

К ПРОБЛЕМЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В ЗОНАХ ДЕЙСТВИЯ ХРАНИЛИЩ НЕФТЕПРОДУКТОВ

О.П. Абрамова, П.А. Василенко
Институт проблем нефти и газа РАН. Москва
e-mail: abramova_olga@bk.ru

1. Общая постановка исследования

Проблемы экологической безопасности хранения нефтепродуктов (НП) обостряются с каждым днем. Экологические бедствия, связанные с разливами НП, многомасштабны, их последствия долговечны. Они часто происходят как в открытых водоемах, так и на суше, приносят огромный вред гидросфере, нарушая защитную роль зоны аэрации: ухудшаются агрохимические показатели качества почв, загрязняются грунтовые воды и близлежащие водоемы [1–3, 4–6]. Решение этой проблемы прежде всего зависит от надежности хранения НП, эффективности инженерных решений по ликвидации разливов. Однако не меньшее значение имеет организация объективного контроля за природными средами, подвергающимися негативному воздействию в процессе эксплуатации нефтебаз, нефтепроводов, автозаправочных станций и других объектов, деятельность которых связана с риском разливов НП.

Очевидно, что экологические последствия от эксплуатации объектов хранения, транспортировки нефти и НП обладают накопительным эффектом. Примером тому служит формирование на первом от поверхности водоносном горизонте техногенных залежей в виде линз керосина, бензина в весьма внушительных объемах и дальнейшее их продвижение с грунтовым потоком в зоны разгрузки – озера, реки и другие водоемы. Наиболее часто это происходит в районе деятельности крупных потребителей углеводородного сырья (нефтезаводов, нефтехранилищ, нефтепроводов, аэродромов и др.). Такие техногенные линзы известны на территориях многих складов горюче-смазочных материалов (ГСМ) в городах Энгельсе Саратовской области, Чкаловске, Щелково-4, Клину Московской области, Твери, Ейске, Брянске, Рязани, Смоленске, Семипалатинске и многих других.

Так, в Краснодарском крае формируются зоны экологического бедствия из-за утечек НП (керосина, бензина) на крупных нефтебазах (г. Тихорецк) и нефтеперегонных заводах (г. Туапсе), известны утечки НП из локальных трубопроводов на военных

аэродромах (г. Ейск, ст. Кушевская) – здесь сформировались подземные линзы НП с запасами в несколько тысяч тонн.

Как правило, неблагоприятная экологическая обстановка создается вокруг старых аэродромов. Например, в районе аэродрома г. Энгельса, на участках, прилегающих к складам ГСМ, еще в 90-х годах были сформированы две техногенные линзы керосинонасыщенных (от 3 до 10 г/кг и выше – до 20 г/кг) песков, суглинков и глин, площадью 38.8 и 28.1 га. Мощность одной линзы (у склада ГСМ-1) составляла от 0.5 до 2.5 м. Мощность второй линзы (у склада ГСМ-2) также была значительна – от 1.0 до 3.5 м. Следует отметить, что уклон поверхности грунтовых вод направлен в сторону Волгоградского водохранилища [3].

В настоящее время в этом районе завершена рекультивация загрязненной территории площадью 35.6 га и ликвидирована техногенная керосиновая линза объемом 12 тыс. т [7]. Но для полной реабилитации природной среды потребуется еще немало времени. Известно, что нисходящая утечка керосина сопровождается процессами диффузии и испарения с поверхности минеральных частиц зоны аэрации, поэтому район загрязнения охватывает более обширную территорию, чем площадь линзы, и общие масштабы загрязнения оцениваются значительной площадью 673.5 га. Нефтепродуктами в той или иной степени загрязнены почвенно-растительный слой и грунты зоны аэрации, водонасыщенные породы и грунтовые воды. Проникая в толщу грунтов, сложенных песками, супесями, глинами и суглинками, НП неодинаково проявляют себя при заполнении порового пространства.

Поэтому ниже будет показано, насколько чувствительны к техногенному воздействию из-за утечек НП поровые воды глинистых отложений. Вопрос анализируется на примере деятельности одного из аэродромов, но выводы применимы к анализу ситуации гораздо более широкого класса предприятий нефтегазового комплекса.

2. Методы исследования, анализируемый материал

Из специально пробуренных скважин и шурфов на площади распространения керосиновых линз было отобрано и проанализировано 130 проб грунтов на определение в них керосина. Глубина отбора проб составляла от 0 до 8 м.

Все исследования НП выполнялись ИК-спектрометрическим методом на опытном образце аппаратурно-методического комплекса ИКАР-3, предназначенном для измерений содержания примесей в многокомпонентных растворах. В качестве экстрагента

использовали хладон X-113, т.к. рекомендуемый до настоящего времени четыреххлористый углерод из почвы извлекал не больше половины содержащегося в ней керосина. Эффективность хладона показана в патенте на изобретение №2164024 «Способ определения содержания нефтепродуктов в воде» [8].

Спектрометр ИКАР-3 разработан в ИПНГ РАН. Прибор сертифицирован (сертификат № 25342 от 10.10.2006), зарегистрирован в Государственном реестре средств измерений РФ под № 32757-06. Получен патент на полезную модель «Инфракрасный анализатор растворов» № 92190 от 10.03.2010.

В табл. 1–2 приведены технические характеристики ИК-спектрометра, показаны аналитические возможности прибора и пределы измерения по некоторым из девяти аттестованных методик.

Таблица 1

Технические характеристики и аналитические возможности ИКАР-3

№ п/п	Наименование параметра	Значение параметра
1	Спектральный диапазон	1800–3600 нм
2	Дискретность перестройки по длине волны во всем диапазоне	1 нм
3	Абсолютная погрешность установки длины волны	не более 3 нм
4	Диапазон измерений коэффициента пропускания	0–100%
5	Определяемые вещества	Нижний порог измеряемых концентраций
	5.1 Нефтепродукты в воде	0.05 мг/дм ³
	5.2 Метанол в воде (без пробоподготовки)	0.01 мас.%
	5.3 Диэтиленгликоль в воде (без пробоподготовки)	0.03 мас.%

Разработаны и аттестованы аналитические методики, позволяющие выполнять измерения массового содержания вещества в воде (см. табл. 2).

Таблица 2

Пределы измерений этанола, НП и метанола в воде на приборе ИКАР-3

№ п/п	Определяемое вещество	Пределы измерений
1	Этанол в воде	0.1–96.0 мас.%
2	Нефтепродукты в воде (в соответствии с ГОСТ Р 51797 – 2001)	от 0.05 мг/дм ³
3	Метанол в воднометанольных растворах	0.5–90.0 мас.%

Опыт показывает, что эффективность результатов исследования загрязнений окружающей среды НП достигается при моделировании процессов их формирования, проведении экспериментальных исследований [9–11]. Изучение поровых вод, выделенных из глинистых грунтов, слагающих зону аэрации, а также из донных осадков водоемов в исследуемом районе проводилось на специально созданной установке высокого давления с приспособлениями для создания и регистрации прилагаемых на образец нагрузок от 0 до 20 МПа с регулировкой виброакустического воздействия резонансных колебаний от 6 до 56 кГц и поддержанием температуры 25 °С [10–12]. Выбранный диапазон виброакустических величин приближен к амплитудно-частотным параметрам естественных микросейсмических колебаний и техническим вибрационным нагрузкам, присущим нефтегазопромысловым районам [13, 14]. Результаты исследований показали, что постоянное воздействие имитируемых техногенных нагрузок приводит к виброакустическим эффектам, способствующим наибольшему выносу (десорбции) многочисленных химических и органических компонентов из глинистых отложений в поровые рыхлосвязанные воды.

3. Результаты исследований

Наиболее высокие концентрации керосина были обнаружены в водонасыщенных слоях, представленных переслаиванием суглинков и глин, наименьшие – в песках и супесях (рис. 1).

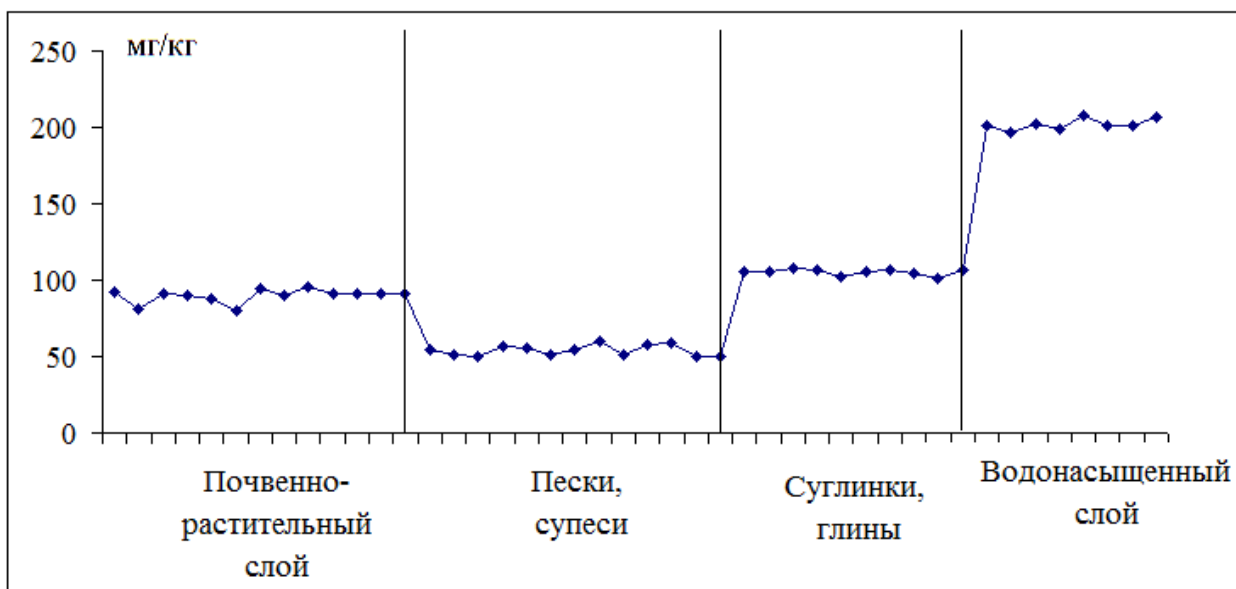


Рис. 1. Содержание НП (керосина) в грунтах зоны аэрации

Такое распределение содержаний керосина связано с тем, что величина пор песчаных пород гораздо больше, чем объемная масса молекул нефтяных углеводородов (УВ), и под воздействием гравитационных сил, а также в результате частичного растворения они могут свободно передвигаться, испаряться или удаляться вместе с водой. Однако удельная поверхность песков, особенно мелкозернистых, содержащих пылеватые частицы, несмотря на процессы испарения, диффузии, ветровой эрозии почв и др. еще длительное время будет сохранять среду, «эманирующую» не полностью удаленными остатками более низкокипящих фракций нефтяных УВ.

Поры глинистых пород составляют в среднем 0.2–0.3 мкм. Большая часть их заполнена прочно- и рыхлосвязанной водой. Керосин, обладая высокой проницаемостью, может прорывать пленку физически связанной воды и вплотную примыкать к поверхности глинистой матрицы. Легкие фракции НП, запечатанные в порах глин, могут долго сохраняться, удерживаться и концентрироваться в сорбционно-замкнутых порах, не участвуя в гравитационной фильтрации водного потока. Об этих способностях глин свидетельствуют и полученные авторами на десятках (порядка 200) образцов результаты экстракции «сырых» и высушенных в течение 12–15 часов при температуре порядка 45–50 °С образцов. При этом количество извлеченного керосина из высушенных образцов всегда было большим, чем из сырых, а общее количество керосина в отчете – это сумма тех и других. Но в условиях техногенных воздействий (вибрационных и сейсмоакустических – от работы трубопроводов, компрессорных станций, нефтепромыслов), НП будут вытесняться вместе с поровыми водами из глинистого пространства в коллектор. Было установлено, что в поровых водах, выделенных из глинистых разностей пород зоны аэрации, стабильно сохраняются высокие концентрации НП даже тогда, когда их содержание в самой породе не превышает среднее фоновое значение. Это говорит о том, что если в грунтовом потоке показатели загрязнения пришли со временем в норму, то в техногенных условиях отжатие поровых растворов, обогащенных разнообразными химическими соединениями, может вызвать вторичное загрязнение основной массы грунтовых вод.

Особенно наглядно это прослеживается в экспериментах с донными осадками, отобранными в Саратовском створе Волгоградского водохранилища.

Как отмечалось выше, в его сторону направлен уклон грунтового потока с линзами керосина. В 2007 г. было установлено, что в Волгоградском водохранилище на границе с

Саратовской областью вода не соответствовала требованиям для рыбохозяйственных целей, оценивалась по IV классу как «загрязненная» по превышению предельно допустимых концентраций (ПДК) некоторых тяжелых металлов: меди (3.1 ПДК), цинку (1.83 ПДК), фенолу (1.8 ПДК) и др. [6].

Исследования 2010–2014 гг. показали, что содержание НП и некоторых тяжелых металлов в воде Волгоградского водохранилища на границе с Саратовским створом уже почти соответствует установленным нормам (рис. 2), а некоторые показатели почти в два раза ниже ПДК (НП, Cd, Pb и др.).

Но ввиду того, что в настоящее время не существует нормативов оценки загрязненности донных осадков, можно ориентироваться только на фоновые параметры, которые в каждом регионе будут отличаться.

Поэтому более информативными показателями загрязнения могут быть результаты анализа поровых вод, отжатых из донных осадков. По данным авторов содержание всех компонентов в них увеличено и составляет по НП 2.2–2.3 ПДК, по цинку 3.0–3.5 ПДК, по никелю 3.1–3.6 ПДК, по железу 1.1 ПДК, по кадмию 1.2 ПДК, по меди 3.1–3.6 ПДК, по свинцу 1.1 ПДК. Такие сведения являются сигналом неблагополучия водной среды Волгоградского водохранилища (Саратовский створ). Следует ожидать, что в условиях повышенной техногенной напряженности тяжелые металлы и НП поровых вод могут служить источниками повторного загрязнения водоема.

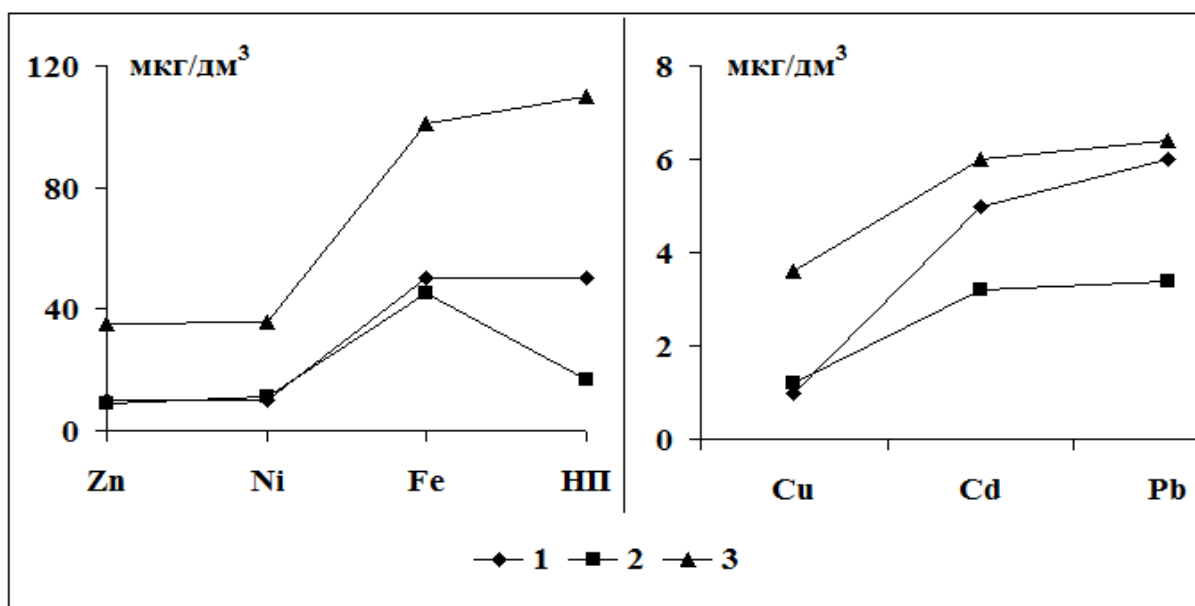


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов и нефтепродуктов (мкг/дм³): 1 – ПДК для вод рыбохозяйственных водоемов, 2 – в воде Волгоградского водохранилища (Саратовский створ), 3 – в поровых водах, отжатых из донных осадков

Механическое изъятие образовавшихся линз авиационного топлива (откачки) и рекультивация земель (очистка почв и грунтов от нефти и НП, посадка многолетних трав с добавкой комбинированных удобрений, микробиологическая очистка земель и др.), т.е. использование современных технологий позволяет достигнуть положительных результатов в течение нескольких лет. Однако процессы самоочищения почв затягиваются на десятилетия. Задерживающиеся в глинистых грунтах и донных осадках нефтяные УВ способны длительное время концентрировать тяжелые металлы, радионуклиды и другие загрязнители, которые становятся источником повторного загрязнения окружающей среды, открытых водоемов, грунтовых вод, почвенно-растительного слоя, грунтов в зоне аэрации. Не случайно экологи утверждают, что «даже после восстановления плодородия рекультивируемых земель они не должны использоваться для выращивания пищевых и кормовых растений» [5].

Поэтому для контроля экологической чистоты природных объектов, подвергнутых загрязнению НП и другими канцерогенными веществами, мы рекомендуем проводить исследования поровых вод тонкодисперсных пород зоны аэрации и донных осадков открытых водоемов. Выделяемые из этих отложений поровые воды наиболее полно отражают состояние загрязненности изучаемых объектов.

Заключение

Мероприятия по рекультивации почвенного слоя грунтов и очистке водоемов значительно снижают остаточное содержание загрязняющих веществ, их концентрация может достигнуть допустимых пределов, создавая видимое благополучие. При этом почти никогда не уделяется внимание изучению поровых вод тонкодисперсных отложений, которые, как показали опыты, сохраняют высокие концентрации НП и тяжелых металлов, способных вызвать вторичное загрязнение среды при воздействии техногенных нагрузок. Можно уверенно сказать, что пока содержание канцерогенных компонентов в поровых водах не придет в норму, нельзя считать процесс рекультивации земель и очистки водоемов законченным.

Предлагаемый подход к оценке экологического состояния окружающей среды, мониторинг поровых вод, выделяемых из глинистых пород зоны аэрации и донных осадков открытых водоемов, обеспечит решение поставленных вопросов не только в районах нефтепромыслов, действующих или закрытых аэродромов, но и многих предприятий нефтегазового комплекса. В производственных условиях для массового

анализа НП в воде и почве, особенно в малых концентрациях, рекомендуется использовать аппаратный комплекс ИКАР-3.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Научное обоснование новых экологически чистых технологий разработки месторождений углеводородов в сложных горно-геологических условиях на основе 3D-компьютерных экспериментов», № АААА-А16-116022510270-1).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Martin J.P., Koerner R.M.* The influence of vadose zone conditions on groundwater pollution // *Journal of Hazardous Materials*. 1984. Vol. 8, Iss. 4. P. 349–366.

2. *Башкин В.Н., Аكوнова Г.С., Листов Е.Л., Балакирев И.В., Галиулин Р.В., Галиулина Р.А.* Прогнозирование микробиологического очищения от углеводородов газового конденсата и нефти // *Защита окружающей среды*. 2010. № 4. С. 20–23.

3. *Лукьянчиков В.М.* Закономерности растекания линзы нефтепродуктов на поверхности грунтовых вод // *Изучение загрязнения подземных вод на опытно-производственных полигонах: Сб. науч. тр. М.: ВСЕГИНГЕО, 1990. С. 28–32.*

4. *Шапуловская Е.А.* Роль мелководий в самоочищении равнинных водохранилищ (на примере Волгоградского водохранилища): Автореф. дис. ... канд. биол. наук: Н. Новгород, 2010. 24 с.

5. *Вавер В.И.* Рекультивация земель, загрязненных нефтью // *Биологические ресурсы и природопользование: Сб. ст. Нижневартговск: Изд-во Нижневартговского ун-та, 1997. Вып. 1. С. 78–79.*

6. Доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов РФ в 2007 году. Качество воды в водохранилищах России» [Электронный ресурс] // *Федеральный портал PROTOWN.RU – Режим доступа: <http://www.protown.ru/information/articles/2814.html> (Дата обращения 30.05.2018).*

7. *Клочкова А.А.* Уголовная ответственность за порчу земли: Автореф. ... дис. канд. юр. наук. Саратов, 2010. 30 с.

8. *Любименко В.А., Василенко П.А., Петров С.И., Жалнина Т.И., Якубсон К.И.* Пат. RU 2164024 С2. Способ определения содержания нефтепродуктов в воде. № 99102065/12; Заявл. 04.02.1999; Оpubл. 10.03.2001 // *Изобретения. Полез. модели. Бюл. № 7. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>*

9. *Abdul S.A.* A New Pumping Strategy for Petroleum Product Recovery from Contaminated Hydrogeologic Systems: Laboratory and Field Evaluations // *Ground Water Monitoring & Remediation*. 1992. Vol. 12, Iss. 1. P. 105–114.

10. *Абукова Л.А., Абрамова О.П.* К вопросу о гидрогеохимических критериях состояния окружающей среды в районах воздействия нефтегазового техногенеза // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2010. № 4. С. 28–34.

11. *Абрамова О.П., Абукова Л.А., Исаева Г.Ю.* Глинистые отложения как источник вторичного загрязнения подземных вод в условиях нефтегазового техногенеза // В сборнике: *Фундаментальные и прикладные вопросы гидрогеологии нефтегазоносных бассейнов: Сб. Материалов III Всерос. науч. конф. (с междунар. участием), посвященной 90-летию А.А. Карцева*. 2015. С. 208–211.

12. *Абукова Л.А., Абрамова О.П.* Влияние стрессовых геодинамических нагрузок на геохимию поровых вод глинистых отложений (на примере крымского кила) // *Нефть и газ Черного, Азовского и Каспийского морей: Тез. докл.* 2004. С. 165–167.

13. *Кондрат В.Ф.* Виброэлектрический эффект в пористых средах и его использование в ГИС // *Нетрадиционные методы геофизических исследований неоднородностей в Земной коре: Сб. ст. М.: ИФЗ РАН*. 1993. С. 46–47.

14. *Николаев А.В.* Эффект сейсмических воздействий на залежи нефти и подземных вод // *Сейсмические воздействия на нефтяную залежь: Сб. ст. М.: ИФЗ РАН*. 1993. С. 7–13.