

БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 502.64

DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1328-1342

Проблема нефтезагрязненной геосреды и пути ее решения

Константин Львович Чертес¹, Виталий Николаевич Пыстин¹,
Ольга Владимировна Тупицына¹, Ирина Михайловна Евграфова²

¹ Самарский государственный технический университет (СамГТУ); г. Самара, Россия;

² Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); г. Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. С одной стороны, загрязненные грунты выступают источником деградации экосистем, с другой — потенциальным основанием для возведения сооружений. На площадках нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий постоянно осуществляются строительные работы. Строительство новых и реконструкция существующих установок сопровождаются сносом старых объектов вплоть до извлечения фундаментов из загрязненной геосреды.

Материалы и методы. Оценка нефтезагрязненных грунтов проводилась на существующих предприятиях нефтяного комплекса в ходе проектно-изыскательских работ по подготовке площадок к новому строительству. На стадии изысканий исследовали несущую способность загрязненных грунтов с использованием метода штамповых испытаний. Отдельные параметры, необходимые для оценки строительного освоения промплощадок без экскавации загрязненных грунтов, определяли в грунтовой лаборатории по стандартным методикам.

Результаты. Нефтезагрязненные грунты под площадками реконструируемых предприятий отличаются многообразием видового состава, геомеханических свойств и экологических показателей. Соответственно многообразно и количество направлений ликвидации загрязнений. Промывку загрязненных грунтов осуществляли растворами реагентов (флокулянт, сода, карбонизированная вода) через сети дрен и скважин под давлением. При этом происходил перевод загрязнений, «защемленных» в порах и капиллярах грунта, в свободное состояние с последующим оттоком в дренаж, перехватом загрязненной жидкости и ее подъемом на поверхность для дальнейшей очистки.

Выводы. Учитывая значимость проблемы, авторами был разработан и внедрен в строительную практику набор технологий, позволяющих проводить на территориях реконструируемых и ликвидируемых объектов нефтяного комплекса удаление углеводородсодержащих загрязнений без извлечения грунтов из выемок.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтезагрязненные грунты, охрана окружающей среды, рекультивация, экологическая безопасность, санация недр

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чертес К.Л., Пыстин В.Н., Тупицына О.В., Евграфова И.М. Проблема нефтезагрязненной геосреды и пути ее решения // Вестник МГСУ. 2024. Т. 19. Вып. 8. С. 1328–1342. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1328-1342

Автор, ответственный за переписку: Ирина Михайловна Евграфова, irina-sen811@yandex.ru.

The problem of the oil-contaminated geo-environment and ways to solve it

Konstantin L. Chertes¹, Vitaliy N. Pystin¹, Olga V. Tupitsyna¹, Irina M. Evgrafova²

¹ Samara State Technical University (SamGTU); Samara, Russian Federation;

² Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU);
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. On the one hand, polluted soils are a source of ecosystem degradation. On the other hand, it is a potential basis for the construction of structures. Construction works are constantly carried out at the sites of oil producing and oil processing enterprises. The construction of new and reconstruction of existing installations is accompanied by the demolition of old facilities up to the extraction of foundations from contaminated.

Materials and methods. The assessment of oil-contaminated soils was carried out at existing enterprises of the oil complex during design and survey work to prepare sites for new construction. At the survey stage, the bearing capacity of contaminated soils was investigated using the stamp test method. The individual parameters necessary to assess the construction development of industrial sites without excavating contaminated soils were determined in a soil laboratory using standard methods.

Results. The oil-contaminated soils under the sites of the reconstructed enterprises are distinguished by a variety of species composition, geomechanical properties and environmental indicators. Accordingly, the number of ways to eliminate pollu-

tion is diverse. The contaminated soils were washed with reagent solutions (flocculant, soda, carbonized water) through a network of drains and wells under pressure. At the same time, the contamination “trapped” in the pores and capillaries of the soil was transferred to a free state, followed by outflow into the drainage, interception of the contaminated liquid and its rise to the surface for subsequent cleaning.

Conclusions. Taking into account the importance of the problem, the authors developed and introduced into construction practice a set of technologies that allow for the removal of hydrocarbon-containing pollutants in the territories of reconstructed and liquidated facilities of the oil complex, without extracting soils from recesses.

KEYWORDS: oil-contaminated soils, environmental protection, reclamation, environmental safety, subsoil remediation

FOR CITATION: Chertes K.L., Pystin V.N., Tupitsyna O.V., Evgrafova I.M. The problem of the oil-contaminated geo-environment and ways to solve it. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2024; 19(8):1328-1342. DOI: 10.22227/1997-0935.2024.8.1328-1342 (rus.).

Corresponding author: Irina M. Evgrafova, irina-sen811@yandex.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Геосреда в границах зоны аэрации загрязняется нефтепродуктами в результате прорывов на трубопроводах и утечек углеводородов из емкостных сооружений. Долговременные инфильтраты из накопителей нефтеотходов также приводят к загрязнению грунтов.

Глубина загрязнения может составлять десятки, а в отдельных случаях и сотни метров [1–3]. Состав нефтезагрязненной геосреды разнообразен. Различаются виды загрязненных грунтов, их генезис, механическая структура и физические свойства. В широком диапазоне значений представлены содержания загрязнений, соотношения нефти и подземной воды. Различны диапазоны значений пластичности, вязкости, деформационных характеристик грунтов, а также способности загрязнений к биохимической и химической трансформации¹. С одной стороны, загрязненные грунты выступают источником деградации экосистем, с другой — потенциальным основанием для возведения сооружений.

На площадках нефтедобывающих и нефтеперерабатывающих предприятий постоянно осуществляются строительные работы. Строительство новых и реконструкция существующих установок сопровождаются сносом старых объектов вплоть до извлечения фундаментов из загрязненной геосреды².

СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» устанавливает требования к возможности использования грунтов для строительства. При этом применение загрязненных грунтов для строительства запрещено. Поэтому для возведения новых объектов на существующих промплощадках производят экскавацию и вывоз загрязненных грунтов до подошвы будущих фундаментов. В отдельных случаях осуществляют полную замену строительных оснований чистым грунтом. При этом

образуется значительное количество отходов, происходит деградация геосреды на значительном удалении от предприятий из-за формирования новых и расширения существующих карьеров.

Практический опыт показал, что стоимость работ по замене грунтов котлованов составляет до 20 % от капиталозатрат на строительные работы. В эти работы входят выемка загрязненного грунта вплоть до подошвы новых фундаментов, его доставка на объекты обезвреживания, обработка для снижения класса опасности, а также покупка, транспорт, обратная засыпка и уплотнение чистого грунта.

Перед специалистами стоит проблема, очерчиваемая кругом вопросов:

- можно ли использовать нефтезагрязненные грунты в качестве строительных оснований с проведением очистных мероприятий без извлечения мас-сива из геосреды;
- на каких типах грунтов, подвергшихся загрязнению, и при каких остаточных содержаниях нефтепродуктов можно осуществлять строительные работы;
- возможна ли подготовка загрязненных промплощадок к строительным работам без извлечения углеводородных токсикантов из геосреды;
- какие методы удаления загрязнений из геосреды или, наоборот, их иммобилизации целесообразно применять на освоенных строительством территориях, не нарушая сплошность пород, т.е. без экскавации, которая превращает грунт в отход. При этом необходимо учитывать и обременения близкорасположенными пожаро- и взрывоопасными производствами.

Цель исследования — обоснование возможности хозяйственно-строительного освоения территорий, деградированных деятельностью нефтяного комплекса без извлечения загрязненных грунтов.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Критериально-параметрическая оценка деградированных углеводородами грунтов как потенциальных оснований для строительства.
2. Создание новых и адаптация существующих технологий реагентной промывки нефтезагряз-

¹ ООО «ЛУКОЙЛ-Центрнефтепродукт». URL: <https://centrnp.lukoil.ru/ru>

² Реестр проектируемых, строящихся и введенных в эксплуатацию нефтеперерабатывающих заводов в РФ. URL: <https://rcit.su/inform-rf-npz.html>

ненных грунтов без нарушения их механической сплошности.

3. Определение соответствия вида возводимого сооружения типу грунта по загрязненности.

В настоящей работе предложено классифицировать области загрязненной геосреды и применяемые методы удаления углеводородов в зависимости от глубин:

- < 1,0 м — I аэробная подобласть; целесообразно применение в основном биохимического метода очистки. Обеспечиваются естественные условия «кислородного дыхания» микрофлоры-редуцента притоком из атмосферы;

- 1,0–3,0 м — II аэробная подобласть; целесообразно сочетание методов как биохимической очистки, так и реагентной промывки. «Кислородное дыхание» обеспечивается принудительным способом с использованием или рыхлительной техники, или низконапорной аэрации от вентилятора (давление воздуха до 0,6 атм); до глубины 3,0 м возможно применение физико-химических методов промывки или пропарки с флокулянт под давлением нагнетания раствора до 1,0 атм;

- 3,0–10,0 м — анаэробная область; здесь доступ кислорода с поверхности затруднен. Энергообмен обеспечивается за счет «нитритного» и «нитратного» дыхания микрофлоры; целесообразно применение средненапорной аэрации от воздуходувки или компрессора с давлением от 0,6 до 2,0 атм; подача промывочного раствора для химочистки возможна в диапазоне давлений от 1,0 до 10,0 атм;

- > 10,0 м — анаэробная область; биодеградация загрязнений нецелесообразна; очистка обеспечивается высоконапорными физико-химическими методами под давлением более 10 атм.

В отдельных случаях применяют методы подачи промывочных растворов под давлением 100 атм и более, направленные на изменение фильтрационно-реологических свойств загрязненной горной породы, улучшение ее проницаемости и снижение вязкости загрязнений неньютоновской природы [4].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценку нефтезагрязненных грунтов проводили на существующих предприятиях нефтяного комплекса в ходе проектно-изыскательских работ по подготовке площадок к новому строительству. На стадии изысканий исследовали несущую способность загрязненных грунтов с использованием метода штамповых испытаний. Отдельные параметры, необходимые для оценки строительного освоения промплощадок без экскавации загрязненных грунтов, определяли в грунтовой лаборатории по стандартным методикам. Исследуемые параметры объединены в группы: геомеханическую и геоэкологическую. Причем, в геомеханической группе сделан упор на несущую способность загрязненных углеводородами грунтов, а в экологическую группу, наряду с загрязнением, внесены параметры реологии и фильтрации грунтов, определяющие возможность их предварительной промывки. В составе геомеханической группы изучали коэффициент пористости, модуль деформации, сцепление, влажность и плотность грунта, показатель текучести и число пластичности. В составе геоэкологической группы исследовали общие содержания нефтепродуктов в грунте и подземных водах на доступных роторному бурению глубинах пробоотбора, а также коэффициенты фильтрации, динамической вязкости и степени опасности компонентов геосреды.

Табл. 1. Геомеханические свойства различных типов нефтезагрязненных грунтов и шламов (по данным инженерных изысканий)

Table 1. Geomechanical properties of various types of oil-contaminated soils and sludge (according to engineering surveys)

Наименование породы (ИГЭ) Name of the breed (EGE)	Геомеханические и отдельные структурные показатели Geomechanical and selected structural indicators						
	Коэффициент пористости ϵ Porosity coefficient ϵ	Диапазон линейных размеров частиц l , мм Range of linear particle sizes l , mm	Модуль деформации E , МПа Modulus of deformation E , MPa	Сцепление C , кПа The clutch with C , kPa	Плотность ρ , т/м ³ (при влажности до 30 %) Density ρ , t/m ³ (at humidity up to 30 %)	Показатель текучести I_t Turnover rate I_t	Число пластичности I_p The number of plasticity I_p
Песок мелкий/пылеватый с содержанием нефтепродуктов до 0,5 % масс. Fine/dusty sand with a content of petroleum products up to 0.5 % by weight	0,6–0,7	0,1–1,0	20–30	–	1,65–1,70	–	–

Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table

Наименование породы (ИГЭ) Name of the breed (EGE)	Геомеханические и отдельные структурные показатели Geomechanical and selected structural indicators						
	Коэффициент пористости ε Porosity coefficient ε	Диапазон линейных размеров частиц l , мм Range of linear particle sizes l , mm	Модуль деформации E , МПа Modulus of deformation E , MPa	Сцепление C , кПа The clutch with C , kPa	Плотность ρ , т/м ³ (при влажности до 30 %) Density ρ , t/m ³ (at humidity up to 30 %)	Показатель текучести I_f Turnover rate I_f	Число пластичности I_p The number of plasticity I_p
Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов 0,5–1,0 % масс. Fine sand with a petroleum product content of 0.5–1.0 % by weight	0,5–0,6	0,5–3,0	30–40	9,0–11,0	1,65–1,70	–	–
Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов более 1,0 % масс. Fine sand with a petroleum product content of more than 1.0 % by weight	0,4–0,5	0,5–3,0	40–50	12,0–15,0	1,6–1,65	–	1,0–3,0
Глина твердая с содержанием нефтепродуктов до 0,5 % масс. Solid clay with a content of petroleum products up to 0.5 % by weight	0,6–0,7	0,001–0,05	17,0–21,0	60,0–70,0	1,2–1,3	0,15–0,25	3,0–10,0
Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 0,5–1,0 % масс. Clay is solid (up to semi-solid) with a petroleum product content of 0.5–1.0 % by weight	0,5–0,6	0,001–0,05	15,0–18,0	40,0–45,0	1,2–1,5	0,15–0,25	7,0–15,0
Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 1,0–3,0 % масс. Clay is solid (up to semi-solid) with a petroleum product content of 1.0–3.0 % by weight	0,4–0,5	0,001–0,05	12,0–15,0	30,0–40,0	1,0–1,5	0,25–0,50	10,0–17,0
Глина пластичная с содержанием нефтепродуктов 3,0–5,0 % масс. Plastic clay with a petroleum product content of 3.0–5.0 % by weight	0,4–0,5	0,001–0,05	9,0–12,0	25,0–35,0	< 1	0,50–0,75	17,0–25,0
Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 1,0–3,0 % масс. Loam with dolomite with a petroleum product content of 1.0–3.0 % by weight	0,45–0,8	0,01–0,1	20,0–30,0	25,0–35,0	1,2–1,3	0,25–0,50	5,0–12,0

Наименование породы (ИГЭ) Name of the breed (EGE)	Геомеханические и отдельные структурные показатели Geomechanical and selected structural indicators						
	Коэффициент пористости ε Porosity coefficient ε	Диапазон линейных размеров частиц l , мм Range of linear particle sizes l , mm	Модуль деформации E , МПа Modulus of deformation E , MPa	Сцепление C , кПа The clutch with C , kPa	Плотность ρ , т/м ³ (при влажности до 30 %) Density ρ , t/m ³ (at humidity up to 30 %)	Показатель текучести I_t Turnover rate I_t	Число пластичности I_p The number of plasticity I_p
Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 3,0–5,0 % масс. Loam with dolomite with an oil content of 3.0–5.0 % by weight	0,65–0,75	0,01–0,1	15,0–25,0	15,0–20,0	1,2–1,3	0,50–1,0	3,0–10,0
Смесь песков и нефтешламов с содержанием нефтепродуктов более 5,0 % масс. A mixture of sands and oil sludge with an oil product content of more than 5.0 % by weight	0,65–0,75	0,4–0,6	15,0–20,0	10,0–15,0	1,5–1,55	–	1,0–5,0
Нефтешламы с содержанием нефтепродуктов более 10 % масс. Oil sludge with an oil product content of more than 10 % by weight	> 0,8	< 0,001	–	–	1,25–1,30	–	–
Буровые шламы на водной основе суглинистые/пылеватые (содержание нефтепродуктов менее 0,05 % масс.) Water-based drilling mud, loamy/powdery (oil content less than 0.05 % by weight)	> 0,8	< 0,001	–	–	1,90–2,10	–	–

Параметры оценки геосреды по двум группам показателей представлены в табл. 1, 2.

Были проведены исследования по очистке нефтезагрязненных грунтов с использованием биохимических (слоевое и штабельное компостирование) и высоконапорных физико-химических методов (промывка с флокулянтами). Давление нагнетания промывочного раствора регулировали в диапазоне от $1,0 \pm 0,2$ до $40,0 \pm 1,0$ МПа с применением промышленной установки высоконапорного нагнетания растворов в геосреду [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Из табл. 1, 2 видно, что нефтезагрязненные грунты под площадками реконструируемых пред-

приятий отличает многообразие видового состава, геомеханических свойств и экологических показателей. Соответственно многообразно и количество направлений ликвидации загрязнений.

Промывку загрязненных грунтов осуществляли растворами реагентов (флокулянт, сода, карбонизированная вода) через сети дрен и скважин под давлением. Происходил перевод загрязнений, «защемленных» в порах и капиллярах грунта, в свободное состояние с последующим оттоком в дренаж, перехватом загрязненной жидкости и ее подъемом на поверхность для последующей очистки. При промывке очищаемые от нефтяных загрязнений грунты, особенно на глубинах заложения фундаментов, не должны терять несущую способность как ос-

Табл. 2. Геоэкологические показатели загрязненных грунтов и шламов (по данным инженерных изысканий)

Table 2. Geoeological indicators of contaminated soils and sludge (according to engineering surveys)

Наименование породы (ИГЭ) Name of the breed (EGE)	Отдельные геоэкологические показатели Selected geoeological indicators					
	Общее содержание нефтепродуктов в грунте $C_{н.п.р.}$, мг/кг The total content of petroleum products in the soil is $S_{н.п.р.}$, mg/kg	Общее содержание нефтепродуктов в подземных водах $C_{н.п.р.в}$, мг/л The total content of petroleum products in groundwater is $S_{н.п.р.в}$, mg/l	Коэффициент фильтрации грунта $K_{ф}$, м/сут Soil filtration coefficient C_f , m/day	Коэффициент динамической вязкости μ при $5,0 \pm 2,0$ °С, Па·с·10 ⁻³ Dynamic viscosity coefficient μ , at 5.0 ± 2.0 °C, Pa·s·10 ⁻³	Глубина залегания подземных вод от поверхности земли $H_{н.п.р.}$, м Depth of groundwater from the earth's surface $N_{п.в.}$, m	Коэффициент степени опасности отхода K_0 The coefficient of the degree of danger of waste K_0
Песок мелкий/пылеватый с содержанием нефтепродуктов до 0,5 % масс. Fine/dusty sand with a content of petroleum products up to 0.5 % by weight	1462–3643	0,15–0,57	0,1–2,0	98–344	8,0 ± 0,5	87–119
Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов 0,5–1,0 % масс. Fine sand with a petroleum product content of 0.5–1.0 % by weight	5211–9427	0,78–2,43	0,1–2,0	485–1024	8,0 ± 0,5	136–422
Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов более 1,0 % масс. Fine sand with a petroleum product content of more than 1.0 % by weight	12 293–24 690	3,55–10,15	0,1–2,0	877–2480	8,0 ± 0,5	495–813
Глина твердая с содержанием нефтепродуктов до 0,5 % масс. Solid clay with a content of petroleum products up to 0.5 % by weight	1287–3425	0,22–0,75	$< 5,0 \cdot 10^{-4}$	2732–9584	12,0 ± 0,5	62–217
Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 0,5–1,0 % масс. Clay is solid (up to semi-solid) with a petroleum product content of 0.5–1.0 % by weight	6189–10 332	4,45–15,76	$< 5,0 \cdot 10^{-5}$	12 452–18 584	12,0 ± 0,5	582–970
Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 1,0–3,0 % масс. Clay is solid (up to semi-solid) with a petroleum product content of 1.0–3.0 % by weight	14 226–29 470	3,88–26,52	$3,2 \cdot 10^{-4}$ – $7,4 \cdot 10^{-5}$	27 633–38 488	12,0 ± 0,5	–

Наименование породы (ИГЭ) Name of the breed (EGE)	Отдельные геоэкологические показатели Selected geoecological indicators					
	Общее содержание нефтепродуктов в грунте $C_{н.п.р.}$, мг/кг The total content of petroleum products in the soil is $S_{н.п.р.}$, mg/kg	Общее содержание нефтепродуктов в подземных водах $C_{н.п.в.}$, мг/л The total content of petroleum products in groundwater is $S_{н.п.в.}$, mg/l	Коэффициент фильтрации грунта $K_{ф}$, м/сут Soil filtration coefficient C_f , m/day	Коэффициент динамической вязкости μ при $5,0 \pm 2,0$ °C, Па·с· 10^{-3} Dynamic viscosity coefficient μ , at $5,0 \pm 2,0$ °C, Pa·s· 10^{-3}	Глубина залегания подземных вод от поверхности земли $H_{н.в.}$, м Depth of groundwater from the earth's surface $N_{р.в.}$, m	Коэффициент степени опасности отхода K_0 The coefficient of the degree of danger of waste K_0
Глина пластичная с содержанием нефтепродуктов 3,0–5,0 % масс. Plastic clay with a petroleum product content of 3.0–5.0 % by weight	38 204–68 328	31,45–57,73	$8,1 \cdot 10^{-5}$ – $5,2 \cdot 10^{-6}$	39 629– 54 831	$18,0 \pm 0,5$	2643–7910
Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 1,0–3,0 % масс. Loam with dolomite with a petroleum product content of 1.0–3.0 % by weight	9248–29 242	1,07–3,62	$4,6 \cdot 10^{-5}$ – $2,1 \cdot 10^{-6}$	47 228– 79 315	$27,0 \pm 0,5$	3558–8034
Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 3,0–5,0 % масс. Loam with dolomite with an oil content of 3.0–5.0 % by weight	34 250–52 243	18,39–24,55	$1,3 \cdot 10^{-6}$ – $3,4 \cdot 10^{-7}$	82 941– 11 2062	$27,0 \pm 0,5$	9268–21 452
Смесь песков и нефтешламов с содержанием нефтепродуктов более 5,0 % масс. A mixture of sands and oil sludge with an oil product content of more than 5.0 % by weight	69 251– 11 2452	112,94–285,94	$< 5,0 \cdot 10^{-4}$	11 836– 25 387	$4,0 \pm 0,5$	18 593– 42 176
Нефтешламы с содержанием нефтепродуктов более 10 % масс. Oil sludge with an oil product content of more than 10 % by weight	155 727– 468 950	2190,4–4238,2	$< 5,0 \cdot 10^{-3}$	162 943– 272 540	$1,5 \pm 0,2$	53 296– 86 452
Буровые шлам на водной основе суглинистые/пылеватые (содержание нефтепродуктов менее 0,05 % масс.) Water-based drilling mud, loamy/powdery (oil content less than 0.05 % by weight)	128–501	0,04–0,17	0,1–2,0	287–789	$1,0 \pm 0,1$	23–55

нования для строительства. Отдельное внимание при разработке опытно-промышленных испытаний и внедрении перечисленных выше технологий уделялось изучению влияния ряда абиотических факторов среды, а также управляющих параметров (исходного содержания углеводородов, рабочих доз реагентов и добавок, давлений нагнетания промышленных и вяжущих растворов) на деформационные и экологические показатели геосреды.

На рис. 1, 2 приведены зависимости изменения величин модуля деформации и сцепления от общего содержания нефтепродуктов в образцах грунтов с различной степенью загрязненности; графики представлены в логарифмических координатах.

Исследования показали, что содержание углеводородов в нефтезагрязненных грунтах в диапазоне значений от 1,0 до 5,0 % масс. (10 000–50 000 мг/кг) не приводит к существенному понижению модуля деформации нарушенного грунта, если образец находится в состоянии монолита. Диапазоны значений модуля деформации для образцов глин (влажность 25,87 %) и песков с пылеватыми включениями (влажность 38,61 %) составили $(7,0–38,0) \pm 1,0$ МПа и $(4,0–25,0) \pm 1,0$ МПа соответственно. Подобные значения обеспечивают несущую способность нефтезагрязненных грунтов и их последующее использование в качестве оснований под объекты капитального строительства. Аналогичные результаты были получены для показателей удельного сцепления грунтов: $(28,0–60,0) \pm 1,0$ кПа — глины и $(2,0–6,0) \pm 1,0$ кПа — пески.

Снижение несущей способности нефтезагрязненных оснований происходит из-за ослабления межагрегатных связей в скелете грунта и начинает проявляться при достижении содержания углеводородов более 5 % масс. ($> 50\ 000$ мг/кг). По всей видимости, углеводородные инфильтраты в поровом пространстве оснований с содержанием нефтепродуктов > 5 % масс. определяют текучую консистенцию грунтов. При этом происходит снижение угла внутреннего трения и удельного сцепления, изменяется сжимаемость грунтов, особенно в водонасыщенных глинах и песках с преобладанием пылеватых частиц [6].

Учитывая значимость проблемы, авторами был разработан и внедрен в строительную практику набор технологий, позволяющих проводить на территориях реконструируемых и ликвидируемых объектов нефтяного комплекса удаление углеводородсодержащих загрязнений без извлечения грунтов из выемок.

К таким технологиям относятся:

- удаление из загрязненных почв до глубин 1,0 м летучих фракций углеводородов методом газоконтактной продувки [7, 8];
- удаление углеводородов из загрязненных грунтов и нефтеотходов в верхних горизонтах пород зоны аэрации (до глубин 3,0 м) с использованием биотермических методов [9];
- иммобилизация нефтяных загрязнений на глубинах до 10,0 м путем закачки в геосреду растворов реагентов, обладающих вяжущими, флокулирующими и сорбционными свойствами [10];

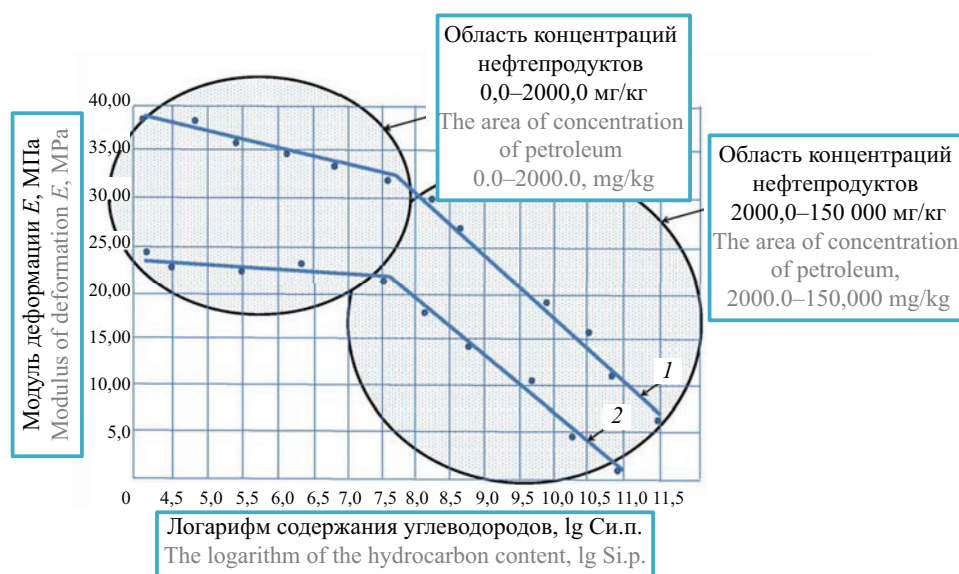


Рис. 1. Изменение величин модуля деформации E , МПа, от общего содержания нефтепродуктов $C_{\text{н.п}}$ в образцах грунтов с различной степенью загрязненности; ось абсцисс представлена в логарифмических значениях: 1 — образец глины твердой до полутвердой, влажностью 25,87 %; 2 — образец песка мелкого с пылеватыми включениями, влажностью 38,61 %

Fig. 1. Change in the values of the deformation modulus E , MPa, from the total content of petroleum products in soil samples with varying degrees of contamination; the abscissa axis is represented in logarithmic values: 1 — sample of clay, solid to semi-solid, with humidity of 25.87 %; 2 — sample of fine sand with dusty inclusions, with humidity of 38.61 %

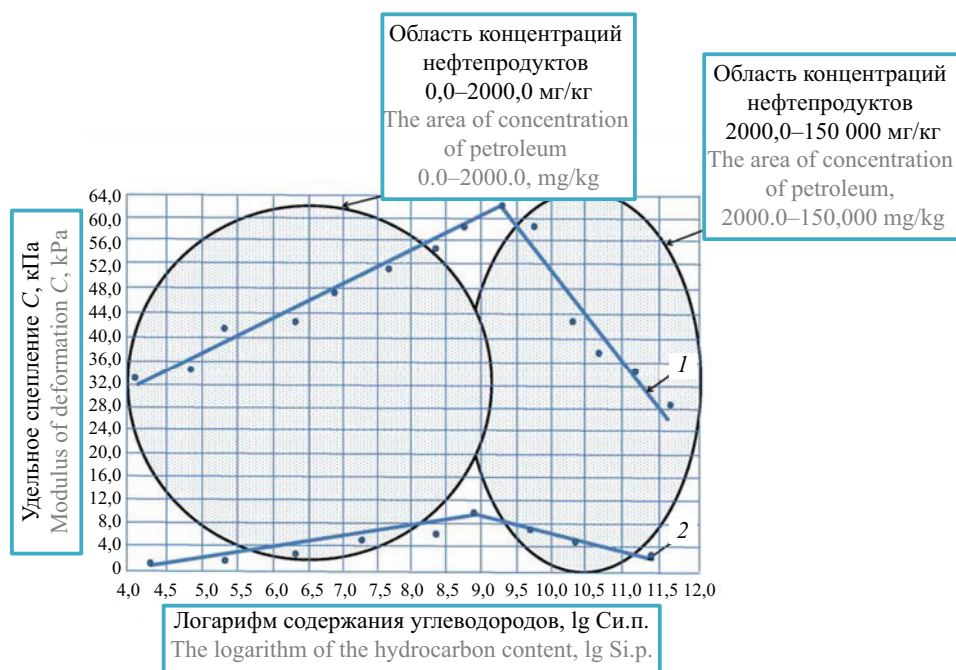


Рис. 2. Изменение величин удельного сцепления C , кПа, от общего содержания нефтепродуктов $C_{н.п.}$ в образцах грунтов с различной степенью загрязненности; ось абсцисс представлена в логарифмических значениях: 1 — образец глины твердой до полутвердой, влажностью 25,87 %; 2 — образец песка мелкого с пылевыми включениями, влажностью 38,61 %

Fig. 2. Change in the values of specific adhesion C , kPa, from the total content of petroleum products in soil samples with varying degrees of contamination; the abscissa axis is represented in logarithmic values: 1 — sample of solid clay, up to semi-solid, with humidity of 25.87 %; 2 — sample of fine sand with dusty inclusions, with humidity of 38.61 %

- очистка нефтезагрязненного грунта на глубине более 10 м с использованием высоконапорной промывки растворами, содержащими углекислоту (технология Jet) [11, 12].

В I аэробной подобласти на глубине до 1,0 м ликвидацию углеводородных загрязнений возможно проводить, как правило, без извлечения грунтов из геосреды. Здесь рекомендуется применение методов аэробной биохимической деструкции аборигенными или искусственно созданными микроорганизмами-редуцентами; производят рыхление, мульчирование грунта и после обезвреживания его укатку [13, 14].

При ликвидации нефтяных загрязнений во II аэробной подобласти (1,0–3,0 м), а также в аноксидной области (до 10,0 м) возможно производить экскавацию грунта, его формирование в штабели или бурты с последующей биотермической обработкой. Аэрацию извлеченного из геосреды грунта целесообразно обеспечивать перемешиванием ковшом или непосредственно от воздуходувных устройств. После обезвреживания возможен возврат грунтов в котлован в качестве вторичных рекультивационных материалов. Также на глубинах до 10,0 м имеет смысл использование низконапорной дренажной промывки нефтяных загрязнений.

Ликвидация загрязнений на значительных глубинах (более 10,0 м) сопряжена с необходимостью применения высоконапорной промывки [15, 16].

Варианты схем очистки грунтов для различных условий залегания углеводородных загрязнений в различных фрагментах загрязненной геосреды с использованием методов нагнетания и откачки промывных растворов представлены на рис. 3.

Решением проблемы строительства на грунтах, деградированных поступлением углеводородов, были охвачены промышленные площадки трех нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) Среднего Поволжья. Здесь в период 2009–2018 гг. проводили полную реконструкцию технологических установок для последующего выпуска топлив марок Евро-5.

На двух НПЗ выполнили объектный демонтаж бездействующих и морально изношенных установок, извлечение фундаментов в горизонтах отметок (–2,50)–(20,0) и частичную экскавацию нефтезагрязненных грунтов с последующей заменой привозными грунтами.

На одном НПЗ произвели снос старых установок в отметках (0,00)–(–3,00), однако строительство осуществили на загрязненных грунтах, так как их геомеханические характеристики отвечали требованиям к производству работ.

В общей сложности на площадках существующих НПЗ после объектного демонтажа были построены десятки новых цехов, например каталитического риформинга, крекинга, изомеризации, а также вспо-

могательных установок обслуживания этих цехов, включая эстакадные и надземные коммуникации.

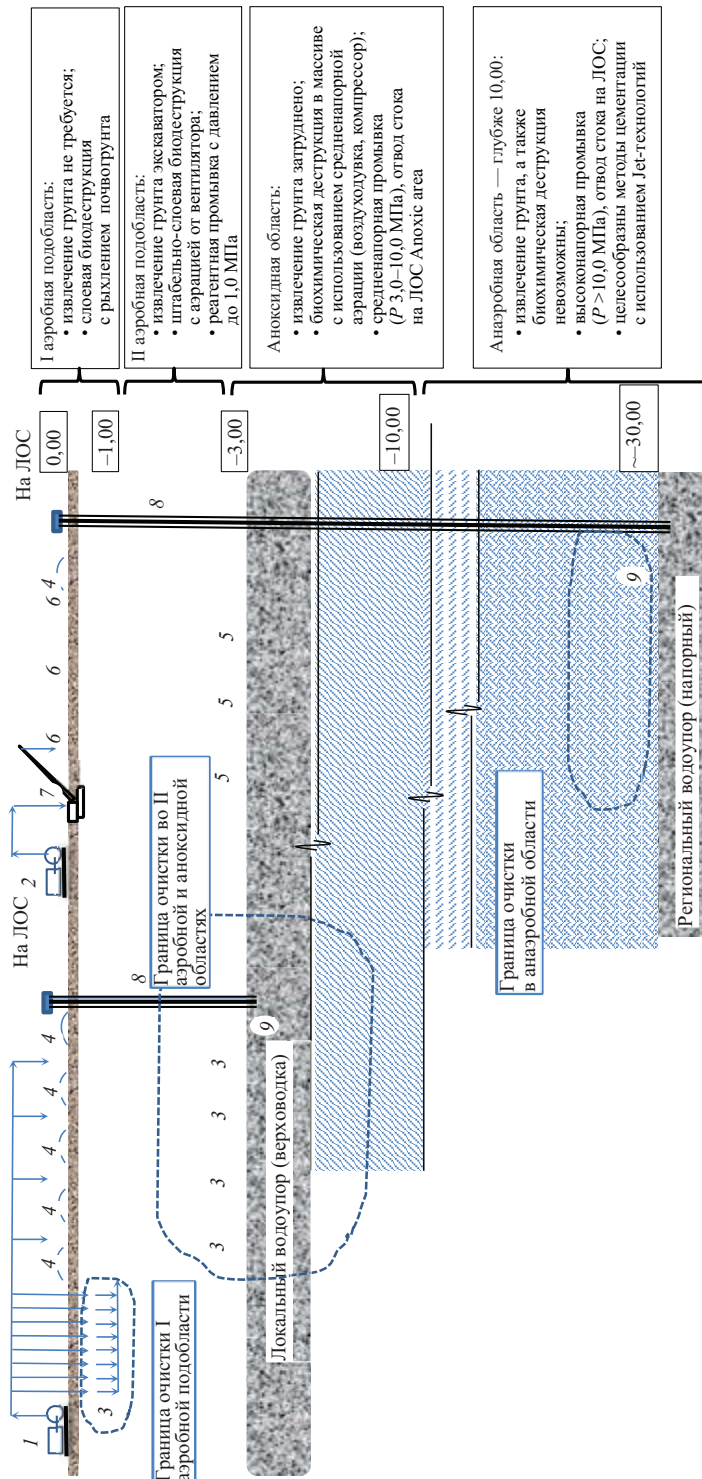
ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для определения соответствия вида возводимого сооружения типу грунта по загрязненности все установки по расчетным и фактическим нагрузкам на основании дифференцированы на три группы:

Группа 1. В основном в нее входят временные или бесфундаментные сооружения и часть эстакад. Нагрузки на основание составляют до 1,0 МПа;

Группа 2. К ней отнесли основной набор строений с фундаментами ленточного и частично свайного типов глубиной 3,0–5,0 м под нагрузками от 1,0 до 3,0 МПа;

Группа 3. Сооружения на свайных фундаментах, резервуарные парки от 10 до 50 тыс. м³ и более, а так-



I аэробная подобласть:
 • извлечение грунта не требуется;
 • слоевая биодеструкция с рыхлением почвогрунта

II аэробная подобласть:
 • извлечение грунта экскаватором;
 • штабельно-слоевая биодеструкция с аэрацией от вентилятора;
 • реагентная промывка с давлением до 1,0 МПа

Аноксидная область:
 • извлечение грунта загрузлено;
 • биохимическая деструкция в массиве с использованием средненапорной аэрации (воздуходувка, компрессор);
 • средненапорная промывка ($P = 3,0 - 10,0 \text{ МПа}$), отвод стока на ЛЮС Anoxic area

Анаэробная область — глубже 10,00:
 • извлечение грунта, а также биохимическая деструкция невозможны;
 • высоконапорная промывка ($P > 10,0 \text{ МПа}$), отвод стока на ЛЮС;
 • целесообразны методы цементации с использованием Jet-технологий

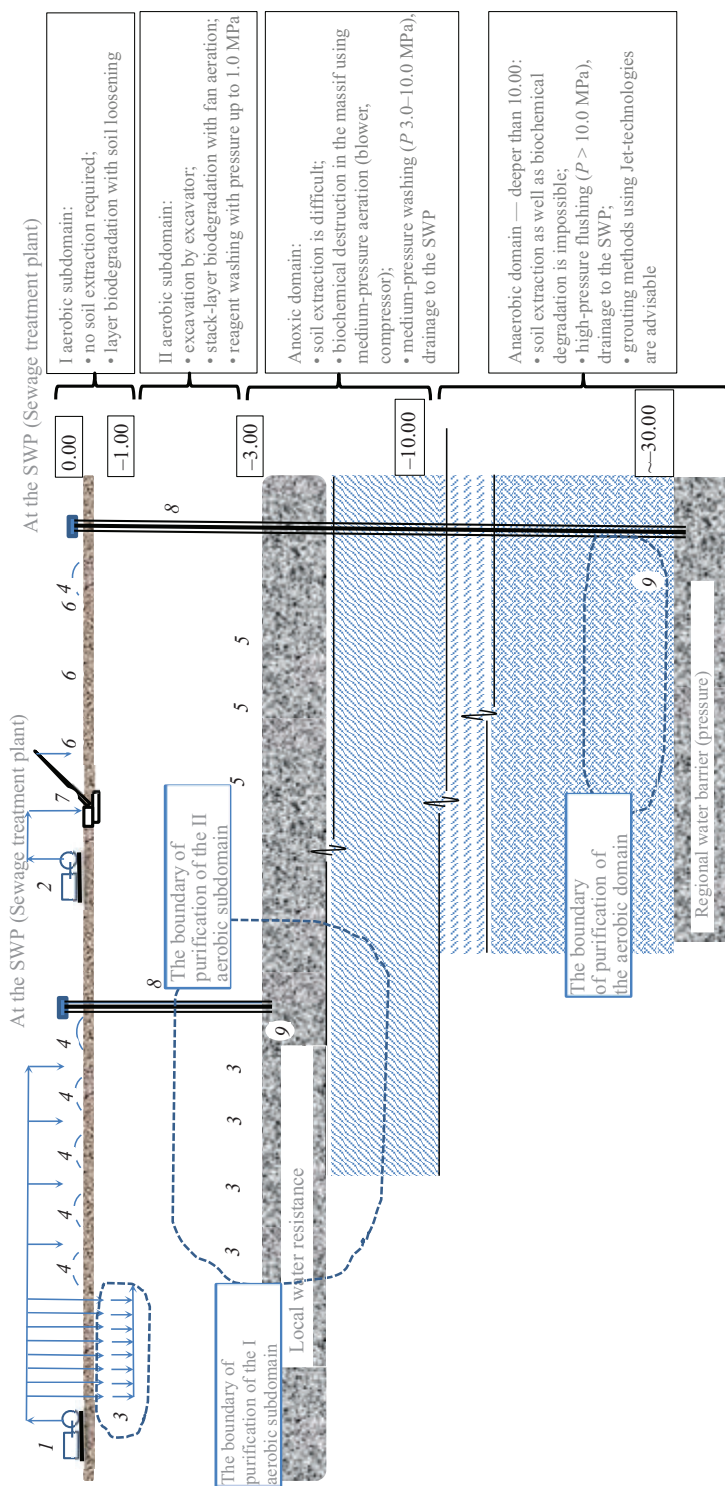


Рис. 3. Варианты схем очистки грунтов для различных условий залегания углеводородных загрязнений: ЛОС — локальные очистные сооружения; 1 — насосная группа низкого давления; 2 — насосная группа высокого давления; 3 — промывные дрены; 4 — колодцы сбора загрязненного промывочного раствора; 5 — промывные нагнетательно-извлекающие скважины; 6 — превенторы; 7 — передвижной высоконапорный экструдер (Jet-нагнетатель); 8 — композитный шпунт геотехнической защиты, прорезанный до водоупора; 9 — погружной насос

Fig. 3. Variants of soil purification schemes for various conditions of occurrence of hydrocarbon pollutants: SWP - Sewage treatment plants; 1 — low pressure pumping group; 2 — high pressure pumping group; 3 — flushing drains; 4 — wells for collecting contaminated flushing solution; 5 — flushing injection and extraction wells; 6 — preventers; 7 — mobile high-pressure extruder (Jet-supercharger); 8 — composite sheet pile of geotechnical protection, cut through to the water barrier; 9 — submersible pump

же новые ТЭЦ. Сооружения имеют заглубленную часть ниже — 5,00 м. Нагрузки составляют более 3,0 МПа (в отдельных случаях 10,0 МПа и более).

Сооружения группы 1 с нагрузками на естественное или создаваемое основания до 1,0 МПа расположены в первой аэробной подобласти. Их строительство не требует извлечения загрязненных грунтов. Очистку грунтов можно ограничить внесением биодобавок, слоевой биотермической деструкцией углеводородов, начиная с концентраций более 2000 мг/кг масс. с аэрацией рыхлением и последующей укаткой.

Во второй аэробной подобласти — от (–3,00) до (–5,00) целесообразно извлечение загрязненного грунта экскавацией с вывозом на полигон. Методы очистки подобных грунтов сопряжены с необходимостью штабельно-слоевой биодеструкции в диапазоне исходных концентраций углеводородов от 2000 до 50 000 мг/кг масс. Аэрацию штабелей возможно проводить от средненапорных воздухоподувающих устройств с давлением нагнетания 1,0–3,0 кПа. Также во второй аэробной подобласти возможна реагентная промывка через дрены под давлением раствора флокулянта до 1,0–2,0 МПа.

Сооружения группы 2 с нагрузками на основания до 3,0 МПа располагаются в аэробной и частично в анаэробной области.

Извлечение грунта экскавационной техникой здесь возможно до глубин 10,0 м. В качестве техно-

логий очистки такого грунта авторами рекомендована биохимическая деструкция в штабелях. Без извлечения нефтегрунта допустима биодеструкция углеводородов непосредственно в грунтовом массиве с использованием газодренажной системы и средненапорных аэрационных устройств (воздуходувки, компрессоры, давление более 3,0 кПа).

В отдельных случаях на стесненных территориях с опасными производствами извлечение грунта затруднено или невозможно. В подобных условиях в анаэробной области предпочтительна средненапорная промывка от загрязнений ($P = 3,0–10,0$ МПа) с отводом стока на ЛОС.

В анаэробной области (группа 3) нагрузки со стороны сооружений составляют 3,0–10,0 МПа и более. Криофильные условия среды, отсутствие доступа кислорода на глубину более 10,0 м не позволяют осуществлять очистку биохимическими методами. Поэтому для ликвидации углеводородных загрязнений здесь предпочтительны высоконапорная промывка ($P > 10,0$ МПа) с отводом стока на ЛОС, а в отдельных случаях методы цементации с использованием Jet-технологий.

Технологии очистки грунта от загрязнений для последующего осуществления хозяйственной деятельности входят составной частью в специализированные предприятия — комплексы санации нефтезагрязненной геосреды [17–20].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Сафаров А.М., Акчурина Л.Р., Хурамшина Р.А., Мунирова Д.Д., Кузнецова Г.М., Сафаров А.Х. Процессы формирования и распространения техногенных потоков нефтяных углеводородов в природной среде // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. № 5 (121). С. 158–168. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-4-158-168. EDN KQXOAJ.

2. Галинуров И.Р. Оценка техногенных потоков углеводородов в поймах рек в зоне влияния нефтехимических предприятий (на примере Республики Башкортостан) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа, 2012. 23 с. EDN ZONEQH.

3. Чертес К.Л., Тупицына О.В., Петренко Е.Н. Система оценки и охраны компонентов геосреды от техногенных воздействий залежей углеводородов // Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2023. № 1. С. 87–94. DOI: 10.31857/S0869780923010034. EDN HSKUPL.

4. Чертес К.Л., Букин А.А. Типизация и фильтрационно-реологические свойства фрагментов геосреды, загрязненной шламонакопителями // Потаповские чтения — 2023 : сб. мат. VIII ежегодной Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. памяти д-ра техн. наук, профессора Александра Дмитриевича Потапова. 2023. С. 25–29. EDN CLZNQW.

5. Чертес К.Л., Букин А.А., Бухман Н.С., Пыстин В.Н., Тупицына О.В. Прогнозирование и ликвидация загрязнений, сформированных объектами накопленного экологического вреда (на примере бездействующих шламонакопителей) // Экология и промышленность России. 2023. Т. 27. № 9. С. 33–39. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-9-33-39. EDN KRKULT.

6. Мухаметшина Э.Р. Инновационная методика оценки состояния, паспортизации, систематизации и учета нефтезагрязненных участков // Нефтяная столица : мат. 4-й Междунар. мол. науч.-практ. форума. 2021. С. 142–147. EDN ZZTOKK.

7. Симбиркина К.П., Каверин А.В., Горшенина Е.Л. Утилизация отходов нефтепродуктов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : мат. Всерос. науч.-метод. конф. 2019. С. 1278–1284. EDN YZBQPJ.

8. Бикбулатова Г.Г., Ильин С.Н. Геодезическое обеспечение процесса утилизации загрязненных нефтяными отходами грунтов на технологических площадках биоремедиации // Геодезия, землеустройство и кадастры: проблемы и перспективы развития : сб. науч. тр. по мат. III Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию юбилею д-ра экон. наук, профессора Ю.М. Рогатнева. 2021. С. 10–12. EDN BBEEFU.

9. Мухаметшина Э.Р. Инноватика в представлении, учете, систематизации и паспортизации нефтезагрязненных участков // Западно-Сибирский нефтегазовый конгресс : сб. науч. тр. XIV Междунар. науч.-техн. конгресса студ. отделения общества инженеров-нефтяников — Society of Petroleum Engineers (SPE). 2022. С. 74–77. EDN KRNJRO.

10. Сыропятов Д.А., Бариева Э.Р., Серазеева Е.В., Королёв А.Э. Технология утилизации нефтешламовых отходов // Академический вестник ЕЛПИТ. 2023. Т. 8. № 1 (23). С. 26–32. EDN XQMOHW.

11. Цыганков Д.А. Техническая рекультивация нефтезагрязненного участка земли // Современные проблемы науки и образования : мат. междунар. науч. конф., проведенных Академией Естествознания (Международной ассоциацией ученых, преподавателей и специалистов). 2023. С. 66–68. EDN TFRSPJ.

12. Конгар-оол В.В., Мелкозеров В.М., Кайзер Ю.Ф. Индустриальная очистка нефтезагрязненных земель, водоемов, лесных угодий и других ландшафтов // Вестник Тувинского государственного университета № 3. Технические и физико-математические науки. 2019. № 4 (54). С. 31–38. DOI: 10.24411/2077-6896-2019-10018. EDN NQXWHD.

13. Бургутудинов А.М., Колобова А.А. Применение нефтесодержащих отходов и нефтезагрязненных грунтов для устройства парогидроизолирующих прослоек в земляном полотне лесовозной автомобильной дороги // Теория и практика современной науки. 2022. № 3 (81). С. 60–66. EDN COHVPN.

14. Sivkov Y., Nikiforov A. Study of oil-contaminated soils phytotoxicity during bioremediation activities // Journal of Ecological Engineering. 2021. Vol. 22.

Issue 3. Pp. 67–72. DOI: 10.12911/22998993/132435

15. Tsivadze A.Yu., Fridman A.Ya., Tumanyan B.P., Novikov A.K., Polyakova I.Ya., Sudarkin A.P. Prospective preparations for accelerated bioremediation of oil-contaminated soils // Chemistry and Technology of Fuels and Oils. 2020. Vol. 56. Issue 4. Pp. 588–592. DOI: 10.1007/s10553-020-01171-1

16. Lu X., Liu R., Xia L. Landscape planning and design and visual evaluation for landscape protection of geological environment // Journal of King Saud University — Science. 2023. Vol. 35. Issue 6. P. 102735. DOI: 10.1016/j.jksus.2023.102735

17. Liu C. Research on geological environment protection and geological disasters control countermeasures in China // 3C Empresa. Investigación y pensamiento crítico. 2023. Vol. 12. Issue 1. Pp. 186–205. DOI: 10.17993/3cemp.2023.120151.186-205

18. Lunev A.G., Tsapkova N.N., Pavlik G.N., Babayan V.R. A combination system for protection of the geological environment in toxic waste disposal area // Tailings and mine waste '96. 2022. Pp. 289–290. DOI: 10.1201/9781003077855-32. EDN VTUNZU.

19. Analysis of key points of geological exploration under the background of ecological environment protection // Foreign Language Science and Technology Journal Database Engineering Technology. 2022. DOI: 10.47939/et.v3i3(06).16. EDN UKXEEN.

20. Mustaeв R., Kerimov V., Bondarev A., Guryanov S. Assessment of geological risks when performing prospecting and exploration for oil and gas // Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. Vol. 315 LNNS. Pp. 271–282. DOI: 10.1007/978-3-030-85799-8_23. EDN MEXROQ.

Поступила в редакцию 11 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 18 апреля 2024 г.

Одобрена для публикации 25 апреля 2024 г.

ОБ АВТОРАХ: Константин Львович Чертес — доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии и промышленной экологии; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 185126, Scopus: 16308870400, ORCID: 0000-0002-3353-4768; chertes2007@yandex.ru;

Виталий Николаевич Пыстин — кандидат технических наук, доцент кафедры химической технологии и промышленной экологии; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 741101, Scopus: 57192370017, ResearcherID: D-8410-2014, ORCID: 0000-0002-4027-1804; vitaliy.pystin@yandex.ru;

Ольга Владимировна Тупицына — доктор технических наук, доцент, доцент кафедры химической технологии и промышленной экологии; Самарский государственный технический университет (СамГТУ); 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 185125, Scopus: 57209210925, ResearcherID: E-1153-2014, ORCID: 0000-0003-0638-2700; olgatupicyna@yandex.ru;

Ирина Михайловна Евграфова — доктор технических наук, доцент, профессор кафедры инженерных изысканий и геоэкологии; Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (НИУ МГСУ); 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26; РИНЦ ID: 433377, ORCID: 0009-0006-2747-6705; irina-sen811@yandex.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Safarov A.M., Akchurina L.R., Khuramshina R.A., Munirova D.D., Kyznetsova G.M., Safarov A.Kh. Processes of formation and distribution of petroleum hydrocarbons technogenic flows in natural environment. *Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*. 2019; 5(121):158-168. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-4-158-168. EDN KQXOAJ. (rus.).
2. Galinurov I.R. *Assessment of technogenic hydrocarbon flows in floodplains in the zone of influence of petrochemical enterprises (on the example of the Republic of Bashkortostan)*. Ufa, 2012; 23. EDN ZONEQH. (rus.).
3. Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Petrenko E.N. Assessment and protection of geoenvironment components from impacts produced by technogenous hydrocarbon deposits. *Geoekologiya. Inzhenernaya Geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya*. 2023; 1:87-94. DOI: 10.31857/S0869780923010034. EDN HSKUPL. (rus.).
4. Chertes K.L., Bukin A.A. Typification and filtration-rheological properties of fragments of the geomedium contaminated with sludge accumulators. *Potapov readings – 2023 : collection of materials of the VIII annual All-Russian Scientific and Practical conference dedicated to the memory of Doctor of Technical Sciences, Professor Alexander Dmitrievich Potapov*. 2023; 25-29. EDN CLZNQW. (rus.).
5. Chertes K.L., Bukin A.A., Bukhman N.S., Pyshtin V.N., Tupitsyna O.V. Forecasting and elimination of pollution generated by objects of accumulated environmental damage (on the example of inactive sludge reservoirs). *Ecology and Industry of Russia*. 2023; 27(9):33-39. DOI: 10.18412/1816-0395-2023-9-33-39. EDN KRKULT. (rus.).
6. Mukhametshina E.R. Innovative methodology for assessing the condition, certification, systematization and accounting of oil-contaminated sites. *The Oil Capital : materials of the 4th International Youth Scientific and Practical Forum*. 2021; 142-147. EDN ZZTOKK. (rus.).
7. Simbirskina K.P., Kaverin A.V., Gorshenina E.L. Waste disposal of petroleum products. *The University complex as a regional center of education, science and culture : materials of the All-Russian scientific and methodological Conference*. 2019; 1278-1284. EDN YZBQPJ. (rus.).
8. Bikbulatova G.G., Ilyin S.N. Geodetic support of the process of utilization of soils contaminated with oil waste at technological sites of bioremediation. *Geodesy, land management and cadastres: problems and prospects of development : collection of scientific papers based on the materials of the III international scientific and practical conference dedicated to the 70th anniversary of Doctor of Economics, Professor Yu.M. Rohatnev*. 2021; 10-12. EDN BBEEFU. (rus.).
9. Mukhametshina E.R. Innovation in the representation, accounting, systematization and certification of oil-contaminated sites. *West Siberian Oil and Gas Congress : collection of scientific papers of the XIV International Scientific and Technical Congress of the student branch of the Society of Petroleum Engineers — Society of Petroleum Engineers (SPE)*. 2022; 74-77. EDN KRNJRO. (rus.).
10. Syropyatov D.A., Barieva E.R., Serazeeva E.V., Korolev A.E. Technology of utilization of oil sludge waste. *Academic Bulletin ELPIT*. 2023; 8(1):26-32. EDN XQMOHW. (rus.).
11. Tsygankov D.A. Technical reclamation of an oil-contaminated land plot. *Modern problems of science and education : materials of international scientific conferences held by the Academy of Natural Sciences (International Association of Scientists, Teachers and Specialists)*. 2023; 66-68. EDN TFRSPJ. (rus.).
12. Kongar-ool V.V., Melkozherov V.M., Kaiser Yu.F. Industrial cleaning of lands, waterbodies and other landscapes contaminated with oil. *Bulletin of TuvSU*. 2019; 4(54):31-38. DOI: 10.24411/2077-6896-2019-10018. EDN NQXWHD. (rus.).
13. Burgonutdinov A.M., Kolobova A.A. The application of oil-containing waste and oil-contained soils for the device of vapor-hydro-insulating layers in the ground path of a forest road. *Theory and Practice of Modern Science*. 2022; 3(81):60-66. EDN COHVPN. (rus.).
14. Sivkov Y., Nikiforov A. Study of oil-contaminated soils phytotoxicity during bioremediation activities. *Journal of Ecological Engineering*. 2021; 22(3):67-72. DOI: 10.12911/22998993/132435
15. Tsivadze A.Yu., Fridman A.Ya., Tumanyan B.P., Novikov A.K., Polyakova I.Ya., Sudarkin A.P. Prospective preparations for accelerated bioremediation of oil-contaminated soils. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2020; 56(4):588-592. DOI: 10.1007/s10553-020-01171-1.
16. Lu X., Liu R., Xia L. Landscape planning and design and visual evaluation for landscape protection of geological environment. *Journal of King Saud University — Science*. 2023; 35(6):102735. DOI: 10.1016/j.jksus.2023.102735
17. Liu C. Research on geological environment protection and geological disasters control countermeasures in China. 3C Empresa. *Investigación y pensamiento crítico*. 2023; 12(1):186-205. DOI: 10.17993/3cemp.2023.120151.186-205
18. Lunev A.G., Tsapkova N.N., Pavlik G.N., Babayan V.R. A combination system for protection of the geological environment in toxic waste disposal area. *Tailings and Mine Waste '96*. 2022; 289-290. DOI: 10.1201/9781003077855-32. EDN VTUNZU.
19. Analysis of key points of geological exploration under the background of ecological environment protection. *Foreign Language Science and Technology Journal Database Engineering Technology*. 2022. DOI: 10.47939/et.v3i3(06).16. EDN UKXEEH.

20. Mustaev R., Kerimov V., Bondarev A., Guryanov S. Assessment of geological risks when performing prospecting and exploration for oil and gas. *Lecture Notes in Networks and Systems*. 2022; 315 LNNS:271-282. DOI: 10.1007/978-3-030-85799-8_23. EDN MEXROQ.

Received April 11, 2024.

Adopted in revised form on April 18, 2024.

Approved for publication on April 25, 2024.

B I O N O T E S: **Konstantin L. Chertes** — Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SamGTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RSCI: 185126, Scopus: 16308870400, ORCID: 0000-0002-3353-4768; chertes2007@yandex.ru;

Vitaliy N. Pystin — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SamGTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RSCI: 741101, Scopus: 57192370017, ResearcherID: D-8410-2014, ORCID: 0000-0002-4027-1804; vitaliy.pystin@yandex.ru;

Olga V. Tupitsyna — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Chemical Technology and Industrial Ecology; **Samara State Technical University (SamGTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RSCI: 185125, Scopus: 57209210925, ResearcherID: E-1153-2014, ORCID: 0000-0003-0638-2700; olgatupicyna@yandex.ru;

Irina M. Evgrafova — Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Engineering Surveys and Geoecology; **Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (MGSU)**; 26 Yaroslavskoe shosse, Moscow, 129337, Russian Federation; ID RSCI: 433377, ORCID: 0009-0006-2747-6705; irina-sen811@yandex.ru.

Contribution of the authors: all authors have made equivalent contributions to the publication.

The authors declare no conflict of interest.