

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14>

ИССЛЕДОВАНИЕ ИСПАРЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА С ПОВЕРХНОСТИ ГРУНТА ПРИ АВАРИЙНЫХ РАЗЛИВАХ

Научная статья

Несмеянов А.А.¹, Шеков А.А.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0001-6591-7694;

² ORCID : 0000-0003-2111-718X;

¹ Восточно-Сибирский институт МВД России, Иркутск, Российская Федерация

² Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, Железногорск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (shek[at]inbox.ru)

Аннотация

Техногенные катастрофы, связанные с разливами нефтепродуктов, оказывают значительное влияние на экологию, инфраструктуру и нормальную жизнедеятельность общества. В связи с этим исследования в области прогнозирования сценариев развития обстановки при разливах нефтепродуктов, снижения последствий от возникшей аварийной ситуации не теряют своей актуальности. В статье с использованием метода газовой хроматографии определены особенности испарения дизельного топлива с поверхности грунта. Установлено, что через 6 месяцев после разлива дизельного топлива на поверхность песчаного грунта наблюдается сохранение нефтепродукта при незначительном изменении его компонентного состава вследствие испарения легколетучих компонентов.

Ключевые слова: нефтепродукты, дизельное топливо, природные и техногенные катастрофы, почвы, загрязнение, экология, газовая хроматография.

A STUDY OF DIESEL FUEL EVAPORATION FROM THE GROUND SURFACE DURING ACCIDENTAL SPILLS

Research article

Nesmeyanov A.A.¹, Shekov A.A.^{2,*}

¹ ORCID : 0000-0001-6591-7694;

² ORCID : 0000-0003-2111-718X;

¹ East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia, Irkutsk, Russian Federation

² Siberian Fire and Rescue Academy of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Zheleznogorsk, Russian Federation

* Corresponding author (shek[at]inbox.ru)

Abstract

Technogenic disasters associated with oil product spills have a significant impact on the environment, infrastructure and normal activities of society. In this regard, research in the field of predicting scenarios of situation development in case of oil product spills, reducing the consequences of the resulting emergency situation remains relevant. In the article with the use of gas chromatography method, the specifics of diesel fuel evaporation from the ground surface are determined. It is established that in 6 months after the spill of diesel fuel on the surface of sandy soil, the preservation of petroleum product with insignificant change of its component composition due to evaporation of volatile ingredients is observed.

Keywords: oil products, diesel fuel, natural and man-made disasters, soils, pollution, ecology, gas chromatography.

Введение

Ежегодно происходит множество природных и техногенных аварий, оказывающих значительное влияние на инфраструктуру и нормальную жизнедеятельность общества. С 2012 года на территории Российской Федерации произошло более 300 происшествий, которые сопровождались аварийным разливом нефтепродуктов. Так 17 августа 2009 года произошла авария на Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС), в результате которой были повреждены девять из десяти гидроагрегатов, затоплен машинный зал, произошло загрязнение нефтепродуктами устья реки Енисей [1]. 29 мая 2020 года в Норильском городском округе на территории ТЭЦ-3 ОАО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» произошёл разлив 21163 тонн дизельного топлива. В результате разлива произошло загрязнение земельных участков на территории 8,9 га и акваторий рек Далдыкан и Амбарная на площади 161,1 га [2], [3]. Данная проблематика также приобретает большое значение в связи с выработкой проектного ресурса, резервуарного парка и технологического оборудования, которые продолжают эксплуатироваться [4]. Решение данной проблематики лежит в русле организации непрерывного мониторинга, проведения надзорных мероприятий, организации прогнозирования сценариев развития обстановки в целях разработки планов действия при реализации одного из рассчитанных сценариев, для оперативного реагирования и снижения последствий от возникшей аварийной ситуации [5]. При этом одним из факторов, учитываемых при реализации указанных мероприятий, является время сохранения нефтепродуктов в грунте.

Как известно, нефтепродукты имеют весьма сложный индивидуальный состав: парафины нормального и изо- строения, нафтены, непредельные и ароматические углеводороды. После разлива нефтепродукта его концентрация в грунте будет снижаться в результате испарения компонентов с низкой температурой кипения [6], биоразложения отдельных компонентов нефтепродуктов в процессе жизнедеятельности микроорганизмов [7], [8]. При этом основным

процессом, влияющим на изменение состава этих нефтепродуктов, является испарение. Смоделировать данный процесс с учетом всех внешних факторов (воздействие тепла, воздушных потоков, осадков; влияние поверхности предмета-носителя; условия отбора, хранения, транспортировки; состояние внешней среды до отбора образцов и т.д.) конкретной ситуации практически невозможно. Общей закономерностью процесса испарения является уменьшение (вплоть до полного исчезновения) относительно легких компонентов нефтепродукта и увеличение относительно тяжелых.

Проблеме динамики загрязнения, в том числе сохранения нефтепродуктов в почвах, в последнее время уделяется пристальное внимание со стороны научного сообщества. Активно проводятся исследования, направленные на установление проницаемости почв для нефтепродуктов в зависимости от типа почвы, ее гранулометрического состава, механических свойств [9], [10], ведется поиск методов рекультивации с учетом глубины загрязнения почвы [11], разрабатываются методики обнаружения и оценки степени загрязнений почв нефтепродуктами [12]. Таким образом проведение дальнейших исследований в данном направлении является достаточно актуальным и практически значимым.

Для установления степени загрязнения грунта следами нефтепродукта специалисты применяют различные инструментальные методы исследования. К ним относятся молекулярная спектроскопия в инфракрасной и ультрафиолетовой области спектра, газовая, жидкостная и тонкослойная хроматография и другие аналитические методы [13]. Из вышеперечисленных методов исследования наиболее эффективным и достоверным является метод газовой хроматографии с пламенно-ионизационным и масс-спектрометрическим детектированием. Она позволяет получать данные о качественном и количественном компонентном составе сложных смесей углеводородов, таких как бензины, дизельное топливо, растворители и иные органические жидкости, и соответственно, о степени загрязнения грунта.

Учитывая вышеизложенное, реализация исследования динамики испарения нефтепродукта (дизельного топлива) с поверхности грунта с использованием метода газовой хроматографии может представлять значительный интерес как с практической, так и с научной точки зрения. Обзор проведения и систематизация результатов такого рода исследования при конкретных заданных условиях и является основной целью данной работы.

Методы и принципы исследования

Для моделирования разлива нефтепродукта использовался сухой песчаный грунт с удельной плотностью 1300 кг/м³. Грунт засыпался в вертикально стоящую на подложке трубу, диаметром 30 мм и высотой 250 мм. На поверхность грунта вносилось по 15 см³ дизельного топлива (рис. 1).

В соответствии с Правилами организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации, за исключением внутренних морских вод Российской Федерации и территориального моря Российской Федерации, утвержденными постановлением правительства Российской Федерации от 31 декабря 2020 г. № 2451, время локализации разлива нефти и нефтепродуктов на грунте не должно превышать 6 часов. При этом ликвидация разлива начинается после сосредоточения сил и средств и может начинаться на 2-3 день после аварии. Примером может послужить разлив дизельного топлива в г. Норильске 29 мая 2020 года, ликвидация которого началась 1 июня 2023 года. В связи с этим образцы грунта с дизельным топливом выдерживались открыто 2 дня, а для определения концентрации нефтепродукта в грунте при непроведении работ по локализации и ликвидации разлива – 6 месяцев.

После выдержки образцов пробы грунта извлекались послойно. Высота извлекаемых слоев грунта составляла 50 мм (объемом 20 см³).



Рисунок 1 - Схема послойного извлечения образцов грунта со следами нефтепродукта
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.1>

Следы дизельного топлива экстрагировались с проб грунта гексаном в объеме 10 см^3 в течение 15 минут. Компонентный состав экстрактов, содержащих следы дизельного топлива, определяли методом капиллярной газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектированием при следующих условиях:

- хроматограф – «Хроматэк Кристалл 5000»;
- колонка - капиллярная ZEBRON ZB-50 длиной 30 м;
- начальная температура колонок – $70 \text{ }^\circ\text{C}$;
- конечная температура колонок – $260 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура испарителя – $220 \text{ }^\circ\text{C}$;
- температура детектора – $260 \text{ }^\circ\text{C}$;
- газ-носитель – гелий.

Обработку результатов исследования (хроматограмм) проводили с использованием программного обеспечения «Хроматэк Аналитик».

Основные результаты и обсуждение

На хроматограммах нативного дизельного топлива преимущественно присутствуют пики нормальных алканов в виде «гребенки» от C8 до C24-C27, а также парные пики в области C14-C20, характерные для изо-алканов, в том числе для изопреноидов – пристана (2,6,10,14-тетраметил пентадекан, около C17) и фитана (2,6,10,14-тетраметил гексадекан, около C18).

При исследовании хроматограмм следов дизельного топлива, экстрагированных с проб грунта, выдержанных в течение 2 суток (рис. 2, 3), установлено наличие характерных для дизельного топлива пиков n-алканов от C8 до C24 [14]. Наиболее интенсивным является пик для C13 вне зависимости от глубины отбора образца для исследования. При увеличении глубины отбора проб грунта наблюдается снижение интенсивности всех компонентов, входящих в состав дизельного топлива. Тем не менее при разливе дизельного топлива на грунт и выдержке в течение 2 суток происходит пропитывание грунта нефтепродуктом на глубину более 25 см.

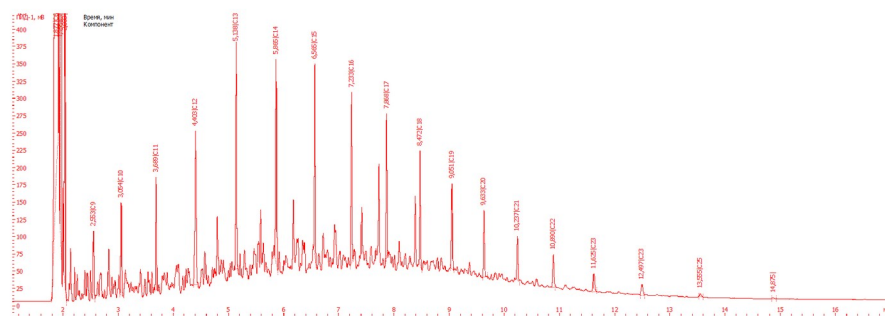


Рисунок 2 - Хроматограмма образца №1 при выдержке грунта в течение 2 суток
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.2>

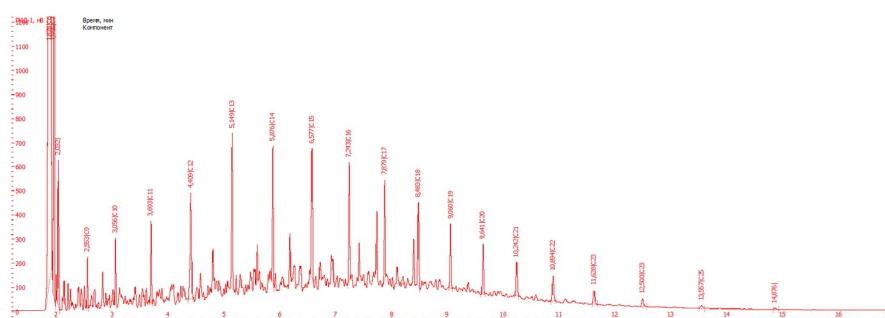


Рисунок 3 - Хроматограмма образца №5 при выдержке грунта в течение 2 суток
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.3>

При исследовании хроматограмм экстрактов с песчаного грунта, пропитанного дизельным топливом и выдержанного в течение 6 месяцев (рис. 4-8), установлено присутствие пиков парафинов от C9 до C24, характерных для дизельного топлива, с максимальной интенсивностью в диапазоне от 550 до 900 мВ. При этом в нижних слоях максимальная интенсивность приходится на пик C15, в верхних слоях на более низкокипящие компоненты C14 (на глубине до 5 см), C13 (на глубине от 5 до 10 см).

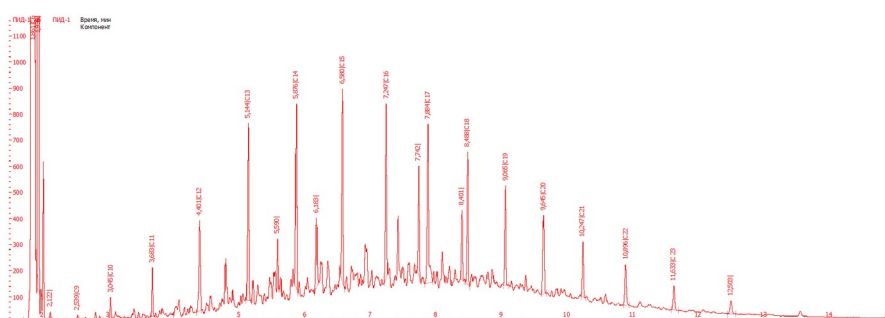


Рисунок 4 - Хроматограмма образца №1 при выдержке грунта в течение 6 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.4>

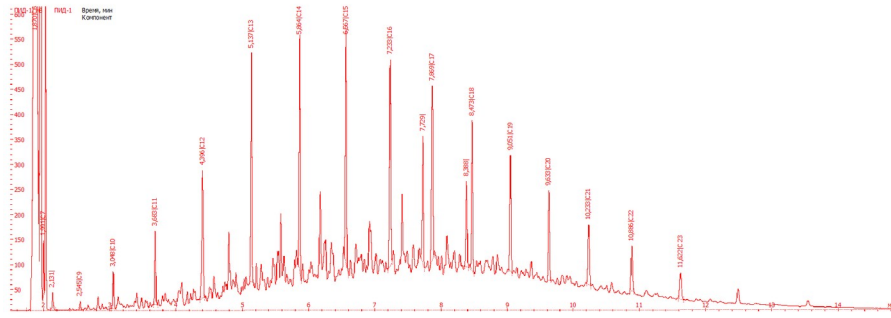


Рисунок 5 - Хроматограмма образца №2 при выдержке грунта в течение 6 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.5>

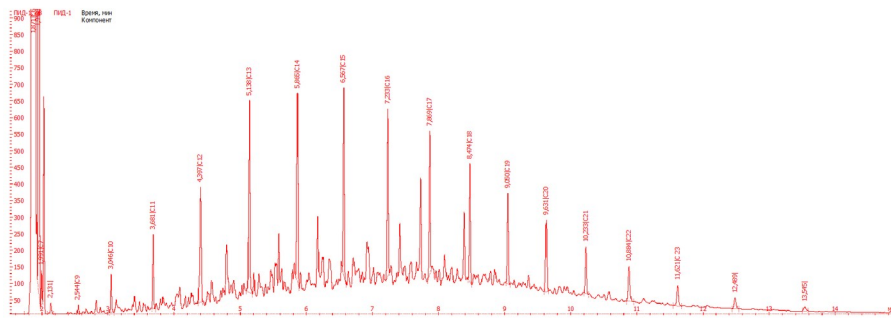


Рисунок 6 - Хроматограмма образца №3 при выдержке грунта в течение 6 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.6>

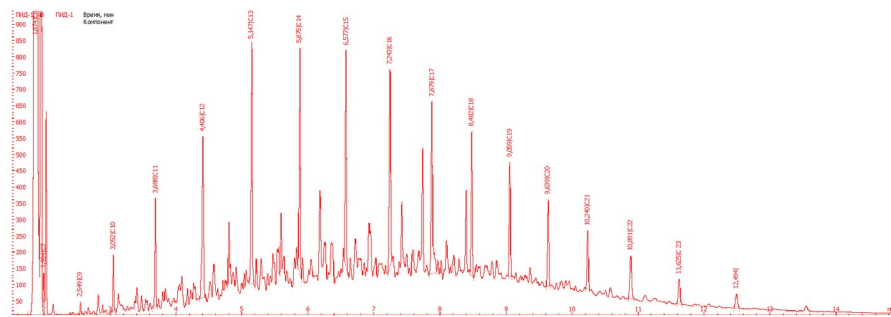


Рисунок 7 - Хроматограмма образца №4 при выдержке грунта в течение 6 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.7>

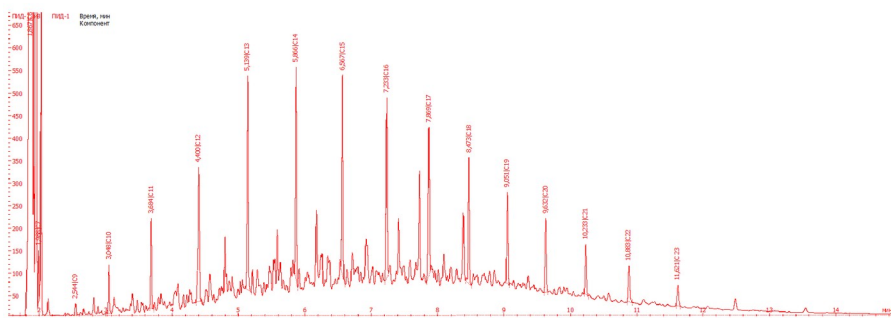


Рисунок 8 - Хроматограмма образца №5 при выдержке грунта в течение 6 месяцев
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2024.139.14.8>

Таким образом, через 6 месяцев после разлива на поверхность песчаного грунта нефтепродукт сохраняется, при этом наблюдается перераспределение компонентов дизельного топлива в зависимости от глубины проникновения в грунт и испарение легколетучих компонентов с поверхности грунта.

Заключение

В результате моделирования разлива дизельного топлива на поверхность песчаного грунта с пропитыванием на глубину до 25 см и исследования извлеченных следов нефтепродукта методом газовой хроматографии установлено:

- на хроматограммах экстрактов дизельного топлива с проб грунта, выдержанных в течение 2 суток, имеются характерные для дизельного топлива пики n-алканов от C8 до C24, при этом максимальная интенсивность наблюдается для пика C13 вне зависимости от глубины отбора образца;

- следы нефтепродукта сохраняются в значительном объеме в слое грунта в течение продолжительный времени (более 6 месяцев), что свидетельствует о необходимости рекультивации земель после разлива дизельных топлив в результате природных и техногенных аварий, в том числе с учетом зарубежного опыта [15];

- при длительной выдержке наблюдается перераспределение компонентов дизельного топлива в зависимости от глубины проникновения нефтепродукта в грунт.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Кабашов В.Ю. Причины и последствия аварии на Саяно-Шушенской ГЭС / В.Ю. Кабашов // Безопасность жизнедеятельности: современные проблемы и пути их решения. — Уфа: БГАУ, 2011. — С. 135-138.
2. Самсонова И.В. Оценка убытков, причиненных коренным малочисленным народам севера в Таймырском Долгано-Ненецком районе Красноярского края вследствие разлива дизельного топлива на ТЭЦ-3 в Норильске / И.В. Самсонова, И.М. Потравный, М.Б. Павлова [и др.] // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т. 11. — № 2. — С. 254-265.
3. Grebnev Y. Modelling the Accidental Oil Spills at Potentially Hazardous Facilities in the Arctic Zone of Krasnoyarsk Krai / Y. Grebnev, A. Moskalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 816. — № 1. — DOI: 10.1088/1755-1315/816/1/012007.
4. Новая жизнь для старого резервуарного парка // Экспозиция Нефть Газ. — 2017. — № 6(59). — С. 78-79.
5. Владимиров В.А. Управление рисками чрезвычайных ситуаций, обусловленных разливами нефти / В.А. Владимиров // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. — 2013. — Т. 3. — № 1(4). — С. 434-471.
6. Шеков А.А. Влияние степени испарения дизельных топлив на результаты их обнаружения и идентификации методом газовой хроматографии / А.А. Шеков, А.А. Корякин // Вестник Восточно-Сибирского института Министерства внутренних дел России. — 2012. — № 4. — С. 65-72.
7. Mann D. Microbial Degradation of Gasoline in Soil / D. Mann, W. Gresham // J. Forensic Sci. — 1990. — № 4(35). — P. 913-923.
8. Шеков А.А. Влияние микробиологического разложения на обнаружение и идентификацию следов интенсификаторов горения / А.А. Шеков, О.А. Толмачева, В.С. Зырянов // Полицейская и следственная деятельность. — 2020. — № 2. — С. 1-9.
9. Султыгов М.М. Экспериментальная модель поведения нефтяного загрязнения в почвах для анализа чрезвычайных ситуаций при разливах нефтепродуктов / М.М. Султыгов, М.А. Галишев, Ю.Н. Бельшина // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2019. — № 5(290). — С. 5-10.
10. Султыгов М.М. Влияние механических свойств и структуры почв на состав почвенных нефтяных загрязнений при чрезвычайных ситуациях, обусловленных разливами нефти / М.М. Султыгов, М.А. Галишев, Ю.Н. Бельшина // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2019. — № 3(51). — С. 104-110.
11. Быкова М.В. Оценка степени загрязненности территорий производственных объектов нефтепродуктами и способ их очистки / М.В. Быкова, М.А. Пашкевич // Научный журнал Российского газового общества. — 2019. — № 3-4(22-23). — С. 54-59.
12. Семенов В.В. Идентификация источников нефтяных загрязнений методом инфракрасной спектроскопии / В.В. Семенов, С.Г. Ивахнюк, М.А. Галишев [и др.] // Безопасность труда в промышленности. — 2022. — № 9. — С. 14-21.
13. Мурсалов Н.З. Метод идентификации времени загрязнения почвы деградированной нефтью на основе хроматограммы / Н.З. Мурсалов // Нефтегазовое дело. — 2019. — № 5. — С. 6-19.
14. Черепица С.В. Определение инспектируемых параметров дизельных топлив / С.В. Черепица, С.М. Бычков, А.Н. Коваленко [и др.] // Химия и технология топлив и масел. — 2003. — № 6. — С. 45-48.
15. Johnsen A.R. Full-scale Bioremediation of Diesel-polluted Soil in an Arctic Landfarm / A.R. Johnsen, U.S. Bøe, P. Henriksen [et al.] // Environmental Pollution. — 2021. — № 280. — DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116946.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kabashov V.Ju. Prichiny i posledstviya avarii na Sajano-Shushenskoj GJeS [Causes and Consequences of the Accident at Sayano-Shushenskaya HPP] / V.Ju. Kabashov // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti: sovremennye problemy i puti ih reshenija [Life Safety: Modern Problems and Ways of Their Solution]. — Ufa: BSAU, 2011. — P. 135-138. [in Russian]
2. Samsonova I.V. Ocenka ubytkov, prichinennyh korennym malochislennym narodam severa v Tajmyrskom Dolgano-Neneckom rajone Krasnojarskogo kraja vsledstvie razliva dizel'nogo topliva na TJeC-3 v Noril'ske [An Assessment of Losses Caused to the Indigenous Minorities of the North in the Taimyrsky Dolgano-Nenetsky District of Krasnoyarsk Krai Due to the Diesel Fuel Spill at TPP-3 in Norilsk] / I.V. Samsonova, I.M. Potravny, M.B. Pavlova [et al.] // Arktika: jekologija i jekonomika [Arctic: Ecology and Economics]. — 2021. — Vol. 11. — № 2. — P. 254-265. [in Russian]
3. Grebnev Y. Modelling the Accidental Oil Spills at Potentially Hazardous Facilities in the Arctic Zone of Krasnoyarsk Krai / Y. Grebnev, A. Moskalev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 816. — № 1. — DOI: 10.1088/1755-1315/816/1/012007.
4. Novaja zhizn' dlja starogo rezervuarnogo parka [New Life for an Old Tank Farm] // Jekspozicija Neft' Gaz [Exposition Oil Gas]. — 2017. — № 6(59). — P. 78-79. [in Russian]
5. Vladimirov V.A. Upravlenie riskami chrezvychajnyh situacij, obuslovlennyh razlivami nefti [Risk Management of Emergency Situations Due to Oil Spills] / V.A. Vladimirov // Strategija grazhdanskoj zashhity: problemy i issledovaniya [Civil Protection Strategy: Problems and Research]. — 2013. — Vol. 3. — № 1(4). — P. 434-471. [in Russian]
6. Shekov A.A. Vlijanie stepeni isparenija dizel'nyh topliv na rezul'taty ih obnaruzhenija i identifikacii metodom gazovoj hromatografii [Influence of the Degree of Vaporization of Diesel Fuels on the Results of their Detection and Identification by Gas Chromatography] / A.A. Shekov, A.A. Koryakin // Vestnik Vostochno-Sibirskogo instituta Ministerstva vnutrennih del Rossii [Bulletin of the East-Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia]. — 2012. — № 4. — P. 65-72. [in Russian]
7. Mann D. Microbial Degradation of Gasoline in Soil / D. Mann, W. Gresham // J. Forensic Sci. — 1990. — № 4(35). — P. 913-923.
8. Shekov A.A. Vlijanie mikrobiologicheskogo razlozhenija na obnaruzhenie i identifikaciju sledov intensivatorov gorenija [Influence of Microbiological Decomposition on Detection and Identification of Traces of Combustion Intensifiers] / A.A. Shekov, O.A. Tolmacheva, V.S. Zyryanov // Policejskaja i sledstvennaja dejatel'nost' [Police and Investigative Activity]. — 2020. — № 2. — P. 1-9. [in Russian]
9. Sulygov M.M. Jeksperimental'naja model' povedenija neftjanogo zagrjaznenija v pochvah dlja analiza chrezvychajnyh situacij pri razlivah nefteproduktov [An Experimental Model of Oil Pollution Behaviour in Soils for the Analysis of Emergency Situations at Oil Spills] / M.M. Sulygov, M.A. Galishev, Y.N. Belshina // Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse [Environmental Protection in Oil and Gas Complexes]. — 2019. — № 5(290). — P. 5-10. [in Russian]
10. Sulygov M.M. Vlijanie mehanicheskikh svoystv i struktury pochv na sostav pochvennyh neftjanyh zagrjaznenij pri chrezvychajnyh situacijah, obuslovlennyh razlivami nefti [Influence of Mechanical Properties and Soil Structure on the Composition of Soil Oil Pollution in Emergency Situations caused by Oil Spills] / M.M. Sulygov, M.A. Galishev, Y.N. Belshina // Problemy upravlenija riskami v tehnosfere [Problems of Risk Management in the Technosphere]. — 2019. — № 3(51). — P. 104-110. [in Russian]
11. Bykova M.V. Ocenka stepeni zagrjaznennosti territorij proizvodstvennyh ob#ektov nefteproduktami i sposob ih oчитki [An Assessment of the Degree of Pollution of Territories of Production Facilities by Oil Products and the Method of their Cleaning] / M.V. Bykova, M.A. Pashkevich // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo gazovogo obshhestva [Scientific Journal of the Russian Gas Society]. — 2019. — № 3-4(22-23). — P. 54-59. [in Russian]
12. Semenov V.V. Identifikacija istochnikov neftjanyh zagrjaznenij metodom infrakrasnoj spektroskopii [Identification of Oil Pollution Sources by Infrared Spectroscopy] / V.V. Semenov, S.G. Ivakhnyuk, M.A. Galishev [et al.] // Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Labour Safety in Industry]. — 2022. — № 9. — P. 14-21. [in Russian]
13. Mursalov N.Z. Metod identifikacii vremeni zagrjaznenija pochvy degradirovannoj neft'ju na osnove hromatogrammy [Method of Identification of Time of Soil Pollution with Degraded Oil on the Basis of Chromatogram] / N.Z. Mursalov // Neftegazovoe delo [Oil and Gas Business]. — 2019. — № 5. — P. 6-19. [in Russian]
14. Cherepica S.V. Opredelenie inspektiruemyh parametrov dizel'nyh topliv [Determination of Inspectable Parameters of Diesel Fuels] / S.V. Cherepitsa, S.M. Bychkov, A.N. Kovalenko [et al.] // Himija i tehnologija topliv i masel [Chemistry and Technology of Fuels and Oils]. — 2003. — № 6. — P. 45-48. [in Russian]
15. Johnsen A.R. Full-scale Bioremediation of Diesel-polluted Soil in an Arctic Landfarm / A.R. Johnsen, U.S. Boe, P. Henriksen [et al.] // Environmental Pollution. — 2021. — № 280. — DOI: 10.1016/j.envpol.2021.116946.