

МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

УДК 504.05

СИСТЕМА ОЦЕНКИ И ОХРАНЫ КОМПОНЕНТОВ ГЕОСРЕДЫ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ЗАЛЕЖЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

© 2023 г. К. Л. Чертес^{1,*}, О. В. Тупицына^{1,**}, Е. Н. Петренко^{1,***}

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

*E-mail: chertes2007@yandex.ru

**E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

***E-mail: SHN.007@mail.ru

Поступила в редакцию 31.10.2022 г.

После доработки 15.11.2022 г.

Принята к публикации 26.11.2022 г.

В статье рассматриваются результаты исследования техногенных залежей углеводородов в составе природно-техногенных систем. Особенностью указанных объектов является их размещение в геологической среде под площадками действующих и заброшенных предприятий нефтяной отрасли, выступающих источниками поступления нефтепродуктов в геологическую среду. Техногенные залежи углеводородов интерпретируются как сложные, динамические, многокомпонентные системы, подверженные влиянию паводково-меженных явлений на близлежащих поверхностных водных объектах. На основании анализа фондовых данных и результатов полевых обследований указанных объектов предлагается комплексная экологическая система их оценки, включающая в себя группы параметров, такие как геометрическая, технологическая, геоэкологическая, ресурсно-экономическая и инерционно-колебательная. Предлагается к применению схема проведения комплекса работ по исследованию, оценке, моделированию, ликвидации техногенных залежей, учитывающая их дуальную природу: с одной стороны, залежи оказывают негативное воздействие на окружающую среду, с другой — обладают ресурсным потенциалом как вторичный материальный ресурс. Предлагаемая комплексная система оценки позволяет определить текущее состояние техногенной залежи в составе природно-техногенной системы, выбрать и обосновать технологические решения для ее ликвидации и восстановления нарушенных компонентов окружающей среды в зоне ее влияния.

Ключевые слова: техногенная залежь углеводородов, техногенное месторождение, ликвидация техногенных залежей, оценка техногенных залежей, охрана окружающей среды

DOI: 10.31857/S0869780923010034, EDN: HSKUPL

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение экологической устойчивости природно-техногенных систем является важной научно-практической задачей. Примером такой системы является геологическая среда, включающая в себя техногенную залежь углеводородов. Актуальной проблемой выступает создание комплексной системы оценки и охраны компонентов геосреды от техногенных воздействий залежей углеводородов.

Линзы нефтепродуктов формируются в толще пород и на поверхности подземных вод в результате аккумуляции утечек нефтесодержащих жидкостей [4]. Поллютанты трансформируются под влиянием факторов природной среды, мигрируют сквозь геологические элементы и оказывают негативное воздействие на компоненты окружающей среды: почвы, грунты, подземные воды, а

также поверхностные воды, являющиеся областями разгрузки [8]. Потенциальными объектами, инициирующими формирование залежей, являются: природные месторождения нефти в процессе их разработки, магистральные трубопроводы, нефтеперерабатывающие заводы, нефтебазы и объекты размещения нефтесодержащих отходов. По состоянию на октябрь 2021 г. на территории России официально действуют 37 нефтеперерабатывающих заводов, более 200 крупных нефтебаз и более 2000 разрабатываемых месторождений [6, 7, 10]. Многие из известных техногенных залежей углеводородов находятся в зоне влияния перечисленных объектов [1–3, 5, 9, 12].

В связи с тем, что на сегодняшний день отсутствует единый подход к исследованию, ликвидации и обращению с природно-техногенными системами, включающими техногенные залежи,

для комплексного обращения с указанными объектами требуется создание инструмента оценки и системы выбора технологических решений для их ликвидации.

Объектом настоящего исследования является техногенная залежь углеводородов в составе природно-техногенных систем. Изучаемая природно-техногенная система включает в себя природные и техногенные элементы. К техногенным составляющим относятся: собственная залежь углеводородов; предприятие, являющееся источником поступления углеводородов в геосреду; сеть наблюдательных и эксплуатационных скважин. Дополнительно могут рассматриваться водозаборные скважины, сооружения инженерной защиты. Природными элементами являются подземные и поверхностные воды, геологическая среда [11].

Целью исследования являлось создание комплексной системы оценки техногенных залежей углеводородов и системы выбора технологий их ликвидации и снижения негативного воздействия на геологическую среду.

Для достижения поставленной цели последовательно решались следующие задачи:

- анализ существующих методов оценки состояния техногенных залежей углеводородов и мероприятий по восстановлению территорий, подверженных их негативному влиянию;
- разработка комплексной системы оценки техногенной залежи углеводородов как элемента ПТС и объекта негативного воздействия на геологическую среду, обладающего ресурсным потенциалом;
- создание системы выбора методов, технологических решений охраны и восстановления геосреды, нарушенной техногенными залежами.

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

В основе настоящего исследования лежат следующие исходные данные: научные источники, фондовые материалы и открытые данные профильных организаций и министерств, территориального фонда геологической информации, нормативные документы по ведению мониторинга и обращению с техногенными залежами и объектами-аналогами. В качестве ближайших объектов-аналогов рассматривались природные месторождения нефти и месторождения подземных вод [6]. Кроме перечисленного проводились изыскания одной из техногенных залежей углеводородов в Самарской области. Полученные в ходе собственных исследований результаты сопоставлялись с имеющимися в доступе материалами по другим залежам.

В рамках исследования проведен системный анализ результатов собственных и фондовых материалов Территориального фонда геологической

информации и других источников для определения как уже имеющихся, так и предлагаемых авторами параметров (например, эффективные радиус и глубина залежи, амплитуда, частота, фаза и период колебаний в системе “залежь—область разгрузки”).

Инструментами оценки техногенных залежей в составе природно-техногенных систем выступили методы статистической обработки с использованием современного программного обеспечения, а также цифрового моделирования в программных комплексах Surfer (Golden Software) и Petrel (Schlumberger). В ходе работ по созданию цифровых моделей техногенной залежи углеводородов была уточнена методическая составляющая, учитывающая различия геологических, гидрогеологических и т.д. условий залегания традиционных месторождений нефти и объекта исследования.

Отбор и анализ проб компонентов окружающей среды (грунты, подземные и поверхностные воды, а также углеводороды залежи) проводили в соответствии с актуальными и утвержденными методиками с использованием современного оборудования.

В составе собственных полевых работ осуществлялось измерение уровней водного и углеводородного слоев в скважинах наблюдательной сети с помощью межфазной рулетки Solinst 122 (CSA) Interfase Meter. Частота измерений составляла от 1 до 3 раз в месяц и учитывала особенности гидрологического режима в поверхностном водном объекте, находящемся в зоне влияния объекта исследования. Все полученные значения сопоставлялись с результатами исследований профильных организаций, ведущих мониторинг на территории исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На основе результатов изысканий одной из залежей России, а также анализа фондовых материалов по более чем 50 подобным объектам, в том числе находящимся за рубежом, были определены значения их состояний, определяющие дальнейшее обращение с ними. Часть из них представлена в табл. 1.

В табл. 2 представлены группы критериев и параметров, предлагаемые для оценки техногенной залежи. Кроме известных показателей, таких как величина имеющихся запасов, геологическое строение, содержание углеводородов в почвах, грунтах, поверхностных и подземных водах, авторами введены понятия эффективный радиус, определяющий зону влияния объекта; эффективная глубина, являющаяся граничным фактором применения технологий. В качестве критерия предлагается количество хранящихся единовре-

Таблица 1. Характеристики наиболее изученных техногенных залежей

Территориальная принадлежность	Ландшафтный тип	Ориентировочные запасы, тыс. т	Нэфф, м	Кэфф, км	Источник утечек	Возраст, лет	Преобладающий тип пород коллектора и Кф (см/с)	Ключевые компоненты загрязнителя	Область разгрузки
Среднее Поволжье	Пойменно-склоновый	1500 ± 200	≤80	15.0 ± 1.0	Резервуарный парк, коммуникации	70 ± 5	Карбонатные (≤10 ⁻⁵)	Этил. бензин	Два водотока, далее водохранилище
Среднее Поволжье	Пойменно-террасный	150 ± 30	≤50	~3.0 ± 0.5	— “ —	80 ± 5	Карбонатные (≤10 ⁻⁵)	Дизтопливо	Водоток, далее старца
Среднее Поволжье	Водораздельный	400 ± 20	≤25	~5.0 ± 1.0	Резервуарный парк, коммуникации, оборудование	75 ± 5	Глинистые (≤10 ⁻⁶)	Дизтопливо, мазут	Водоток, далее водохранилище
Среднее Поволжье	Пойменно-склоновый	50 ± 10	≤25	~0.5 ± 0.5	Резервуарный парк,	60 ± 5	Суглинистые (≤10 ⁻⁷)	Хром, фенол	Водохранилище
Среднее Поволжье	Водораздельный	100 ± 20	≤30	~1.0 ± 0.5	Нефтешламо-накопитель	50 ± 5	Суглинистые (≤10 ⁻⁷)	Сера	Два водотока
Среднее Поволжье	— “ —	50 ± 10	≤35	~1.5 ± 0.5	Шламовые амбары	60 ± 5	Глинистые (≤10 ⁻⁶)	Этил.бензин, сера	Два водотока
Краснодарский край	Надпойменно-террасный	100 ± 10	≤10	~5.0 ± 0.5	Резервуарный парк, оборудование	85 ± 5	Галечно-песчаные (≥10 ⁻³)	Нафта, дизтоп.	Водоток, море
Ростовская область	— “ —	2 ± 0.5	≤5	~0.5 ± 0.1	— “ —	15 ± 5	Глинисто-песчаные (≥10 ⁻⁴)	Бензин, дизтопливо	Два водотока
Московская область	— “ —	10 ± 2	≤15	~1.0 ± 0.5	Резервуарный парк	65 ± 5	Песчано-глинистые (≥10 ⁻⁴)	Бензин, дизтопливо, тяжелые металлы	Водоток, далее малое водохранилище
Московская область	— “ —	15 ± 3	≤35	~1.0 ± 0.5	— “ —	80 ± 5	Смешанные породы	Авиац.бенз., битум	Водоток
Саратовская область	— “ —	2000 ± 200	≤15	10.0 ± 1.0	Резервуарный парк, накопители	70 ± 5	Карбонатно-глинистые (≤10 ⁻⁵)	Бенз., дизтоп., мазут	Водоток, водохранилище
Республика Коми	— “ —	1000 ± 100	≤50	5.0 ± 1.0	Резервуарный парк, накопители, коммуникации	80 ± 5	Смешанные породы	Бензин, дизтопливо	Ручей в овраге, далее водоток
Иркутская область	Пойменно-террасный	1000 ± 100	≤100	5.0 ± 1.0	Резервуарный парк, оборудование	60 ± 5	Смешанные породы	Дизтопливо, мазут	Один водоток, водохранилище

Таблица 2. Группы критериев и параметров для оценки техногенной залежи

Характеристика	Усл. обозн.	Ед. изм.	Значения (диапазон)				Примечание	
Геометрическая группа								
Эффективный радиус	R _з	км	<1		>1		Расстояние от источника утечек до наиболее удаленной точки, в которой обнаружено загрязнение	
Эффективная глубина	H _з	м	<10		>10		Определяет способ реабилитации загрязненной геосреды	
Эффективная толщина	Δ	м	<10		>10		Расстояние от зеркала залежи до поверхности регионального водоупора	
Технологическая группа								
Тип области разгрузки подземных вод	—	—	—				Определяет выбор технологии геоинженерной защиты	
Соотношение свободных и заземленных н/п	N _{св/защ}	—	<1		>1		Определяет необходимость применения технологий структурно-фазового перераспределения	
Соотношение концентраций н/п в жидкой и твердой фазах	N _{ж/тв}	—	<1		>1			
Геоэкологическая группа								
Степень опасности геосреды	Z	—	10	100	1000	10000	Определяет токсичность жидкого флюида и степень загрязненности грунтов	
Категория защищенности подземных вод	У _{зпв}	—	1—6				Определяет необходимость экранирования фрагментов геосреды от загрязнения “сверху” и “снизу”	
Концентрация нефтепродуктов в компонентах ОС	C _{н/п}	ПДК	<ПДК		>ПДК		Определяет соответствие компонентов геосреды региональным нормативам или ПДК	
Коэффициент фильтрации	k _ф	см/с	<10 ^{−5} ; >10 ^{−5}				Определяет тип коллектора по фильтруемости загрязнений	
Площадь нарушенной территории	S	км ²	<1; >1				Определяет площадь воздействия на сопряженные компоненты ОС	
Ресурсно-экономическая группа								
Количество и категория утвержденных запасов	V _з	млн т	1	5	30	300	1000	Определяет величину месторождения и его потенциал дальнейшей разработки
Дебит залежи	Q _з	т/сут	1			2		Определяет производительность сооружений по откачке вторичного ресурса и его подготовке
Среднее количество хранящихся единовременно УВ	V _{хран}	тыс. м ³	2	10	20	100		Определяет потенциал пополнения залежи сверху за счет потерь углеводородов в местах хранения
Ресурсный потенциал	RP= Z _п + C + У _{пр} + Θ _{эп} − Z _{пер} − Z _{трансп}						Определяет экономическую целесообразность добычи углеводородов и обращения с ним как с ресурсом	
Инерционно-колебательная группа								
Амплитуда	A	м	<2.5		>2.5		Определяется зарегулированностью регионального водохранилища (водотока I рода)	

Таблица 2. Окончание

Характеристика	Усл. обозн.	Ед. изм.	Значения (диапазон)			Примечание
Период	T	год	0.25	0.5	1	Определяется местными паводково-меженными условиями и согласуется с количеством паводков на ближайшем поверхностном водном объекте
Частота	f	1/год	4	2	1	
Задержка	Δt	сут	15; 30; 60			Позволяет оценить величину отклика уровней воды на подъем воды в водохранилище
Фаза	$\varphi = 2\pi\Delta t/T$	—	0.26; 0.52; 1.03; 2.06; 4.12			Значения предложены на основании анализа картографического и фондового материала по группам рассмотренных объектов, а также данных инженерных изысканий; определяется местными паводково-меженными условиями

менно углеводородов на предприятии-источнике с целью оценки количества ежегодно теряемых углеводородов, пополняющих залежь.

Актуальной проблемой является не только создание комплексной системы оценки техногенных залежей углеводородов, но и обращение с ними: ликвидация самой залежи и восстановление нарушенной геологической среды. В рамках проведенных исследований и анализа фондовых материалов, авторами предлагается схема последовательных этапов оценки, прогнозирования и

управления состоянием природно-техногенных систем, вмещающих техногенную залежь (рис. 1). Представленная схема исследований была апробирована при обследовании одной из техногенных залежей Самарской области и показала себя удовлетворительно.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изученные в рамках исследования залежи отличаются по фильтрационным характеристикам



Рис. 1. Схема основных этапов оценки, прогнозирования и управления состоянием ПТС, вмещающей техногенную залежь.

пород геосреды-коллектора, качественному составу углеводородов, включая содержание ряда тяжелых металлов, геоморфологическому типу и гидрогеологическим условиям. Предлагаемые в табл. 2 группы критериев и параметров, а именно: геометрическая, технологическая, геоэкологическая, ресурсно-экономическая и инерционно-колебательная, позволяют в комплексе оценить состояние техногенной залежи углеводородов в составе природно-техногенной системы и определить граничные условия для выбора технологических решений.

Геометрическая группа определяет конфигурацию залежи и позволяет выявить ограничения к применению механических методов удаления загрязненного грунта, биологических методов. Сведения о контуре объекта исследования позволяют определить объемы работ по устройству дренажных систем и сооружений инженерной защиты прилегающих ненарушенных территорий с использованием стен в грунте, экранов.

Технологическая группа позволяет выбрать тип технологии с учетом жизненного цикла техногенной залежи. Так, присутствие углеводородов преимущественно в свободном состоянии допускает применение простых в обслуживании и эксплуатации гидродинамических методов извлечения нефтесодержащих эмульсий.

Определение типа области разгрузки в составе параметров технологической группы является неотъемлемой частью предлагаемой системы оценки, так как именно паводково-меженный режим поверхностных водных объектов служит причиной перемещения токсикантов и определяет поведение ПТС-залежи как динамической системы. Выявление приоритетных направлений движения залежи позволяет определить места размещения сооружений инженерной защиты, ограничивающих дальнейший трансфер загрязнений в ненарушенные фрагменты.

Геоэкологическая группа оценивает техногенную залежь углеводородов как источник существующего или перспективного ущерба окружающей среде и позволяет определить способности природных компонентов к самовосстановлению.

Параметры и критерии ресурсно-экономической группы отражают ресурсный потенциал залежи углеводородов как источника вторичных материальных ресурсов, а также экономическую целесообразность организации добычи нефтепродуктов из нее.

На основании полученных статистических данных об уровнях подземных вод и флотирующего на его поверхности слоя углеводородов, было выявлено, что поведение залежи определяется инерционными свойствами как колебательной системы. Описание техногенной залежи значениями инерционно-колебательной группы позво-

ляет предложить рациональные режимы и места добычи углеводородного сырья с учетом гидрологического режима объекта разгрузки подземных вод.

Таким образом, предлагаемая комплексная система оценки позволяет не только численно описать состояние залежи, но и определить рациональные методы локализации и ликвидации залежи углеводородов и последующего восстановления нарушенной геосреды.

Одним из результатов апробации комплексной системы оценки является выделение ресурсного и восстановительного этапов обращения с техногенными залежами в зависимости от качественного состава углеводородов, величины их запасов, формы залегания и совокупности условий геосреды. Ресурсный этап подразумевает извлечение свободных углеводородов, представляющих ресурсную ценность. Восстановительный этап представляет собой очистку или доочистку грунтов от нефтепродуктов до санитарных требований и региональных нормативов, а также локализацию загрязняющих веществ при необходимости, т.е. техногенная залежь углеводородов рассматривается как объект негативного воздействия на окружающую среду.

Представленная на рис. 1 схема этапов оценки, прогнозирования и управления состоянием природно-техногенной, вмещающей техногенную залежь была использована в ходе обследования одной из залежей Самарской области. Она позволила провести комплексные мониторинговые исследования, получить достаточное количество данных для создания цифровых моделей и статистической обработки, а также разработать комплексную систему оценки, применимую для подобных объектов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Разработана и успешно апробирована система критериально-параметрической оценки состояния техногенных залежей углеводородов как элемента природно-техногенной системы на примере объектов в России и за рубежом.

2. Предлагаемая комплексная система оценки позволила определить граничные условия возможных методов обращения с залежами углеводородов, а также место и режим реализации этих методов.

3. На основании комплексной оценки состояния существующих техногенных залежей углеводородов выделены ресурсный и восстановительный этапы обращения с ними. Данные этапы учитывают качественный состав углеводородов, величину запасов и совокупность параметров геологической среды, их вмещающей.

4. Предложена и апробирована схема основных этапов оценки, прогнозирования и управления состоянием природно-техногенных систем, вмещающих техногенную залежь. Схема включает в себя этап обследования методами инженерных изысканий, оценку с использованием методов лабораторного и статистического анализа, трехмерного моделирования, стадию разработки и апробации технологии в лабораторных и промышленных условиях, а также этап управления состоянием природно-техногенной системой с учетом всех предыдущих стадий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмадова Х.Х., Махмудова Л.Ш., Мусаева М.А. Грозненские техногенные залежи углеводородов: история, добыча, переработка, экологические проблемы // В мире научных открытий. 2013. № 1.1 (37). С. 258–283.
2. Бабенко В.Д., Солодовников Ю.С., Карагодин Г.В. и др. Опыт создания и эксплуатации систем инженерной защиты подземных вод от загрязнения жидкими нефтепродуктами на промплощадках действующих предприятий нефтехимического комплекса // Сб. “Захист довкілля від антропогенного навантаження”. Харьков-Кременчуг, 1999. Вып. 1 (3). С. 95–100.
3. Богданович А.М. Опыт локализации и ликвидации нефтяного загрязнения на одном из предприятий нефтекомплекса // Разведка и охрана недр. 2005. № 11. С. 57–59.
4. Быков Д., Чертес К., Петренко Е., Тупицына О., Пыстин В., Подъячев А. Санация недр территории нефтеперерабатывающих заводов // Экология и промышленность России. 2019. № 23 (3). С. 9–13.
5. Галинуров И.Р. Оценка техногенных потоков углеводородов в поймах рек в зоне влияния нефтехимических предприятий (на примере Республики Башкортостан): автореф. дис. ... канд. тех. наук. Уфа, 2012. 24 с.: ил.
6. Карта нефтебаз ООО “Газпромнефть-Региональные продажи” [Электронный ресурс]. URL: <https://client.gpn-trade.ru/neftmap/> (дата обращения 15.10.2022)
7. Каталог объектов учета ГБЗ с данными сводного государственного реестра участков недр и лицензий и ГКМ. Российский Федеральный геологический фонд [Электронный ресурс]. URL: <https://rgf-gf.ru/bal/a/index.php> (дата обращения 31.10.2022)
8. Мазлова Е.А., Анурина Ю.А. Проблемы загрязнения подземных вод на ОАО “Московский НПЗ” и пути их решения // Известия РАЕН. Технологии нефти и газа. 2011. № 2. С. 43–49.
9. Островский Ю.В., Заборцев Г.М., Черноок В.А., Крестинин А.А. Комплексная рекультивация территории Павельцевской нефтебазы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330. № 6. 210–219.
10. Реестр проектируемых, строящихся и введенных в эксплуатацию нефтеперерабатывающих заводов в Российской Федерации. URL: <https://minenergo.gov.ru/opendata/7705847529-reestrnpz> (дата обращения 11.10.2022)
11. Чертес К.Л., Штеренберг А.М., Петренко Е.Н. Оценка состояния и подходы к восстановлению геосреды нарушенной в результате хозяйственной деятельности // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14 (9). С. 1140–1157.
12. Meng X.S., Wu M.M., Chen H.H., Yue X., Tao S.Y. Vertical Pollution Characteristics and Sources of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in a Heterogeneous Unsaturated Zone Under a Coking Plant // Huan Jing Ke Xue. 2020, Jan 8. V. 41 (1). P. 377–384. Chinese. <https://doi.org/10.13227/j.hj.kx.201903142>. PMID: 31854940

ASSESSMENT AND PROTECTION OF GEOENVIRONMENT COMPONENTS FROM IMPACTS PRODUCED BY TECHNOGENOUS HYDROCARBON DEPOSITS

K. L. Chertes^{a, #}, O. V. Tupitsyna^{a, ##}, and E. N. Petrenko^{a, ###}

^a Samara State Technical University,
ul. Molodogvardeiskaya, 244, Samara, 443100 Russia

[#]E-mail: chertes2007@yandex.ru;

^{##}E-mail: olgatupicyna@yandex.ru

^{###}E-mail: SHN.007@mail.ru

The article presents the results of studies of technogenous hydrocarbon deposits - Light Non-Aqueous Phase Liquid (LNAPL) bodies in technonatural systems. The specific feature of these bodies is their location in the geological environment beneath operating and abandoned oil industry enterprises. Enterprises are the sources of hydrocarbons in the geological environment. Light non-aqueous phase liquid bodies are interpreted as complex, dynamic, multicomponent systems, which are subject to the influence of flooding and low-water phenomena in the nearby surface water bodies. Based on the study of archive data and the results of field survey of these objects, the integrated system has been developed for assessing the status of technonatural systems containing LNAPL bodies. It is based on the suggested criteria, and includes geometric, technological, geoecological, resource-economic and inertial-oscillatory groups. The scheme of carrying out a complex of

works, including research, assessment, modeling, and liquidation of LNAPL bodies is proposed. This scheme takes into account the LNAPL dual nature: on the one hand, LNAPL body contaminate the environment, on the other hand, produce secondary hydrocarbon resources. The proposed integrated assessment system permits us to determine the current state of LNAPL bodies as a part of technonatural systems, to select and justify technological solutions for their liquidation and remediation of contaminated sites.

Keywords: *technogenous hydrocarbon deposit, light non-aqueous phase liquid (LNAPL) body, liquidation of LNAPL bodies, assessment of LNAPL bodies, environment conservation*

REFERENCES

1. Akhmadova, Kh.Kh., Makhmudova, L.Sh., Musaeva M.A. *Groznskie tekhnogennye zalezhi uglevodorodov: istoriya, dobycha, pererabotka, ekologicheskie problemy* [Technogenous hydrocarbon deposits in Grozny: history, extraction, and ecological problems]. *V mire nauchnykh otkrytii*, 2013, no. 1.1 (37), pp. 258–283. (in Russian)
2. Babenko, V.D., Solodovnikov, Yu.S., Karagodin, G.V. et al. *Opyt sozdaniya i ekspluatatsii sistem inzhenernoi zashchity podzemnykh vod ot zagryazneniya zhidkimi nefteproduktami na promyshlennakh deistvuyushchikh predpriyatiy neftekhimicheskogo kompleksa* [Experience in construction and operation of engineering systems for groundwater protection from liquid oil products at industrial sites of operating petroleum chemistry complex enterprises]. In: *Zahistovkillya vid antropogennogo navantazheniya*. Kharkov-Kremenchug, 1999, issue 1 (3), pp. 95–100. (in Russian)
3. Bogdanovich, A.M. *Opyt lokalizatsii i likvidatsii neftyanogo zagryazneniya na odnom iz predpriyatiy neftekompleksa* [Experience of localization and elimination of oil pollution at one of the oil complex enterprises]. Available at: <https://www.hydrogeoecology.ru/index.php/biblioteka-gidek/zhurnaly/razvedka-i-okhrana-nedr-11-2005-g> (accessed 15.10.2022) (in Russian)
4. Bykov, D., Chertes, K., Petrenko, E., Tupitsyna, O., Pystin, V., Podyachev, A. *Sanatsiya nedr territorii neftepererabatyvayushchikh zavodov* [Sanitation of bowels at oil refinery territory]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, no. 23 (3), pp. 9–13. (in Russian)
5. Galinurov, I.R. *Otsenka tekhnogennykh potokov uglevodorodov v poimakh rek v zone vliyaniya neftekhimicheskikh predpriyatiy (na primere Respubliki Bashkortostan)* [Assessment of anthropogenic hydrocarbon flows in the river floodplains in the zone affected by petrochemical enterprises (by the example of the Republic of Bashkortostan)]. Extended Abstract of Cand. (Engineering) Sci. dissertation. Ufa, UGNTU Publ., 2012, 24 p. (in Russian)
6. *Karta neftebaz OOO "Gazpromneft"-Regional'nye prodazhi* [Map of Gazpromneft-Regional Sales LLC oil depots]. Available at: <https://client.gpn-trade.ru/neft-map/> (accessed 15.10.2022). (in Russian)
7. *Katalog ob'ektov ucheta GBZ s dannymi svodnogo gosudarstvennogo reestra uchastkov nedr i litsenzii GKM* [Catalog of GBZ accounting objects with the data of the consolidated state register of subsoil areas and licenses and GCMs]. Rossiiskii Federal'nyi geologicheskii fond [Russian Federal Geological Foundation] Available at: <https://rfgf.ru/bal/a/index.php> (accessed 31.10.2022). (in Russian)
8. Mazlova, E.A., Anurina, Yu.A. *Problemy zagryazneniya podzemnykh vod na OAO "Moskovskii NPZ" i puti ikh resheniya* [Problems in groundwater contamination at Moscow oil refinery and ways to solve them]. *Izvestiya RAEN. Tekhnologii nefii i gaza*, 2011, no. 2, pp. 43–49. (in Russian)
9. Ostrovskii, Yu.V. *Kompleksnaya rekul'tivatsiya territorii Pavel'tsevskoi neftebazy* [Combined reclamation of Pavel'tsevskaya tank farm]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*, 2019, vol. 330, no. 6, pp. 210–219. (in Russian)
10. *Reestr proektiruemyykh, stroyashchikhsya i vvedennykh v ekspluatatsiyu neftepererabatyvayushchikh zavodov v Rossiiskoi Federatsii* [Register of refineries designed, under construction and commissioned in the Russian Federation] Available at: <https://minenergo.gov.ru/opendata/7705847529-reestrnppz> (accessed 11.10.2022). (in Russian)
11. Chertes, K.L., Shterenberg, A.M., Petrenko, E.N. *Otsenka sostoyaniya i podkhody k vosstanovleniyu geosredy, narushennoi v rezul'tate stroitel'no-khozyaistvennoi deyatel'nosti* [Assessment of the geoenvironment state disturbed by engineering and economic activities]. *Vestnik MGSU*, 2019, no. 14 (9), pp. 1140–1157. (in Russian)
12. Meng, X.S., Wu, M.M., Chen, H.H., Yue, X., Tao, S.Y. Vertical pollution characteristics and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in a heterogeneous unsaturated zone under a coking plant. *Huan Jing Ke Xue*, 2020, vol. Jan 8, no. 41 (1), pp. 377–384. (in Chinese)