

## Новый подход к утилизации нефтезагрязнённой почвы

© 2020. Е. Г. Гилязов, д. т. н., профессор, г. н. с.,  
 А. Т. Сагинаев, д. х. н., профессор, зав. лабораторией,  
 М. Д. Уразгалиева, м. н. с., А. А. Аронова, м. н. с.,  
 С. А. Изгалиев, магистр, м. н. с.,  
 НАО «Атырауский университет нефти и газа»,  
 060002, Казахстан, г. Атырау, пр. Азаттык, д. 1,  
 e-mail: asaginaev@mail.ru

Исследовали образцы почвы, загрязнённой нефтью, отобранные с территории нефтегазодобывающего управления (НГДУ) «Прорванефть» и НГДУ «Жылойнефть» Атырауской области Республики Казахстан. Изучена возможность утилизации загрязнённой нефтью почвы путём использования её в качестве органических вяжущих материалов для укрепления грунтов. Разработан новый способ утилизации отходов нефтегазодобычи – замазученных почв – путём использования их в качестве органического вяжущего материала для укрепления грунтов в строительстве грунтовых дорог. Состав, приготовленный из замазученного грунта, отобранного из шламонакопителя «Каратон» НГДУ «Жылойнефть», по физико-механическим свойствам соответствует требованиям СНиП Республики Казахстан к грунтам, укрепленным органическими вяжущими материалами, для устройства верхних слоёв оснований и покрытий дорог III–V технической категории. Он придаёт грунтам более высокую прочность, морозостойкость и улучшает их водоустойчивость по сравнению с известными вяжущими материалами. Применение этого способа утилизации загрязнённых нефтью грунтов может решить одну из важнейших задач экологии в области охраны почвы и атмосферы. Значительным преимуществом данного способа является доступность материалов и исключение необходимости их специального приготовления, что значительно упрощает процесс укрепления грунта.

**Ключевые слова:** нефтегазодобыча, замазученная почва, утилизация, укрепление грунта, органические вяжущие материалы, строительство дорог.

## New approach to utilization of oil-polluted soil

© 2020. E. Gilazhov <sup>ORCID: 0000-0003-3046-4845</sup>, A. Saginayev <sup>ORCID: 0000-0001-9742-9679</sup>,  
 M. Urazgaliyeva <sup>ORCID: 0000-0003-0026-3137</sup>, A. Aronova <sup>ORCID: 0000-0001-8584-3469</sup>,  
 S. Izgaliyev <sup>ORCID: 0000-0002-1267-9079</sup>  
 Non-Commercial Joint-Stock Company “Atyrau Oil and Gas University”,  
 1, Azattyk Prospekt, Atyrau, Kazakhstan, 060002,  
 e-mail: asaginaev@mail.ru

The article discusses the results of studying the possibility of utilization of oil-contaminated soils by using them as organic binders to strengthen the ground for construction of unpaved roads. The samples of soils polluted with oil were selected in the territory of the Oil and Gas Production Departments (OGPD) “Prorvanef” and “Zhyloyneft” at the Atyrau region of the Republic of Kazakhstan. The result of the research is the development of the new method for the disposal oil and gas production waste. The use of compositions prepared from contaminated soil selected from the “Karaton” sludge collector of the oil and gas industry complex “Zhyloyneft” for physical and mechanical properties complies with the requirements of the building regulations of the Republic of Kazakhstan and even exceeds the requirements for soils reinforced with organic binders for the construction of upper layers of foundations and road pavements of III–V technical category. The soil strengthened by the proposed astringent compound, even with a lower content of oil hydrocarbons in the composition, has high strength, and in addition, water resistance is 2 times improved. By the proposed method, it is possible to obtain astringent compositions for strengthening the soils of the lower layer of the base of dirt roads. They give high strength, frost resistance to the soil and improve the water resistance of the soil compared to the well-known binders. The application of this method can solve one of the most important environmental problems in the field of soil and atmosphere protection. A significant advantage of the proposed method is its availability and the elimination of the need for its special preparation, which greatly simplifies the process of strengthening the soil.

The developed method for the disposal of contaminated soils has the following advantages: a) makes it possible to skillfully use contaminated soil in the construction of commercial dirt roads; b) allows you to expand the raw material base for building materials in the construction of roads; c) solves one of the most important environmental problems in the field of soil and atmosphere protection.

**Keywords:** oil and gas production, contaminated soil, utilization, strengthening of ground, organic binders, road construction.

Из трёх природных сред – почвы, воды и воздуха – сложнее всего восстанавливаются загрязнённые почвы, поскольку они способны аккумулировать и закреплять токсические вещества. Естественное восстановление почв, загрязнённых нефтью, – чрезвычайно медленный процесс. При высоком уровне загрязнения (например, при разливах нефти) происходит практически полная депрессия функциональной активности флоры и фауны, ингибируется жизнедеятельность большинства микроорганизмов и происходит угнетение самоочищающей способности почвы.

В почвах, как в хроматографической колонке, нефть разделяется на более тяжёлые высокомолекулярные асфальтово-смолистые компоненты, которые из-за своей относительно малой подвижности аккумулируются в позициях, приближенных к источнику загрязнения, а также на более лёгкие низкомолекулярные компоненты, мигрирующие на более значительное расстояние [1–3].

Широкомасштабное загрязнение нефтью окружающей среды (ОС), а также возрастающий объём добычи нефти в Республике Казахстан выдвигают на первое место проблему локализации и устранения загрязнений [4].

На месторождении, разрабатываемом АО «Эмбаунайгаз», действуют 1688 эксплуатационных и 355 нагнетательных скважин. Нефтехимическое загрязнение почв отмечается на площади всех действующих нефтегазовых месторождений и связано с нерациональным их освоением. Общая площадь, занятая нефтяным загрязнением, составляет около 200 тыс. га [5–7]. В настоящее время на нефтепромыслах Республики Казахстан используется в основном технический метод рекультивации нефтезагрязнённых почв, заключающийся в снятии и захоронении на специальных полигонах верхнего «замазученного» слоя почв. Шламонакопители быстро заполняются, следовательно, требуется строительство новых объектов захоронения [8]. Проблема современных технологий по переработке нефтезагрязнённого грунта состоит в том, что сам процесс переработки наносит вред ОС. В связи с этим возникла необходимость разработать более удобные и дешёвые способы утилизации нефтезагрязнённых почв.

Повторное использование замазученной почвы в качестве материалов для гражданского строительства рассматривается как один из эффективных альтернативных методов утилизации загрязнённой почвы. В работах [9, 10]

показано, что геохимические и геотехнические свойства нефти способствуют накоплению в верхней части почвы тяжёлых высокомолекулярных асфальтово-смолистых компонентов, которые повышают её вяжущие свойства. В связи с этим загрязнённые почвы проверяли на предмет возможного повторного использования в качестве инженерного материала.

В работе [11] изучалось влияние искусственного нефтяного загрязнения грунта на его механические свойства (в частности, на «модуль реакции грунта», определяемый как отношение приложенного давления к величине просадки грунта). В качестве модельных загрязнителей использовали смесь 49% лёгкого мазута, 21% керосина и 30% воды (смесь № 1) и 70% лёгкого мазута с 30% керосина (смесь № 2). Испытания проводили в режиме статической и циклической нагрузки. В статическом режиме наблюдалось снижение модуля реакции по сравнению с незагрязнённым грунтом на 28 и 42% при загрязнении смесью № 1 и № 2 соответственно; в режиме циклической нагрузки уменьшение модуля реакции составило 32 и 47%.

Увеличение степени загрязнения глинистого грунта сырой нефтью приводит к некоторому уменьшению его плотности (согласно [12], на 4% при содержании нефти 10%) и увеличению пределов Атттерберга.

Исследования влияния нефти на физико-механические свойства мелкого песка [13] показали, что увеличение содержания лёгкой сырой нефти приводит к увеличению сцепления между частицами почвы, снижению водопроницаемости и небольшому уменьшению угла внутреннего трения.

Возможность использования вяжущих свойств замазученных почв для повышения несущей способности слабых (пылеватых и тяжёлых пылеватых) грунтов с целью укрепления дорог Атырауской области Республики Казахстан показана в работах [14–16].

Цель настоящей работы – исследовать свойства замазученных почв с территории нефтегазодобывающего управления (НГДУ) «Прорванефть» и НГДУ «Жылойнефть» и изучить возможность их утилизации путём использования в качестве органических вяжущих материалов для укрепления грунтов.

#### **Объекты и методы исследования**

Объектами исследования были замазученные почвы из шламонакопителей с территории НГДУ «Прорванефть» и НГДУ «Жылой-

Таблица 1 / Table 1

Устойчивость к размоканию смесей, содержащих замазученные грунты из шламонакопителя промзоны НГДУ «Прорванефть» / Resistance to soaking of mixtures containing oily grounds with from the sludge collector OGPД “Prorvaneft”

Номер смеси Mixture number	Состав смеси грунтов Grounds mixture composition	Соотношение компонентов грунтов, % Ground composition ratio, %	Время размокания, час Soaking time, hour	Состояние образца грунта State of the ground sample
1	Слабоустойчивый пушонистый грунт Weakly resistant heaving ground	100	5	Полное размокание Complete soaking
2	Слабоустойчивый пушонистый грунт Weakly resistant heaving ground	50	24	Размокания не наблюдается No observed soaking
	Проба № 1 замазученный грунт, содержание нефти 12,3% / Sample No. 1 oiled ground, oil content 12.3%	25		
	Проба № 2 замазученный грунт, содержание нефти 15,1% / Sample No. 2 oiled ground, oil content 15.1%	25		
3	Слабоустойчивый пушонистый грунт Weakly resistant heaving ground	50	24	Слабое размокание, капиллярное поднятие небольшое Weak soaking, slight capillary rise
	Проба № 3 замазученный грунт, содержание нефти 15,7% / Sample No. 3 oiled ground, oil content 15.7%	25		
	Проба № 5 замазученный грунт, содержание нефти 9,6% / Sample No. 5 oiled ground, oil content 9.6%	25		
4	Слабоустойчивый пушонистый грунт Weakly resistant heaving ground	50	24	Размокания не наблюдается No observed soaking
	Проба № 6 замазученный грунт, содержание нефти 24,3% / Sample No. 6 oiled ground, oil content 24.3%	25		
	Проба № 7 замазученный грунт, содержание нефти 16,7% / Sample No. 7 oiled ground, oil content 16.7%	25		
5	Слабоустойчивый пушонистый грунт Weakly resistant heaving ground	50	24	Размокания не наблюдается No observed soaking
	Проба № 4 замазученный грунт, содержание нефти 6,4% / Sample No. 4 oiled ground, oil content 6.4%	50		

нефть». Образцы почвы были отобраны из верхнего (20 см), среднего (75 см) и нижнего (150 см) слоёв по всему периметру территории шламонакопителя двух НГДУ в четырёх повторностях. При определении уровня загрязнения замазученной почвы использовали методику ПНД Ф 16.1:2.21-98 [17]. В исследованных образцах содержание нефтепродуктов колебалось от 6,4 до 24,3 вес. %.

Физико-механические свойства укрепленных грунтов (предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, набухание, водонасыщение, коэффициент морозостойкости и т. д.) определяли по методике [18]. Статистическую обработку полученных фактических

результатов при четырёх повторностях отбора проводили по формуле:

$$U_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i \cdot (n_i - 1)} \cdot \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - x_i)^2},$$

где  $x_i = \frac{1}{n_i} \cdot \sum_{q=1}^{n_i} x_{iq}$  – среднее арифметическое

результатов измерений  $i$ -ой входной величины.

### Результаты и обсуждение

На начальном этапе были проведены предварительные исследования свойств замазученных почв из скважин промзоны НГДУ

«Прорванефть» с целью определения пригодности их в качестве вяжущих материалов для укрепления нижнего слоя грунтовых дорог.

Все пробы были заформованы для определения степени пригодности их для стабилизации (закрепления) слабоустойчивых (пушонистых) грунтов Атырауской области. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Как видно из данных таблицы 1, содержание вяжущих нефтепродуктов в смесях замазученных грунтов колеблется от 6,4 до 24,3 вес.%. Результаты исследований на устойчивость к размоканию образцов грунта показали перспективность смесей №№ 2, 4 и 5 в качестве вяжущих материалов для стабилизации (закрепления) слабоустойчивых грунтов по степени размокаемости проб в воде.

На основании проведённых работ нами была создана рецептура состава смеси грунтов для укрепления нижнего слоя грунтовых дорог с применением замазученной почвы из промзоны НГДУ «Прорванефть» (рис. 1).

Сравнительная характеристика физико-механических свойств грунтов, укрепленных предлагаемыми нами составами, в сравнении со строительными нормами для нижних слоёв грунтовой дороги по СН 25-74 [19], приведена в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, грунт, укрепленный предлагаемым вяжущим составом, даже

при меньшем содержании углеводородов нефти по сравнению со строительными нормами для нижних слоёв грунтовой дороги имеет высокую прочность, лучшие показатели набухания и водонасыщения. Следовательно, разработанные нами вяжущие составы пригодны для укрепления грунтов нижнего слоя основания грунтовых дорог.

Следующим объектом для разработки состава вяжущих материалов была выбрана данная почва НГДУ «Жылойнефть». Определено, что данная почва содержит от 18,8 до 23,5% нефтяных углеводородов.

Для подбора состава рецептуры используются: супесчано-суглинистый грунт Атырау с числом пластичности от 5 до 9; портландцемент ПЦ-400 (Усть-Каменогорск); щебень фракции 5–20 мм с маркой по дробимости М-1200 из карьера Коктас Мугоджарского района Актюбинской области.

Составы укрепленных грунтов с содержанием замазученной почвы из шламонакопителя «Каратон» НГДУ «Жылойнефть» приведены на рисунке 2.

В таблице 3 приведены результаты испытаний составов, укрепленных замазученной почвой, цементом и щебнем.

Как видно из данных таблицы 3, применение составов, приготовленных из замазученного грунта, отобранного из шламонакопителя

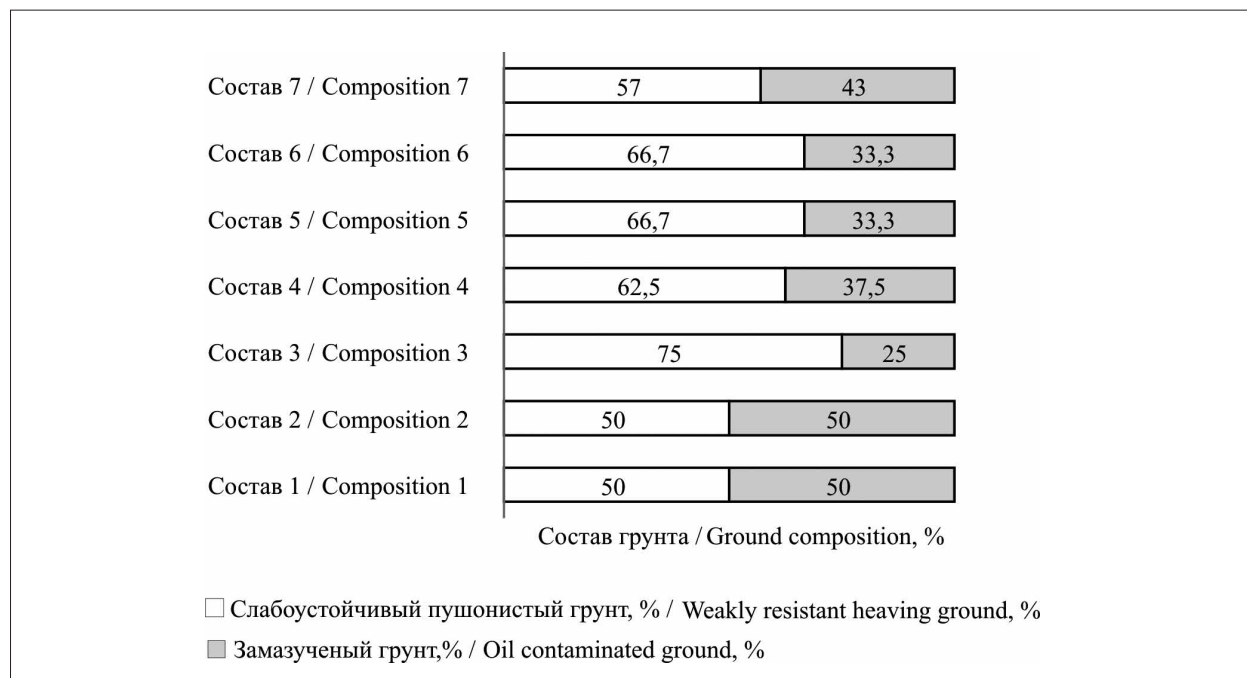


Рис. 1. Диаграмма составов укрепленных грунтов, содержащих замазученную почву из шламонакопителя НГДУ «Прорванефть»  
 Fig. 1. Composition diagram of fortified grounds with contaminated soils from the sludge collector OGPD “Prorvanefit”

Таблица 2 / Table 2

Характеристика физико-механических свойств грунтов, укрепленных замазучеными почвами из шламонакопителя НГДУ «Прорванефть» / Characteristics of the physico-mechanical properties of grounds reinforced by oil-contaminated grounds from the sludge collector of OGPД “Prorvanefт”

Физико-механические свойства Physical and mechanical properties	Строительные нормы для нижних слоёв грунтовой дороги по СН 25-74 Building codes for the lower layers of the ground-level road SN 25-74	Пробы приготовленных смесей Samples of prepared mixtures						
		1	2	3	4	5	6	7
Содержание углеводородов в грунте, % Hydrocarbon content in ground, %	10	6,40±0,18	7,60±0,23	6,10±0,33	6,30±0,26	6,80±0,21	10,30±0,36	7,20±0,17
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов, МПа при 20 °С Tensile strength at compressing water saturated samples, МПа at 20 °С	0,37	0,41±0,07	0,40±0,09	0,39±0,09	0,40±0,07	0,50±0,09	0,50±0,03	0,45±0,01
Набухание, об. % Swelling, vol. %	2,8	1,05±0,02	1,00±0,04	1,05±0,02	1,05±0,03	0,93±0,02	0,80±0,01	1,00±0,016
Водонасыщение, об. % Water saturated, vol. %	7,7	2,75±0,03	2,85±0,04	2,75±0,03	2,65±0,03	2,600±0,009	2,500±0,009	2,600±0,014

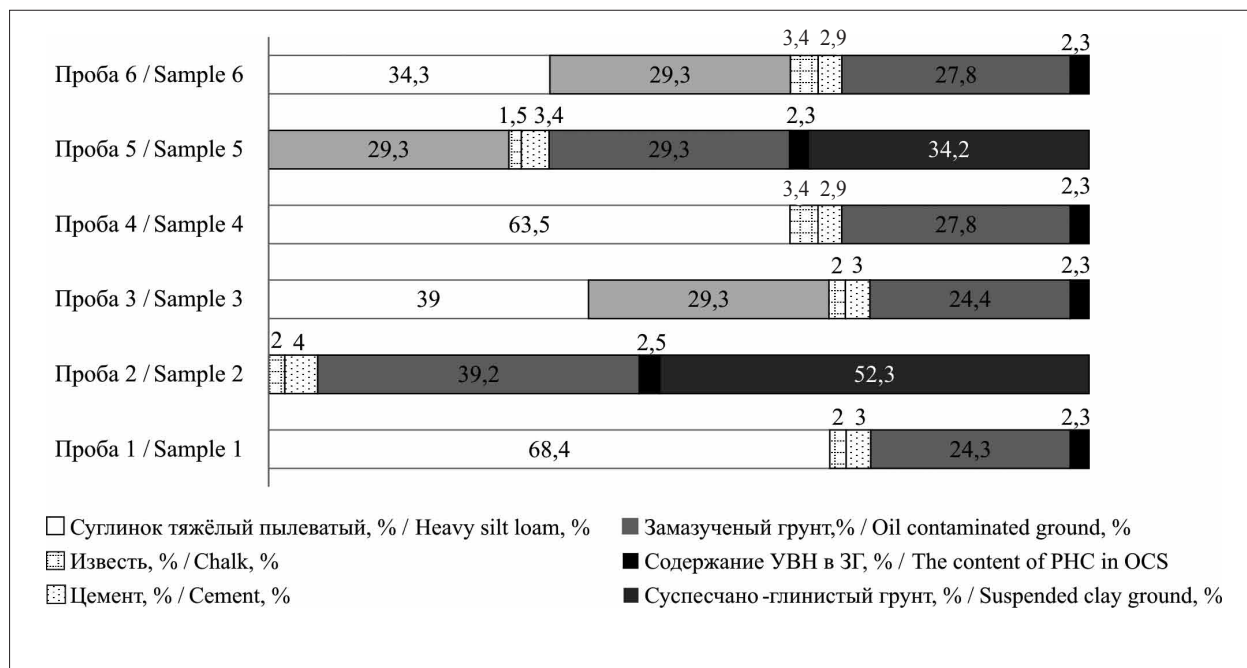


Рис. 2. Диаграмма составов укрепленных грунтов, содержащих замазученную почву из шламонакопителя НГДУ «Каратон»  
 Fig. 2. Composition diagram of fortified soils with contaminated soils from the sludge collector of OGPД “Karaton”



Таблица 3 / Table 3

Физико-механические свойства грунтов, содержащих замазученные почвы из шламонакопителя НГДУ «Каратон»  
Physico-mechanical properties of the composition of grounds with oiled soil from the sludge collector of OGPD "Karaton"

Физико-механические свойства Physical and mechanical properties	Строительные нормы для верхнего слоя дорог / Building codes for the top layer of roads	Номера приготовленных смесей Samples of prepared mixtures					
		1	2	3	4	5	6
Содержание углеводородов нефти, % The content of petroleum hydrocarbons, %	6–8	6,7± 0,3	4,9± 0,2	4,8± 0,2	5,6± 0,1	7,0± 0,1	6,7± 0,3
Предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов при 20 °С, кгс/см <sup>2</sup> Compressive strength of water-saturated samples at 20 °C, kgf/cm <sup>2</sup>	40–25	60,0± 0,6	58,0± 0,2	63,0± 5,3	54,0± 0,2	58,0± 0,2	63,0± 3,2
Предел прочности на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов при 20 °С, кгс/см <sup>2</sup> , не менее The tensile strength in bending of water-saturated samples at 20 °C, kgf/cm <sup>2</sup> , not less	10	11,00± 0,22	10,10± 0,22	12,00± 0,23	10,00± 0,21	11,00± 0,24	14,00± 0,22
Коэффициент морозостойкости, не менее Frost resistance coefficient, not less	0,85	0,92± 0,09	1,05± 0,13	1,16± 0,14	1,01± 0,09	1,00± 0,12	1,20± 0,13
Водонасыщение, об.%, не более Water saturation, vol.%, no more	3	2,40± 0,08	1,00± 0,09	0,60± 0,05	1,80± 0,14	2,90± 0,15	2,40± 0,12

«Каратон» НГДУ «Жылойнефть», по физико-механическим свойствам соответствует требованиям СНиП РК 3.03-09-2006 [20] и даже превосходит требования к грунтам, укрепленным органическими вяжущими материалами, для устройства верхних слоев оснований и покрытий дорог III–V технической категории. Они придают высокую прочность, морозостойкость грунтам и улучшают водостойчивость грунтов в большей степени, чем известные вяжущие материалы.

### Заклучение

Исследованы свойства замазученных почв из шламонакопителей НГДУ «Прорванефть» и НГДУ «Жылойнефть» с целью разработки способа утилизации отходов нефтегаздобычи – замазученной почвы. Показана возможность их использования в качестве органических вяжущих материалов для укрепления грунтов.

Разработанный способ утилизации замазученных почв имеет следующие преимущества: даёт возможность использовать замазученную почву в строительстве внутрипромысловых грунтовых дорог; позволяет расширить сырьевую базу для получения строительных материалов при строительстве дорог; решает

одну из важнейших экологических задач в области охраны почвы и атмосферы.

*Работа выполнена по гранту программно-целевого финансирования «Фонд Науки» МОН РК № BRO5236302.*

*The work was carried out under the grant of program-targeted financing "Science Foundation" of the MES of the Republic of Kazakhstan No. BRO5236302.*

### References

1. Gennadiev A.N. Oil and the environment // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2009. No. 6. P. 30–39 (in Russian).
2. Pikovsky Yu.I., Gennadiev A.N., Oborin A.A., Puzanova T.A., Krasnopeeveva A.A., Zhidkin A.P. Hydrocarbon state of soils on the territory of oil production // Pochvovedenie. 2008. No. 11. P. 1314–1323 (in Russian).
3. Seredina V.P., Andreeva T.A., Alekseeva T.P., Burmistrova T.I., Tereshchenko N.H. Oil-contaminated soils: properties and recultivation. Tomsk: Tomskiy politekhnicheskii universitet, 2006. 270 p. (in Russian).
4. Ibragimova S.T., Aitkeldieva S.A., Faizulina E.R. Environmental assessment of oil-contaminated soils in Kazakhstan based on responses of standard biotest-systems // Doklady po ekologicheskomu pochvovedeniyu. 2009. V. 1. No. 11. P. 79–94 (in Russian).

5. Diarov M.D., Bolshov A.A., Serikov T.P., Ergaliev T.Zh., Diarova D.M. Ecology and oil and gas complex. V. 8. Almaty: Evero, 2006. 672 p. (in Russian).
6. Diarov M.D. Ecology and oil and gas complex. V. 9. Almaty: Evero, 2011. 541 p. (in Russian).
7. Diarov M.D. Pre-salt oils and human health. Atyrau: Evera, 2016. 178 p. (in Russian).
8. Gilazhov Ye.G., Saginayev A.T., Serikov T.P., Bukeikhanov N.R. Effect of industrial waste on the soil of the Kazakhstan part of the Caspian Sea // Pragmatism in Corporate Social Responsibility. Poznan: Redakcja naukowa, 2016. P. 288–290 (in Russian).
9. Oluremi J.R., Osuolale O.M. Oil contaminated soil as potential applicable material in civil engineering construction // Journal of Environment and Earth Science. 2014. V. 4. No. 10. P. 87–100.
10. Oluremi J.R., Adewuyi A.P., Sanni A.A. Compaction characteristics of oil contaminated residual soil // Journal of Engineering and Technology 2015. V. 6. No. 2. P. 75–87.
11. Karkush M.O., Abdul Kareem M.S. Impacts of petroleum fuel oil contamination on the geotechnical properties of fine-grained soils // Indian Journal of Engineering. 2018. V. 15. P. 228–237. [Internet resource] [http://www.discoveryjournals.org/engineering/current\\_issue/2018/A23.pdf](http://www.discoveryjournals.org/engineering/current_issue/2018/A23.pdf) (Accessed: 05.09.20).
12. Akinwumi I., Diwa D., Obianigwe N. Effects of crude oil contamination on the index properties, strength and permeability of lateritic clay // Int. Journal of Applied Sciences and Engineering Research. 2014. No. 3 (4). P. 816–824. doi: 10.6088/ijaser.030400007
13. Abousnina R.M., Manolo A., Shaian J., Lokouge W. Effects of light crude oil contamination on the physical and mechanical properties of fine sand // Journal of European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2015. No. 4. P. 833–845. doi: 10.1080/15320383.2015.1058338
14. Gilazhov Ye.G. New methods of processing and disposal of waste oil, gas and petrochemical industries. Astana: Publishing house ENU, 2013. 338 p. (in Russian).
15. Gilazhov Ye.G., Serikov T.P., Bukeikhanov N.R. A new way of disposing of oil contaminated soils // Ecological and Technical Safety. Poznan: Redakcja naukowa, 2014. P. 85–88 (in Russian).
16. Gilazhov Ye.G., Saginayev A.T., Sorokina T.V., Idrisova E.K. Composition for the strengthening of dirt roads // Patent RK 2334 utility models. Application: 2017/0091.2, 08.06.2015. Data of publication: 31.08.2017. Bull. 16 (in Russian).
17. PND F 16.1: 2.21-98. Methods for measuring the mass fraction of petroleum products in soil and soil samples by the fluorimetric method using the Fluorat-02 fluid analyzer. Moskva: OOO “Lyumeks”, 2012. 22 p. (in Russian).
18. GOST 10180-90. Methods for determining the strength of control samples. Moskva: Standartinform, 2006. 31 p. (in Russian).
19. SN 25-74. Instructions for the use of soils, reinforced with binders, for the construction of bases and roads and airfields. Moskva: Stroiizdat, 1975. 128 p. (in Russian).
20. Building regulations of Republic of Kazakhstan SNiP RK 3.03-09-2006. Highways. Almaty: KAZGOR, 2014. 52 p. (in Russian).