

Особенности структуры техногенных нефтяных линз в районах размещения объектов логистики нефтепродуктов

О. Г. Фонова¹✉, И. И. Косинова¹, В. А. Бударина¹, А. Н. Галкин²

¹Воронежский государственный университет, Российская Федерация
(394018, г. Воронеж, Университетская пл., 1),

²Витебский государственный университет, Беларусь
(210038, г. Витебск, Московский пр-т, 33)

Аннотация: Целью настоящей работы является анализ материала нефтяной линзы как источника экологических рисков, возникающих в местах размещения крупных объектов логистики нефтепродуктов (ОЛН).

Материалы и методы. В качестве основного метода исследований использовано натурное моделирование, алгоритм действий которого включил выбор объекта исследований, отбор материала линзы из наблюдательных скважин, проведение эксперимента по изучению дифференциации материала линзы во времени.

Результаты и обсуждение. Впервые получены данные по составу линзы, включающему: 50 % – легкие нефтепродукты; 10% – тяжелые нефтепродукты; 40% – загрязненная вода, в которой растворимость керосинов составляет 2-5 мг/дм³, дизельного топлива – 8-22 мг/дм³. Временной анализ дифференциации материала линзы выявил временной интервал максимального разделения всех ее составляющих, который составил 108-120 часов.

Выводы. Проведенные исследования впервые позволили определить состав нефтяных линз, формирующихся в грунтах зоны аэрации и на поверхности водоносных горизонтов в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов. Эффективность реабилитации эколого-геологических систем на данных участках зависит от достоверности информации о составе и свойствах техногенных нефтяных линз.

Ключевые слова: объект, логистика, нефтепродукты, длительность, эксплуатация, нефтяная линза, состав, легкие нефтепродукты, тяжелые нефтепродукты, коагуляция.

Источник финансирования: Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 20-55-00010/20 и БРФФИ № X20P-284 «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов».

Для цитирования: Фонова О. Г., Косинова И. И., Бударина В. А., Галкин А. Н. Особенности структуры техногенных нефтяных линз в районах размещения объектов логистики нефтепродуктов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология, 2022, № 1, с. 93-102. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9090>

ВВЕДЕНИЕ

Проблема нефтяного загрязнения грунтов зоны аэрации и водоносных горизонтов в пределах техногенно нагруженных территорий является в настоящее время весьма актуальной. Широкое развитие автотранспорта, обеспечивающего жизнь и деятельность различных направлений промышленности, селитебного, аграрного комплексов, приводит к необходимости размеще-

ния в непосредственной близости от объектов деятельности крупных предприятий логистики нефтепродуктов [1]. В зависимости от объемов хранимого вещества, они подразделяются на объекты 1 категории (объем резервуаров превышает 100 000 м³; объекты 2 категории (объем резервуаров изменяется от 2 000 до 100 000 м³); объекты 3 категории (объем резервуаров менее 2 000 м³).

© Фонова О. Г., Косинова И. И., Бударина В. А., Галкин А. Н., 2022

✉ Фонова Оксана Геннадьевна, e-mail: fonova.ok@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Актуальность данной проблемы подтверждается довольно плотным расположением нефтебаз в пределах крупной городской агломерации. 13 объектов логистики нефтепродуктов распределены по районам города Воронежа. Максимальная плотность характерна для Левобережного района, в пределах которого размещаются крупные промышленные предприятия. Помимо объектов логистики нефтепродуктов, значительные экологические риски несут автозаправки, включающие подземные резервуары хранения сырья [2]. Их количество в пределах крупного города центра России достигает 18 единиц. Их пространственное распространение подвержено иной закономерности. Они приурочены к местам максимальной плотности населения. Инфильтрация нефтепродуктов вниз по разрезу в результате эксплуатации обозначенных объектов возникает в результате проливов, нарушения герметичности резервуаров, возникновения нештатных ситуаций [3].

Целью настоящей работы стало изучение материала нефтяной линзы как объекта экологических рисков, возникающих в местах размещения крупных объектов логистики нефтепродуктов (ОЛН).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для определения особенностей процессов аккумуляции и миграции загрязнителя в системе «грунт-материал линзы» были проведены натурные эксперименты по исследованию физико-химических особенностей материала нефтяной линзы.

Алгоритм эксперимента включал следующие этапы деятельности:

- выбор объекта исследований, отражающего наиболее характерные процессы формирования техногенной линзы нефтепродуктов;
- отбор усреднённой пробы материала линзы из наблюдательных скважин;
- смешивание материала линзы и отбор пробы для эксперимента;
- размещение отобранного материала в 5 цилиндров для наблюдений за процессами дифференциации вещества.

В качестве объекта исследований был выбран длительно существующий объект логистики нефтепродуктов 1 уровня [4]. Отбор материала линзы осуществлялся одновременно из 6 наблюдательных скважин.

Перемещение материала линзы из стеклянной емкости в цилиндр позволило визуально зафиксировать процессы образования пленок, покрывающих поверхности контакта (рис. 1).

Подобные пленки заполняют поровое пространство грунтов, препятствуют миграции влаги и воздуха, что создает экстремальные условия для подземных экосистем [5,6].

В начале эксперимента материал линзы перемещается и вносится в цилиндр объемом 1 л. В процессе внесения материала наблюдается его расслоение на 3 части. Верхняя составляет объем 470,0 мл³, вторая – 100 мл³, третья – 430 мл³. Следует подчер-

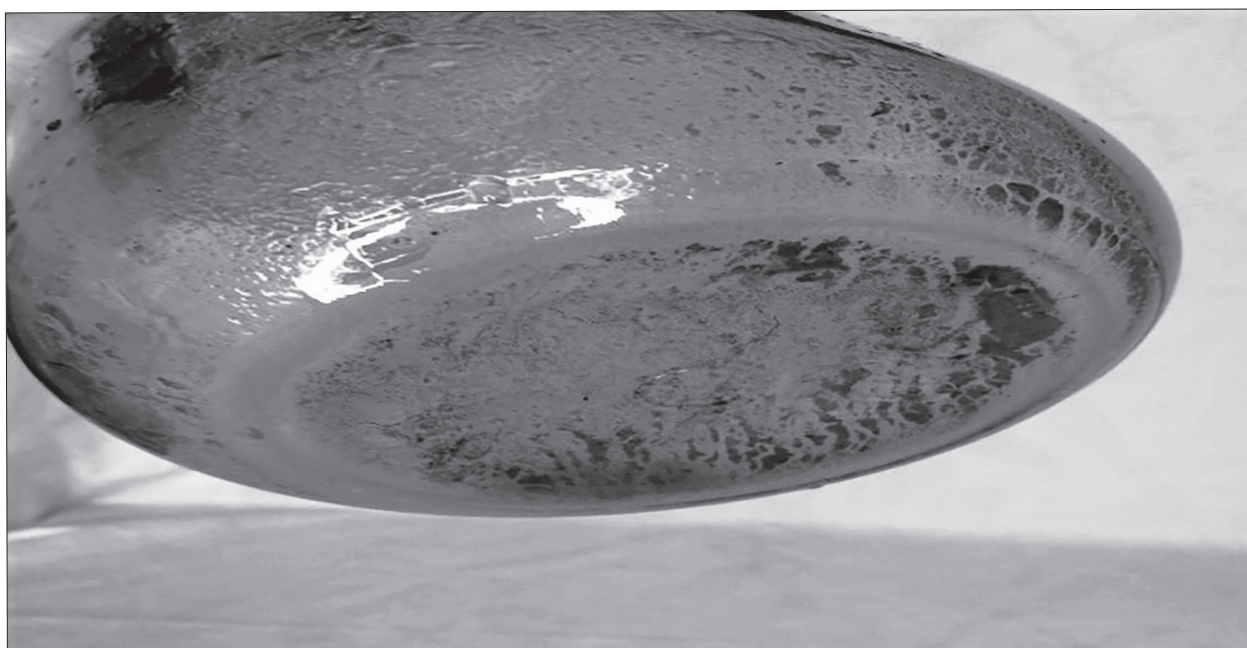


Рис. 1. Нефтяные пленки на поверхности контакта
[Fig. 1. Oil films on the contact surface]

кнуть темную окраску всех компонентов материала линзы (рис. 2). Через 1 минуту ситуация практиче-

ски осталась неизменной. Через 5 минут наметилась более четкая дифференциация материала (рис. 3).

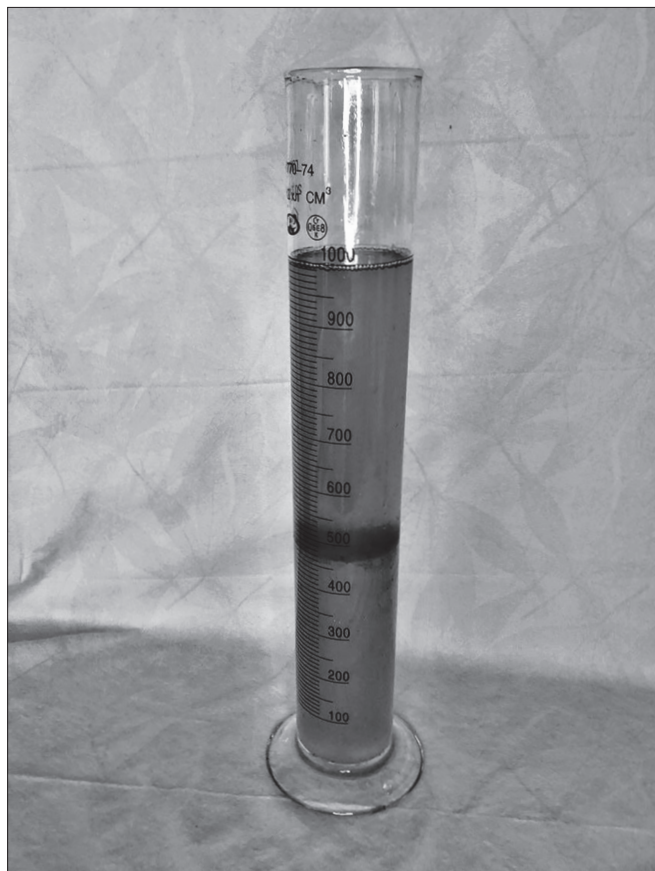


Рис. 2. Дифференциация материала линзы. Начало эксперимента
[Fig. 2. Differentiation of the lens material. The beginning of the experiment]

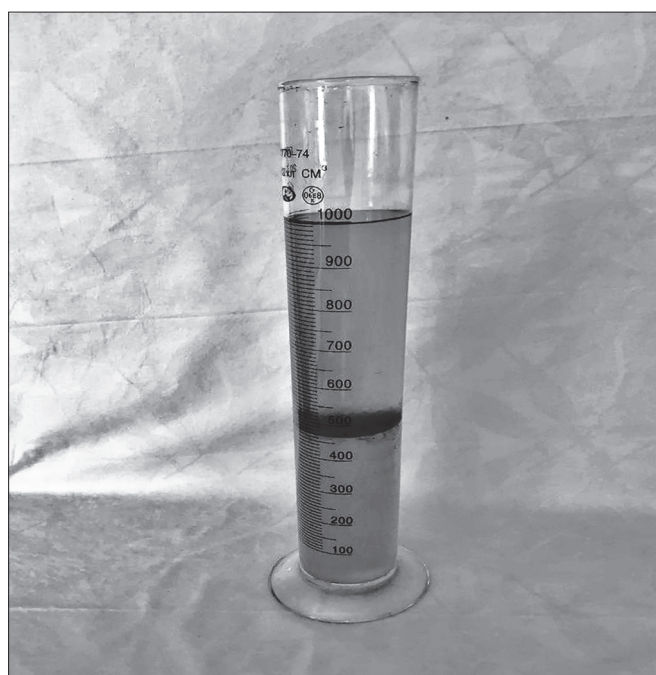


Рис. 3. Дифференциация материала нефтяной линзы (5 минут эксперимента)
[Fig. 3. Differentiation of the oil lens material (5 min experiment)]

Верхняя часть стала более прозрачной, более светлой. Средняя часть, напротив, приобрела более темный цвет и более выраженные границы. По истечении 30 минут цвет верхней части материала линзы приобретает еще более светлый оттенок.

Через 2 часа нефтепродукты линзы полностью дифференцируются (рис. 4). Вторая часть приобретает наиболее темный, приближенный к

черному цвет. Данная часть линзы плотная, имеет хорошо выраженные контакты с первой и третьей частями. Третья часть имеет бурый цвет, мутная.

В течение 5 часов материал линзы продолжает дифференцироваться: верхняя часть очищается и становится более светлой. Средняя – уплотняется. В нижней части выпадает коагулированный осадок в объеме около 80 мл (рис. 5).

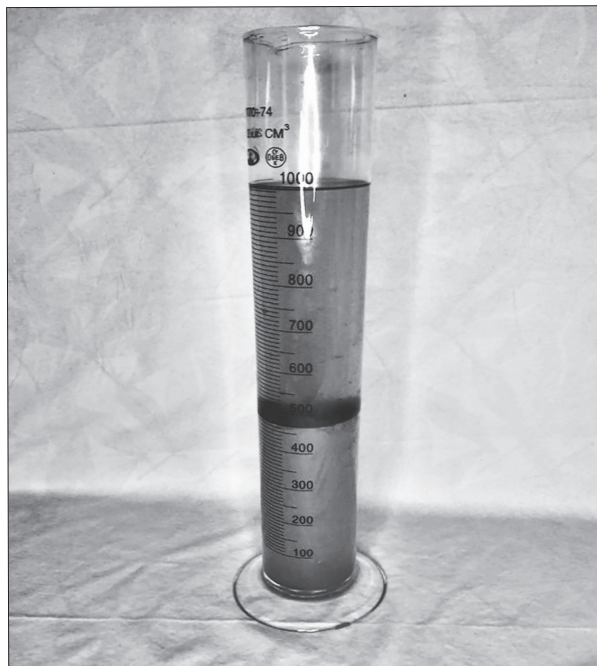


Рис. 4. Дифференциация материала нефтяной линзы (120 минут с начала эксперимента)
[Fig. 4. Differentiation of the oil lens material (120 minutes from the beginning of the experiment)]



Рис. 5. Дифференциация материала нефтяной линзы (300 минут с начала эксперимента)
[Fig. 5. Differentiation of the oil lens material (300 minutes from the beginning of the experiment)]

Данная тенденция фиксируется по истечении 24 часов. По истечении 72 часов прохождения эксперимента определен конечный вариант дифференциации материала линзы, представленный на рисунке 6. Все части материала линзы приобрели четкие границы контактов.

Верхняя часть приобрела прозрачность. Вторая часть максимально уплотнилась, третья – расслоилась на раствор и взвешенный осадок. Данный осадок стал более выраженным, приобрел коричневый цвет, сконцентрировался в объеме до 50 мл.



Рис. 6. Дифференциация материала нефтяной линзы (72 часа с начала эксперимента)
[Fig. 6. Differentiation of the oil lens material (72 hours from the beginning of the experiment)]

Плотность легких нефтепродуктов составляет $0,78\text{г/см}^3$, величина динамической вязкости – $1,73 \cdot 10^3$, Па·с. Под вязкостью понимается свойство керосина оказывать сопротивление отдельных его частиц относительно друг друга при движении [7]. В этой связи величина вязкости определяет скорость проникновения загрязняющего соединения в грунтовом массиве. Согласно полученным показателям, керосин относится к числу высоковязких жидкостей. Важное значение в процессе миграции нефтепродуктов по разрезу имеют особенности строения почв, грунтов зоны аэрации [8, 9].

Следует подчеркнуть динамику дифференциации материала линзы во времени, которая продемонстрирована в таблицах 1, 2 и рисунках 9, 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В процессе прохождения эксперимента происходит постепенное дифференцирование материала линзы:

– легкие нефтепродукты полностью выделяются в отдельный слой в течение 48 часов, занимая объем от 460 до 470 мл³. Они составляют максимальную часть материала нефтяной линзы. Тяжелые нефте-

продукты выделяются в стабильный слой в течение 24 часов, изменяясь в объеме от 70 до 50 мл³. Большая часть тяжелых нефтепродуктов находится в растворенном состоянии и составляет большую часть загрязнения водоносного горизонта;

– загрязненная вода, из которой выделяются все обозначенные фракции, находится в состоянии постоянной динамики состава и объема - от 415 до 477 мл³. По объему – это второй компонент материала нефтяной линзы. Максимальные изменения, происходящие в этом слое, зафиксированы с 24 до 120 часов прохождения эксперимента. Завершение процесса зафиксировано во временном интервале 108-120 часов.

Проведенные исследования впервые позволили определить состав нефтяных линз, формирующихся в грунтах зоны аэрации и на поверхности водоносных горизонтов в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов. Химический анализ компонентов нефтяной линзы продемонстрировал следующее:

– верхняя часть представлена керосином, составляет около 50% материала линзы. В процессе проведения эксперимента зафиксирована высокая

Таблица 1

Дифференциация материала линзы с начала эксперимента до 4 часов эксперимента
Differentiation of the lens material from the start of the experiment to 4 hours of the experiment

		Время наблюдений / Observation time									
		5 сек / 5 sec	30 сек / 30 sec	60 сек / 60 sec	300 сек / 300 sec	600 сек / 600 sec	1800 сек / 1800 sec	3600 сек / 3600 sec	2 часа / 2 hours	3 часа / 3 hours	4 часа / 4 hours
1	Легкие НП / Light oil products	460	460	460	470	470	470	470	475	475	475
2	Тяжелые НП / Heavy oil products	70	70	70	70	65	65	65	60	60	60
3	Загрязненная вода / Dirty water	470	470	470	460	465	465	465	465	465	465
4	Коагул. осадок / Coagulated sediment	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		мл / ml									

степень испаряемости керосина, что проявилось в уменьшении его объема за 3 месяца проведения эксперимента на 15-20 %;

– средняя часть – тяжелые нефтепродукты типа дизтоплива, количественно составляют около 10 % материала линзы. Плотность тяжелых нефтепродуктов составляет 0,86 г/см³, вязкость – 3,2 мм²/с;

– нижняя часть представлена загрязненной нефтепродуктами водой, объем которой составляет около 40 % материала линзы, растворимость керосинов в воде составляет – 2-5 мг/дм³, дизельного топлива – 8-22 мг/ дм³;

– взвешенный осадок нижней части представлен слоем коагулированных пылеватых частиц грунта. В процессе взаимодействия дисперсных частиц (менее 0,05 мм) с загрязненной нефтепродуктами водой происходит уменьшения степени дисперсности – образуются более крупные частицы путем слипания первичных частиц. Незначительное количество дисперсных частиц в песчаных грунтах зоны аэрации исследуемой территории обусловило незначительный объем четвертого слоя материала нефтяной линзы.



Рис. 7. Динамика дифференциации материала линзы с начала эксперимента до 4 часов эксперимента
[Fig. 7. Dynamics of lens material differentiation from the beginning of the experiment to 4 hours of the experiment]

Динамика дифференциации материала линзы от 4 часов до 120 часов эксперимента
Dynamics of lens material differentiation from 4 hours to 120 hours of experiment

		Время наблюдений / Observation time								
		24 часа / 24 hours	36 часа / 36 hours	48 часа / 48 hours	60 часа / 60 hours	72 часа / 72 hours	84 часа / 84 hours	96 часа / 96 hours	108 часа / 108 hours	120 часа / 120 hours
1	Легкие НП / Light oil products	475	475	470	470	470	470	470	470	470
2	Тяжелые НП / Heavy oil products	50	50	50	50	50	50	50	50	50
3	Загрязненная вода / Dirty water	415	425	438	445	453	458	459	460	460
4	Коагул. осадок/ Coagulated sediment	60	50	42	35	27	22	21	20	20
		мл / ml								

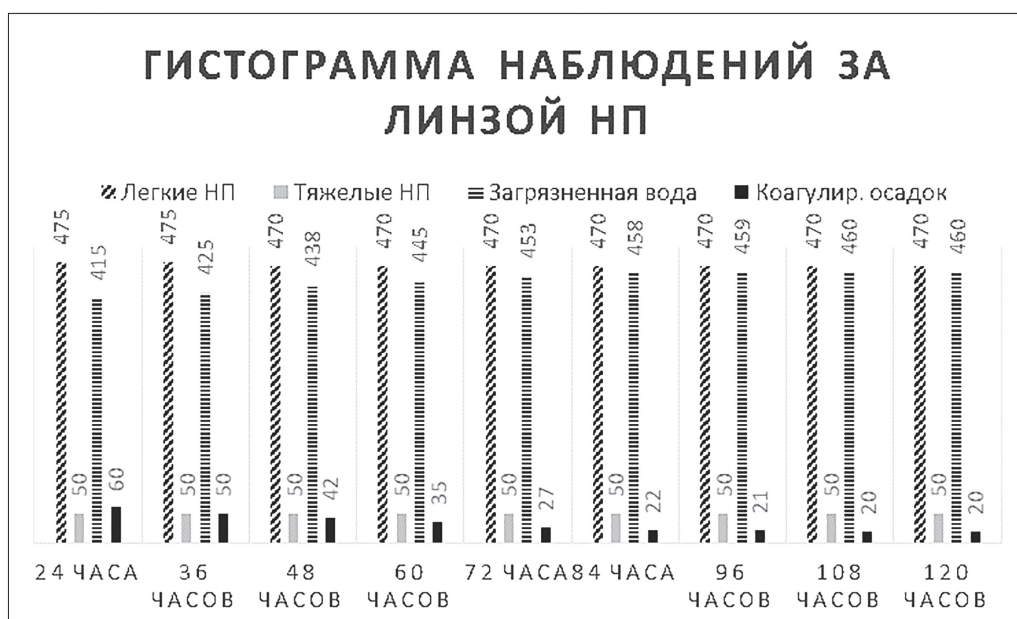


Рис. 8. Динамика дифференциации материала линзы с 4 часов до 120 часов прохождения эксперимента
[Fig. 8. Dynamics of lens material differentiation from 4 hours to 120 hours of experiment]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе эксперимента установлено постепенное дифференцирование материала нефтяной линзы во времени: легкие нефтепродукты полностью выделяются в отдельный слой в течение 48 часов и составляют максимальную часть материала нефтяной линзы; тяжелые нефтепродукты выделяются в стабильный слой в течение 24 часов, причем их большая часть находится в растворенном состоянии и составляет большую часть загрязнения водоносного горизонта. Проведенные исследования

позволили определить состав нефтяных линз, формирующихся в грунтах зоны аэрации и на поверхности водоносных горизонтов в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов.

Полученные данные по структуре нефтяной линзы, ее физико-химическим свойствам, химическому составу составляющих элементов позволят разработать эффективную систему реабилитации грунтов зоны аэрации и водоносных горизонтов в местах размещения длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косинова И. И., Кустова Н. Р. Теория и методология геоэкологических рисков // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, 2008, № 2, с. 189-197.
2. Привалова Н. М., Двандненко М. В., Некрасова А. А. и др. Воздействие нефти и нефтепродуктов на окружающую среду // *Научный журнал КубГАУ*, 2017, № 125, с. 309-318.
3. Ивахнюк С. Г. Идентификация источников нефтяных загрязнений современными аналитическими методами // *Безопасность критически важных и потенциально опасных объектов*, 2017, с. 6-11.
4. Фонова О. Г., Базарский О. В., Долбилова С. В. Экологические аспекты хранения нефтепродуктов // *Материалы Международной научно-практической конференции «Закономерности трансформации экологических функций геосфер крупных горнопромышленных регионов»*, 2020, с. 254-261.
5. Косинова И. И., Бударина В. А., Фонова О. Г. и др. Преобразование абиотических компонентов природной среды в районах длительно существующих объектов логистики нефтепродуктов // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология*, 2019, № 1, с. 88-92.
6. Фонова О. Г., Косинова И. И. Экологические проблемы нефтяного загрязнения компонентов окружающей среды // *Материалы Международного молодежного форума «Образование. Экология. Практика»*, 2018, с. 70-72.
7. Саркисов Г. А., Григорьева И. Ю. Оценка влияния углеводородного загрязнения дисперсных грунтов на их влажностные характеристики // *Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и экологии*, 2016, вып. 18, с. 420-424.
8. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация / В. П. Середина и др. Томск: Изд-во Томского гос. ун-та, 2006. 270 с.
9. Базарский О. В., Косинова И. И., Фонова С. И. Математическая модель загрязнения приповерхностных отложений аэрозольными частицами // *Инженерные изыскания*, 2015, № 5-6, с. 76-79.
10. Current R. W., Tilotta D. C. Determination of total petroleum hydrocarbons in soil by on-line supercritical fluid extraction-infrared spectroscopy using a fiber-optic transmission cell and a simple filter spectrometer // *Chromatography A*, 1997, vol. 785, no. 1-2, pp. 269-277.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 25.10.2021

Принята к публикации 03.03.2022

UDC 504.054

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9090>

ISSN 1609-0683

Structure Features of the Technogenic Oil Lenses in Areas of Petroleum Product Logistics Facilities

O. G. Fonova¹✉, I. I. Kosinova¹, V. A. Budarina¹, A. N. Galkin²

¹ Voronezh State University, Russian Federation
(1, Universitetskaya pl., Voronezh, 394018)

² Vitebsk State University, Belarus
(33, Moskovsky Ave., Vitebsk, 210038)

Abstract: The purpose of this article is to analyse oil lens material as a source of environmental risks arising from the location of large petroleum product logistics facilities (LPFs).

Materials and methods. In-situ modelling was used as the main research method, the algorithm of which included selection of the research object, sampling of lens material from observation wells, conducting an experiment to study the differentiation of lens material over time.

Results and discussion. For the first time, data were obtained on the composition of the lens including: 50% – light petroleum products; 10% – heavy petroleum products; 40% – contaminated water with paraffin

© Fonova O. G., Kosinova I. I., Budarina V. A., Galkin A. N., 2022

✉ Oksana G. Fonova, e-mail: fonova.ok@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

solubility of 2-5 mg/dm³ and diesel fuel solubility of 8-22 mg/dm³. Time analysis of lens material differentiation revealed a time interval of maximum separation of all its constituents, which was 108-120 hours.

Conclusions. The conducted research for the first time made it possible to determine the composition of oil lenses formed in the soils of the aeration zone and on the surface of aquifers in the areas of long-term oil products logistics facilities. The efficiency of rehabilitation of ecological and geological systems at these sites depends on the reliability of information about the composition and properties of technogenic oil lenses.

Key words: facility, logistics, oil products, duration, operation, oil lens, composition, light oil products, heavy oil products, coagulation.

Funding: The work was supported by RFBR grants No. 20-55-00010/20 and BFFR No. H20R-284 "Regularities of transformation of ecological functions of geospheres in large mining regions".

For citation: Fonova O. G., Kosinova I. I., Budarina V. A., Galkin A. N. Structure Features of the Technogenic Oil Lenses in Areas of Petroleum Product Logistics Facilities. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2022, no. 1, pp. 93-102. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2022.1/9090>

REFERENCES

1. Kosinova I. I., Kustova N. R. Teoriya i metodologiya geohkologicheskikh riskov [Theory and methodology of geoeological risks]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*, 2008, no. 2, pp. 189-197. (In Russ.).
2. Privalova N. M., Dvadenko M. V., Nekrasova A. A. i dr. Vozdeistvie nefi i nefteproduktov na okruzhayushchuyu sredu [Impact of oil and petroleum products on the environment]. *Nauchnyi zhurnal KuBGU*, 2017, no. 125, pp. 309-318. (In Russ.).
3. Ivakhnyuk S. G. Identifikatsiya istochnikov nefnykh zagryaznenii sovremennymi analiticheskimi metodami [Identification of oil pollution sources by modern analytical methods. Security of critical and potentially dangerous objects]. *Bezopasnost' kriticheski vazhnykh i potentsial'no opasnykh ob"ektov*, 2017, pp. 6-11 (In Russ.).
4. Fonova O. G., Bazarskiy O. V., Dolbilova S. V. Ekologicheskie aspekty khraneniya nefteproduktov [Environmental aspects of petroleum products storage]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Zakonomernosti transformatsii ekologicheskikh funktsiy geosfer krupnykh gornopromyshlennykh regionov»*, 2020, pp. 254-261. (In Russ.).
5. Kosinova I. I., Budarina V. A., Fonova O. G. i dr. Preobrazovanie abioticheskikh komponentov prirodnoi sredy v raionakh dlitel'no sushchestvuyushchikh ob"ektov logistiki nefteproduktov. [Transformation of abiotic components of the natural environment in areas of longterm oil products logistics facilities]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya*, 2019, no. 1, pp. 88-92. (In Russ.).
6. Fonova O. G., Kosinova I. I. Ekologicheskie problemy nefyanogo zagryazneniya komponentov okruzhayushchey sredy [Environmental problems of oil pollution of environmental components]. *Materialy Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma «Obrazovanie. Ekologiya. Praktika»*, 2018, pp. 70-72. (In Russ.).
7. Sarkisov G. A., Grigor'eva I. Yu. Otsenka vliyaniya uglevodorodnogo zagryazneniya dispersnykh gruntov na ikh vlazhnostnye kharakteristiki [Assessment of the influence of hydrocarbon contamination of dispersed soils on their moisture characteristics]. *Materialy godichnoy sessii Nauchnogo soveta RAN po problemam geoekologii, inzhenernoy geologii i geoekologii*, 2016, v. 18, pp. 420-424.
8. *Neftezagryaznennyye pochvy: svoystva i rekul'tivatsiya* [Oilcontaminated soils: properties and reclamation] / V. P. Seredina i dr. Tomsk: Izd-vo Tomskogo gos. un-ta, 2006. 270 p. (In Russ.).
9. Bazarskii, O. V., Kosinova I. I., Fonova S. I. Matematicheskaya model' zagryazneniya pripoverkhnostnykh otlozhenii aehrozol'nymi chastitsami [Mathematical model of pollution of near-surface sediments by aerosol particles]. *Inzhenernyye izyskaniya*, 2015, no. 5-6, pp. 76-79. (In Russ.).
10. Current R. W., Tilotta D. C. Determination of total petroleum hydrocarbons in soil by online supercritical fluid extractioninfrared spectroscopy using a fiberoptic transmission cell and a simple filter spectrometer. *Chromatography A*, 1997, vol. 785, no. 1-2, pp. 269-277.

Conflict of interests: The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 25.10.2021

Accepted: 03.03.2022

Фонова Оксана Геннадьевна
преподаватель кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0697-5314, e-mail: fonova.ok@yandex.ru

Косинова Ирина Ивановна
доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующая кафедрой экологической геологии геоло-

Oksana G. Fonova
Lecturer of the Department of Environmental Geology, Faculty of Geology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-0697-5314, e-mail: fonova.ok@yandex.ru

Irina I. Kosinova
Dr. (Geol.-Mineral.) Sci., Prof., Head of the Department of Environmental Geology, Faculty of Geology, Voronezh

гического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5439-5197, e-mail: kosinova777@yandex.ru

Бударина Виктория Александровна
доцент кафедры экологической геологии геологического факультета Воронежского государственного университета, г. Воронеж, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-8091-0730, e-mail: budarinarav@yandex.ru

Галкин Александр Николаевич
доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры экологии и географии Витебского государственного университета имени П. М. Машерова, г. Витебск, Беларусь, ORCID: 0000-0001-8395-8625

State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5439-5197, e-mail: kosinova777@yandex.ru

Victoria A. Budarina
Assoc. Prof. of the Department of Environmental Geology, Faculty of Geology, Voronezh State University, Voronezh, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-8091-0730, e-mail: budarinarav@yandex.ru

Alexander N. Galkin
Dr. (Geol.-Mineral.) Sci., Prof. of the Department of Ecology and Geography of the Vitebsk State University named after P. M. Masherov, Vitebsk, Belarus, ORCID: 0000-0001-8395-8625