

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ

УДК 504.054

ПРОБЛЕМЫ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОРОД ЗОНЫ АЭРАЦИИ ОТ ТЕХНОГЕННЫХ ЛИНЗ ЗАГРЯЗНЕНИЙ

© 2020 г. К. Л. Чертес^{1,*}, О. В. Тупицына^{1,**}, В. Н. Пыстин^{1,***}, Е. Н. Петренко^{1,****}

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

*e-mail: chertes2007@yandex.ru

**e-mail: olgatupicyna@yandex.ru

***e-mail: vitaliy.pystin@yandex.ru

****e-mail: shn.007@mail.ru

Поступила в редакцию 14.10.2019 г.

После доработки 18.10.2019 г.

Принята к публикации 18.10.2019 г.

В статье рассматривается проблема образования, исследования техногенных линз, предлагаются методы оценки состояния и подходы к инженерной защите и восстановлению загрязненной геологической среды. Применяются общепринятые методики, передовые научные исследования. Источниками служат фондовые материалы и отчеты государственных органов. В качестве объектов исследования выступают породы зоны аэрации, загрязняющие вещества и водные объекты. Представлены методологические подходы к исследованию, мониторингу и оценке линз загрязняющих веществ, образованных в результате техногенеза. Рассмотрены методы локализации и ликвидации техногенной залежи. В качестве способа оценки и интерпретации использованы способы трехмерного моделирования, и реализован подход в техногенной линзе как к системе вынужденных колебаний. Предложены метод ресурсно-экологической оценки техногенных залежей жидких флюидов, использующий инструменты трехмерного цифрового моделирования, а также реагенты для санации и восстановления геологической среды после извлечения полезного углеводородного сырья.

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

DOI: 10.31857/S0869780920010038

ВВЕДЕНИЕ

Строительно-хозяйственная деятельность сопровождается формированием техногенных линз химических веществ под производственными территориями, установками, сооружениями и линиями коммуникаций, в том числе трубопроводами. Линзы трансформируются под действием окружающей среды и мигрируют сквозь геологические элементы, оказывая негативное воздействие на геосреду, подземные воды, поверхностные водные объекты и объекты питьевого водоснабжения. Примером “линз” выступают обводненные залежи нефтепродуктов под площадками нефтеперерабатывающих заводов (далее – НПЗ), резервуарных парков и коммуникаций.

В виду этого, разработка методики ресурсно-экологической оценки загрязненной геологиче-

ской среды становится актуальной задачей. Основными задачами исследования являлись:

- обзор и анализ существующих методов оценки состояния загрязненных геосред под создаваемыми и существующими производственными площадками и их восстановления;
- трехмерное моделирование поведения линз техногенной природы, как наиболее наглядного примера деградации пород зоны аэрации, прогноза миграции загрязняющих веществ;
- разработка системы параметрической и критериальной оценок состояния природно-техногенной системы: “скважина–загрязняющее вещество–порода зоны аэрации–область разгрузки”;
- проведение лабораторных и опытно-промышленных исследований по санации нарушенной геосреды в границах зоны аэрации с учетом

соответствия вида реагента выделенному типу геосреды или ее отдельным элементам.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В общем случае работы с природно-техногенными системами (далее ПТС) и техногенными загрязнениями представлены этапами изысканий, включающих рекогносцировочное и аналитическое исследования, полевые работы, анализ и структуризацию данных, подбор методов ликвидации загрязнения, авторский надзор и мониторинг¹. Эффективно себя показали методики [5, 7] включающие атмогеохимическую съемку, бурение параметрических скважин, оконтуривание площади плавающих на поверхности подземных вод линз нефтепродуктов. Однако нестационарный режим подземных вод, многокомпонентность загрязнений и влияние внешних факторов [1, 2] затрудняют исследование и восстановление ПТС. Необходим поиск новых методов оценки состояния техногенных линз, а также технологических подходов к обращению с ними [1]. Одним из инновационных направлений оценки является трехмерное моделирование нарушенной геосреды. Оно не только позволяет прогнозировать миграцию загрязнений с подземными водами, но и наметить пути их извлечения, а также сократить продолжительность проектно-изыскательской деятельности по сравнению с классическими подходами. Трехмерное моделирование позволяет оперативно и обосновано принимать решения о необходимости бурения новых скважин и проектирования защитных сооружений и подборе методов санации.

Для санации геосреды в пределах пород зоны аэрации используются различные методы: микробиологические, низкотемпературная десорбция, стабилизация, откачка порового воздуха, химическое окисление, фиторемедиация, откачка нефтепродуктов [4]. Существуют подходы, которые используют в технологиях повышения нефтеотдачи пластов. К ним относят различные виды ПАВ-заводнения [8, 9], которые предлагаются для санации, загрязненной геосреды.

Расположенные под площадками промпредприятий техногенные линзы загрязняющих веществ не регламентируются существующими нормативно-правовыми актами в качестве объектов негативного воздействия. Аналогами можно рассматривать месторождения нефти и объекты негативного воздействия: разливы нефтепродуктов, накопители отходов.

¹ СП 47.13330.2016 Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 11-02-96. <http://docs.cntd.ru/document/456045544>

Природные залежи нефти подразумевают под собой ресурсную оценку объектов, находящихся на больших глубинах и их разработку с получением полезного продукта [3]. Для второй группы применим другой метод оценки – расчет нанесенного ущерба окружающей среде², то есть объекты рассматриваются как источник загрязняющего вещества [6]. Так как техногенные линзы загрязняющих веществ имеют свойства обеих групп, для их оценки следует применять комплекс ресурсных и экологических критериев.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования выступают элементы геологической среды в составе загрязненных пород зоны аэрации, техногенной линзы токсичных жидких флюидов, а также их взаимосвязь с природными и создаваемыми объектами разгрузки подземных вод. Особенностью исследуемой ПТС является зависимость техногенной линзы от внешних воздействий: изменение уровней подземных и поверхностных вод, как в ходе хозяйственной деятельности, так и в результате сезонных изменений, возможной откачкой флюидов из недр, наличия технологических потерь в геосреду.

Основными методами работы являлись анализ, синтез, моделирование, экспериментальное изучение и опробование элементов геологической среды.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для охвата всех возможных воздействий на геологическую среду, загрязненную нефтепродуктами, предложена следующая схема исследования, анализа и последующей ликвидации техногенной залежи (рис. 1).

Основным отличием от традиционной схемы является введение блока моделирования: статического и динамического с использованием программного обеспечения Petrel и Surfer. Кроме того, авторы предлагают учитывать влияние на техногенную линзу водных объектов: водозаборов, водохранилищ, подземных вод, скважин с помощью применения законов поведения колебательно-волновых систем.

² ГОСТ Р 54003-2010 Экологический менеджмент. Оценка прошлого накопленного в местах дислокации организаций экологического ущерба. Общие положения. <http://docs.cntd.ru/document/1200082700>

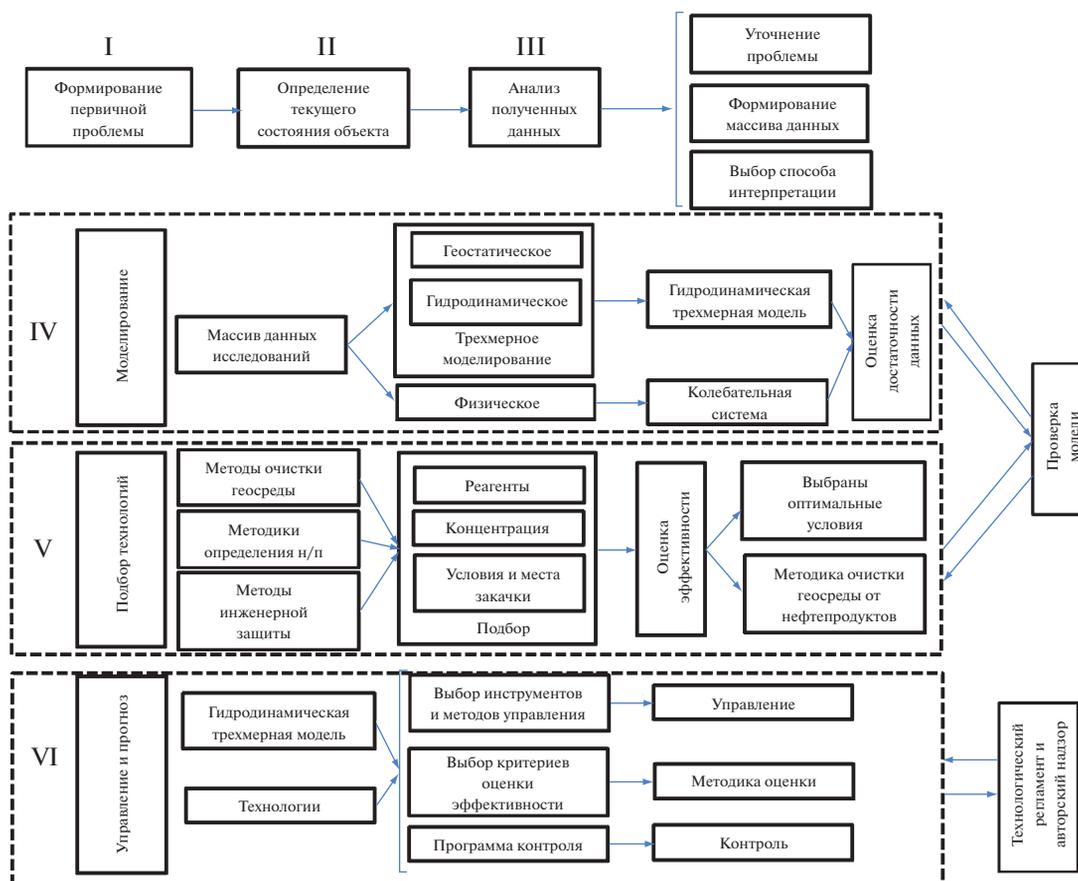


Рис. 1. Алгоритм работы с ПТС.

На основании данных статической геологической модели получают данные о запасах углеводородов в техногенной залежи, которые позволяют оценить экономическую целесообразность дальнейшей разработки и создают граничные условия к подбору методов эксплуатации или ликвидации линзы.

Гидродинамическая модель позволяет воспроизводить и прогнозировать поведение углеводородных флюидов в геологической среде с учетом внешних факторов: направление и скорость движения линзы в сторону областей разгрузки; предлагать и обосновывать сети скважин; выбирать периоды и режимы извлечения нефтепродуктов и закачки реагентов для восстановления.

Подход к ПТС, как к системе вынужденных колебаний, обеспечивает подбор режимов откачки углеводорода и позволяет проводить оценку рисков и периодов возникновения неблагоприятных гидрогеологических условий.

Подбор реагентов для санации геологической среды осуществлялся в лабораторных условиях с использованием фильтрационных установок. Анализ показал, что из всех рассмотренных авторами веществ наилучшие результаты достигнуты

с применением биоразлагаемого флокулянта Юниклин.

ВЫВОДЫ

Предложенные авторами методологические подходы к исследованию, мониторингу и оценке линз жидких флюидов позволяют упростить в перспективе обращение аналогичными объектами. Методика оценки позволила определить состояние техногенной линзы углеводородов в геосреде.

Адаптация программного обеспечения для разработки природных месторождений для моделирования техногенных линз позволяет сократить экономические затраты для компаний нефтегазового комплекса, предложить наиболее эффективные и экономически целесообразные методы локализации и ликвидации техногенной залежи с помощью методов инженерной защиты и оптимизации режимов откачки нефтепродуктов и подтоварной воды. Кроме того, рассмотрен альтернативный способ моделирования с использованием подхода к техногенной залежи, как к колебательной системе.

Предложены реагенты для санации и восстановления геологической среды после извлечения полезного углеводородного флюида.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Быков Д.Е., Чертес К.Л., Петренко Е.Н., Тупицына О.В., и др. Санация недр территории нефтеперерабатывающих заводов // Экология и промышленность России, 2019. Т. 23. № 3. С. 9–13. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-3-9-13>
2. Величко С.В., Акатнов Э.К. Депрессионные воронки крупных водозаборов как фактор загрязнения пресных подземных вод Краснодарского края // Инновационная наука. 2018. Т. 2. № 5. С. 22–25.
3. Гафарова С.Г. Экономическая эффективность разработки нефтегазовых месторождений с учетом особенностей топливно-энергетической стратегии Азербайджанской Республики // Известия УрГЭУ. 2015. № 6 (62) С. 136–144.
4. Кржиж Л., Резник Д. Технологии очистки геологической среды от загрязнений нефтепродуктами // Экология производства. 2007. № 10. С. 54–57.
5. Сафаров А.М., Галинуров И.Р., Габдуллин О.А., Сафарова Р.В., Казарина О.С. Экспресс метод определения границ техногенных месторождений углеводородного сырья и объектов накопленного экологического ущерба // Нефтегазовое дело. 2015. № 1. С. 326–344.
6. Чертес К.Л., Тупицына О.В., Мартыненко Е.Г., Смородин Д.В., и др. Геоэкологическая оценка нарушенных территорий и их восстановление материалами на основе крупнотоннажных шламовых отходов // Экология и промышленность России. 2017. Т. 21. № 10. С. 38–43. <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2017-10-38-43>
7. 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.
8. Kwan Min Ko, Bo Hyun Chon, Sung Bum Jang, Hee Yeon Jang. Surfactant flooding characteristics of dodecyl alkyl sulfate for enhanced oil recovery // *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014. V. 20. P. 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.03.043>
9. Zhihua Wang, Renshan Pang, Xinpeng Le, Zhangang Peng, Zhiwei Hu, Xiaotong Wang Survey on injection–production status and optimized surface process of ASP flooding in industrial pilot area // *J. of Petroleum Science and Engineering*, 2013. V. 111. P. 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.09.010>

PROBLEMS IN GEOECOLOGICAL ASSESSMENT AND REHABILITATION OF VADOSE ZONE ROCKS FROM TECHNOGENIC CONTAMINATION LENSES

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

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

[#]e-mail: chertes2007@yandex.ru

^{##}e-mail: olgatupitsyna@yandex.ru

^{###}e-mail: vitaliy.pystin@yandex.ru

^{####}e-mail: shn.007@mail.ru

The article considers the problem of formation and research of technogenic lenses. Authors suggest methods for evaluation the condition and approaches to geoengineering protection and rehabilitation of rocks in the aeration zone contaminated with technogenic fluids. Generally accepted methods of modern scientific research are applied. The objects of study are rocks of the aeration zone, pollutants, and water bodies. Methodological approaches to the study, monitoring and evaluation of lenses of pollutants formed as a result of technogenesis are created. The methods of localization and liquidation of man-made deposits using engineering protection methods are proposed. The authors offered reagents for the rehabilitation of the geoenvironment after the extraction of useful hydrocarbon materials. Three-dimensional modeling methods were used for evaluation and interpretation of results, and an approach was implemented considering a technogenic lens as a system of induced vibrations. The authors propose the resource-environmental assessment of technogenic deposits of liquid pollutants, which includes three-dimensional modeling.

Keywords: *technogenic deposit, pollution of the geological environment, flooding of territories, liquidation of deposits, three-dimensional modeling, rehabilitation, restoration of the environment*

REFERENCES

1. Bykov, D.E., Chertes, K.L., Petrenko, E.N., Tupitsyna, O.V., et al. *Sanatsiya neдр territorii neftepererabatyvayushchikh zavodov* [Remediation of geoenvironment in the area of oil refineries]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 9–13. doi: 10.18412/1816-0395-2019-03-9-13. (in Russian)
2. Velichko, S.V., Akatnov, E.K. *Depressiionnye voronki krupnykh vodozaborov kak faktor zagryazneniya presnykh podzemnykh vod Krasnodarskogo kraja* [Depression of large water intakes as a factor of contamination of fresh groundwater in the Krasnodar Krai].

- sion cones of large water intakes are sources of fresh groundwater pollution in the Krasnodar krai]. *Innovatsionnaya nauka*, 2018, vol. 2, no. 5, pp. 22–25. (in Russian)
3. Gafarova, S.G. *Ekonomicheskaya effektivnost' razrabotki neftegazovykh mestorozhdenii s uchetom osobennosti toplivno-energeticheskoi strategii Azerbaidzhanskoi Respubliki* [Economic efficiency of the development of oil and gas fields allowing for the peculiarities of Azerbaijan's fuel and energy strategy]. *Izvestiya UrGEU*, 2015, no. 6 (62), pp. 136–144. (in Russian)
 4. Krzhizh, L., Reznik, D. *Tekhnologii ochistki geologicheskoi sredy ot zagryaznenii nefteproduktami* [Technologies for geological environment remediation from oil products]. *Ekologiya proizvodstva*, 2007, no.10, pp. 54–57. (in Russian)
 5. Safarov, A.M., Galinurov, I.R., Gabdullin, O.A., Safarova, R.V., Kazarina, O.S. *Ekspress metod opredeleniya granits tekhnogennykh mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ya i ob'ektov nakoplennoego ekologicheskogo ushcherba* [The express method of outlining technogenic hydrocarbon deposits and objects of the accumulated ecological damage]. *Neftegazovoe delo*, 2015, no. 1, pp. 326–344. (In Russian)
 6. Chertes, K., Tupitsyna, O., Martynenko, E., Smorodin, D., et al. *Geoekologicheskaya otsenka narushennykh territorii i ikh vosstanovlenie materialami na osnove krupnotonnazhnykh shlamovykh otkhodov* [Geoecological evaluation of violated territories and their rehabilitation using sludge-waste materials]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*, 2017, vol. 21, no. 10, pp. 38–43. doi:10.18412/1816-0395-2017-10-38-43. (in Russian)
 7. Shatkovskaya, R.M., Ustinova, G.V. *Metodika otsenki nefteproduktovogo zagryazneniya geologicheskoi sredy na otdel'nykh ob'ektakh Povolzh'ya* [Procedure of estimation of petrochemical pollution of the geological environment at particular facilities of the Volga region]. *Razvedka i okhrana nedr*, 2010, no. 10, pp. 70–73. (in Russian)
 8. Kwan Min Ko, Bo Hyun Chon, Sung Bum Jang, Hee Yeon Jang. Surfactant flooding characteristics of dodecyl alkyl sulfate for enhanced oil recovery. *J. of Industrial and Engineering Chemistry*, 2014, vol. 20, pp. 228–233. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2013.03.043>
 9. Zhihua Wang, Renshan Pang, Xinpeng Le, Zhangang Peng, Zhiwei Hu, Xiaotong Wang Survey on injection–production status and optimized surface process of ASP flooding in industrial pilot area. *J. of Petroleum Science and Engineering*, 2013, vol. 111, pp. 178–183. <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2013.09.010>