



DOI: 10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162

EDN: WQYTYZ

УДК 504.064.43:504.064.45

Научная статья / Research article

Исследование физико-механических свойств бурового шлама при его высокотемпературном обезвреживании

А.Е. Зимнухова✉, Е.В. Гаевая

Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Российская Федерация

✉nastya_plotnikova@bk.ru

Аннотация. Изучена проблема эффективного обращения с буровыми шламами, разработки безотходных и малоотходных технологий. Рассматривается высокотемпературный обжиг как один из наиболее перспективных и универсальных методов. Целью исследования является изучение физико-механических характеристик бурового шлама в зависимости от температурного режима обезвреживания. В качестве объекта исследования использован буровой шлам Южно-Островного, Средне-Назымского, Средне-Балыкского нефтяных месторождений ХМАО-Югры. Представлены данные по гранулометрическому составу, прочности при сжатии, водопоглощению, изменению прочности в водонасыщенном состоянии, коэффициенту размягчения образцов бурового шлама в зависимости от температуры обжига. Выявлен наиболее благоприятный температурный режим для обезвреживания бурового шлама. Материал, полученный в результате обезвреживания, может рассматриваться для использования при строительстве площадных и линейных объектов в рамках обустройства месторождений.

Ключевые слова: буровой шлам, обезвреживание, высокотемпературный обжиг, свойства бурового шлама, гранулометрический состав, прочность при сжатии, вторичное использование

Вклад авторов. *Зимнухова А.Е.* – проведение лабораторных исследований, обработка данных, подготовка статьи; *Гаевая Е.В.* – консультирование, подготовка статьи.

История статьи: поступила в редакцию 15.09.2023; доработана после рецензирования 20.12.2023; принята к публикации 10.01.2024.

© Зимнухова А.Е., Гаевая Е.В., 2024



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

Для цитирования: 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. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162>

Research of physical and mechanical properties of drilling sludges during its high-temperature neutralization

Anastasiia E. Zimnukhova✉, Elena V. Gaevaya

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

✉ nastya_plotnikova@bk.ru

Abstract. The article is devoted to the problem of effective management of drilling sludge, the development of waste-free and low-waste technologies. High-temperature firing is considered as one of the most promising and universal methods. The aim of the research is to study the physical and mechanical characteristics of drilling sludge depending on the temperature regime of neutralization. The drilling sludge of the Yuzhno-Ostrovnoe, Sredne-Nazymskoe, Sredne-Balykskoe oil fields of KhMAO-Yugra was used as an object of research. Data on the granulometric composition, compressive strength, water absorption, change in strength in the water-saturated state, softening coefficient of drilling sludge samples depending on the firing temperature are presented. The most favorable temperature regime for the neutralization of drilling sludge has been identified. The material obtained as a result of neutralization can be considered for use in the construction of areal and linear facilities as part of the development of deposits.

Keywords: drilling sludge, neutralization, high-temperature firing, properties of drilling sludge, granulometric composition, compressive strength, secondary use

Authors' contributions. *Zimnukhova A.E.* – laboratory research, data processing, article preparation; *Gaeva E.V.* – consulting, article preparation.

Article history: received 15.09.2023; revised 20.12.2023; accepted 10.01.2024

For citation: 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.) <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2024-32-2-155-162>

Проблема обращения с буровыми шламами является одной из наиболее значимых экологических проблем в нефтегазовой отрасли. Традиционным методом обращения с данным отходом, независимо от применяемого бурового раствора, остается размещение и накопление в шламовых амбарах с последующей утилизацией [1; 2]. Такой подход подразумевает получение продуктов с низкой востребованностью вторичного использования в производственно-технологической цепочке, в результате чего эти продукты остаются в теле кустовой площадки.

На сегодняшний день одним из приоритетных направлений обращения с буровыми отходами являются обезвреживание и утилизация с получением экологически безопасной и рентабельной продукции¹.

Помимо этого, актуальным является вопрос разработки малоотходных ресурсосберегающих технологий, предусматривающих способы обезвреживания и утилизации буровых отходов [3; 4]. Обезвреживание буровых шламов способствует снижению негативного воздействия на окружающую среду нескольких загрязнителей: нефтепродуктов, водорастворимых солей и др.

На сегодняшний день предпочтение отдается физико-химическим методам обезвреживания буровых шламов [5–9]. При этом термическое обезвреживание входит в перечень наилучших доступных технологий и является перспективным и универсальным методом² [10–11]. Также термический способ обезвреживания относят к наиболее эффективным, но не всегда экономически выгодным [12; 13]. Из недостатков данного метода можно выделить необходимость применения топлива и вероятность загрязнения атмосферного воздуха продуктами горения.

Целью исследования является изучение физико-механических характеристик бурового шлама в зависимости от температурного режима обезвреживания.

Материалы и методы

Объектом исследования является буровой шлам с нефтяных месторождений, отличающихся геологическим строением.

Отбор проб буровых шламов осуществлялся на Южно-Островном (*БШЮО*), Средне-Назымском (*БШСН*), Средне-Балыкском (*БШСБ*) нефтяных месторождениях ХМАО-Югры.

Исследуемый буровой шлам был сформован на прессе ИЛ-100 под давлением 6 МПа в цилиндры диаметром 30 мм и высотой 30 мм. Влажность формования составила 8 %.

Сформованные образцы были высушены до постоянной массы при температуре 105 ± 5 °С, после чего подвергались обжигу. Обжиг бурового шлама (*БШЮО*) производился при температурах 600, 700, 800, 900, 1000 °С, а также ступенчато – нагрев до 300 °С, перестановка в 600 °С и нагрев до 800 °С.

На основании результатов испытаний образцов (*БШЮО*) буровые шламы (*БШСН*, *БШСБ*) были подвержены обжигу при температурах 800, 900 и 1000 °С.

¹ Рекомендации по соблюдению обязательных требований в области охраны окружающей среды при строительстве скважин на суше на месторождениях углеводородов поликомпонентного состава, в том числе сероводородсодержащих: утверждено протоколом № 2 заседания НТС Росприроднадзора от 09 июня 2022 года. – М., 2022. 182 с.

² ИТС 9-2020. Утилизация и обезвреживание отходов термическими способами. М.: Бюро НДТ, 2020. 236 с.

До и после обжига с помощью штангенциркуля контролировали размеры полученных цилиндров.

Прочность при сжатии определена методом статического нагружения с использованием машины для испытания на сжатие ИП-100.

Водопоглощение вычислялось методом водонасыщения. Водонасыщение проводилось в течение двух суток посредством замачивания образцов в воде.

Гранулометрический состав определен методом лазерной дифракции с помощью прибора лазерного анализатора частиц «Analysette 22» MicroTecPlus.

Результаты и обсуждение

По результатам анализа гранулометрического состава бурового шлама (рис. 1) установлено незначительное количество крупных (0,24 %) и средних (0,65 %) песчаных частиц, высокое содержание мелких пылеватых (35,51 %) и глинистых (63,60 %) частиц в пробе (*БШЮо*). Содержание частиц размером менее 0,01 мм (пылеватые и глинистые частицы) составило 99,11 %, на основании чего буровой шлам отнесен к глинам тяжелым.

В буровом шламе (*БШСн*) не зафиксировано крупных песчаных частиц. Количество мелких и тонких песчаных частиц было 8,4 %, крупных пылеватых – 55,8 %.

Содержание частиц размером менее 0,01 мм находилось на уровне 35,81 %. На основании этого буровой шлам отнесен к суглинкам средним.

В буровом шламе (*БШСб*) отсутствовали крупные песчаные частицы. Мелкие и тонкие песчаные частицы содержались в количестве 30,6 %, крупные пылеватые – 47,1 %. Содержание пылеватых и глинистых частиц было 22,3 %, что соответствовало суглинкам легким.

По результатам прочностных испытаний образцов бурового шлама, подверженных обжигу, установлено, что для буровых шламов Южно-Островного и Средне-Назымского месторождений наибольшая прочность достигалась при обжиге 800 °С и составила 18,86 МПа и 20,15 МПа соответственно. Для бурового шлама Средне-Балыкского месторождения наибольшая прочность наблюдалась при 900 °С и составила 26,15 МПа (рис. 2).

Полученные значения прочности на сжатие сравнивались с прочностью гранул керамзитового гравия, соответствующего требованиям ГОСТ 9757-90 – 10,4 МПа.

Водопоглощение оценивалось по массе и объему. Для образцов бурового шлама (*БШЮо*, *БШСн*) наименьшие значения водопоглощения наблюдались при обжиге 800 °С, для образцов (*БШСб*) – 900 °С (табл. 1).

Помимо этого, исследовано изменение прочности в водонасыщенном состоянии по отношению к сухому. Наименьшее изменение прочности наблюдалось у образцов буровых шламов (*БШСн*) при обжиге 800 °С и (*БШСб*) при обжиге 900 °С и составляет 1,59 % и 7,53 % соответственно.

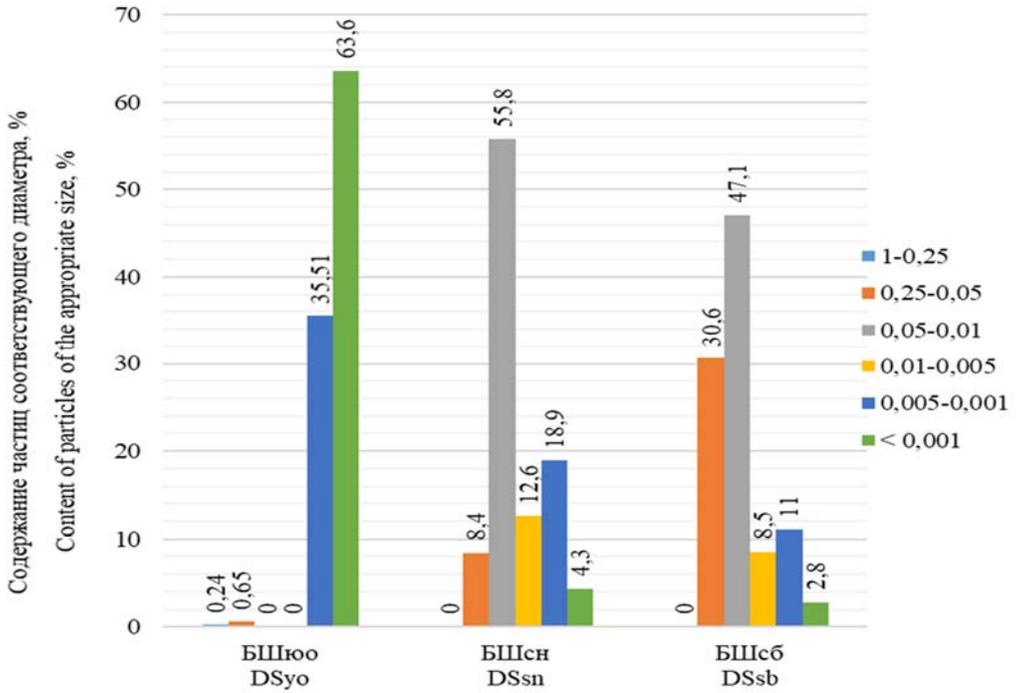


Рис. 1. Гранулометрический состав буровых шламов

Источник: составлено авторами /

Figure 1. Granulometric composition of drilling sludges

Source: compiled by the authors.

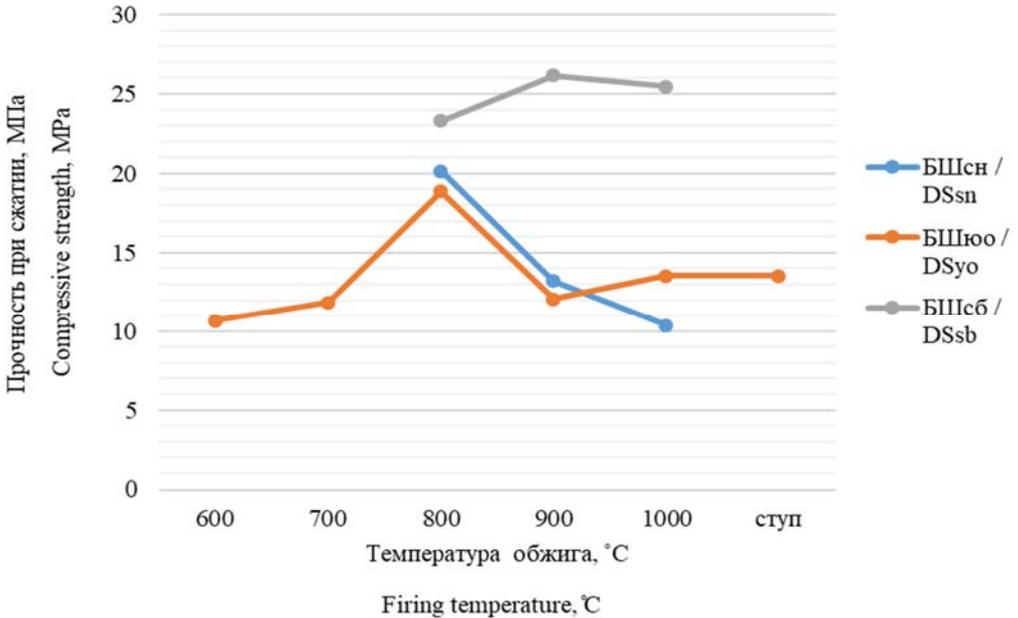


Рис. 2. Прочность на сжатие образцов бурового шлама, подверженных обжигу.

Источник: составлено авторами /

Figure 2. Compressive strength of drilling sludges samples exposed to firing

Source: compiled by the authors.

Для бурового шлама (*БШ_{СН}*), обожженного при 900 °С, отмечалось приращение прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии на 51,8 %.

На основании полученных данных прочностных испытаний в сухом и водонасыщенном состояниях определен коэффициент размягчения, равный отношению прочности во влажном состоянии к прочности в сухом. Строительные материалы считаются водостойкими, если коэффициент размягчения равен не менее 0,8. Обезвреженные буровые шламы относились к водостойким, кроме (*БШ_{СВ}*, *БШ_{СБ}*), обожженных при 800 °С.

В процессе обжига при 1000 °С образцы буровых шламов растрескивались, поэтому физико-механические характеристики не изучались.

Таблица 1. Физико-механические свойства буровых шламов в зависимости от температуры обжига

| Образец бурового шлама | <i>БШ_{ЮЮ}</i> | | <i>БШ_{СН}</i> | | <i>БШ_{СБ}</i> | |
|--|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | 800 | 900 | 800 | 900 | 800 | 900 |
| Температура, °С | | | | | | |
| Водопоглощение по массе, <i>B_м</i> , % | 6,33 | 20,01 | 17,11 | 20,32 | 17,78 | 17,41 |
| Водопоглощение по объему, <i>B_в</i> , % | 13,43 | 35,62 | 31,38 | 34,32 | 31,39 | 30,06 |
| Изменение прочности в водонасыщенном состоянии, ΔR , % | 23,17 | 19,63 | 1,59 | 51,8 | 44,95 | 7,53 |
| Коэффициент размягчения | 0,77 | 0,82 | 0,98 | 2,08 | 0,55 | 0,93 |

Источник: составлено авторами.

Table 1. Physical and mechanical properties of drilling sludges samples depending on the firing temperature

| Sample of drilling sludge | <i>DS_{ЮЮ}</i> | | <i>DS_{СН}</i> | | <i>DS_{СБ}</i> | |
|---|------------------------|-------|------------------------|-------|------------------------|-------|
| | 800 | 900 | 800 | 900 | 800 | 900 |
| Temperature, °С | | | | | | |
| Water absorption by weight, <i>B_м</i> , % | 6.33 | 20.01 | 17.11 | 20.32 | 17.78 | 17.41 |
| Water absorption by volume, <i>B_в</i> , % | 13.43 | 35.62 | 31.38 | 34.32 | 31.39 | 30.06 |
| Change in strength in the water-saturated state, ΔR , % | 23.17 | 19.63 | 1.59 | 51.8 | 44.95 | 7.53 |
| Softening coefficient | 0.77 | 0.82 | 0.98 | 2.08 | 0.55 | 0.93 |

Source: compiled by the authors.

Заключение

На основании полученных данных можно сделать вывод о благоприятном влиянии высоких температур на физико-механические свойства буровых шламов разных нефтяных месторождений.

Обезвреживание при 800 и 900 °С является наиболее предпочтительным вариантом, позволяющим повысить прочность без растрескивания материала.

Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования высокотемпературного обжига как способа обращения с буровыми шламами. Материал, получаемый в результате обезвреживания, может применяться для отсыпки дорог, кустовых площадок при обустройстве месторождений, что позволит заменить часть привозных природных материалов и снизить стоимость обустройства.

Список литературы

- [1] Малахова Ю.В., Остах О.С., Мазлова Е.А. Экологические проблемы, связанные с содержанием государственных скважин на лицензионном участке недропользователя // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25, № 8. С. 66–71. <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-66-71>

- [2] *Остах О.С.* Экологическая оценка методов утилизации отходов бурения // II Международная научно-практическая конференция «Наука и технологии в нефтегазовом деле»: сборник тезисов. Армавир, 2020. С. 333–335.
- [3] *Бортников А.Е., Талипова Е.В., Сайфиев Р.Р.* Решение проблемы утилизации бурового шлама на месторождениях ООО «Лукойл-Западная Сибирь» // Геология и нефтегазоносность Западно-Сибирского мегабассейна (опыт, инновации): материалы Девятой Междунар. науч.-технич. конф. (посвященной 100-летию со дня рождения Протозанова Александра Константиновича). Тюмень, 2014. С. 222–227.
- [4] *Ноздря В.И., Мазыкин С.В., Мнацаканов В.А., Баранихин Е.В., Бержец М.С.* Опыт практической реализации комплексного подхода к обращению с отходами бурения в регионах Крайнего Севера // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. 2015. № 2. С. 30–33.
- [5] *Гаевая Е.В., Тарасова С.С., Солонина В.А.* Разработка научных основ утилизации буровых отходов при бурении скважин в нефтяной отрасли. Тюмень: ТИУ, 2021. 174 с.
- [6] *Идрисов Р.Х., Масагутов Р.Ф.* Анализ физических методов обезвреживания отходов бурения // Технические науки – от теории к практике. 2015. № 7–8 (44). С. 159–165.
- [7] *Литвинова Т.А.* Современные способы обезвреживания и утилизации нефтесодержащих отходов для ликвидации загрязнения окружающей среды // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 123. С. 902–916. <http://doi.org/10.21515/1990-4665-123-062>
- [8] *Хамидуллина Г.А., Майский Р.А.* Применение технологии инъекции при утилизации буровых отходов с учетом геомеханической модели пласта // Вестник молодого ученого УГНТУ. 2016. № 1. С. 10–14.
- [9] *Ball A.S., Stewart R.J., Schliephake K.* A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings // *Waste Management and Research*. 2012. № 30. P. 457–473. <http://doi.org/10.1177/0734242X11419892>
- [10] *Huang Z., Xu Z., Quan Y., Jia H., Li J., Li Q., Chen Z., Pu K.* A review of treatment methods for oil-based drill cuttings // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170, IOP Publishing, 2018. Article 022074. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/170/2/022074>
- [11] *Okeke P.N., Obi C.* Treatment of oil drill cuttings using thermal desorption technique // *ARPN Journal of Systems and Software*. 2013. No. 3. P. 153–158.
- [12] *Костылева Н.В., Першукова О.Ю.* К вопросу минимизации негативного воздействия на компоненты природной среды буровых шламов нефтегазовых месторождений // Нефть и газ Западной Сибири: материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина Анатолия Николаевича. Тюмень, 2015. С. 270–272.
- [13] *Подалов Ю.А.* Экология нефтяного производства. М.: Инфра-Инженерия, 2010. 416 с.

References

- [1] Malakhova YV, Ostakh OS, Mazlova EA. Environmental Challenges Associated with the Maintenance of State Wells in the Licensed Claim. *Ecology and Industry of Russia*. 2021;25(8):66–71. (In Russ.) <http://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-8-66-71>
- [2] Ostakh OS. Environmental assessment of drilling waste disposal methods. *II International Scientific and Practical Conference “Science and technology in the oil and gas industry”: collection of abstracts*. Armavir; 2020. pp. 333–335. (In Russ.)
- [3] Bortnikov AE, Talipova EV, Sajfiev RR. Solving the problem of drilling sludge utilization at the fields of Lukoil-Western Siberia LLC. *Geology and oil and gas potential of the West Siberian megabasin (experience, innovations): materials of the Ninth International*

- Scientific and Technical Conference (dedicated to the 100th anniversary of the birth of Protozanov Alexander Konstantinovich)*. Tyumen; 2014. pp. 222–227. (In Russ.)
- [4] Nozdrya VI, Mazy`kin SV, Mnaczakanov VA, Baranixin EV, Berzhecz MS. Experience of practical implementation of an integrated approach to the management of drilling waste in the regions of the Far North. *Bulletin of the Association of Drilling Contractors*. 2015;2:30–33. (In Russ.)
- [5] Gaevaya EV, Tarasova SS, Solonina VA. *Development of scientific foundations for the disposal of drilling waste during well drilling in the oil industry*. Tyumen: TIU Pibl.; 2021. 174 p. (In Russ.)
- [6] Idrisov RX, Masagutov RF. Analysis of physical methods of disposal of drilling waste. *Technical sciences – from theory to practice*. 2015;7-8(44):159–165. (In Russ.)
- [7] Litvinova TA. Modern ways of oil-contaminated waste utilization for the elimination of pollution. *Polythematic online electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University*. 2016;123:902–916. (In Russ.). <http://doi.org/10.21515/1990-4665-123-062>
- [8] Xamidullina GA, Majskij RA. Application of injection technology in the disposal of drilling waste, taking into account the geomechanical model of the formation. *Bulletin of the young scientist of the USPTU*. 2016;1:10–14. (In Russ.)
- [9] Ball AS, Stewart RJ, Schliephake K. A review of the current options for the treatment and safe disposal of drill cuttings. *Waste Management and Research*. 2012;30:457–473. <http://doi.org/10.1177/0734242X11419892>
- [10] Huang Z, Xu Z, Quan Y, Jia H, Li J, Li Q, Chen Z, Pu K. A review of treatment methods for oil-based drill cuttings. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 170, IOP Publishing, 2018:022074. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/170/2/022074>
- [11] Okeke PN, Obi C. Treatment of oil drill cuttings using thermal desorption technique // *ARPN Journal of Systems and Software*. 2013;3:153–158.
- [12] Kostyleva NV, Pershukova OYu. On the issue of minimizing the negative impact on the components of the natural environment of drilling slurries of oil and gas fields. *Oil and Gas of Western Siberia: materials of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of Anatoly Nikolaevich Kosukhin*. Tyumen; 2015. pp. 270–272. (In Russ.)
- [13] Podavalov YuA. *Ecology of oil production*. Moscow: Infra-Inzheneriya Publ.; 2010. 416 p. (In Russ.)

Сведения об авторах:

Зимнухова Анастасия Евгеньевна, аспирант, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38. eLIBRARY SPIN-код: 8195-8940. E-mail: nastya_plotnikova@bk.ru

Гаевая Елена Викторовна, кандидат биологических наук, доцент кафедры техносферной безопасности, Тюменский индустриальный университет, Российская Федерация, 625000, Тюмень, ул. Володарского, д. 38. eLIBRARY SPIN-код: 7995-7324. E-mail: gaevajae@tyuiu.ru

Bio notes:

Anastasiia E. Zimnukhova, PhD student, Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St, Tyumen, 625000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-code: 8195-8940. E-mail: nastya_plotnikova@bk.ru

Elena V. Gaevaya, PhD in Biology, Professor of Technosphere Safety Department, Industrial University of Tyumen, 38 Volodarskogo St, Tyumen, 625000, Russian Federation. eLIBRARY SPIN-код: 7995-7324. E-mail: gaevajae@tyuiu.ru