

Научная статья

УДК 574.64 /1.6.21

DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-8-15

Изучение токсичности отходов бурения методом биотестирования

Татьяна Григорьевна Акатьева

Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия
akatyevat@mail.ru

Информация о статье

Поступила в редакцию
28.02.2024

Одобрена после
рецензирования 15.07.2024

Принята к публикации
06.08.2024

Ключевые слова:

буровой шлам, буровой раствор, биотестирование, тест-организм, *Daphnia magna*, тест-функция, выживаемость, общее количество молодежи, удельная плодовитость, летальная концентрация, эффективная концентрация

Добыча углеводородного сырья всегда сопровождалась негативным воздействием на компоненты окружающей среды. Объект исследования – отходы, образующиеся в процессе бурения. Предмет исследования – токсичность буровых растворов для *Daphnia magna*. Актуальность исследования заключается в решении задачи использования и утилизации отходов бурения. Как правило, ими являются многокомпонентные смеси, которые при попадании в водоёмы и почвенный покров могут проявлять токсические свойства относительно гидробионтов и педофауны. Цель исследования – изучение токсичности отходов бурения для ветвистоусых рачков *Daphnia magna*. Задачи исследования: изучить влияние буровых растворов на выживаемость дафний; определить воздействие токсиканта на репродуктивную функцию рачков. В статье изложены результаты изучения влияния отходов бурения на пресноводных ракообразных *Daphnia magna*. В ходе эксперимента рассматривали действие на дафний жидкой фазы как исходных отходов бурения, так и в диапазоне разведений 1:1–1:100 методом биотестирования. Токсичность в острых и хронических (4 и 30 сут соответственно) опытах оценивали по изменению выживаемости и репродуктивной функции рачков. Определено, что в остром опыте к 4 сут наблюдений выжили 40 и 64 % рачков в вариантах с максимальным разведением (1:10 и 1:100 соответственно) бурового раствора. В хроническом эксперименте выживаемость дафний снижалась пропорционально содержанию вещества. Токсичность отходов бурения проявлялась и в нарушении репродуктивной функции рачков, в частности в запоздалом наступлении половозрелости и снижении общего количества молодежи. На основании проведенных исследований получены следующие выводы: буровые растворы проявляют острую и хроническую токсичность относительно *Daphnia magna*, снижая их выживаемость на 40 % при разбавлении токсиканта в 10 и 100 раз соответственно; влияние растворов бурения на репродуктивную функцию рачков проявляется в торможении сроков полового созревания (на 2–3 сут по сравнению с контрольным вариантом) и общей плодовитости дафний, например количество появившейся молодежи к 30 сут эксперимента было ниже контрольных значений на 33–50 % (в зависимости от концентрации бурового раствора).

Studying of the Toxicity of Drilling Waste Using Biotesting

Tatyana G. Akatieva

Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

akatyevat@mail.ru

Information about the article

Received 28 February 2024

Approved after review
15 July 2024

Accepted for publication
8 August 2024

Keywords:

drill cuttings, drilling fluid, biotesting, test-organism, *Daphnia magna*, test function, survival rate, total number of juveniles, specific fecundity, lethal concentration, effective concentration

The extraction of hydrocarbon raw materials has always been accompanied by a negative impact on environmental components. The object of the research is waste generated during the drilling process. The subject of the research is toxicity of drilling fluids for *Daphnia magna*. The urgency of the problem lies in solving the problem of their use and disposal. As a rule, these are multicomponent mixtures, which, when released into water bodies and soil cover, can exhibit toxic properties towards hydrobionts and pedofauna. The purpose of the research is to study the toxicity of drilling waste to the cladocera *Daphnia magna*. The objectives are as follows: to study the effect of drilling fluids on the survival of daphnia; determine the effect of the toxicant on the reproductive function of crustaceans. The article presents the results of a study of the effect of drilling waste on the freshwater crustacean *Daphnia magna*. During the experiment, the effect on daphnia of the liquid phase of both the original drilling waste and in the dilution range of 1:1 – 1:100 was studied using biotesting. Acute and chronic toxicity (4 and 30 days, respectively) was assessed by changes in the survival and reproductive function of crustaceans. It has been determined that in a short experiment, by the 4th day of observation, 40 and 64 % of crustaceans survived in the variants with the maximum dilution (1:10 and 1:100, respectively) of the drilling fluid. In a chronic experiment, the survival rate of daphnia decreased in proportion to the substance content. The toxicity of drilling waste also manifested itself in disruption of the reproductive function of crustaceans: delayed onset of sexual maturity and a decrease in the total number of juveniles. Based on the conducted research, the following conclusions are obtained. Drilling fluids exhibit acute and chronic toxicity to *Daphnia magna*, reducing their survival by 40 % when the toxicant is diluted 10 and 100 times, respectively. The effect of drilling solutions on the reproductive function of crustaceans is manifested in the inhibition of the timing of puberty (by 2–3 days compared to the control variant) and the overall fertility of daphnia: the number of juveniles that has appeared by the 30th day of the experiment was lower than the control values by 33–50 % (depending on drilling fluid concentrations).

Введение. Известно, что на всех этапах обустройства и эксплуатации месторождений негативное влияние оказывается и на компоненты окружающей среды [2]. Все компоненты биосферы в районах нефтедобычи испытывают интенсивную техногенную нагрузку, приводящую к нарушению равновесия в экосистемах [1]. Прирост добычи нефти и газа связан с запуском новых месторождений, что сопровождается образованием отходов – буровых шламов, отработанных буровых растворов и буровых сточных вод [11; 18; 21].

Объект исследования – отходы, образующиеся в процессе бурения.

Предмет исследования – токсичность буровых растворов для *Daphnia magna*.

Актуальность исследования заключается в решении задачи использования и утилизации отходов бурения.

Основным техническим сооружением накопления отходов является шламовый амбар, который предназначен для централизованно-

го сбора отходов бурения нефтяных скважин в целях предотвращения попадания вредных веществ в окружающую среду [12; 14; 16; 17].

Буровые шламы, поступающие в шламовые амбары, – это многокомпонентные смеси, состоящие на 45 % из воды и на 55 % из органических веществ. В каждом шламовом амбаре складывается около 500 м³ отходов. В результате некачественно выполненных работ по ликвидации и рекультивации шламовых амбаров, воздействия осадков может происходить фильтрация отходов бурения, которые распространяются с поверхностными или грунтовыми водами [6; 15].

В процессе длительного хранения буровых шламов происходит их расслоение на жидкую и твёрдую фазы, содержащие как выбуренную породу, так и различные вещества: бентонитовые порошки, диспергированную нефть, высокомолекулярные соединения, асфальтены, смолы, ароматические углеводороды, растворы солей и оснований. Каче-

ственный и количественный состав не постоянен и зависит от выбранной технологии бурения и глубины скважин [3].

Степень опасности отходов бурения для компонентов окружающей среды целесообразно оценивать не только стандартными (путём определения химического состава), но и биологическими (с помощью биотестирования) методами [9]. Биотестирование определяют как оценку качества компонента окружающей среды по ответным реакциям стандартизированных тест-организмов, содержащихся в лабораторных условиях [7; 8].

Цель исследования – изучение токсичности отходов бурения для ветвистоусых рачков *Daphnia magna*.

Для реализации приведённой цели поставлены следующие **задачи**:

- 1) изучить влияние буровых растворов на выживаемость дафний;
- 2) определить воздействие токсиканта на репродуктивную функцию рачков.

Разработанность темы исследования. Несмотря на то что проблеме изучения токсичности отходов бурения в последние годы посвящено множество публикаций [5; 11; 13; 14; 17], всё же данный вопрос следует изучать в каждом конкретном случае. К причинам такого подхода относятся, прежде всего, разнообразный химический состав отходов бурения и, соответственно, класс опасности их для окружающей среды.

Методология и методы исследования. Пробы жидкой фазы отходов бурения отобраны на территории Восточно-Елового месторождения нефти, которое расположено в Сургутском районе Ханты-Мансийского автономного округа – Югры Российской Федерации. Месторождение открыто в 1987 г., введено в разработку в 1992 г. Входит в состав Сургутского нефтегазоносного района Среднеобской нефтегазоносной области Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции. В настоящее время является действующим. Основные полезные ископаемые представлены нефтью, горючим газом, этаном, пропаном, бутаном, нефтяной серой¹.

В качестве тест-объекта использованы ветвистоусые планктонные рачки *Daphnia magna Straus 1820*, которые являются обязательным тест-организмом при определении

¹ Восточно-Еловое нефтяное месторождение. – URL: <https://oilgasinform.ru/science/fields> (дата обращения: 19.01.2024). – Текст: электронный; Государственный кадастр месторождений и проявлений полезных ископаемых. – URL: <https://rfgf.ru/gkm> (дата обращения: 16.01.2024). – Текст: электронный.

токсичности и установлении предельно допустимых концентраций различных веществ как в нашей стране², так и за рубежом [19; 20].

С помощью дафний определяют как острую, так и хроническую токсичность контролируемых объектов³.

Токсичность буровых растворов определяли в лабораторных условиях методом биотестирования. Для экспериментов готовили серию разведений опытного раствора в 1–100 раз. Затем испытуемые растворы соответствующих разведений по 100 мл наливали в стеклянные сосуды (3 повторности) и с помощью стеклянной трубочки помещали по 10 дафний в возрасте до 24 ч. Для разбавлений и в качестве контроля использовали отстоянную водопроводную воду.

В хронических опытах смену растворов производили каждые 10 сут. В течение 30 сут наблюдали за изменением выживаемости рачков, оценивали влияние вещества на репродуктивную функцию (по наступлению половозрелости рачков, общей и удельной плодовитости). Удельная плодовитость – среднее количество родившейся молоди на одну самку делением общего числа молоди, родившейся к окончанию опыта, на количество выживших самок для каждой серии разведений⁴.

Результаты исследования. В острых опытах с дафниями установлено, что в течение первого часа наблюдений 100 %-я выживаемость рачков сохранялась лишь в наибольших разведениях – 1:10 и 1:100, снижаясь до 20 % в неразбавленном буровом растворе. К первым суткам эксперимента гибель рачков продолжала возрастать: от 6–10 % (максимальные разведения) до 94–100 % в исходном и разбавленном 1:1 растворах. К окончанию срока наблюдений лишь при максимальных разведениях (1:10 и 1:100) выжили 40 и 64 % рачков соответственно (рис. 1).

² Жмур Н. С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. – М.: Международный Дом Сотрудничества, 1997. – С. 6–19; Федеральный реестр 1.39.2007.03222 «Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний». – М.: АКВА-РОС, 2007. – 51 с.

³ Тест-объекты, используемые для биотестирования. – URL: <https://chellab.ru/articles/test-obekty> (дата обращения: 15.01.2024). – Текст: электронный.

⁴ Руководство по определению методом биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. – М.: РЭФИЯ: НИИ-Природа, 2002. – 132 с.

В хронических опытах к 10 сут выживаемость рачков снизилась на 10–60 % в разведениях 1:100 и 1: 10 соответственно. В последующий период гибель организмов возросла, к 30 сут опыта составив 17–47 % (рис. 2).

Как мы видим, выживаемость дафний снижалась пропорционально содержанию токсиканта, а к 30 сут опыта была ниже контрольных значений на 30 (1:100) – 47 (1:10) %.

Токсичность отходов бурения оказала влияние и на репродуктивную функцию рачков: первая молодь в контрольном варианте опыта появилась на 2–3 сут (в зависимости от повторности) раньше, чем в опыте с буровым раствором. Замедление полового созревания дафний сказалось и на общем

количестве молоди, появившейся в течение эксперимента. Анализ изменения данного показателя в динамике показал, что реальная плодовитость рачков в ходе эксперимента возрастала: к 30 сут количество молоди и в контрольном, и в опытных вариантах (в сравнении с 20 сут) увеличилось на 19–44 и 64 % (опытный вариант и контроль), что показано на рис. 3.

Сравнение с контрольным вариантом свидетельствует о том, что к 10 сут наблюдений в опытах с большим содержанием вещества (1:10 и 1:20) количество молоди составляло 35–27 % контрольных значений, возрастая к 30 сут (57 и 67 % соответственно), что и показано на рис. 4.

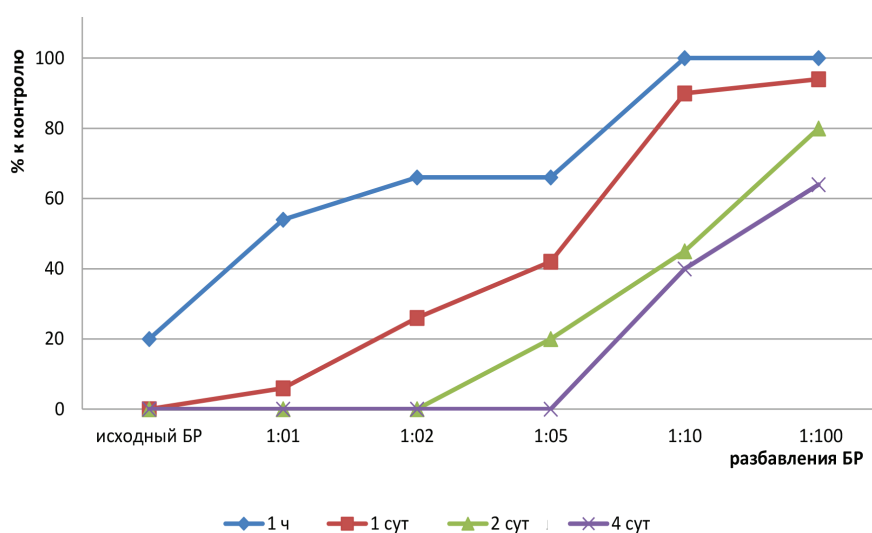


Рис. 1. Изменение выживаемости *Daphnia magna* в острых опытах /
Fig. 1. Change in survival rate of *Daphnia magna* in acute experiments

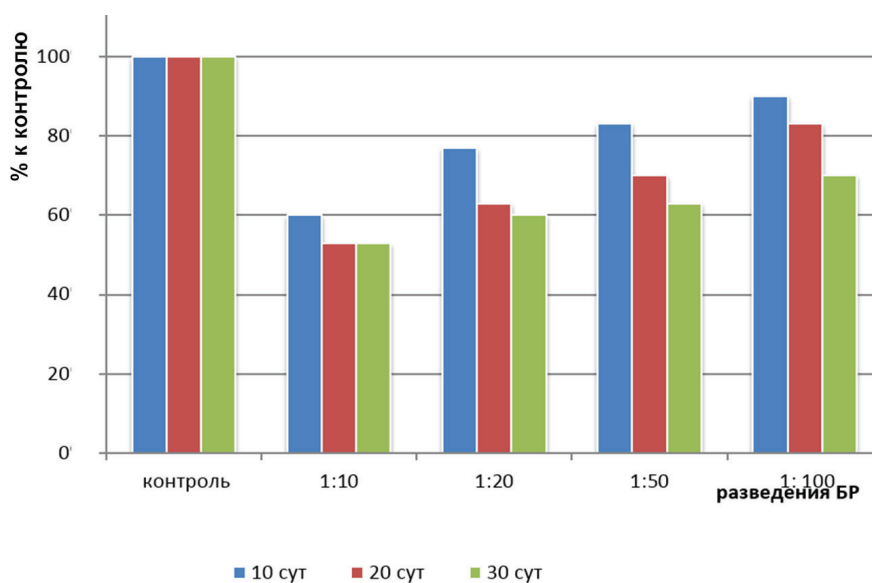


Рис. 2. Выживаемость *Daphnia magna* в хроническом опыте /
Fig. 2. Survival of *Daphnia magna* in chronic experiment

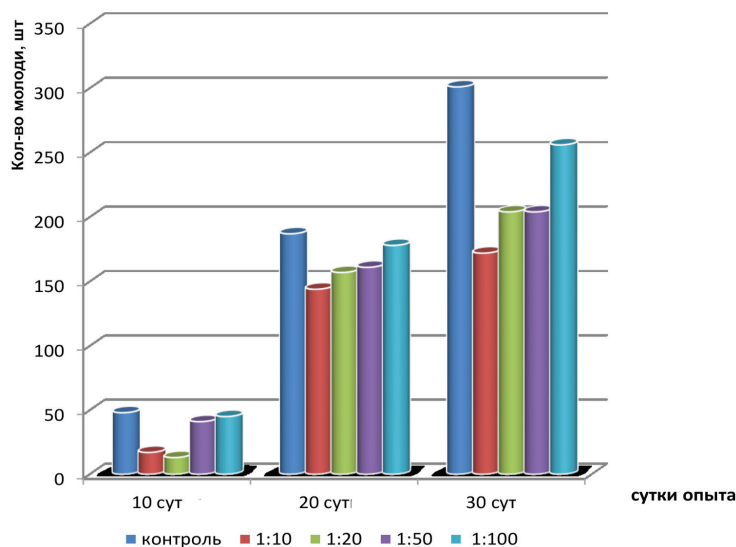


Рис. 3. Количество появившейся молоди *Daphnia magna* в хроническом опыте в динамике / **Fig. 3.** Number of emerging juveniles of *Daphnia magna* in chronic experience in dynamics

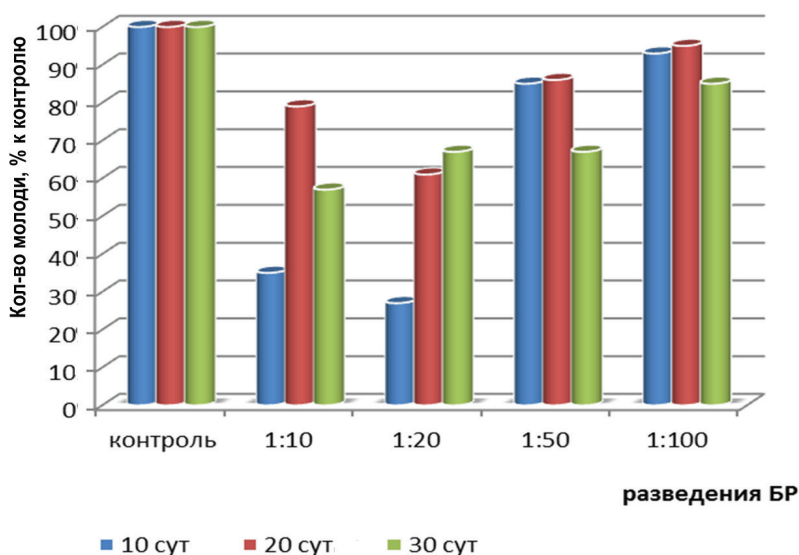


Рис. 4. Реальная плодовитость *Daphnia magna* в динамике / **Fig. 4.** Real fertility of *Daphnia magna* over time

За весь срок наблюдений общее количество молоди в опытных вариантах было ниже, чем в контроле, на 11 (1:100) – 38 (1:10) %, что, однако, не сказалось на удельной плодовитости рачков (в пересчёте на одну выжившую самку). Соответственно, во всех опытных вариантах данный показатель был выше контрольных значений на 14–27 %. Для сравнения: в контроле – 17,9; в 1:10 – 20,9; в 1:100 – 22,8 шт. на самку.

Большую роль при определении рассматриваемого показателя играет количество выживших особей к концу срока наблюде-

ний: если в контроле выживаемость оставалась 100 %-й – 30 рачков в трёх повторностях, то в разведении 1:10 – 16. Вероятно, у опытных рачков срабатывают механизмы компенсации в ответ на снижение численности популяции под действием негативного влияния токсикантов.

Аналогичный эффект действия отходов бурения на ракообразных отмечали в результатах своих исследований и другие авторы. Так, Г. Е. Рыбиной [13] определено, что буровые шламы оказывают разнонаправленное токсическое действие на ракообразных,

проявляющееся в снижении выживаемости и скорости роста, при этом в зависимости от химического состава и концентрации отходов бурения отмечено увеличение плодовитости выживших особей.

Снижение выживаемости дафний наблюдали и при изучении токсичности отходов бурения месторождений Томской и Иркутской областей. Так, для шламов Шингинского (кустовая площадка № 7) и Южно-Шингинского (кустовая площадка № 3, амбар № 1) месторождений результатами биотестирования с использованием *Daphnia magna* установлено, что водная вытяжка из отхода оказывает вредное воздействие на них при разбавлении 1:1 [5], а водная вытяжка из бурового шлама Ярактинского ме-

сторождения – при разведении в 100 раз [4; 5; 10].

Выводы

1. Буровые растворы проявляют острую и хроническую токсичность относительно *Daphnia magna*, снижая их выживаемость на 40 % при разбавлении токсиканта в 10 и 100 раз соответственно.

2. Влияние растворов бурения на репродуктивную функцию рачков проявлялось в торможении сроков полового созревания (на 2–3 сут по сравнению с контрольным вариантом) и общей плодовитости дафний: количество появившейся молоди к 30 сут эксперимента было ниже контрольных значений на 33–50 % (в зависимости от концентрации бурового раствора).

Список литературы

1. Акатьева Т. Г. Анализ растительного покрова в условиях Крайнего Севера Тюменской области // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2023. № 2. С. 62–66.
2. Акатьева Т. Г., Жигалев Д. С. Оценка влияния нефтегазодобычи на качество почв // Актуальные тенденции в развитии агрономической науки: материалы междунар. науч.-практ. конф. Новосибирск, 2023. С. 18–21.
3. Баранов А. Е., Казанцева Н. Н., Ерохин М. А., Муравьев И. В., Белов А. Е., Мавров В. А., Кузнецов С. В., Филатов Н. Н. Комплексная переработка жидкой фазы буровых шламов нефтегазодобывающих предприятий: разработка технологии и опыт её применения // Вода: химия и экология. 2011. № 12. С. 29–37.
4. Климова А. А., Язиков Е. Г. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтегазоконденсатных месторождений на примере объектов Иркутской области // Вестник Забайкальского государственного университета. 2020. Т. 26, № 2. С. 32–39.
5. Климова А. А., Язиков Е. Г., Шайхиев И. Р. Минералого-геохимическая специфика буровых шламов нефтяных месторождений на примере объектов Томской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2020. Т. 331, № 2. С. 102–114.
6. Краснопорова С. А. Минералого-геохимическая характеристика бурового шлама и его воздействие на окружающую среду // Управление техносферой. 2022. Т. 5, № 1. С. 22–32.
7. Олькова А. С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 6. С. 614–622.
8. Олькова А. С. Условия культивирования и многообразие тест-функций *Daphnia magna* Straus при биотестировании // Вода и экология. 2017. № 1. С. 63–82.
9. Олькова А. С., Фокина А. И. *Daphnia magna* Straus в биотестировании природных и техногенных сред // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 4. С. 380–389.
10. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Янсон С. Ю., Арестова И. Ю., Шейнерман Н. А., Спасский В. В., Папаян Э. Э., Елсукова Е. Ю. Минералого-геохимическая характеристика снежного покрова в районах горнорудного производства // Геохимия. 2021. Т. 66, № 7. С. 659–672.
11. Осташ О. С. Эколого-экономический потенциал технологий утилизации буровых шламов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 1.5.15. М.: РГУ нефти и газа (НИУ) им. И. М. Губкина, 2021. 24 с.
12. Пайтаева К. Т. Экологическое воздействие и оценка эколого-экономического ущерба нефтегазовой отрасли // Научный вестник Московского государственного горного университета. 2013. № 11. С. 179–185.
13. Рыбина Г. Е. Токсичность буровых шламов разного состава нефтепромыслов Западной Сибири для пресноводных гидробионтов: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.18. Борок, 2004. 20 с.
14. Сагинаев А. Т., Билалова Б. М. Влияние буровых шламов на окружающую среду и способы их утилизации // Молодой ученый. 2021. № 51. С. 4–8.
15. Скипин Л. Н., Галайков А. А., Захарова Е. В. Техногенное воздействие шламовых амбаров на окружающую среду полуострова Ямал // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. № 11. С. 146–150.
16. Тарасова С. С., Быцко А. А., Друзь Д. П. Характеристика бурового раствора на углеводородной основе и его влияние на свойства выбуренной породы // Энергосбережение и инновационные техноло-

гии в топливно-энергетическом комплексе: материалы национ. с междунар. участием науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, молодых учёных и специалистов. Тюмень, 2018. С. 326–329.

17. Тарасова С. С., Гаевая Е. В. Экологическое воздействие буровых шламов на углеводородной основе и способы их утилизации // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В. И. Вернадского. 2019. № 3. С. 48–55.

18. Федоров А. А. Современные методы решения проблем экологической и промышленной безопасности по обращению с отходами бурения при строительстве нефтегазовых скважин // Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки: сб. ст. VIII Междунар. науч.-практ. конф. М.: АЛЕФ, 2023. С. 139–142.

19. Cardoso D. N., Soares A. M. V. M., Wrona F. J., Loureiro S. Assessing the acute and chronic toxicity of exposure to naturally occurring oil sands deposits to aquatic organisms using *Daphnia magna*. Текст: электронный // Science of the Total Environment. 2020. No. 729. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32380325> (дата обращения: 01.01.2024).

20. Munzinger A., Monicelli F. A. Comparison of the sensitivity of three *Daphnia magna* populations under chronic heavy metal stress. Текст: электронный // Ecotoxicol Environ Safety. 1991. No. 22. P. 24–31. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1914992> (дата обращения: 01.01.2024).

21. Ostakh O., Grechishcheva N., Kusheeva V., Uzyakova E. Ecotoxicological assessment of soil-like mixtures made of drill cuttings // Journal of Engineering, Design and Technology. 2021. Vol. 19, no. 6. P. 1433–1450.

References

1. Akatieva T. G. Analysis of vegetation cover in the conditions of the Far North of the Tyumen region. Bulletin of the Michurinsk State Agrarian University, no. 2, pp. 62–66, 2023. (In Rus.)

2. Akatieva T. G., Zhigalev D. S. Assessment of the impact of oil and gas production on soil quality. Current trends in the development of agronomic science: materials of the international scientific and practical conference. Novosibirsk, 2023. P. 18–21. (In Rus.)

3. Baranov A. E., Kazantseva N. N., Erokhin M. A., Muravyev I. V., Belov A. E., Mavrov V. A., Kuznetsov S. V., Filatov N. N. Complex processing of the liquid phase of drilling slurries of oil and gas producing enterprises: technology development and experience of its application. Water: Chemistry and Ecology, no. 12, pp. 29–37, 2011. (In Rus.)

4. Klimova A. A., Yazikov E. G. Mineralogical and geochemical specificity of drilling slurries of oil and gas condensate fields on the example of objects of the Irkutsk region. Transbaikalian State University Journal, vol. 26, no. 2, pp. 32–39, 2020. (In Rus.)

5. Klimova A. A., Yazikov E. G., Shaikhiev I. R. Mineralogical and geochemical specificity of drilling slurries of oil fields on the example of objects of the Tomsk region. Proceedings of Tomsk Polytechnic University. Georesource Engineering, vol. 331, no. 2, pp. 102–114, 2020. (In Rus.)

6. Krasnoperova S. A. Mineralogical and geochemical characteristics of drilling mud and its impact on the environment. Technosphere Management, vol. 5, no. 1, pp. 22–32, 2022. (In Rus.)

7. Olkova A. S. Biotesting in scientific research and environmental practice of Russia. Successes of Modern Biology, vol. 134, no. 6, pp. 614–622, 2014.

8. Olkova A. S. Cultivation conditions and the variety of test functions of *Daphnia magna* Straus during biotesting. Water and Ecology, no. 1, pp. 63–82, 2017. (In Rus.)

9. Olkova A. S., Fokina A. I. *Daphnia magna* Straus in biotesting natural and man-made environments. Successes of Modern Biology, vol. 135, no. 4, pp. 380–389, 2015. (In Rus.)

10. Opekunov A. Yu., Opekunova M. G., Kukushkin S. Yu., Yanson S. Yu., Arestova I. Yu., Sheinerman N. A., Spassky V. V., Papyan E. E., Elsukova E. Y. Mineralogical and Geochemical Characteristics of Snow Cover in Mining Areas. Geochemistry, vol. 66, no. 7, pp. 659–672, 2021. (In Rus.)

11. Ostakh O. S. Ecological and economic potential of drilling sludge utilization technologies: abstract. dis. ... Candidate of Technical Sciences: 1.5.15. Moscow: Gubkin Russian State University of Oil and Gas (NRU), 2021. 24 p. (In Rus.)

12. Paytayeva K. T. Ecological impact and assessment of ecological and economic damage to the oil and gas industry. Scientific Bulletin of the Moscow State Mining University, no. 11, pp. 179–185, 2013. (In Rus.)

13. Rybina G. E. Toxicity of drilling slurries of different composition of oil fields in Western Siberia for freshwater aquatic organisms: abstract. dis. Candidate of Biological Sciences: 03.00.18. Borok, 2004. 20 p. (In Rus.)

14. Saginaev A. T., Bilalova B. M. The impact of drilling sludge on the environment and methods of their disposal. Young Scientist, no. 51, pp. 4–8, 2021.

15. Skipin L. N., Galyamov A. A., Zakharova E. V. Technogenic impact of sludge barns on the environment of the Yamal Peninsula. Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University, no. 11, pp. 146–150, 2014. (In Rus.)

16. Tarasova S. S., Bytsko A. A., Druz D. P. Characteristics of hydrocarbon-based drilling mud and its effect on the properties of drilled rock. Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex: materials of the nation. from the international. with the participation of scientific and practical conf. students, postgraduates, young scientists and specialists. Tyumen, 2018. P. 326–329. (In Rus.)
17. Tarasova S. S., Gaeva E. V. Environmental impact of hydrocarbon-based drilling sludge and methods of their disposal. Issues of Modern Science and Practice V. I. Vernadsky University, no. 3, pp. 48–55, 2019. (In Rus.)
18. Fedorov A. A. Modern methods of solving problems of environmental and industrial safety in the management of drilling waste during the construction of oil and gas wells. Modern strategies and digital transformations of sustainable development of society, education and science: collection of articles of VIII International Scientific and Practical Conference. Moscow: ALEF, 2023. P. 139–142. (In Rus.)
19. Cardoso D. N., Soares A. M. V. M., Wrona F. J., Loureiro S. Assessing the acute and chronic toxicity of exposure to naturally occurring oil sands deposits to aquatic organisms using *Daphnia magna*. Science of the Total Environment, no. 729, 2020. Web. 01.01.2024. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32380325>. (In Eng.)
20. Munzinger A., Monicelli F. A. Comparison of the sensitivity of three *Daphnia magna* populations under chronic heavy metal stress. Ecotoxicol Environ Safety, no. 22, pp. 24–31, 1991. Web. 01.01.2024. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1914992>. (In Eng.)
21. Ostakh O., Grechishcheva N., Kusheeva V., Uzyakova E. Ecotoxicological assessment of soil-like mixtures made of drill cuttings. Journal of Engineering, Design and Technology, vol. 19, no, 6, pp. 1433–1450, 2021. (In Eng.)

Информация об авторе

Акатьева Татьяна Григорьевна, канд. биол. наук, доцент кафедры экологии и рационального природопользования, Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия; akatyevat@mail.ru. Область научных интересов: охрана окружающей среды, экологическая и водная экотоксикология, экология, экологическое нормирование.

Information about the author

Akatieva Tatyana G., candidate of biological sciences, associate professor, Ecology and Environmental Management department, Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia; akatyevat@mail.ru. Research interests: environmental protection, environmental and aquatic ecotoxicology, ecology, environmental regulation.

Для цитирования

Акатьева Т. Г. Изучение токсичности отходов бурения методом биотестирования // Вестник Забайкальского государственного университета. 2024. Т. 30, № 3. С. 8–15. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-8-15.

For citation

Akatieva T. G. Studying of the Toxicity of Drilling Waste Using Biotesting // Transbaikal State University Journal. 2024. Vol. 30, no. 3. P. 8–15. DOI: 10.21209/2227-9245-2024-30-3-8-15.