БЕЗОПАСНОСТЬ СТРОИТЕЛЬСТВА И ГОРОДСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 502.64(470.43)

DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1140-1157

Оценка состояния и подходы к восстановлению геосреды нарушенной в результате строительно-хозяйственной деятельности

К.Л. Чертес, А.М. Штеренберг, Е.Н. Петренко

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

АННОТАЦИЯ

Введение. Рассмотрены вопрос оценки нарушенных территорий в результате строительно-хозяйственной деятельности, стратегии решения данной проблемы на примере Самарской области.

Материалы и методы. Применены общепринятые методики, научные исследования сотрудников СамГТУ. В качестве источников исходных данных использованы отчеты государственных органов. Предмет исследования — инженерно-геологические элементы окружающей среды, промышленные объекты, загрязняющие компоненты, поверхностные и подземные водные объекты.

Результаты. Определена система оценки нарушенных территорий по системе ранжирования, классификация по направлениям хозяйственной деятельности. Приведена классификация влияния технологических потерь предприятий, деятельность которых приводит к нарушению геологической среды. Предложены ресурсно-экологический подход для техногенных залежей различных веществ, стратегия их использования с последующим восстановлением окружающей среды. Представлены результаты трехмерного моделирования техногенных залежей, а также подходы к их интерпретации.

Выводы. Разработанный подход и методологические основы для анализа геологической системы, включающей техногенную линзу, позволяют оценивать, анализировать и прогнозировать миграцию техногенных линз, образованных в результате строительно-хозяйственной деятельности. Ресурсно-экологический подход применен для одновременного сбора загрязняющего флюида и санации геологической среды. Для увеличения эффективности исследования и прогнозирования количества веществ в недрах рекомендуется использовать методы трехмерного цифрового моделирования. Методы применимы к техногенным залежам при условии определения фильтрационных характеристик среды по воде и флюиду. В качестве способа санации геологической среды предлагается использовать биологически разлагаемые поверхностно-активные вещества. Данный выбор обусловлен тем, что поверхностно-активные вещества позволяют «отмыть» породы и при этом не увеличить нагрузку на окружающую среду. Предложен альтернативный способ прогнозирования миграции флюидов за счет описания геосистемы как системы вынужденных колебаний. Способ позволяет прогнозировать периоды наиболее эффективной нефтедобычи и определять методы инженерной защиты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенная залежь, загрязнение геологической среды, подтопление территорий, ликвидация залежей, трехмерное моделирование, санация, восстановление окружающей среды

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Чертес К.Л., Штеренберг А.М., Петренко Е.Н. Оценка состояния и подходы к восстановлению геосреды нарушенной в результате строительно-хозяйственной деятельности // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. Вып. 9. С. 1140–1157. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1140-1157

Estimation of the condition and approaches to the rehabilitation of the geological environment disordered as a result of construction and anthropogenic activities

Konstantin L. Chertes, Alexander M. Shterenberg, Elena N. Petrenko

Samara State Technical University (SSTU); Samara, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper considers the issue of estimation of disordered areas as a result of construction and anthropogenic activities and suggests strategies for solving this problem by the example of the Samara region.

Materials and methods. The article applies the generally accepted methods and research conducted by employees of Samara State Technical University. The sources of initial data are reports of state authorities. The subjects of the study are engineering-geological environmental elements, industrial facilities, polluting components and surface and Groundwater bodies.

Results. The paper proposes a ranking-system for estimation of disorder areas and classification by areas of economic activity. The article provides the classification of the impact of technological losses of enterprises, the activity of which leads to the disruption of the geological environment. A resource and ecological approach for technogenic deposits of various substances and a strategy for their use and subsequent environmental restoration are proposed. The research presents the results of technogenic deposit 3D simulation as well as approaches to their interpretation.

Conclusions. The developed approach and methodological basis for the analysis of the geological system, including the technogenic lens allow evaluating, analyzing, and predicting the migration of human-made lenses formed as a result of construction and economic activity. A resource-based and ecological approach was used for the simultaneous collection of pollutant fluids and the rehabilitation of the geological environment. The article recommends to use 3D digital simulation methods to increase the efficiency of research and predict the number of substances in the depths. The methods apply to human-made deposits, subject to the determination of the ambient filtration characteristics by water and fluid. It is proposed to use biodegradable surfactants as a method of geological environment rehabilitation. This choice is stipulated by the fact that surfactants allow "washing" the rocks without increasing the burden on the environment. An alternative method is proposed for predicting fluid migration due to the description of the geosystem as a system of forced oscillations. The method allows predicting the periods of the most efficient oil production and designated engineering protection methods.

KEYWORDS: technogenic deposit, geological environment pollution, area impoundment, deposit liquidation, 3D simulation, rehabilitation, environment restoration

FOR CITATION: Chertes K.L., Shterenberg A.M., Petrenko E.N. Estimation of the condition and approaches to the rehabilitation of the geological environment disordered as a result of construction and anthropogenic activities. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2019; 14:9:1140-1157. DOI: 10.22227/1997-0935.2019.9.1140-1157 (rus.).

ВВЕДЕНИЕ

Строительно-хозяйственная деятельность приводит к поступлению загрязняющих компонентов в различных агрегатных состояниях в геологическую среду. Это характерно для большинства объектов промышленности. Утечки из водопроводных и канализационных сетей вызывают подтопление территорий [1], а также провоцируют такие геологические процессы, как карстообразование, суффозия, просадки и пучение¹. Фильтрат полигонов твердых коммунальных отходов, аварийные проливы и технологические потери формируют в породах зоны аэрации санитарно-опасные и токсичные для биоты «линзы» мощностью в десятки метров [2, 3]. Отрицательное влияние на геосреду оказывают и гидротехнические сооружения за счет искусственного регулирования уровня воды и затопления территории при строительстве (водохранилища, дамбы) [4]. Одни из проявлений аккумулярованных жидких флюидов техногенной природы — нефтяные линзы под площадками предприятий нефтеперерабатывающего и нефтехимического профиля. Залежи углеводородов образовались в результате технологических потерь углеводородов в геологическую среду в связи с наличием резервуарных парков и комму-

никаций устаревшего образца. Важным является отличие техногенных линз загрязняющих агентов от природных месторождений по условиям залегания, связанности с водными объектами, климатическими условиями и деятельностью человека. Данная ситуация актуальна для крупных промышленных агломераций, особенно для находящихся близ поверхностных водных объектов в связи с высокой вероятностью их взаимопроникновения и влияния.

Цель настоящей работы — оценка состояния и подходы к восстановлению геосреды нарушенной в результате строительно-хозяйственной деятельности.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- анализ состояния загрязненных геосред под площадками предприятий и их систематизация по видам строительно-хозяйственной деятельности;
- трехмерное моделирование углеводородных линз техногенной природы, как наиболее наглядного примера деградации геосреды, прогноза миграции загрязняющих веществ;
- разработка критериев оценки состояния геологической среды с учетом их инженерно-геологических характеристик, таких как фильтрационные параметры, которые влияют на процессы восстановления геосреды;
- проведение лабораторных и опытно-промышленных исследований по реагентной санации.

¹ Информационные бюллетени о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2009–2013 гг. М.: Геоинформмарк, 2010–2014. Вып. 33–37.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

1. Анализ состояния загрязненных геосред под площадками предприятий.

Оценку и контроль степени нарушенности геологической среды можно проводить по различным компонентам [5]. Чаще всего их проводят по содержанию специфических веществ близлежащих техногенных объектов. В настоящей работе представлен анализ состояния недр по нефтепродуктам. Данный выбор обусловлен:

- составом промышленного комплекса Самарского региона, представленного в значительной степени предприятиями нефтеперерабатывающего кластера (НПК);
- относительной простотой и экономичностью определения;
- малой степенью разлагаемости в глубинных горизонтах [6];
- нерастворимостью в воде;
- достаточной скоростью миграции в геологической среде [3];
- отсутствием природных залежей нефтепродуктов на исследуемых глубинах, а значит целесообразна оценка антропогенного влияния по содержанию данного компонента.

Оценку и контроль степени нарушенности геологической среды проводили по результатам мониторинговых исследований в составе: химический анализ подземных вод и вод поверхностного водного объекта, уровня воды и нефтепродукта в наблюдательных скважинах предприятия. Кроме того, проведен анализ фоновых материалов и отчетов, а также информации в СМИ о фактах проявления глубинных загрязняющих агентов на дневной поверхности почв и на поверхности водного объекта.

Следует добавить, что источником загрязнений углеводородной природы выступает не только НПК, но и коммунальные, водные, теплоэнергетические, транспортные и другие хозяйства промышленного комплекса. Известно, что аварийные и технологические потери флюидов, содержащих нефтепродукты, имеют место при эксплуатации общесплавных систем канализования, систем водоотведения промышленных стоков, а также накопителей и резервуаров, содержащих жидкости с углеводородными компонентами. Однако для нефтеперерабатывающих заводов (НПЗ) и нефтехимических комбинатов (НХК), инфильтрация нефтепродуктов в грунты более свойственна, чем для других объектов промышленности [7, 8].

2. Основные характеристики геосреды и флюида.

Направление и скорость миграции поллютантов в геологической среде тесно связаны со свой-

ствами залегающих пород, пористостью, уклоном поверхности и зависят от гидрологических условий района. Основными параметрами являются: глубина залегания, свойства флюида (состав, вязкость, плотность), свойства геологической среды (состав пород и их геомеханические и фильтрационные характеристики), связанность с подземными и поверхностными водными объектами. Отметим, что фильтрационные характеристики определяют форму нахождения поллютанта в геологической среде и характер миграции в ней. Авторы работы [9] выделяют три формы нахождения нефтепродуктов в почвах и грунтах: в пористой среде, в пористой среде и трещинах, в поверхностном слое почвы или грунта в виде плотной органоминеральной массы. В случае аккумуляции поллютанта в форме линз под НПЗ в природно-техногенной системе представлены все три вида формы нахождения нефтепродуктов.

Перечисленные выше параметры определяют не только режим залегания загрязняющих веществ, но и их потенциальную ресурсную ценность и позволяют определить риски дальнейшего распространения токсикантов [3]. При наличии перспективы разработки техногенной залежи как месторождения с целью извлечения и повторного использования ресурса авторы рекомендуют пользоваться набором параметров, аналогичным для природных коллекторов (см. табл. 1).

Приведенный в табл. 1 перечень параметров определяли общепринятыми методами на основании лабораторных исследований кернов.

Для прогноза степени нарушенности геосреды, загрязненности почв и грунтов нефтепродуктами одной из важнейших характеристик служит коэффициент фильтрации. Коэффициенты фильтрации и проницаемости пород определяют дальнейшее распространение нефтепродуктов в геологической среде. Коэффициент фильтрации является основной характеристикой нефтепроницаемости и исходным параметром для всех фильтрационных расчетов, и определяется по методикам² [10].

Примем, что состав техногенной линзы нефтепродуктов представлен бензином со следующими характеристиками:

- плотность при 20 °С составляет 668 кг/м³;
- вязкость динамическая при 20 °С равна 0,471 мПа·с;
- кинематическая вязкость при тех же условиях составляет 0,705 сСт или 0,705 мм²/с.

В табл. 2 представлены усредненные значения по коэффициентам фильтрации для различных пород по воде.

² П-717-80. Руководство по определению коэффициента фильтрации водоносных пород методом опытной откачки. М. : Энергоиздат, 1981. 142 с.

Табл. 1. Характеристики геологической среды для извлечения ресурса

Table 1. Parameters of geological environment for resource extraction

№ / Item	Параметры / Parameter
Геомеханические параметры / Geomechanical parameters	
1	Глубина залегания, м / Depth of occurrence, m
2	Вязкость в условиях пласта, МПа·с / Stratum viscosity, MPa·s
3	Плотность нефти в условиях пласта, кг/м ³ / Stratum oil density, kg/m ³
4	Горизонт / Level
5	Пластовое давление, МПа / Formational pressure, MPa
6	Мощность слоя нефтепродуктов, м / Oil product stratum thickness, m
7	Дебит, т/сут / Flow rate, tonne/day
Фильтрационные параметры / Filtration parameters	
8	Проницаемость пород по воде, мкм ² / Stratum water permeability, μm ²
9	Проницаемость пород по флюиду, мкм ² / Stratum fluid permeability, μm ²
10	Пористость породы, д. ед. / Stratum porosity, decimal unit
11	Коэффициент фильтрации пород по воде, мм/сут / Stratum water filtration factor, mm/day
12	Коэффициент фильтрации пород по флюиду, мм/сут / Stratum fluid filtration factor, mm/day
Температурные параметры / Temperature parameters	
13	Температура в пласте, °C / Layer temperature, °C
Химические параметры / Chemical parameters	
14	Компоненты / Components
15	Минерализация воды, г/дм ³ / Water mineralization, g/dm ³

Табл. 2. Фильтрационные свойства инженерно-геологических элементов [11]

Table 2. Filtration properties of engineering geological elements [11]

Вид грунта / Type of soil	Коэффициент водоотдачи / Coefficient of storage	Коэффициент фильтрации, м/сут / Filtration factor, m/day
Галечниковые и гравийные грунты / Flint and gravel soils	0,25–0,4 [11]	20–200 ³
Доломиты / Dolomites	—	5–20 ³
Почва (по торфу малоразложившемуся) / Soil (by underrotten turf)	—	1,0–4,5 ³
Песчаные грунты / Sand soils	0,2–0,25 [11]	0,6–75 ³
Супеси / Clay sands	0,1–0,2 [11]	0,4–1 ³
Суглинки / Sandy clays	0,05–1 [11]	0,01–0,4 ³
Глины / Clays	Менее / Less than 0,05 [11]	Менее / Less than 0,001 ³

³ Методические рекомендации по сбору инженерно-геологической информации и использованию табличных геотехнических данных при проектировании земляного полотна автомобильных дорог. М., 1981.

3. Систематизация нарушенности геосреды по видам строительно-хозяйственной деятельности.

Систематизация нарушенности земель проводилась в соответствии со сведениями о наличии подтопляемости земель в Самарском регионе, отчетах о состоянии окружающей среды^{4,5}. Кроме того, для территории Самарской области характерно значительное воздействие на окружающую среду со стороны хозяйственной деятельности; основными ее загрязнителями являются транспорт (в первую очередь автомобильный), предприятия энергетики, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, нефтедобывающей, химической, машиностроительной промышленности, жилищно-коммунального и сельского хозяйства. Оценка осуществлялась в части техногенной нагрузки на грунты и водные объекты. Отметим, что важными факторами, определяющими степень негативного воздействия за счет миграции линзы, являются: сезонные колебания уровня подземных вод, на которых флотирует линза [12, 13], изменения уровня поверхностных вод и их связанность с водоносными горизонтами⁶, наличие карстовых зон [11], мощность водозаборов за счет образования депрессионных воронок [14, 15]. Кроме того, для оценки состояния природно-техногенной системы применяют газогеохимические исследования грунтов в местах расположения линз загрязнителя [16].

4. Ресурсно-экологический подход к техногенным залежам.

Флюиды в геологической среде, накопленные в результате хозяйственной деятельности человека, с одной стороны оказывают негативное воздействие на окружающую среду, а с другой стороны могут являться техногенным месторождением, т.е. источником сырья. Для таких залежей не удовлетворительным оказывается как отдельно ресурсный подход, так и экологический. Под ресурсным подходом следует понимать извлечение флюида как сырья для последующего использования, т.е. фактически разработку техногенного месторождения с применением специального оборудования. С другой стороны, экологический подход подразумевает совокупность мероприятий по снижению негативного воздействия флюида на окружающую среду и предпола-

гает такие методы как: локализация, обезвреживание, рекультивация и др. [17, 18]. Флюид в данном случае представляется как отход или загрязняющее вещество. Наличие загрязнителя в окружающей среде обуславливает необходимость подбора методов по снижению его негативного воздействия [20, 21]. На основании данных суждений авторами предлагается ресурсно-экологический подход применимый для техногенных залежей в случае возможности повторного использования накопленных веществ от строительно-хозяйственной деятельности с одновременным снижением антропогенной нагрузки на геологическую среду и водные объекты. Помимо этого, на основании обзора литературных источников составлен план мероприятий по рассматриваемым объектам. Один из методов — трехмерное цифровое моделирование с помощью программного комплекса Petrel⁷.

5. Проведение лабораторных и опытно-промышленных исследований по реагентной санации.

В качестве первичной оценки возможности «отмывки» нефтезагрязненных пород были выбраны следующие реагенты:

- дистиллированная вода;
- кальцинированная сода концентрацией 20 г/л;
- Юниклин — техническое моющее средство (биоразлагаемое) 2,5 мл/л.

Грунт, загрязненный нефтепродуктом на 8,7 % массой 10 г.

Промывка осуществлялась за счет пропускания раствора реагента через закрепленный в сетке грунт со скоростью истекания жидкости 50 мл/мин.

В качестве лабораторной установки использовали прибор ПИК-ОФП-1-40-АР/РР 1236.

Исследования выполнялись по методике [22].

6. Альтернативные способы прогнозирования поведения техногенных залежей в породах зоны аэрации.

Природно-техногенную систему линза флюида — геосреда можно рассматривать не только в качестве фильтрационной системы в соответствии с законом Дарси [3], но и как колебательную систему, сопряженную с внешними системами и зависящую от них.

Объекты водопотребления, поверхностные и подземные водные объекты, а именно их режим можно описать графиком гармонических колебаний. Техногенная линза под воздействием притока и откачки (при наличии) самого флюида также описывается аналогичным графиком.

⁷ Программная платформа Petrel. URL: <http://sis.slb.ru/products/petrel/> (дата обращения: 20.03.2019).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Анализ состояния загрязненных геосред под площадками предприятий.

Сотрудниками СамГТУ проводятся многолетние комплексные исследования региональной геологической среды на предмет выявления глубинных очагов сосредоточения токсичных флюидов в диапазоне глубин от границы раздела «почва – породы зоны аэрации» до сосредоточения продуктивной толщи (0,5–100 м). Выделяют следующие горизонты распространения загрязняющих веществ:

- почвы;
- породы зоны аэрации;
- подземные и поверхностные водоисточники.

В табл. 3 в качестве критериев оценки нарушенности выступают следующие факторы в порядке снижения приоритета.

Каждый критерий оценивается баллом от 1 до 5. Суммарный балл составляет 45 баллов, где:

- 1–9 — практически ненарушенная геосреда;
- 10–18 — слабо нарушенная геосреда;
- 19–27 — средне нарушенная геосреда;
- 28–36 — сильно нарушенная геосреда;
- 37–45 — чрезвычайно нарушенная геосреда.

В соответствии с представленными критериями, наличие рассматриваемой техногенной линзы позволяет считать геосреду как чрезвычайно нарушенную.

Результатом исследований геологической среды на содержание и поведение индикаторного флюида выступает не только прогнозная оценка и мониторинг состояния загрязненной геосреды, но и разработка методов ее долгосрочной санации.

2. Основные характеристики геосреды и флюида.

По результатам лабораторных исследований пород под площадкой одного из предприятий Самарской области и последующей камеральной обработки были получены сведения о фильтрационных характеристиках пород, содержащих техногенную линзу нефтепродуктов. В табл. 4 представлены диапазоны фильтрационных характеристик по воде и нефтепродукту, как приоритетному загрязняющему агенту для различных пород.

3. Систематизация нарушенности геосреды по видам строительно-хозяйственной деятельности.

Поведение линзы в геологической среде в основном носит нестационарный характер и осложняется влиянием следующих факторов:

- откачка углеводородов с использованием действующей сети добывающих скважин;
- динамические и статические нагрузки на грунты;

- колебание уровня воды в поверхностных и подземных водных объектах, обеспечивающих подпор линзы;

- мощность водозаборов;

- геологические особенности района (наличие карстовых зон, залегание в трещиноватых породах, значительные уклоны в сторону области разгрузки).

Подтопление территории при инфильтрации углеводородов в больших количествах. Воздействие техногенной линзы углеводородов может усугубляться наличием карстовых зон и залеганием углеводородов в слоях трещиноватого доломита, играющего роль коллектора. Данное явление может сопровождаться накоплением газообразных и жидких углеводородов с последующим высачиванием в областях близкого расположения нефтепродуктов к поверхности. В случае инфильтрации углеводородов в геологические горизонты роль ограничителя распространения могут играть не только породы, но и подземные воды. Поэтому выделим основные направления влияния флюидов различной природы на геологическую среду и гидросферу:

- подтопление территории за счет утечек из сетей водоснабжения;

- подтопление с загрязнением геологической среды в связи с авариями в канализационных коллекторах;

- проливы углеводородов и других поллютантов на поверхности. Могут сопровождаться миграцией загрязняющих веществ в породах;

- глубинные (до 100 м) проникновения поллютантов в земную толщу за счет инфильтрации. При больших количествах технологических потерь и утечек может происходить как подтопление, так и загрязнение одновременно. Осложняющим фактором может стать изменение геологических параметров пород, таких как прочность, текучесть и т.д.

На основе представленной выше классификации можно расширить классификацию по направлениям хозяйственной деятельности:

- строительство;
- водоснабжение, водоотведение;
- авиакосмическая промышленность;
- автомобильная промышленность;
- энергетическая и топливно-энергетическая;
- нефтедобывающая, нефтедобывающая и нефтеперерабатывающая промышленность;
- химическая промышленность;
- гидротехнические сооружения.

4. Ресурсно-экологический подход к техногенным залежам.

Согласно исследованиям на одном из НПЗ Самарской области состав линз представляет собой преимущественно бензиновую фракцию, что созда-

Табл. 3. Критерии оценки степени нарушения

Table 3. Disorder extent estimation criteria

№ / Item	Наименование критерия / Criterion identifier	1	2	3	4	5
1	Уровень влияния / Influence level	Локальный / Local	Городской / Urban	Муниципальный / Municipal	Региональный / Regional	Федеральный / Federal
2	Токсичность загрязняющего вещества для окружающей среды и возможность превращений/разложения в окружающей среде / Pollutant toxicity for environment and human and possibility of environmental conversion/degradation	Биоразлагаем ¹ в течение трех лет и не сопровождается образованием токсичных веществ / Biodegradable ¹ within three years and is not accompanied by toxic substance formation	Разлагается более трех лет и не сопровождается образованием токсичных веществ / Degradable longer than three years and is accompanied by toxic substance formation	Разлагается более трех лет и сопровождается образованием мало токсичных веществ / Degradable longer than three years and is accompanied by toxic substance formation	Не разлагается / Nondegradable	Не разлагается или разлагается с образованием высокотоксичных веществ / Nondegradable or degradable with toxic substance formation
3	Глубина проникновения / Penetration depth	Почвы / Soils	Почвы и грунты до 3 м / Soils and grounds to 3 m	Грунты 3–10 м / Grounds 3 to 10 m	10–50 м / 10 to 50 m	Более 50 м / More than 50 m
4	Площадь загрязнения / Pollution area	Менее 5 м ² / Less than 5 m ²	5–100 м ² / 5 to 100 m ²	100–1000 м ² / 100 to 1000 m ²	1000–10 000 м ² / 1000 to 10 000 m ²	Более 10 000 м ² / More than 10 000 m ²
5	Скорость миграции, стабильность экспозиции / Migration speed, exposition stability	Стабильна (локализация не изменяется более 5 лет) / Stable (localization does not vary for more than 5 years)	Местонахождение изменяется 1–2 раза в течение 2–5 лет / Location varies 1 or 2 times within 2 to 5 years	Расположение флюида в грунтах изменяется 1 раз в год / Fluid location in soils varies once a year	Расположение флюида в грунтах изменяется 2–11 раз в год / Fluid location in soils varies 2 to 11 times a year	Расположение флюида в грунтах изменяется ежемесячно и чаще / Fluid location in soils varies once a month or more often
6	Наличие связанности вмещающего флюида горизонта с горизонтом подземных вод и поверхностным водным объектом / Presence of fluid level connection with groundwater level and surface water body	Нет / No	Есть, обнаружено загрязнение подземных непитательных вод или поверхностных вод / Available; ground non-potable water or surface water pollution found	Есть, обнаружено загрязнение поверхностных вод и непитательных подземных вод / Available; ground non-potable water and surface water pollution found	Есть, обнаружено загрязнение подземных питательных вод / Available; ground potable water pollution found	Есть, обнаружено загрязнение подземных питательных вод / Available; ground potable water and surface water pollution found
7	Наличие случаев высачивания загрязняющих флюидов / Presence of pollutant fluid infiltration cases	Нет / No	1–2 раза в год и реже / 1 to 2 times a year and less often	До 1 раза в 2 месяца / up to 1 time bimonthly	1–2 раза в месяц / 1 to 2 times a month	3 раза в месяц и чаще / 3 times a month and more often

Окончание табл. 3

№ / Item	Наименование критерия / Criterion identifier	1	2	3	4	5
8	Наличие успешно применяемых неразрушающих методов ликвидации залежей такого рода / Presence of successfully used non- destructive methods for eliminating deposits of this type	Есть НДТ, патенты и нормативный правовой акт (НПА), стандарты / There are best available technologies, patents, regulatory legal act and standards	Есть действующие стандарты РФ или НПА / There are standards of the Russian Federation in ef- fect or regulatory legal act	Есть патенты или международный опыт / There are patents or inter- national experience	Есть научные статьи / There are research papers	Нет / No
9	Изменение свойств грунтов: плотность, пористость, снижение несущих характеристик / Soil property variation: density, porosity, load-bearing capacity degradation	Не изменяются или изначально не предусмотрены для строительства без дополнительных мероприятий / Do not vary or is not initially provided for construc- tion without supplemental measures	Незначительно изменяется, условно пригодны для строительства с ограничениями / Vary insignificantly, convention- ally valid for construction with restrictions	Изменяется и необходимы мероприятия по укреплению грунтов / Vary and soil stabilization measures are necessary	Изменяется и необходимы специальные сооружения по укреплению грунтов / Vary and special soil stabilization facilities are necessary	Грунты становятся непригодными для строительства / Soils become invalid for construction

Примечание: ¹ — снижение концентрации до значения ПДК.

Note: ¹ concentration decrease down to MPC value.

Табл. 4. Фильтрационные свойства инженерно-геологических элементов

Table 4. Filtration properties of engineering geological elements

Вид грунта / Type of soil	Пористость, % / Porosity, %	Коэффициент фильтрации нефтепродукта, м/сут / Oil product filtration factor, m/day
Галечниковые и гравийные грунты / Flint and gravel soils	25–30	—
Доломиты / Dolomites	24,7	60–90
Почва (по торфу малоразложившемуся) / Soil (by underrotten turf)	50–55	5–20
Песчаные грунты / Sand soils	1,6–26	60–70
Супеси / Clay sands	40–45	—
Суглинки / Sandy clays	45–50	0,5–2,0
Глины / Clays	50–65	0,01–0,4

Рис. 1. Схема ресурсно-экологического подхода к системе

Fig. 1. Diagram of resource and ecological approach to system

ет предпосылку к эффективному использованию накопленных нефтепродуктов. На рис. 1 представлена схема стратегического подхода к таким месторождениям.

В связи с тем, что техногенная линза является, с одной стороны, предметом ресурсного использования, а с другой — предметом восстановления предложены следующие этапы ее ликвидации:

1. Мониторинг:

- отслеживание уровней воды в поверхностных объектах, наблюдательных скважинах, а также мощности слоя нефтепродуктов в течение года;
- контроль качественного и количественного состава подземных и поверхностных вод;
- моделирование техногенной залежи с возможностью последующего прогнозирования ее поведения и эффективного принятия решений о расширении сети скважин, проектирования сооружений защиты и способов очистки геосреды.

2. Локализация:

- локализация нефтепродуктов в недрах с помощью сооружений и/или методов экологической защиты;

- контроль эффективности сооружений защиты.
- #### 3. Извлечение углеводородов:
- интенсификация извлечения за счет оптимизации режимов работы насосного оборудования для откачки нефтепродуктов;

- расширение сети добывающих скважин (при необходимости);
- использование экологически безопасных реагентов для увеличения нефтеотдачи.

4. Проведение работ по очистке геологической среды от оставшихся нефтепродуктов с использованием реагентов:

- подбор экологически безопасных реагентов;
- выбор оптимальных концентраций, условий и мест закачки реагентов в геосреду, с последующим отслеживанием процесса отмывки.

Первый этап представляет собой мониторинг природно-техногенной системы, а также значительный объем работ по интерпретации получаемых данных в виде цифровой модели. Трехмерное цифровое моделирование в рамках данной задачи позволяет оптимизировать процесс принятия решений на последующих этапах: расширение сети наблюда-

тельных и эксплуатационных скважин, выбор мест и условий закачки saniрующих реагентов и т.д.

В связи с тем, что программное обеспечение широко применяется в основном для природных месторождений нефти, в рамках исследования проводится адаптация существующего программного комплекса Petrel под условия техногенной залежи. Главными отличиями объекта настоящей работы от природных коллекторов являются: глубина залегания, давление и температура в пласте, влияние на объект поверхностных и подземных вод, а также влияние водозаборов и динамических нагрузок на грунты за счет строительства капитальных сооружений, сопряженность с водоносными горизонтами. На рис. 2 и 3 представлена модель нефтяной линзы.

Вторая стадия представляет собой локализацию техногенной залежи. Совокупность инженерных мероприятий позволяет снизить риски дальнейшего распространения нефтепродуктов в геологической среде, а, следовательно, сократить площадь территории исследований и подверженную антропогенной нагрузке.

Извлечение углеводородов на базе результатов мониторинга предполагает ресурсный подход

к нефтяной линзе, т.е. извлечение с последующим использованием углеводородного сырья. Данный подход обеспечивает вторичное использование ресурсов, а также повышает экономическую целесообразность ликвидации объекта накопленного экологического ущерба.

Последний этап представляет собой природоохранные мероприятия, направленные на восстановление загрязненной нефтепродуктами геологической среды, а также водных объектов. За счет использования экологически безопасных реагентов достигается отсутствие вторичного загрязнения окружающей среды и ее очистка.

5. Проведение лабораторных и опытно-промышленных исследований по реагентной санации.

Основным параметром, влияющим на выбор направления санации загрязненной геосреды, выступает коэффициент фильтрации пород, в которые поступил загрязняющий агент. Известны диапазоны значений коэффициента фильтрации для инженерно-геологических элементов (песков, суглинков, глин и т.д.), применительно к инфильтрации в толще воды и близких к ней по вязкости жидкостей.

Условные обозначения (сверху вниз) / Legend (top-down)

- Зона аэрации / Aeration zone
- Нефтепродукты / Oil products
- Напорный горизонт подземных вод / Pressure ground water level
- Проекция на плоскость / Plane projection
- Скважина / Borehole

Рис. 2. Объемный абрис линзы углеводородов

Fig. 2. Hydrocarbon lens 3D outline

Рис. 3. Интерпретация в программном обеспечении Surfer

Fig. 3. Interpretation in Surfer software

Между тем фильтрация нефтепродуктов, как жидкостей с вязкостью отличной от воды, до сих пор изучена недостаточно. Особенно это относится к породам зоны аэрации с геомеханическими характеристиками, отличающимися от своих аналогов на глубинах продуктивной толщ.

Также представляет интерес изучение коэффициента фильтрации грунтов, поры которых насыщены углеводородами приблизительно до 50–70 % объема. В пограничных зонах (на границе раздела фаз «твердое вещество – жидкость») наблюдается так называемое «стеснение» потока, вызванное ухудшением отрыва частиц углеводородов и их транспортом в поток. Для подобных образцов геосреды предпочтительным направлением санации выступает введение в толщу (через систему нагнетательных скважин) специальных флокулянтов. При этом происходит кондиционирование геосреды, перевод связанных загрязнений в свободное состояние с последующим оттоком в области разгрузки и, окончательно, очисткой загрязненной среды от нефтепродуктов. В некоторых случаях интенсификация очистки побуждается методами пропарки,

продувки или «отмывки» геосреды горячей водой под давлением.

Однако все представленные выше методы немислимы без изучения фильтрационных характеристик загрязненных инженерно-геологических элементов, как «каналов» приложения методов кондиционирования, промывки, пропарки и др.

Исследования по изменению фильтрационных характеристик грунтов применительно к нефтенасыщенным образцам инженерно-геологических элементов (три образца — глины, пески и доломиты) проводили как в лабораторных, так и полупромышленных условиях.

Часть лабораторных образцов отбиралась непосредственно из геосреды с выборкой нефтенасыщения в диапазонах 10–30, 30–70, 70–100. Отдельные образцы, ввиду отсутствия требуемых для достоверной выборки концентраций готовились модельно, путем смешения (прокачки, выдержки) навесок грунта в бензине 95 марки.

В образцы нефтенасыщенных грунтов добавлялся флокулянт марки «Юниклин» в диапазонах доз от 1 до 10 мг на килограмм грунта. Погреш-

Рис. 4. Результаты определения коэффициента фильтрации по нефтепродукту

Fig. 4. Results of determination of oil product filtration factor

ность дозирования флокулянта составляла до 10 %. На графике (рис. 4) представлены полученные зависимости.

6. Альтернативные способы прогнозирования поведения техногенных залежей в породах зоны аэрации.

Таким образом, все компоненты геосистемы могут быть представлены как объекты вынужденной колебательной системы, имеющие свои значения амплитуды, фазы, частоты и периода. Причем значения для каждого компонента разнятся. В отдельных случаях колебания компонентов могут совпадать, а в других наоборот находиться в противофазах. Например, при повышении уровня воды в поверхностном водном объекте наблюдается подпор техногенной линзы, что блокирует флюид в горизонтах пород зоны аэрации и наоборот. На рис. 5 представлен график колебаний природно-техногенной системы, состоящей из:

- Водозабора № 1 — характеризуется мощностью водозабора, в процентах от годового забора.
- Водозабора № 2 — характеризуется мощностью водозабора, в процентах от годового забора.
- Водохранилища — характеризуется колебанием уровня воды в течение года, м.
- Суммарной добычи нефтепродуктов сетью добывающих скважин, в процентах от годовой добычи.

На графике видно, что в паводок (приходится на март–май) объем откачиваемого флюида значительно падает, что обусловлено подпором подземных вод, чей уровень находится в зависимости

от уровня воды в поверхностном водном объекте, а именно водохранилище и сезонных явлений. В меженный период наблюдается обратная зависимость — суммарная добыча углеводородов значительно возрастает при снижении уровня воды в водохранилище. Важно отметить, что мощность водозабора из артезианских скважин в целом не зависит от паводково-меженных явлений. Однако, возможно, величина водопотребления определяется численностью населения и текущим сезоном. Сезон дачных работ сопровождается увеличением добычи подземных вод. Данный факт отражен на графике в виде увеличения мощности водозабора в летние месяцы.

При анализе графика были рассчитаны основные характеристики колебательной системы, наблюдаемой в течение двух лет. Результаты представлены в табл. 5. В перспективе мониторинг будет продолжен, и выборка статистических данных увеличена.

Из табл. 5 видно, что компоненты природно-техногенной системы имеют разные периоды, амплитуды и фазы колебаний, что влечет за собой появление (и это видно на графике) моментов, в которые колебания систем находятся в противофазе. В связи с этим можно рекомендовать интенсификацию откачки нефтепродуктов из линзы именно в интервалах противофаз с уровнем воды в водохранилище. Увеличение объемов добычи нефтепродуктов способствует снижению объемов линзы, что в свою очередь позволяет сократить сроки ее ликвидации, а, следовательно, снизить негативное воздействие на окружающую среду со стороны техногенной залежи.

Рис. 5. Колебания элементов природно-техногенной системы

Fig. 5. Fluctuations of natural and technogenic system elements

Табл. 5. Основные характеристики колебательных систем

Table 5. Main parameters of fluctuation systems

Компонент геосистемы / Geosystem component	Амплитуда / Magnitude	Фаза / Phase	Частота / Frequency	Период, мес. / Period, month
Суммарная добыча / Total production	4,76	2,53	0,083	12
Уровень воды в водохранилище / Reservoir water level	0,20871	−0,00721	0,059	17
Объем водоотбора № 1 / Water extraction No. 1 volume	0,96	2,85	0,316	3,16
Объем водоотбора № 2 / Water extraction No. 2 volume	0,545	3,37	0,316	3,16

Важно отметить, что периодичность колебаний может нарушаться под воздействием следующих факторов:

- свойства пород, в которых залегает линза, имеют разную природу (гидрофобны, гидрофильны);
- структура пород различна — хорошо фильтрующие пески или породы трещиноватого типа;

- глубина залегания и условия в горизонте залегания;
- свойства самого флюида, его вязкость, плотность и вид взаимодействия с водой;
- гидрологический режим — наличие объектов водоснабжения, водоотведения, гидротехнических сооружений, а также характер режима их работы;

- наличие связанности с природными водными объектами и климатическими явлениями;
- проведение или наоборот не проведение работ по ликвидации техногенной залежи.

Таким образом, при известных величинах амплитуды, фазы, частоты и периода колебаний каждого компонента системы, можно моделировать и прогнозировать скорость и направление миграции линз, а также рекомендовать временные периоды с оптимальными условиями для откачки нефтепродуктов из геосреды. Интенсификация добычи углеводородного сырья позволит не только увеличить объемы полезного продукта, но и локализовать поллютант, со временем снизить наносимый им ущерб на окружающую среду.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящей статье был сформирован подход и методологическая основа к анализу геологической системы, состоящей из техногенной линзы, геосреды и областей разгрузки искусственного и природного происхождения. Так как природные месторождения внешнему воздействию за исключением собственно добычи не подвержены (микросейсмикой можно пренебречь), то линза как природно-техногенная система подвержена нестационарному и неоднородному во времени воздействию: подпор и разгрузка в паводково-меженный период, водоза-

боры на базе артезианских скважин. Таким образом, прогнозирование и анализ распространения флюидов загрязняющих веществ в недрах представляет собой сложную задачу. Авторы предлагают использовать ресурсно-экологический подход для одновременного сбора флюида и санации геологической среды. Для увеличения эффективности исследования и прогнозирования миграции веществ в недрах рекомендуется использовать методы трехмерного цифрового моделирования.

Авторы также предлагают исследовать фильтрационные характеристики пород по двум веществам: по воде и основному флюиду (в настоящей статье — нефтепродукт).

В качестве способа санации геологической среды предлагается использовать биологически разлагаемые поверхностно-активные вещества. Данный выбор обусловлен тем, что поверхностно-активные вещества позволяют «отмыть» породы и при этом не увеличить нагрузку на окружающую среду.

Так же авторы предлагают альтернативные способы прогнозирования миграции техногенных залежей в геологической среде. Идея заключается в создании численной модели на основе анализа данных об амплитудах, фазах, периодах и частоте колебаний уровней воды и флюида, позволяющей прогнозировать периоды наиболее эффективной нефтедобычи и предлагать методы контроля природно-техногенной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анисимова Н.Г., Бузова В.Н., Викторов А.С., Демин А.М., Дзекцер Е.С., Егоров Ю.К. и др. Природные опасности России. Т. 3. Экзогенные геологические процессы / под общ. ред. В.И. Осипова, С.К. Шойгу. М.: КРУК, 2002. 348 с.
2. Коньгин А.А. Комплексная технология очистки фильтрата полигонов захоронения твердых бытовых отходов // Academia. Архитектура и строительство. 2011. № 4. С. 105–109 URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-tehnologiya-ochistki-filtrata-poligonov-zahoroneniya-tverdyh-bytovykh-othodov>.
3. Быков Д.Е., Чертес К.Л., Петренко Е.Н., Тупицына О.В., Пыстин В.Н., Подъячев А.А. Санация недр территории нефтеперерабатывающих заводов // Экология и промышленность России. 2019. Т. 23. № 3. С. 9–13. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-3-9-13
4. Разумов В.В., Молчанов Э.Н., Разумова Н.В., Шагин С.И. Подтопление земель в Приволжском регионе России // Наука. Инновации. Технологии. 2017. № 2. С. 159–186. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podtoplenie-zemel-v-privolzhskom-regione-rossii>
5. Чертес К.Л., Тупицына О.В., Мартыненко Е.Г., Смородин Д.В., Быков Д.Е., Слесарев М.Ю. Геоэкологическая оценка нарушенных территорий и их восстановление материалами на основе крупнотоннажных шламовых отходов // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 10. С. 38–43. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-10-38-43
6. Кодина Л.А. Геохимическая диагностика нефтяного загрязнения почвы // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. М.: Наука, 1988. С. 112–122.
7. 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.
8. Усманов А.Х. Техногенные залежи углеводородов на территории г. Грозный: геоэкологические проблемы и пути их решения // Геология и геофизика Юга России. 2017. № 2. С. 106–115. DOI: 10.23671/vnc.2017.2.9495

9. Михайлова А.А., Попова Л.Ф., Наквасина Е.Н. Эколого-биологические особенности загрязнения нефтепродуктами почв Архангельска. Архангельск, 2016. 150 с.

10. Савенок В.Е., Шаматурская Е.В. Определение нефтепроницаемости почв и грунтов расчетным методом // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. 2014. № 1 (79). С. 44–49.

11. Сологачев В.И. Фильтрационные расчеты и компьютерное моделирование при защите от подтопления в городском строительстве. Омск : Изд-во СибАДИ, 2002. 415 с.

12. Задкова А.Г., Медведев К.С. Геологическое моделирование техногенных линз // Естественные и технические науки: тезисы докладов XLV-й Самарской обл. студ. науч. конф. Самара, 9–19 апреля 2019 г. Ч. I / отв. ред. А.Ф. Крутов. Самара : Самарский университет, САМАРАМА, 2019. С. 51.

13. Розенберг Г.С., Саксонов С.В. Голубая книга Самарской области: редкие и охраняемые гидробиоценозы. Самара : ИЭВБ РАН, 2007. 199 с.

14. Величко С.В., Акатнов Э.К. Депрессионные воронки крупных водозаборов как фактор загрязнения пресных подземных вод Краснодарского края // Инновационная наука. 2018. № 5–2. С. 22–25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/depressionnye-voronki-krupnyh-vodozaborov-kak-faktor-zagryazneniya-presnyh-podzemnyh-vod-krasnodarskogo-kрая>

15. Tian X. Analysis on hydrochemical characteristics of groundwater in strongly exploited area in Hutuo River Plain // Journal of Groundwater Science and Engineering. 2017. Vol. 5. No. 2. Pp. 130–139.

16. Шатковская Р.М., Устинова Г.В. Методика оценки нефтепродуктового загрязнения геологической среды на отдельных объектах Поволжья // Разведка и охрана недр. 2010. № 10. С. 70–73. URL: <http://www.hydrogeoecology.ru/index.php/>

biblioteka-gidek/zhurnaly/razvedka-i-okhrana-nedr-10-2010-g/43-metodika-otsenki-nefteproduktovogo-zagryazneniya-geologicheskoy-sredy-na-otdelnykh-obektakh-povolzhya

17. Гайрабеков У.Т. Разработка научно обоснованных мероприятий по экологической реабилитации почвогрунтов и подземных вод г. Грозный // Фундаментальные исследования. 2014. № 6–4. С. 742–746. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34232>

18. Khaustov A., Redina M. Justification of optimal methods of rehabilitation of geological environment at the leaks of oil products during their storage // Proceedings of SPE Arctic and Extreme Environments Conference & Exhibition. 2013. P. 23. DOI: 10.2118/166960-ms

19. Khaustov A., Redina M. The risks of changes of soils properties at the transformation of oil pollutions of geological environment under the influence of living matter // Proceedings of SPE Arctic and Extreme Environments Conference & Exhibition. 2013. P. 21. DOI: 10.2118/166946-ms

20. Ахмадова Х.Х., Идрисова Э.У., Такаева М.А. Проблема техногенных залежей в российских регионах // Международный научно-исследовательский журнал. 2013. № 8–4 (15). С. 69–73. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017

21. Khaustov A., Redina M., Khaustova N., Khutorova A., Shirokova V. Pollution of grounds with oil and petroleum products from the point of view of synergetics (kinetic approach) // International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2016. Book 5. Vol. 2. С. 619–626. DOI: 10.5593/SGEM2016/B52/S20.080

22. Бабицкая К.И. Интенсификация добычи высоковязкой нефти и ограничения водопритока мицеллярными растворами селективного действия : дис. ... канд. техн. наук. Бугульма, 2017. 20 с.

Поступила в редакцию 17 июня 2019 г.

Принята в доработанном виде 31 июля 2019 г.

Одобрена для публикации 27 августа 2019 г.

О Б 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;

Александр Моисеевич Штеренберг — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой общей физики и физики нефтегазового производства; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 175819, Scopus: 57192676186, ORCID: 0000-0001-8909-7598; ashter53@mail.ru;

Елена Николаевна Петренко — аспирант; **Самарский государственный технический университет (СамГТУ)**; 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, д. 244; РИНЦ ID: 1008221, Scopus: 57207910685, ORCID: 0000-0003-3821-1981; shn.007@mail.ru.

REFERENCES

1. Anisimova N.G., Burov V.N., Viktorov A.S., Demin A.M., Dzekter E.S., Egorov Y.K. et al. *Natural hazards of Russia. Vol. 3. Exogenous geological processes* / ed. V.I. Osipov, S.K. Shoigu. Moscow, KRUK Publ., 2002; 348. (rus.).
2. Konygin A.A. Complex technology for filtrate treatment at solid domestic waste landfills. *Academia. Architecture and construction*. 2011; 4:105-109. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnaya-tehnologiya-ochistki-filtrata-poligonov-zahoroneniya-verdyh-bytovyh-othodov> (rus.).
3. Bykov D.E., Chertes K.L., Petrenko E.N., Tupitsyna O.V., Pystin V.N., Pod'yachev A.A. Remediation of mineral resources polluted by oil refineries. *Ecology and Industry of Russia*. 2019; 23(3):9-13. DOI: 10.18412/1816-0395-2019-3-9-13 (rus.).
4. Razumov V.V., Molchanov E.N., Razumova N.V., Shagin S.I. Flooding of lands in the Volga region of Russia. *Science. Innovation Technology*. 2017; 2:159-186. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/podtoplenie-zemel-v-privolzhskom-regione-rossii> (rus.).
5. Chertes K.L., Tupitsyna O.V., Martynenko E.G., Smorodin D.V., Bykov D.E., Slesarev M.Yu. Geoecological evaluation and reconstruction of violated territories by materials on the basis of large-twin sludge wastes. *Ecology and Industry of Russia*. 2017; 21(10):38-43. DOI: 10.18412/1816-0395-2017-10-38-43 (rus.).
6. Kodina L.A. *Geochemical diagnosis of oil pollution of the soil*. Restoration of oil-contaminated soil ecosystems. Moscow, Science Publ., 1988; 112-122. (rus.).
7. Akhmadova H.H., Makhmudova L.S., Musaeva M.A. Grozny technogenic beds of hydrocarbons: history, production, processing, ecological problems. *In the World of Scientific Discoveries*. 2013; 1-1(37):258-283. (rus.).
8. Usmanov A.Kh. Anthropogenic deposits of hydrocarbon raw materials in Grozny: geo-ecological problems and solutions. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2017; 2:106-115. DOI: 10.23671/vnc.2017.2.9495 (rus.).
9. Mikhailova A.A., Popova L.F., Nakvasina E.N. *Ecological and biological features of oil pollution of soils of Arkhangelsk*. Arkhangelsk, 2016; 150. (rus.).
10. Savenok V.E., Shamatul'skaya E.V. Determination of oil permeability soil and ground settlement method. *Bulletin of the Vitebsk State University*. 2014; 1(79):44-49. (rus.).
11. Sologayev V.I. *Filtration calculations and computer modeling for protection against flooding in urban construction: a monograph*. Omsk, Publishing house SibADI, 2002; 416. (rus.).
12. Zatkova A.G., Medvedev K.S. Geological modeling of the induced lens. *Natural and technical Sciences: abstracts of the XLVth Samara oblast. stud. scientific. conf. Samara, 9-19 April 2019. Part I / ed. A.F. Krutov*. Samara, Samara University, SAMARAMA Publ., 2019; 51. (rus.).
13. Rosenberg G.S., Saxonov S.V. *Blue Book of the Samara Region: Rare and protected hydrobiocenoses*. Samara, 2007; 199. (rus.).
14. Velichko S.V., Akatnov E.K. Depression funnels of large water intakes as a factor in the pollution of fresh underground waters of the Krasnodar Territory. *Innovation Science*. 2018; 5-2:22-25. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/depressionnyye-voronki-krupnyh-vodozaborov-kak-faktor-zagryazneniya-presnyh-podzemnyh-vod-krasnodarskogo-kрая> (rus.).
15. Tian X. Analysis on hydrochemical characteristics of groundwater in strongly exploited area in Hutuo River Plain. *Journal of Groundwater Science and Engineering*. 2017; 5(2):130-139.
16. Shatkovskaya R.M., Ustinova G.V. Methodology for assessing petroleum product pollution of the geological environment at individual Volga area objects. *Mineral exploration and protection*. 2010; 10:70-73. URL: <http://www.hydrogeoecology.ru/index.php/biblioteka-gidek/zhurnaly/razvedka-i-okhrana-nedr-10-2010-g/43-metodika-otsenki-nefteproduktovogo-zagryazneniya-geologicheskoy-sredy-na-otdelnykh-obektakh-povolzhya> (rus.).
17. Gairabekov U.T. Development of scientifically based measures for environmental rehabilitation of soil and groundwater in Grozny. *Fundamental research*. 2014; 6-4:742-746. URL: <http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=34232> (rus.).
18. Khaustov A., Redina M. Justification of optimal methods of rehabilitation of geological environment at the leaks of oil products during their storage. *Proceedings of SPE Arctic and Extreme Environments Conference & Exhibition*. 2013; 23. DOI: 10.2118/166960-ms
19. Khaustov A., Redina M. The risks of changes of soils properties at the transformation of oil pollutions of geological environment under the influence of living matter. *Proceedings of SPE Arctic and Extreme Environments Conference & Exhibition*. 2013; 21. DOI: 10.2118/166946-ms
20. Akhmadova Kh.Kh., Idrisova E.U., Takayeva M.A. The problem of technogenic beds is in Russian regions. *International Research Journal*. 2013; 8-4(15):69-73. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017 (rus.).
21. Khaustov A., Redina M., Khaustova N., Khutorova A., Shirokova V. Pollution of grounds with oil and petroleum products from the point of view of synergetics (kinetic approach). *International Multi-disciplinary Scientific GeoConference SGEM*. 2016; 5(2):619-626. DOI: 10.5593/SGEM2016/B52/S20.080
22. Babickaya K.I. *Intensification of high-viscosity oil production and limit water inflow micellar solutions selective action : dis. ... candidate of technical Sciences*. Bugulma, 2017; 20. (rus.).

Received June 17, 2019.

Adopted in an amended form on July 31, 2019.

Approved for publication August 27, 2019.

B I O N O T E S: **Konstantin L. Chertes** — Doctor of Technical Science, Professor of the department of Chemical technology and industrial ecology; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 185126, Scopus: 16308870400, ORCID: 0000-0002-3353-4768; chertes2007@yandex.ru;

Alexander M. Shterenberg — Doctor of Technical Science, Professor, Head of the department of General Physics and Physics of Oil and Gas Production; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 175819, Scopus: 57192676186, ORCID: 0000-0001-8909-7598; ashter53@mail.ru;

Elena N. Petrenko — postgraduate; **Samara State Technical University (SSTU)**; 244 Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100, Russian Federation; ID RISC: 1008221, Scopus: 57207910685, ORCID: 0000-0003-3821-1981; shn.007@mail.ru.