Выродов Олег Сергеевич, аспирант, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0001-6798-8146, eLIBRARY SPIN-код: 1098-4350. E-mail: iogig@yandex.ru

Токач Юлия Егоровна, кандидат технических наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0002-2516-0938; eLIBRARY SPIN-код: 1981-0073. E-mail: tokach@bk.ru

Рубанов Юрий Константинович, кандидат технических наук, профессор, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0002-1953-5019; eLIBRARY SPIN-код: 2990-0032. E-mail: rubanov46@bk.ru

Пендюрин Евгений Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, Российская Федерация, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д. 46. ORCID: 0000-0003-4826-3654; eLIBRARY SPIN-код: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru

Федюк Герман Романович, студент, Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация, 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, д. 10. ORCID: 0009-0005-4670-0461. E-mail: gerafediuk@gmail.com

Bio notes:

Oleg S. Vyrodov, postgraduate student, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0001-6798-8146; eLIBRARY SPIN-code: 1098-4350. E-mail: iogig@yandex.ru

Yulia E. Tokach, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-2516-0938; eLIBRARY SPIN-code: 1981-0073. E-mail: tokach@bk.ru

Yury K. Rubanov, Candidate of Technical Science, Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-1953-5019; eLIBRARY SPIN-code: 2990-0032. E-mail: rubanov46@bk.ru

Evgeniy A. Pendyrin, Candidate of Agricultural Science, Associate Professor, Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St, Belgorod, 308012, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-4826-3654; eLIBRARY SPIN-code: 1507-2474. E-mail: pendyrinea@yandex.ru

German S. Fediuk, Far Eastern Federal University, 10 Ajax, Russry Island, Vladivostok, 690922, Russian Federation. ORCID: 0009-0005-4670-0461. E-mail: gerafediuk@gmail.com