

УДК 624.131

© А. В. Квашук, аспирант
(Санкт-Петербургский государственный
архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия)
E-mail: alina_kvashuk@mail.ru

DOI 10.23968/1999-5571-2024-21-3-51-58

© A. V. Kvashuk, post-graduate student
(Saint Petersburg State University
of Architecture and Civil Engineering,
St. Petersburg, Russia)
E-mail: alina_kvashuk@mail.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА МОНОФРАКЦИОННОГО ПЕСЧАНОГО ГРУНТА ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НЕФТЕПРОДУКТАМИ

STUDY OF CHANGES IN THE GRANULOMETRIC COMPOSITION OF MONOFRACTIONAL SANDY SOIL IN INTERACTION WITH PETROLEUM PRODUCTS

Представлены результаты исследования изменения гранулометрического состава монофракционного песчаного грунта при взаимодействии с нефтепродуктами. В качестве исследуемых образцов использовался кварцевый песок, представленный крупной, средней, мелкой и пылевой фракциями. В качестве нефтепродукта применялись бензин А-95, дизельное топливо и тяжелая нефть. Экспериментально подтверждено изменение гранулометрического состава песчаных грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами, обусловленное процессами агрегирования и диспергирования минеральных частиц. Установлено, что наличие и интенсивность обозначенных процессов зависят от вида нефтепродукта и исследуемой фракции песчаного грунта.

Ключевые слова: гранулометрический состав, монофракционный песок, нефтепродукты, дизельное топливо, нефть, бензин, агрегирование, диспергирование.

The paper presents the results of the research of changes in the granulometric composition of monofractional sandy soil in interaction with petroleum products. Quartz sand represented by coarse, medium, fine and pulverised fractions was used as the investigated samples. The petroleum products used were A95 petrol, diesel and heavy oil. The change of the granulometric composition of sandy soils at interaction with oil products caused by the processes of aggregation and dispersion of mineral particles has been experimentally confirmed. It has been established that the occurrence and intensity of these processes are contingent upon the type of petroleum product and the specific fraction of sandy soil.

Keywords: granulometric composition, monofractional sandy soil, petroleum products, diesel fuel, oil, petrol, aggregation, dispersion.

Введение

Результаты многочисленных лабораторных исследований отечественных и зарубежных авторов о влиянии загрязнения песчаных грунтов нефтепродуктами на их физико-механические свойства подтверждают гипотезы о снижении строительных свойств грунтов [1–11].

Так, авторы [7–11] констатируют снижение угла внутреннего трения песчаных грунтов при взаимодействии с нефтепродуктами, предполагая, что подобное изменение вызвано образованием маслянистых пленок, обволакивающих поверхность песчаных частиц, в результате чего появляется эффект

«проскальзывания» частиц относительно друг друга, что приводит к снижению трения между частицами и, следовательно, угла внутреннего трения. В этой связи логично предположить, что с течением времени и под воздействием внешних климатических факторов образовавшиеся оболочки будут отвердевать, увеличивая при этом диаметр минеральных частиц за счет агрегирования их между собой.

Подтверждением данной гипотезы являются результаты лабораторных исследований [12], цель которых — изучение изменения гранулометрического состава мелких песков, загрязненных нефтью в концентрации 2 %, 10 %, 20 % по массе сухого грунта (рис. 1). Фотофиксация результатов данного исследования позволила сделать вывод

о том, что в процессе взаимодействия песка с нефтью изменениям подвержены не только механические свойства грунтов, но и структура и состав песка. При попадании нефтепродукта в песчаный грунт каждую песчаную частицу обволакивает маслянистая оболочка, толщина которой влияет на степень окатанности частицы, а пространство на контакте между частицами заполняется нефтепродуктом. С увеличением размера частиц они становятся более окатанными. Таким образом, при контакте нефтепродукта с песчаным грунтом меняются форма поверхности и размер частиц и, как следствие, структура песчаного грунта, что также подтверждается исследованиями [13–16].

Наряду с обозначенными результатами существует альтернативное мнение о харак-

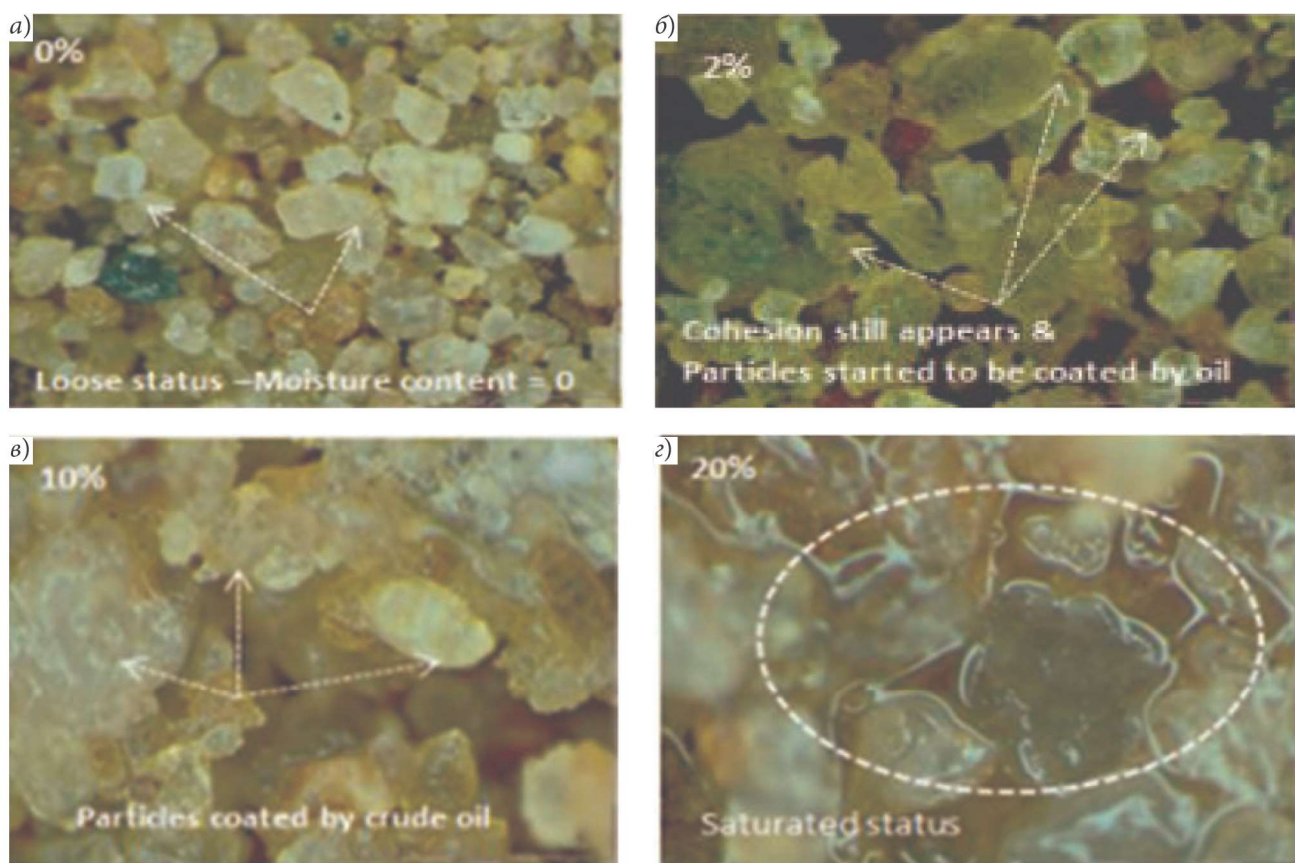


Рис. 1. Фотографии песчаных частиц мелкой фракции: а — незагрязненного, б — загрязненного сырой нефтью в концентрации 2 %, в — загрязненного сырой нефтью в концентрации 10 %, г — загрязненного сырой нефтью в концентрации 20 %

тере изменения гранулометрического состава песков при взаимодействии с нефтепродуктами. Так, в исследовании [17] экспериментально установлено, что при добавлении в грунт 10 % нефти наблюдается диспергирование, то есть расщепление частиц песка на более мелкие фракции. Диспергирование песчаного грунта описано в работах [18, 19] при загрязнении мазутом и бензином.

Актуальность изучения изменения гранулометрического состава песков при взаимодействии с нефтепродуктами обусловлена необходимостью прогнозирования осадки во времени сооружений нефтяного комплекса в случае аварийного пролива нефтепродукта. Теория фильтрационной консолидации, применяемая для решения подобных задач, предполагает использование двух непосредственных параметров грунта для проведения расчетов, а именно — коэффициента фильтрации и коэффициента относительной сжимаемости грунта.

Изменение гранулометрического состава песчаного грунта при загрязнении нефтепродуктом может косвенно влиять на изменение коэффициента фильтрации. С увеличением крупности частиц в результате агрегирования возрастает пористость песка и фильтрационная способность, в то время как дис-

пергирование ввиду увеличения содержания мелкодисперсной фракции, наоборот, может привести к снижению скорости фильтрации.

Анализ существующих исследований по обозначенной теме позволил заключить, что изменение гранулометрического состава песков при взаимодействии с нефтепродуктами остается не в полной мере изученным, так как результаты проведенных экспериментов не всегда согласуются между собой, что порождает противоречия и определяет дальнейшее направление изысканий. В этой связи целью настоящей работы является исследование изменения гранулометрического состава монофракционного песчаного грунта при взаимодействии с различными видами нефтепродуктов.

Методы исследования

Лабораторные испытания проводились ситовым методом в соответствии с ГОСТ 12536–2014 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава». В качестве исследуемых образцов использовались навески монофракционного кварцевого песка, представленного крупной, средней, мелкой и пылевой фракциями. В качестве загрязняющего нефтепродукта применялись бензин А-95, дизельное топливо и тяжелая нефть

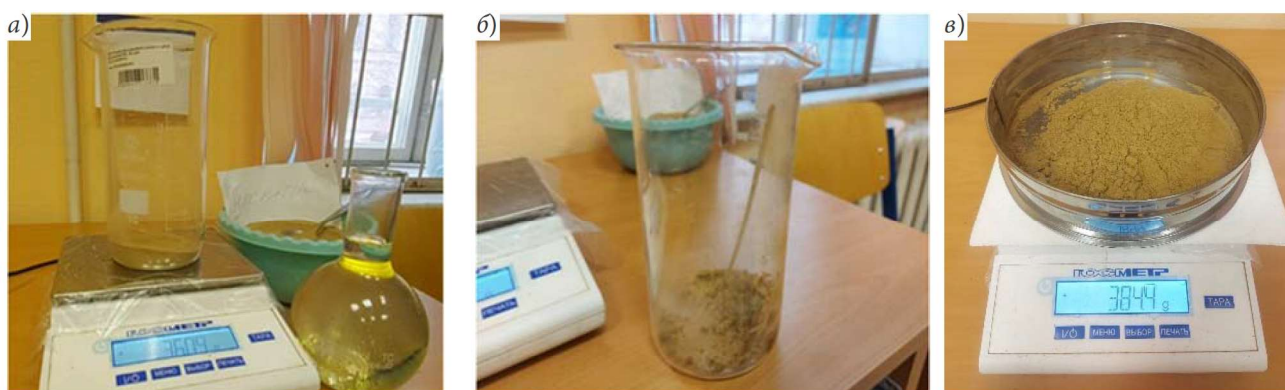


Рис. 2. Этапы проведения лабораторного испытания: а — формирование навески песка заданного гранулометрического состава с последующим затворением нефтепродуктом; б — перемешивание песка с целью получения гомогенного образца, т.е. образца с равномерным распределением нефтепродукта по массе навески; в — просеивание (как вручную, так и с использованием вибрационного стола) предварительно высушенного образца грунта через набор сит с размером ячеек 0,5, 0,25, 0,1 мм

в концентрации 1 % по массе песчаной навески (100 г). Последовательность подготовки образцов и проведения испытаний представлена на рис. 2.

Результаты и обсуждение

Результаты лабораторных исследований характера и степени изменения гранулометрического состава образцов песчаного грунта различной крупности при загрязнении нефтепродуктами представлены в таблице. Фотофиксация образцов песка круп-

ной фракции после загрязнения нефтепродуктом представлена на рис. 3.

1. Крупная фракция

После загрязнения нефтепродуктами часть крупного песка перешла в среднюю песчаную фракцию, что свидетельствует о расщеплении (диспергировании) минеральных частиц. При этом расщепление наблюдалось при загрязнении как нефтью, так и дизельным топливом и бензином. Максимальное увеличение массы средней фрак-

Результаты лабораторных исследований по изучению изменения гранулометрического состава монофракционного песка при загрязнении нефтепродуктами

№ п/п	Нефтепродукт	Характер и степень изменения (%) гранулометрического состава песчаных образцов после загрязнения по отношению к массе чистой фракции (↓ — снижение массы фракции, ↑ — увеличение массы фракции)							
		Крупная		Средняя		Мелкая		Пылеватая	
		до загряз- нения	после за- грязнения	до загряз- нения	после за- грязнения	до загряз- нения	после за- грязнения	до загряз- нения	после за- грязнения
Песок крупный (монофракционный)									
1	Бензин А-95	100,00 г	89,75 г	0,00 г	10,25 г	—		—	
		↓ 10,25 г (10%)		↑ 10,25 г					
2	Дизельное топливо	100,00 г	93,50 г	0,00 г	6,50 г	—		—	
		↓ 6,5 г (7%)		↑ 6,50 г					
3	Тяжелая нефть	100,00 г	94,90 г	0,00 г	5,10 г	—		—	
		↓ 5,10 г (5%)		↑ 5,10 г					
Песок средней крупности (монофракционный)									
1	Бензин А-95	0,00 г	0,65 г	100,00 г	91,65 г	0,00 г	7,70 г	—	
		↑ 0,65 г		↓ 8,35 г (8%)		↑ 7,70 г			
2	Дизельное топливо	0,00 г	3,35 г	100,00 г	89,50 г	0,00 г	7,15 г	—	
		↑ 3,35 г		↓ 10, 50 (11%)		↑ 7,15 г			
3	Тяжелая нефть	—		100,00 г	96,50 г	0,00 г	3,50 г	—	
				↓ 3,50 г (4%)		↑ 3,50 г			
Песок мелкий (монофракционный)									
1	Бензин А-95	—		0,00 г	0,15 г	100,00 г	93,80 г	0,00 г	6,05 г
				↑ 0,15 г		↓ 6,20 г (6%)		↑ 6,05 г	
2	Дизельное топливо	—		0,00 г	3,05 г	100,00 г	91,75 г	0,00 г	5,20 г
				↑ 3,05 г		↓ 8,25 г (8%)		↑ 5,20 г	
3	Тяжелая нефть	—		0,00 г	4,05 г	100,00 г	90,10 г	0,00 г	5,85 г
				↑ 4,05 г		↓ 9,90 г (10%)		↑ 5,85 г	
Песок пылеватый (монофракционный)									
1	Бензин А-95	—		—		0,00 г	8,30 г	100,00 г	91,70 г
						↑ 8,30 г		↓ 8,30 г (8%)	
2	Дизельное топливо	—		—		0,00 г	15,80 г	100,00 г	84,20 г
						↑ 15,80 г		↓ 15,80 г (16%)	
3	Тяжелая нефть	—		—		0,00 г	19,20 г	100,00 г	80,80 г
						↑ 19,20 г		↓ 19,20 г (19%)	



Рис. 3. Песок крупный монофракционный, а — чистый, б — загрязненный бензином А-95, в — загрязненный дизельным топливом, з — загрязненный тяжелой нефтью

ции зафиксировано при загрязнении бензином — 10,25 г, при загрязнении дизельным топливом и нефтью прирост средней фракции составил 6,5 г и 5,1 г соответственно.

2. Средняя фракция

После загрязнения нефтепродуктами песка средней крупности зафиксированы процессы как расщепления (диспергирования) минеральных частиц, так и агрегирования, т. е. переход исследуемой фракции в крупную разность. Расщепление (как и в случае с крупной фракцией) наблюдалось при использовании всех трех видов нефтепродуктов. Предельное увеличение массы мелкой фракции зафиксировано при загрязнении бензином и дизельным топливом — 7,7 г и 7,15 г соответственно, при загрязнении нефтью прирост мелкой фракции составил 3,5 г. Агрегирование наблюдалось только при загрязнении бензином и дизельным топливом и составило 0,65 г и 3,35 г соответственно. Отметим, что прирост крупной фракции при загрязнении песка средней крупности бензином незначителен и, в основном, изменение фракционного состава обусловлено именно процессом диспергирования в сторону увеличения массы мелкой фракции. Аналогично и при загрязнении дизельным топливом,

где в более мелкую фракцию перешло 7,15 г, а в более крупную — 3,35 г.

3. Мелкая фракция

После загрязнения нефтепродуктами мелкого песка зафиксированы процессы как расщепления (диспергирования) минеральных частиц так и агрегирования. При этом оба процесса наблюдались при использовании всех трех видов нефтепродуктов. Так, при загрязнении бензином 0,15 г перешли в среднюю фракцию, а 6,05 г — в пылеватую, что свидетельствует о преобладании процесса расщепления частиц при взаимодействии с бензином. При загрязнении дизельным топливом 3,05 г мелкого песка перешли в среднюю и 5,2 г — в пылеватую; при загрязнении нефтью 4,05 г перешли в среднюю фракцию, а 5,85 г — в пылеватую.

4. Пылеватая фракция

При загрязнении пылеватой фракции нефтепродуктами наблюдалось только агрегирование частиц, т. е. переход из пылеватой фракции в мелкую. Максимальное увеличение массы мелкой фракции зафиксировано при загрязнении нефтью и составило 19,2 г, при загрязнении дизельным топливом и бензином прирост средней фракции составил 15,8 г и 8,3 г соответственно.

Выводы

По результатам лабораторных исследований изменения гранулометрического состава монофракционных песков при их загрязнении нефтепродуктами можно сделать следующие выводы:

1. При загрязнении песчаного грунта нефтепродуктом наблюдаются процессы как агрегирования, т. е. перехода минеральных частиц из более мелкой фракции в более крупную, так и диспергирования, т. е. расщепления частиц на более мелкие. Однако наличие и интенсивность обозначенных процессов зависят от вида загрязняющего нефтепродукта и исследуемой фракции песчаного грунта.

2. Изменение фракционного состава крупных песков обусловлено диспергированием минеральных частиц вне зависимости от вида загрязняющего нефтепродукта. Наиболее интенсивное расщепление наблюдалось при взаимодействии крупного песка с бензином, где более 10 % от массы исследуемой навески перешло в среднюю фракцию. При взаимодействии с дизельным топливом и тяжелой нефтью в среднюю фракцию перешло 7 % и 5 % соответственно.

3. Изменение фракционного состава песков средней крупности при загрязнении бензином и дизельным топливом в большей мере обусловлено процессами диспергирования, чем агрегирования минеральных частиц. Наиболее интенсивное расщепление наблюдалось при взаимодействии песка с бензином, где приблизительно 8 % от массы исследуемой навески перешло в мелкую фракцию и менее 1 % — в крупную. Менее интенсивное расщепление наблюдалось при загрязнении дизельным топливом, где 3 % перешло в крупную фракцию и 7 % — в мелкую. При загрязнении нефтью агрегирования средней фракции не выявлено.

4. Изменение фракционного состава мелких песков так же, как песков средней крупности, в большей степени обусловлено дис-

пергированием минеральных частиц. Наиболее интенсивное расщепление наблюдалось при взаимодействии песка с бензином, где приблизительно 6 % от массы исследуемой навески перешло в пылеватую фракцию и менее 1 % — в среднюю. При загрязнении дизельным топливом и нефтью процессы агрегирования и диспергирования оказали примерно равное влияние на изменение фракционного состава.

5. Изменение фракционного состава пылеватых песков обусловлено агрегированием минеральных частиц вне зависимости от вида загрязняющего нефтепродукта. Наиболее интенсивное агрегирование наблюдалось при взаимодействии пылеватого песка с нефтью, где более 19 % от массы исследуемой навески перешло в мелкую фракцию.

Полученные результаты подтверждают гипотезу об изменении гранулометрического состава песчаных грунтов при их взаимодействии с нефтепродуктами и могут быть использованы при исследовании фильтрационных и механических свойств грунтов, необходимых для геотехнических расчетов.

Финансирование. Статья публикуется по результатам исполнения гранта СПбГАСУ 2024 г.

Библиографический список

1. Evgin E., Das B. M. . Mechanical behavior of oil contaminated sand. In: Usmen, Acar (Eds.), Environmental Geotechnology proceeding of the Mediterranean Conference. Balkema Publishers, Rotterdam, 1992. Pp. 101–108.
2. Cook E. E., Puri V. K., Shin E. C. Geotechnical characteristics of crude oil-contaminated sands. Proceedings of the Second International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, USA, 1992. Pp. 384–387.
3. Zahraa Noori, Faris Rashled Ahmed, Hamed M. Jassim. Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil // WIT Transactions on Ecology and the Environment, 2014. Vol. 186. Pp. 353–362.
4. Shin E., Das B. Some physical properties of unsaturated oil-contaminated sand. Geotechnical Special Publication, 2000. Pp. 142–152.

5. Shin E., Das B. Bearing capacity of unsaturated oil contaminated sand. *Int J Offshore Polar Eng.* 11 (3), 2001. Pp. 220–227.
6. Ur-Rehman H., Abduljauwad S. N., Akram T. Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils. *Electron J. Geotech. Eng.* 12 (A), 2007. Pp. 15–23.
7. Каченов В. И., Середин В. В., Карманов С. В. К вопросу о влиянии нефтяных загрязнений на свойства грунтов // *Геология и полезные ископаемые Западного Урала*. 2011. № 14. С. 164–165.
8. Al-Sanad H. A., Eid W. K., Ismael N. F. Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand. *J Geotech. Eng. ASCE*, 1995. №121 (5). Pp. 407–412.
9. Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. Инженерно-геологические аспекты негативных последствий контаминации дисперсных грунтов нефтепродуктами // *Записки Горного института*. 2017. Т. 228. С. 624–630. DOI 10.25515/PML 2017.6.624.
10. Аль-Адили Акиль, Йали Кавтар, Шакир Али. Исследование влияния загрязнения нефтью песчаного и гипсосодержащего грунтов на прочность // *ОФМГ*. 2017. № 4. С. 30–35.
11. Shin E. C., Lee J. B., Das B. M. Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand // *Geotechnical and geological engineering*. 1999. Vol. 17. Pp. 123–132.
12. Rajab M. Abousnina, Allan Manalo, Weena Lokuge, Jim Shiau. Oil contaminated sand: An emerging and sustainable construction material // *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering*, 2015. Vol. 118. Pp. 1119–1126.
13. Rajabi H., Sharifipour M. Effects of light crude oil contamination on small-strain shear modulus of Firoozkooh sand // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2019. Vol. 23 (11). Pp. 1351–1367. URL: <https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1347525>.
14. Rajabi H., Sharifipour M. Geotechnical properties of hydrocarbon-contaminated soils: a comprehensive review // *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. 2019. Vol. 78. Pp. 3685–3717. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1343-1>.
15. Доброва Д. В., Королёв В. А., Соколов В. Н., Неклюдов Д. Б., Бабакина О. А. Модели формирования микроструктур глинистых грунтов при их химическом загрязнении // *Генезис и модели формирования свойств грунтов: тр. Междунар. науч. конф. Москва, МГУ, 26–27 мая 1998 г. М.: Изд-во МГУ, 1998. С. 106–107.*
16. Королев В. А. Очистка грунтов от загрязнений. М.: Наука/Интерпериодика, 2001. 364 с.
17. Мотенко Р. Г., Кирюхина Т. А., Гераскина Е. В., Натитник И. М., Лазарева Е. В. Оценка влияния нефтяного загрязнения на теплопроводность грунтов на основе результатов комплексных экспериментальных исследований // *Город и геологические опасности: материалы Междунар. конф. СПб., 2006. Т. 2. С. 18–20.*
18. Дашко Р. Э., Ланге И. Ю. Геотехнический анализ длительной устойчивости нефтяных резервуаров на водонасыщенных песчано-глинистых грунтах // *Промышленное и гражданское строительство*. 2016. № 3. С. 48–54.
19. Бракоренко Н. Н., Емельянова Т. Я. Влияние нефтепродуктов на петрографический состав и физико-механические свойства песчано-глинистых грунтов (на примере г. Томска) // *Вестник Томского гос. ун-та*. 2011. № 342. С. 197–200.

References

1. Evgin E., Das B. M. Mechanical behavior of oil contaminated sand. In: Usmen, Acar (Eds.), *Environmental Geotechnology Proceedings of the Mediterranean Conference*, Rotterdam, Balkema Publishers, 1992, pp. 101–108.
2. Cook E. E., Puri V. K., Shin E. C. Geotechnical characteristics of crude oil-contaminated sands. *Proceedings of the Second International Offshore and Polar Engineering Conference, San Francisco, USA, 1992*, pp. 384–387.
3. Zahraa Noori, Faris Rashled Ahmed, Hamed M. Jassim. Effect of crude oil products on the geotechnical properties of soil. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 2014, vol.186, pp. 353–362.
4. Shin E., Das B. Some physical properties of unsaturated oil-contaminated sand. *Geotechnical Special Publication*, 2000, pp. 142–152.
5. Shin E., Das B. Bearing capacity of unsaturated oil contaminated sand. *Int J Offshore Polar Eng.*, 2001, no. 11 (3), pp. 220–227.
6. Ur-Rehman H., Abduljauwad S. N., Akram T. Geotechnical behavior of oil-contaminated fine-grained soils. *Electron J. Geotech. Eng.* 2007, 12 (A), pp. 15–23.
7. Kachenov V. I., Seredin V. V., Karmanov S. V. *K voprosu o vliyanii neftyanykh zagryazneniy na svoystva gruntov* [Regarding the issue of the influence of oil pollution on soil properties]. *Geologiya i poleznye iskopaemye Zapadnogo Urala – Geology and Mineral Resources of the Western Urals*, 2011, no. 14, pp. 164–165.
8. Al-Sanad H.A., Eid W.K, Ismael N.F. Geotechnical properties of oil contaminated Kuwaiti sand. *J Geotech. Eng. ASCE*, 1995, no. 121 (5), pp. 407–412.
9. Dashko R. E., Lange I. Yu. *Inzhenerno-geologicheskie aspekty negativnykh posledstviy kontaminatsii dispersnykh gruntov nefteproduktami* [Engineering and geological aspects of negative consequences of contamination of dispersed soils with oil products]. *Zapiski Gornogo*

instituta – Proceedings of the Mining Institute, 2017, vol. 228, pp. 624–630. DOI 10.25515/PML 2017.6.624.

10. Al'-Adili Aki', Yali Kavtar, Shakir Ali. *Issledovanie vliyaniya zagryazneniya nef'tyu peschanogo i gipsosoderzhashchego gruntov na prochnost'* [Investigation of the effect of oil contamination of sandy and gypsum containing soil on strength]. OFMG, no. 4-217, pp. 30–35.

11. Shin E. C., Lee J. B., Das B. M. Bearing capacity of a model scale footing on crude oil-contaminated sand. *Geotechnical and Geological Engineering*, 1999, vol. 17, pp. 123–132.

12. Rajab M. Abousnina, Allan Manalo, Weena Lokuge, Jim Shiau. Oil contaminated sand: An emerging and sustainable construction material. *International Conference on Sustainable Design, Engineering and Construction, Procedia Engineering*, 2015, vol. 118, pp. 1119–1126.

13. Rajabi H., Sharifipour M. Effects of light crude oil contamination on small-strain shear modulus of Firoozkooh sand. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2019, vol. 23 (11), pp. 1351–1367. URL: <https://doi.org/10.1080/19648189.2017.1347525>.

14. Rajabi H., Sharifipour M. Geotechnical properties of hydrocarbon-contaminated soils: a comprehensive review. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2019, vol. 78, pp. 3685–3717. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1343-1>.

15. Dobrova D. V., Korolyov V. A., Sokolov V. N., Neklyudov D. B., Babakina O. A. *Modeli formirovaniya mikrostruktur glinistyykh gruntov pri ikh khimicheskoy zagryaznenii* [Models of formation of microstructures of clayey soils at their chemical pollution]. *Trudy mezhdunar. nauch. konf. Moskva, MGU, 26–27 maya 1998 g «Genezis*

i modeli formirovaniya svoystv gruntov» [Proceedings of the International scientific conf. Moscow, Moscow State University, 26–27 May 1998 “Genesis and models of formation of soil properties”]. Moscow, MGU Publ., 1998, pp. 106–107.

16. Korolev V. A. *Ochistka gruntov ot zagryazneniy* [Purification of soils from contaminants]. Moscow, Nauka/Interperiodika Publ., 2001, 364 p.

17. Motenko R. G., Kiryukhina T. A., Geraskina E. V., Natitnik I. M., Lazareva E. V. *Otsenka vliyaniya nef'tyanogo zagryazneniya na teploprovodnost' gruntov na osnove rezul'tatov kompleksnykh eksperimental'nykh issledovaniy* [Assessment of the influence of oil pollution on the thermal conductivity of soils based on the results of complex experimental studies]. *Trudy Mezhdunar. konf. «Gorod i geologicheskie opasnosti»* [Proceedings of the International conference “The City and Geological Hazards”]. St. Petersburg, 2006, vol. 2, pp. 18–20.

18. Dashko R. E., Lange I. Yu. *Geotekhnicheskii analiz dlitel'noy ustoychivosti nef'tyanykh rezervuarov na vodonasyschennykh peschano-glinistyykh gruntakh* [Geotechnical analysis of long-term stability of oil reservoirs on water-saturated sandy-clay soils]. *Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – Industrial and civil engineering*, 2016, no. 3, pp. 48–54.

19. Brakorenko N. N., Emel'yanova T. Ya. *Vliyanie nefteproduktov na petrograficheskii sostav i fiziko-mekhanicheskie svoystva peschano-glinistyykh gruntov (na primere g. Tomska)* [Influence of oil products on petrographic composition and physical and mechanical properties of sandy-clay soils (on the example of Tomsk)]. *Vestnik Tomskogo gos. un-ta – Bulletin of Tomsk State University*, 2011, no. 342, pp. 197–200.