

УДК 504.064.47

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД ЗОНЫ АЭРАЦИИ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ УГЛЕВОДОРОДАМИ

© 2024 г. К. Л. Чертес^{1,*}, А. А. Лаврусевич^{2,3}, В. Н. Пыстин¹,
О. В. Тупицына¹, А. Д. Пашков¹

¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет»,
ул. Молодогвардейская 244, Самара, 443100 Россия

²Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России, ул. Давыдовская 7, Москва, 121352 Россия

³Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,
ул. Миклухо-Маклая 23, Москва, 117997 Россия

*E-mail: rector@samgtu.ru

Поступила в редакцию 10.04.2024 г.

После доработки 08.07.2024 г.

Принята к публикации 28.10.2024 г.

Предложено классифицировать области загрязненных грунтов на территориях предприятий нефтяного комплекса и применяемые методы удаления углеводородов в зависимости от глубин. Разработан и внедрен в строительную практику набор технологий, позволяющих проводить на территориях реконструируемых и ликвидируемых объектов нефтяного комплекса удаление углеводородсодержащих загрязнений без извлечения грунтов. Представлены элементы технологической схемы очистки грунтов для различных условий залегания углеводородных загрязнений.

Ключевые слова: *загрязненные породы зоны аэрации, комплекс нефтяной, очистка грунтов, показатели геомеханические, обработка биотермическая*

DOI: 10.31857/S0869780924060096 EDN: ALQTFK

ВВЕДЕНИЕ

На территориях предприятий нефтяного комплекса практически вся геологическая среда загрязнена углеводородами. Загрязнение распространяется не только на почвы, но и на грунты пород зоны аэрации, подземные и поверхностные воды в ареале влияния предприятия. Известно, что нефтяные загрязнения из сооружений проникают в породы зоны аэрации до глубин региональных водоупоров, составляющих, в отдельных случаях, десятки метров [6].

Одним из распространенных направлений удаления нефтяных загрязнений из грунтов выступает очистка методом промыва [9, 10, 13]. В основном, таким образом очищают верхние горизонты пород зоны аэрации, глубиной не более 3.0 м. Как правило, в этот элемент входят почвы и подстилающие их породы. Между тем, новое строительство на существующих нефтяных предприятиях охватывает глубины значительно большие, чем толщина грунта. Например, ростверк фундаментов установок каталитического риформинга на площадках реконструкции нефтеперерабатывающих

заводов (НПЗ) в отдельных случаях составляет более 10.0 м.

В большинстве случаев, перед строительством, загрязненные грунты экскавируют, формируют на поверхности в виде штабелей, буртов, гряд, слоев для последующей очистки от остаточных углеводородов биохимическим или химическим методами [1, 14]. На время обработки загрязненные грунты превращаются в отход. Строительная организация вынуждена осуществлять платежи за обращение с опасным отходом. Эти платежи сопоставимы со стоимостью строительства отдельных объектов на стройплощадке.

На глубинах более 3.0 м биодеструкция грунта затруднена и более целесообразно применение химических и физико-химических методов очистки загрязненных пород зоны аэрации [5].

Перед специалистами стоит проблема, очерчиваемая следующим кругом вопросов:

– можно ли использовать нефтезагрязненные грунты в качестве строительных оснований, с проведением очистных мероприятий без извлечения пород?

– при каких остаточных содержаниях нефтепродуктов в грунтовых основаниях можно осуществлять строительные работы?

– какие геоэкологические и геомеханические показатели, а также диапазоны их значений регламентируют возможность использования нефтезагрязненных грунтов в качестве строительных оснований?

– какие методы удаления загрязнений из пород зоны аэрации целесообразно использовать на освоенных строительством территориях, не нарушая сплошность пород, т.е. без экскавации, которая превращает грунт в отход?

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Авторами предложено классифицировать области загрязненных пород зоны аэрации 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-редуктора притоком из атмосферы;

– 1.0–3.0 м – **II аэробная подобласть**; целесообразно сочетание методов как биохимической, так и химической очистки; “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 очистки или пропарки с флокулянтном под давлением нагнетания раствора до 1.0 атм;

– 3.0–10.0 м – **аноксидная область**; здесь доступ кислорода с поверхности затруднен; энергообмен обеспечивается за счет “нитритного” и “нитратного” дыхания микрофлоры; целесообразно применение средненапорной аэрации от воздухоудвки 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**; биодеструкция 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 её проницаемости и снижение вязкости загрязнений неньютоновской природы.

На территории одного из реконструируемых НПЗ Среднего Поволжья при участии авторов был запроектирован и частично построен комплекс очистки пород зоны аэрации от застарелых нефтяных загрязнений. Технологическая схема и отдельные узлы комплекса, применительно

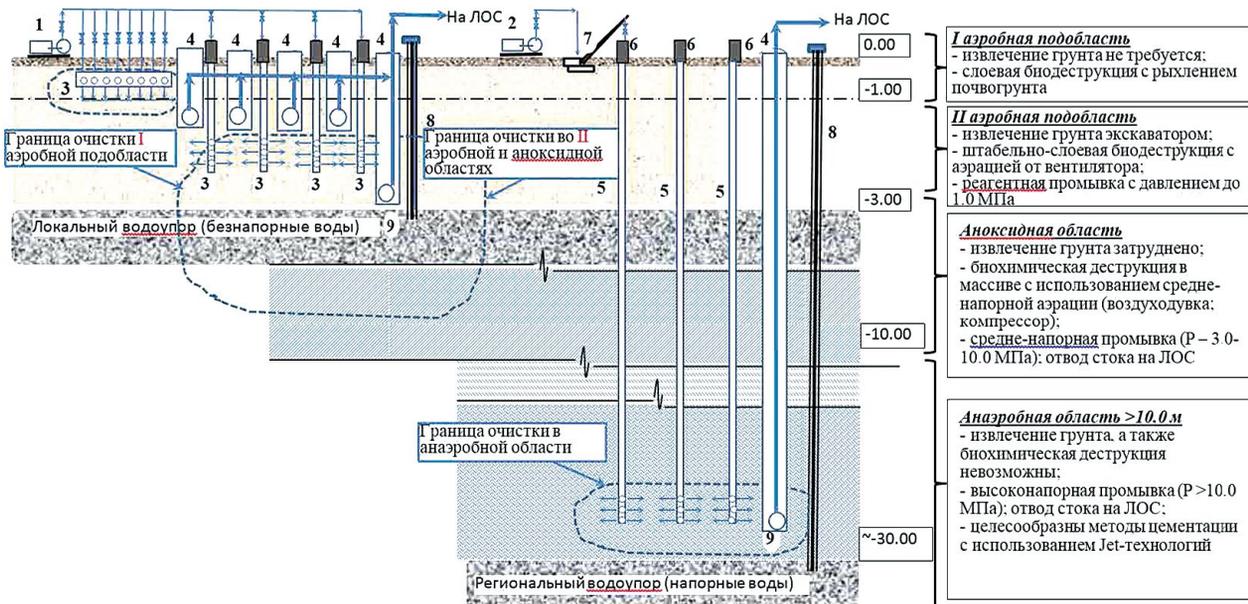


Рис. 1. Элементы технологической схемы очистки грунтов для различных условий залегания углеводородных загрязнений. 1 – насосная группа низкого давления; 2 – насосная группа высокого давления; 3 – промывные дрены; 4 – колодцы сбора загрязненного промывочного раствора; 5 – нагнетательно-добывающие скважины; 6 – превенторы; 7 – передвижной высоконапорный экструдер (Jet – нагнетатель); 8 – композитный шпунт геотехнической защиты, прорезанный до водоупора; 9 – погружной насос.

(a)



(б)



(в)



(г)



Рис. 2. Отдельные узлы сооружений высоконапорной реагентной очистки пород от углеводородных загрязнений: а – площадка нагнетательно-добывающих скважин с превенторами; б – высоконапорная насосная станция с реагентным хозяйством; в – узел приготовления раствора реагентов; г – передвижной высоконапорный экструдер (Jet – нагнетатель).

к различным областям загрязненных грунтов, представлены на рис. 1 и 2.

Оценку нефтезагрязненных грунтов, как оснований и источников деградации пород проводили на территориях существующих предприятий нефтяного комплекса в ходе проектно-изыскательских работ по подготовке площадок к новому строительству.

Типы предприятий нефтяной отрасли, на которых производили грунтоотбор и анализ, а также

отдельные характеристики загрязненных грунтов, представлены в табл. 1.

Исследуемые параметры объединены в группы: геомеханическую и геоэкологическую (табл. 2 и 3). Причем, в геомеханической группе сделан упор на несущую способность загрязненных грунтов, а в экологическую группу – параметры реологии и фильтрации грунтов, определяющие возможность их высоконапорного промыва.

Таблица 1. Сведения по загрязненности грунтов на предприятиях нефтяной отрасли

Отрасль	Тип предприятия/ объект	Виды деятельности, связанной с извлечением загрязненного грунта	Основные виды нефтезагрязненных пород / глубина загрязнения, обнаруженная при бурении, м	Диапазон содержания нефтепродуктов, % масс. грунта
Добыча	Месторождение/ резервуарный парк	Капремонт резервуарных парков	Пески / до 3.0	0.15–0.25
	Месторождение / буллитная	Реконструкция оборудования	Глины / до 5.0	0.40–0.50
	Месторождение / УПН	Снос старого оборудования	Карбонатные / до 5.0	0.50–0.70
Транспорт	Нефтепровод / порыв на линейном участке	Замена участка трубопровода	Глины – суглинки / до 2.0	0.5–1.0
	Продуктопровод / насосная	Объектный демонтаж старой насосной	Карбонатные / до 3.0	1.0–2.0
Переработка (включая нефтехимию)	НПЗ / резервуарный парк	Реконструкция площадки завода	Пески-глины / до 12.0	2.0–3.0
	НПЗ / цех каталитического крекинга	Объектный демонтаж старых установок	Пески-глины – карбонатные / до 30.0	2.0–3.0
	НХК / установка изобутилена	Расширение мощности со сносом старых установок	Глины / до 15.0	0.5–1.0
Обращение с отходами	Нефтешламо-накопитель	Реконструкция шламонакопителя с расширением рабочих карт	Нефтешламы с песками / до 30.0	5.0–10.0
	Аварийный амбар	Ликвидация амбара	Нефтешламы с суглинками / до 10.0	3.0–8.0
	Буферный пруд	Частичная ликвидация с реконструкцией насосной	Нефтешламы с песками/ до 10.0	5.0–15.0
	Шламовый амбар	Ликвидация и рекультивационные работы	Буровые шламы с торфом/ до 10.0	<0.05

Были проведены исследования по очистке различных горизонтов нефтезагрязненных пород с использованием флокулянтов марок О-БИС, Флокатор 200, Праестол 853, Nalco 4757 и Юниклин.

Дозировка флокулянтов лежала в границах 4.0 ± 0.5 мг/кг обрабатываемого грунта. В отдельные образцы грунта наряду с флокулянтом вводили соду и карбонизированную воду [12]. Давление нагнетания промывного раствора регулировали в диапазоне от 1.0 ± 0.2 до 40.0 ± 1.0 МПа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования показали, что нефтезагрязненные грунты отличает многообразие видового состава, геомеханических свойств и экологических показателей. Соответственно разнообразно

и количество направлений ликвидации загрязнений в грунтах.

Очистка грунтов — сложный и дорогостоящий процесс. Для ее реализации требуется обеспечить максимальную поверхность контакта реагентных растворов с загрязненными породами высокой вязкости и низкой проницаемости, расположенными на глубинах в десятки и на расстоянии в сотни метров от источников загрязнений.

Нефтезагрязненные инфильтраты, проникающие в породы зоны аэрации, представляют собой вязкие жидкости по состоянию близкие к неньютоновским. Низкая проницаемость среды (до $10-14 \text{ м}^2$), высокая вязкость жидких флюидов, заполняющих её поры (до 100 Па·с), создают сопротивление потоку промывочных растворов и не позволяют им равномерно распределяться по всей толще, начиная от поверхности загрязненных

грунтов до отметок региональных водоупоров. В связи с этим потребовалась разработка методов высоконапорной подачи промывочных растворов, способных, наряду с очисткой от загрязнений, изменить фильтрационно–реологические свойства грунтов в сторону увеличения их проницаемости и снижения вязкости загрязнителей.

При высоконапорном воздействии очищаемые от нефтяных загрязнений грунты, особенно на глубинах заложения фундаментов, не должны терять несущую способность, как основания 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 промывочных и вяжущих растворов) на деформационные и экологические показатели грунтов, как потенциальных оснований для строительства.

Исследования показали, что содержание углеводородов в нефтезагрязненных грунтах в диапазоне значений 1.0–5.0 мас. % (10000–50000 мг/кг) не приводит к существенному понижению модуля деформации, 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 мас. % (>50000 мг/кг). По всей видимости, углеводородные инфильтраты в поровом пространстве оснований с содержанием нефтепродуктов >5 мас. % 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 [8].

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 ним относятся:

– удаление из загрязненных почв до глубин 1.0 м летучих фракций углеводородов методом газоконтактной продувки [7];

– удаление углеводородов из загрязненных грунтов и нефтеотходов в верхних горизонтах пород зоны аэрации (до глубин 3.0 м) с использованием биотермических методов [11];

– иммобилизация нефтяных загрязнений на глубинах до 10.0 м, путем закачки в грунты растворов реагентов, обладающих вяжущими, флокулирующими и сорбционными свойствами [15];

– очистка нефтезагрязненного грунта на глубине более 10 м с использованием высоконапорной закачки растворов, содержащих углекислоту (Jet–технология) [15].

В I аэробной подобласти на глубине до 1.0 м ликвидацию углеводородных загрязнений возможно проводить, как правило, без экскавации грунтов. Здесь рекомендуется применение методов аэробной биохимической деструкции аборигенными или искусственно созданными микроорганизмами–редуцентами; производят рыхление, мульчирование грунта и после обезвреживания его укатку.

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 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 использовать низконапорный дренажный промыв нефтезагрязнений [2–4].

Ликвидация загрязнений на значительных глубинах (более 10.0 м) сопряжена с необходимостью применения высоконапорной очистки.

Очисткой были охвачены загрязненные горизонты под площадками трех НПЗ Среднего Поволжья. Здесь в период 2009–2018 гг. проводили полную реконструкцию технологических установок для последующего выпуска топлив марок Евро–5. На двух НПЗ провели объектный монтаж 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 $(0.00) – (–3.00)$. Строительство произвели на загрязненных грунтах, так как их геомеханические характеристики отвечали требованиям к производству работ.

Таблица 2. Геомеханические свойства различных типов нефтезагрязненных грунтов и шламов (по данным инженерных изысканий)

№ п/п	Наименование породы (ИГЭ)	Геомеханические и отдельные структурные показатели							Число пластичности I_p
		Коэффициент пористости, ϵ	Диапазон линейных размеров частиц, мм	Модуль деформации E , МПа	Сцепление, C , кПа	Плотность, ρ , т/м ³ (при влажности до 30%)	Показатель текучести, I_f		
1	Песок мелкий/пылеватый с содержанием нефтепродуктов до 0.5 мас. %	0.6–0.7	0.1–1.0	20–30	–	1.65–1.70	–	–	
2	Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов 0.5–1.0 мас. %	0.5–0.6	0.5–3.0	30–40	9.0–11.0	1.65–1.70	–	–	
3	Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов ≥ 1.0 мас. %	0.4–0.5	0.5–3.0	40–50	12.0–15.0	1.6–1.65	–	1.0–3.0	
4	Глина твердая с содержанием нефтепродуктов < 0.5 мас. %	0.6–0.7	0.00–0.05	17.0–21.0	60.0–70.0	1.2–1.3	0.15–0.25	3.0–10.0	
5	Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 0.5–1.0 мас. %	0.5–0.6	0.00–0.05	15.0–18.0	40.0–45.0	1.2–1.5	0.15–0.25	7.0–15.0	
6	Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 1.0–3.0 мас. %	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	
7	Глина пластичная с содержанием нефтепродуктов 3.0–5.0 мас. %	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	
8	Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 1.0–3.0 мас. %	0.45–0.8	0.01–0.1	20.0–30.0	25.–35.0	1.2–1.3	0.25–0.50	5.0–12.0	
9	Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 3.0–5.0 мас. %	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	
10	Смесь песков и нефтешламов с содержанием нефтепродуктов более 5.0 мас. %	0.65–0.75	0.4–0.6	15.0–20.0	10.0–15.0	1.5–1.55	–	1.0–5.0	
11	Нефтешламы с содержанием нефтепродуктов более 10 мас. %	> 0.8	< 0.001	–	–	1.25–1.30	–	–	
12	Буровые шламы на водной основе сульфидные/пылеватые (содержание нефтепродуктов менее 0.05 мас. %)	> 0.8	< 0.001	–	–	1.90–2.10	–	–	

Таблица 3. Геоэкологические показатели загрязненных грунтов и шламов (по данным инженерных изысканий)

№ п/п	Наименование породы (ИГЭ)	Показатели						Коэффициент степени опасности отхода, K_0
		Общее содержание нефтепродуктов, $C_{н.п.гр.}$ (мг/кг)		Коэффициент фильтрации грунта, K_f , м/сут	Коэффициент динамической вязкости M , при $5.0 \pm 2.0^\circ C$ ($Па \cdot c \cdot 10^{-3}$)	Глубина залегания подземных вод от поверхности земли, $H_{п.в.}$ (м)		
в грунте	в подземных водах							
1	Песок мелкий/пылеватый с содержанием нефтепродуктов <0.5 мас. %	1462–3643	0.15–0.57	0.1–2.0	98–344	8.0 ± 0.5	87–119	
2	Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов 0.5–1.0 мас. %	5211–9427	0.78–2.43	0.1–2.0	485–1024	8.0 ± 0.5	136–422	
3	Песок мелкий с содержанием нефтепродуктов ≥1.0 мас. %	12293–24690	3.55–10.15	0.1–2.0	877–2480	8.0 ± 0.5	495–813	
4	Глина твердая с содержанием нефтепродуктов <0.5 мас. %	1287–3425	0.22–0.75	<5.0·10 ⁻⁴	2732–9584	12.0 ± 0.5	62–217	
5	Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 0.5–1.0 мас. %	6189–10332	4.45–15.76	<5.0·10 ⁻⁵	12452–18584	12.0 ± 0.5	582–970	
6	Глина твердая (до полутвердой) с содержанием нефтепродуктов 1.0–0 мас. %	14226–29470	3.88–26.52	3.2·10 ⁻⁴ –7.4·10 ⁻⁵	27633–38488	12.0 ± 0.5		
7	Глина пластичная с содержанием нефтепродуктов 3.0–5.0 мас. %	38204–68328	31.45–57.73	8.1·10 ⁻⁵ –5.2·10 ⁻⁶	39629–54831	18.0 ± 0.5	2643–7910	
8	Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 1.0–3.0 мас. %	9248–29242	1.07–3.62	4.6·10 ⁻⁵ –2.1·10 ⁻⁶	47228–79315	27.0 ± 0.5	3558–8034	
9	Суглинок с доломитом с содержанием нефтепродуктов 3.0–5.0 мас. %	34250–52243	18.39–24.55	1.3·10 ⁻⁶ –3.4·10 ⁻⁷	82941–112062	27.0 ± 0.5	9268–21452	
10	Смесь песков и нефтешламов с содержанием нефтепродуктов ≥5.0 мас. %	69251–112452	112.94–285.94	<5.0·10 ⁻⁴	11836–25387	4.0 ± 0.5	18593–42176	
11	Нефтешламы с содержанием нефтепродуктов ≥10 мас. %	155727–468950	2190.4–4238.2	<5.0·10 ⁻⁵	162943–272540	1.5 ± 0.2	53296–86452	
12	Бурые шламы на водной основе суглинистые/пылеватые (содержание нефтепродуктов <0.05 мас. %)	128–501	0.04–0.17	0.1–2.0	287–789	1.0 ± 0.1	23–55	

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

– *группа 1* – в основном в неё входят временные или бесфундаментные сооружения и часть эстакад. Нагрузки на основе 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 также 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 I аэробной подобласти. Их строительство не требует извлечения загрязненных грунтов. Очистку грунтов можно ограничить внесением биодобавок, слоевой биотермической деградацией углеводородов, начиная с концентраций более 2000 мг/кг масс с аэрацией рыхлением и последующей укаткой.

Во II 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 50000 мг/кг. масс. Аэрацию штабелей возможно проводить от средненапорных воздуходувных устройств с давлением нагнетания 1.0–3.0 кПа. Также возможна подача раствора флокулянта через дрены под давлением до 1.0–2.0 МПа.

Сооружения группы 2 с нагрузками на основе до 3.0 МПа располагаются в аэробной и частично в аноксидной области. Извлечение грунта экскавационной техникой здесь возможно до глубин 10.0 м. В качестве технологий очистки такого грунта авторами рекомендована биохимическая деструкция в штабелях. Возможна биодеструкция углеводородов без извлечения нефтегрунта 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 аноксидной области предпочтительна средненапорная (P – 3.0–10.0 МПа) очистка от загрязнений 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 очистка (P > 10.0 МПа) с отводом стока на ЛОС, а в отдельных случаях методы цементации загрязненных пород.

ВЫВОДЫ

1. Загрязненные грунты, как потенциальные основания для строительства, в диапазоне глубин, дифференцированы на области: I и II аэробные (1.0–3.0 м), аноксидную (3.0–10.0 м) и анаэробную (более 10 м).

2. Определены диапазоны значений геомеханических и геоэкологических показателей загрязненных пород, а также их смесей с нефтешламами, как потенциальных строительных оснований и, в частности: коэффициентов фильтрации (10^{-1} – 10^{-7} м/сут), динамической вязкости (0.1–300.0 Па·с), степени опасности (100–100 тыс.), модуля деформации (10.0–50.0 МПа), сцепления (10.0–70.0 кПа), показателей текучести и пластичности для диапазона значений концентраций нефтепродуктов 0.5 – 10.0 мас. % грунта.

3. Созданы новые и адаптированы существующие технологии удаления нефтяных загрязнений из грунтов без нарушения их механической сплошности и, в частности, высоконапорная технология подачи реагентного раствора в диапазоне давлений нагнетания от 1.0 до 10.0 МПа и более. Данная технология позволяет снижать содержания загрязнений углеводородной природы с 10% масс (100 тыс. мг/кг грунта) до остаточных значений менее 0.2 мас. % (2 тыс. мг/кг грунта) и достигать соответствия региональному нормативу Самарской области по нефтепродуктам в грунтах, как потенциальных оснований для ведения строительных работ.

4. Технологии очистки грунта от загрязнений для последующего осуществления хозяйственной деятельности входят составной частью в специализированные предприятия – комплексы восстановления нарушенной геосреды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аковецкий В.Г., Афанасьев А.В., Михедова Е.Е.* Геологические проблемы нефтегазового комплекса и пути их // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2020. 2(293). С. 7–14.
2. *Большаков М.Н., Скибицкая Н.А., Кузьмин В.А., Марутян О.О.* Определение остаточной нефтегазонасыщенности способом прямой капиллярной пропитки // Нефтяное хозяйство. 2014. № 4. С. 30–32.

3. *Боревский Б.В., Боревский Л.В., Бухарин С.М. и др.* К проблеме локализации ликвидации нефтяных загрязнений на объектах Минобороны РФ // *Геоэкология*. 1997. №5. С. 75–83.
4. *Борисов И.В.* Использование микробиологических технологий для ликвидации глубинных нефтяных загрязнений [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gubkin.ru>
5. *Быков Д.Е., Чертес К.Л., Петренко Е.Н. и др.* Санация недр территории нефтеперерабатывающих заводов // *Экология и промышленность России*. 2019. Т. 23. № 2. С. 9–13.
6. *Галинуров И.Р., Сафаров А.М., Кудашева Ф.Х. и др.* Миграция нефтяных углеводородов в профиле прирусловых пойменных почв // *Вестник Башкирского университета*. 2011. Т. 16. №1. С. 47–52.
7. *Зеленцов Д.В., Тупицына О.В., Чертес К.Л.* Конструктивно-строительное оформление системы и сооружений подачи и распределения воздуха в обращении с отходами // *Вестник МГСУ*. 2019. Т. 14. № 1 (124). С. 118–125.
8. *Мангушев Р.А., Карлов В.Д., Сахаров И.И.* Механика грунтов: учебник. М.: Издательство АСВ, 2015. 256 с.
9. *Назаров М.В.* Обезвреживание грунтов, пропитанных углеводородами // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2019. № 3 (288). С. 20–24.
10. *Новиков А.Н.* Загрязнение почвы нефтью и нефтепродуктами. М.: Огни, 2019. 603 с.
11. Патент на изобретение RU 2450873 С2, 20.05.2012. Способ переработки нефтешламов и очистки замазученных грунтов. Авторы: Чертес К.Л., Быков Д.Е., Тупицына О.В., Радомский В.М., Уварова Н.А. и др.
12. Патент на изобретение RU 2752983 С1 Россия, В09С 1/02, Е21В 43/16. Способ очистки нефтезагрязненного грунта с применением высоконапорной технологии. Авторы: Тупицына О.В. Чертес К.Л., Пыстин В.Н. и др. Дата регистрации: 27.10.2020. Дата публикации: 11.08.2021.
13. *Чертес К.Л., Букин А.А., Бухман Н.С. и др.* Прогнозирование и ликвидация загрязнений, сформированных объектами накопленного экологического вреда (на примере бездействующих шламонакопителей) // *Экология и промышленность России*. 2023. Т. 27. № 9. С. 33–39.
14. *Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Мартыненко Е.Г. и др.* Штабельно-слоевая биодеструкция нефтепродуктов в шламовых отходах // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2018. № 3. С. 43–48.
15. *Чертес К.Л., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Шишкин В.Я. и др.* Геоинженерная защита территорий, нарушенных объектами накопленного экологического вреда // *Экология и промышленность России*. 2020. Т. 24. № 4. С. 10–15.

GEOECOLOGICAL AND ENGINEERING GEOLOGICAL SPECIFICS OF WASHING GEOENVIRONMENT FROM HYDROCARBON POLLUTION

K. L. Chertes^{1,#}, A. A. Lavrusevich^{2,3}, V. N. Pystin¹, O. V. Tupitsina¹, A. D. Pashkov¹

¹*Samara State Technological University, ul. Molodogvardeiskaya 244, Samara, 443100 Russia*

²*All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the Russian Emergencies Ministry, ul. Davydkovskaya 7, Moscow, 121352 Russia*

³*Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University, Miklouho-Maclay st. 23, Moscow, 117997 Russia*

[#]*E-mail: rector@samgtu.ru*

It is proposed to classify areas of contaminated geoenvironment in the territories of oil complex enterprises and the methods used for removing hydrocarbons depending on the depth. A set of technologies has been developed and introduced into construction practice that make it possible to remove hydrocarbon-containing pollution without soil extraction in the territories of reconstructed and closed oil complex facilities. Elements of the technological scheme for washing soils for various conditions of occurrence of hydrocarbon contaminants are presented.

Keywords: *polluted geoenvironment, oil complex, soil washing, geomechanical indicators, biothermal treatment*

REFERENCES

1. Akovetskii, V.G., Afanas'ev, A.V., Mikhedova, E.E. [Geological problems of the oil and gas complex and the ways to solve them]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2020, no. 2 (293), pp. 7-14. (in Russian)
2. Bol'shakov, M.N., Skibitskaya, N.A., Kuz'min, V.A., Marutyan, O.O. [Determination of residual oil and gas saturation by the direct-flow capillary impregnation]. *Neftyanoe khozyaistvo*, 2014, no. 4, pp. 30-32. (in Russian)
3. Borevskii, B.V., Borevskii, L.V., Bukharin, S.M., et al. [To the problem of localizing oil pollution elimination at the facilities of the Ministry of Defense of the Russian Federation]. *Geoekologiya*, 1997, no.5, pp. 75-83. (in Russian)
4. Borisov, I.V. [The use of microbiological technologies for the elimination of deep oil pollution]. Electronic resource. URL: <https://www.gubkin.ru> (in Russian)
5. Bykov, D.E., Chertes, K.L., Petrenko, E.N., et al. [Subsoil rehabilitation in the territory of oil refineries]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 9-13. (in Russian)
6. Galinurov, I.R., Safarov, A.M., Kudasheva, F.Kh., et al. [Migration of petroleum hydrocarbons in the profile of coastal floodplain soils]. *Vestnik Bashkirskogo universiteta*, 2011, vol. 16, no. 1, pp. 47-52. (in Russian)

7. Zelentsov, D.V., Tupitsyna, O.V., Chertes K.L. [Constructive design of air supply and distribution systems and engineering structures in waste management]. *Vestnik MGSU*, 2019, vol. 14, no. 1 (124), pp. 118-125. (in Russian)
8. Mangushev, R.A., Karlov, V.D., Sakharov, I.I. [Soil and rock mechanics]. Moscow, ACB Publ., 2015, 256 p. (in Russian)
9. Nazarov, M.V. [Neutralization of soils saturated with hydrocarbons]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2019, no. 3 (288), pp. 20-24. (in Russian)
10. Novikov, A.N. [Soil pollution by oil and petroleum products]. Moscow, Ogni Publ., 2019, 603 p. (in Russian)
11. Patent RU 2450873 C2, [A method for processing oil sludge and cleaning contaminated soils]. Authors: Chertes, K.L., Bykov, D.E., Tupitsyna, O.V., Radomskii, V.M., Uvarova, N.A. et al. 2012. (in Russian)
12. Patent RU 2752983 C1, B09C 1/02, E21B 43/16. [A method for cleaning oil-contaminated soil using high-pressure technology]. 2021. (in Russian)
13. Chertes, K.L., Bukin, A.A., Bukhman, N.S., et al. [Forecasting and elimination of pollution generated by objects of accumulated environmental damage (using the example of inactive sludge accumulators)]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2023, vol. 27, no. 9, pp. 33-39. (in Russian)
14. Chertes, K.L., Tupitsyna, O.V., Pystin, V.N., Martynenko, E.G. et al. [Stack-layer biodegradation of petroleum products in sludge waste]. *Zashchita okruzhayushchei sredy v neftegazovom komplekse*, 2018, no. 3, pp. 43-48. [https://doi.org / 10.18412/1816-0395-2017-10-38-43](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-10-38-43) (in Russian)
15. Chertes, K.L., Tupitsyna, O.V., Pystin, V.N., Shishkin, V.Ya., et al. [Geoengineering protection of territories violated by objects of accumulated environmental damage]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2020, vol. 24, no. 4, pp. 10-15. [https://doi.org /10.18412/1816-0395-2020-4-10-15](https://doi.org/10.18412/1816-0395-2020-4-10-15) (in Russian)