

## **ГЛИНИСТЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ВТОРИЧНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В УСЛОВИЯХ НЕФТЕГАЗОВОГО ТЕХНОГЕНЕЗА**

О.П. Абрамова, Л.А. Абукова, Г.Ю. Исаева  
Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва,  
e-mail: abukova@ipng.ru

Среди источников загрязнения подземных вод большое значение имеют миграционно-подвижные продукты деятельности производственных объектов нефтегазового комплекса. Фильтруясь с поверхностными стоками через зону аэрации, они вступают в ионно-обменные процессы с глинистыми фракциями терригенных осадков, распространенных в виде мелкоочаговых линз, включений, пропластков. Обладая значительной удельной поверхностью, сорбционной емкостью, глинистые породы вынужденно становятся своеобразными техногенными аккумуляторами нефтепродуктов (НП), тяжелых металлов (ТМ), радионуклидов и других экологически опасных веществ. В этом качестве глинистые отложения зоны аэрации в геодинамически стабильных условиях играют защитную роль для нижезалегающих грунтовых вод. Однако при микросейсмических подвижках, вибрационных и колебательных воздействиях, просадочных явлениях, характерных для районов активного нефтегазового техногенеза, может быть инициирован и обратный процесс десорбции поглощенных вредных веществ из тонкодисперсных пород. Этот механизм способен вызвать вторичное загрязнение грунтовых вод.

Аналогичные процессы загрязнения происходят в донных отложениях открытых водоемов. Это широко отражено в научной литературе. В частности, известно немало фактов высокого содержания НП и ТМ в иловых водах, которые служат источником вторичного загрязнения придонной массы воды в реках, морях, заливах, водохранилищах и др. [1–4 и др.]. Отмечено также, что в поверхностных и подземных водах вблизи промышленных объектов весьма часто содержание экологически опасных веществ в несколько раз превышает предельно допустимые концентрации [5–7 и др.]. Однако применительно к глинистым отложениям зоны аэрации эти процессы изучены недостаточно.

В более погруженных напорных комплексах глинистые флюидоупоры, пропластки различных толщин и протяженности концентрируют многие формы минеральных и органических соединений на протяжении всей геологической истории своего

существования. При естественных природных сейсмических, геодинамических и техногенных событиях, сопровождающихся стресс-барическими воздействиями на геологическую среду (бурение, гидроразрывы пласта, закачка технических вод для поддержания пластового давления, изъятие больших масс попутных вод, внедрение в пластовые резервуары объемных жидких производственных отходов и др.), создаются благоприятные условия для активной десорбции вредных компонентов, ранее сорбированных глинистыми породами. Транспортирующим агентом массопереноса этих веществ, по нашему мнению, являются поровые растворы тонкодисперсных пород.

Для подтверждения этого предположения была проведена серия экспериментов в условиях, приближенных как к геодинамически стабильным ситуациям, так и при виброакустических нагрузках с использованием лабораторного аналога техногенного воздействия.

В качестве материала экспериментов использованы 2 набора образцов глинистых пород с разной степенью преобразованности: 1) рыхлые почвообразующие грунты – глины и суглинки зоны аэрации, отобранные с глубины 0,1–8,0 м на территории складирования и утечек дизельного топлива в Саратовской области (137 образцов); 2) плотные глины, отобранные с глубины 1005–1013 м из Кубанской сверхглубокой скважины (16 образцов).

Глины и суглинки первой группы образцов использованы в опытах как характерные представители техногенного концентрирования НП и ТМ.

Плотные глины второй группы образцов использованы в качестве природных аккумуляторов минеральных компонентов и органических веществ, накопленных за определенный отрезок геологического времени.

На рис. 1 показана схема заданных условий проведения экспериментов с учетом техногенных нагрузок, создаваемых при эксплуатации нефтепромыслов, подземных хранилищ газа и нефти, при складировании горюче-смазочных материалов и др.

Опыты выполнялись в трех последовательных сериях. В первой – моделировался медленный, непрерывный процесс уплотнения осадков (рис. 1а); во второй – образцы подвергались трехступенчатому наращиванию давления с воздействием виброакустических колебаний (рис. 1б); в третьей серии экспериментов создавались стресс-барические знакопеременные нагрузки с повышением частоты виброакустического воздействия на образцы (рис. 1в).

Для приближения эксперимента к естественным природным условиям нами были учтены разные исследования сейсмических воздействий на геосферу. Известно, например, что интегральный шум акустических полей на компрессорных станциях и линейных частях трубопроводов находится в пределах частот от 20 Гц до 20 кГц [8–9]. Даже слабые сейсмические события (от 20 до 5000 Гц) могут нарушить равновесие в подземной гидросфере и провоцировать гидродинамические и гидрохимические эффекты, распространяющиеся на огромные площади [10–11]. Воздействие виброакустических колебаний звуковой частоты на водонасыщенную среду приводит к активации пленок связанных вод и увеличению их способности к массопереносу [12–14]. Выбранные режимы экспериментальных воздействий приближены к естественному фону температур, давлений, технических вибраций, характерных для пластовых систем в нефтегазопромысловых районах.

Первая серия экспериментов, моделирующих выделение поровых растворов из почвообразующих грунтов зоны аэрации, показала, что под влиянием виброакустических колебательных нагрузок происходит весьма активный вынос из поглощенного комплекса пород в поровые растворы экологически опасных химических элементов (рис. 2). Содержание в них ТМ<sup>1</sup> и НП<sup>2</sup> существенно отличается от фонового уровня концентраций в грунтовых водах [5, 15], что свидетельствует о том, что опасность вторичного загрязнения природных вод в реальной обстановке достаточно значима.

Во второй серии экспериментальных работ моделировался перенос загрязнителей поровыми растворами из глин в пластовые воды для условий погруженных водонапорных комплексов. Химический анализ поровых растворов, выделенных из глинистых пород, показал резкое увеличение содержания в них водорастворенных форм ТМ и ОВ<sup>3</sup> при виброакустических и стресс-барических воздействиях (рис. 3). Несомненно, в естественных природных условиях данный процесс происходит намного сложнее, имеет практически непрерывный характер.

Полученные результаты теоретически объясняются проявлением аномальных растворяющих свойств поровых растворов, выделяемых из тонкодисперсных отложений в условиях преодоления сил межмолекулярного сцепления с базисной минеральной

---

<sup>1</sup> Метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

<sup>2</sup> Метод ИК-спектрометрии, с использованием инфракрасного анализатора ИКАН-1.

<sup>3</sup> Метод мокрого сжигания при T=800°C в присутствии платинового катализатора после предварительного удаления карбонатного углерода, с последующим инфракрасным детектированием.

поверхностью [12, 16]. Выносимые породообразующие и рудные элементы, органический материал способны продвигаться с участием поровых растворов по трещинам, плоскостям скольжения и другим каналам, которые впоследствии могут служить дренажными системами для миграции поровых флюидов к водоносным пластам-коллекторам. Возникает возможность их проникновения в вышележающие водоносные горизонты и, это, вполне вероятно, будет приводить к увеличению в пластовых водах концентраций тяжелых металлов, ОБ и многих других токсичных компонентов.

Выполненные эксперименты свидетельствуют о том, что глинистые тонкодисперсные породы, подстилающие водоносные горизонты, являются потенциальными источниками загрязнения подземных вод в условиях повышенной геодинамической напряженности, характерной для районов освоения месторождений УВ и других промышленных объектов. К сожалению, на сегодняшний день мониторинг таких процессов не проводится. Учет рассмотренного механизма снижения экологической устойчивости водохозяйственных объектов позволит объективно оценивать экологическую ситуацию в районах с длительной историей эксплуатации нефтяных и газовых месторождений.

В комплекс мероприятий по мониторингу экологического состояния подземных вод в районах активной нефтепромысловой деятельности должны быть включены режимные наблюдения за геохимическими трансформациями поровых растворов из почвообразующих грунтов зоны аэрации, а также из глинистых флюидоупоров водоносных горизонтов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *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.
2. *Ageno M.* On the nature of the hydrogen bond and the structure of water // Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1967. Vol. 57, No. 3, P. 567–572.
3. *Kia S.F.* Retention of diesel fuel in aquifer material / S.F. Kia, A.S. Abdul // Journal of Hydraulic Engineering. 1990. Vol. 116, No. 7. P. 881–894.

4. *Веницианов Е.В., Ершова Е.Ю., Кочарян А.Г.* Тяжелые металлы в донных отложениях поверхностных вод // Проблемы окружающей среды и природные ресурсы. 1994. № 4. С. 19–47.
5. *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.
6. *Матусевич В.М., Рыльков А.В., Ушатинский И.Н.* Геофлюидалные системы и проблемы нефтегазоносности Западно-Сибирского мегабассейна. Тюмень: ТюмГНГУ, 2005. 225 с.
7. *Немировская И.А.* Углеводороды в океане. М.: Научный мир, 2004. 328 с.
8. *Кондрат В.Ф.* Виброэлектрический эффект в пористых средах и его использование в ГИС // Нетрадиционные методы изучения неоднородностей Земной коры: Труды ФЗ РАН. 1993. С. 46–47.
9. *Низамов Х.Н., Марчук А.Н.* Волновые процессы в гидросистеме закачки глинистого раствора в пласт и способы их устранения // Геоэкология в нефтяной и газовой промышленности. М.: ГАНГ им. И.М. Губкина. 1995. С. 31.
10. *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.
11. *Орлов В.С., Максимова В.П., Павлов В.И.* Изучение физических полей трубопроводов в местах подводных переходов для разработки природоохранных мероприятий // Экология нефтегазового комплекса: Сб. ст. Томск, 1989. Вып. 1, Ч. 2. С. 44–52.
12. *Дерягин Б.В., Чураев Н.В., Овчаренко Ф.Д.* Вода в дисперсных системах. М.: Химия, 1989. 288 с.
13. *Карцев А.А., Блох А.М.* Роль микропоровых растворов в процессах массопереноса в литосфере // Геология и геохимия горючих ископаемых. Киев: Наукова думка, 1980. № 55. С. 30–36.
14. Поверхностные пленки воды в дисперсных структурах / Под ред. Е.Д. Щукина. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1988. 279 с.
15. *Шашуловская Е.А., Мухаметжанова М.Л., Гречушников Д.В., Филимонова И.Г.* Тяжелые металлы и нефтепродукты в экосистеме Волгоградского водохранилища // Сб. науч. тр. ФГНУ ГосНИОРХ. СПб., 2007. Вып. 336. С. 334–350.

16. *Блох А.М., Симоненко В.Ф.* Измененность растворяющих свойств воды в поле поверхностных сил минеральных систем // Поверхностные силы в тонких пленках и устойчивость коллоидов. М.: Наука, 1974. С. 72–75.

ПРИЛОЖЕНИЕ

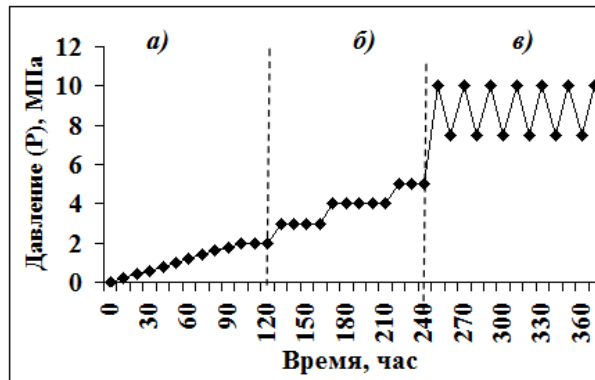


Рис. 1. Схема условий проведения экспериментов по извлечению поровых растворов из тонкодисперсных глинистых пород

Условные обозначения:

a)  $P=0 \rightarrow 2$  МПа,  $T=20$  °С;

б)  $P=2 \rightarrow 5$  МПа,  $T=20$  °С,  $\lambda=6-20$  кГц;

<sup>1</sup>в)  $P=5 \leftrightarrow 10$  МПа,  $T=20$  °С,  $\lambda=20-56$  кГц

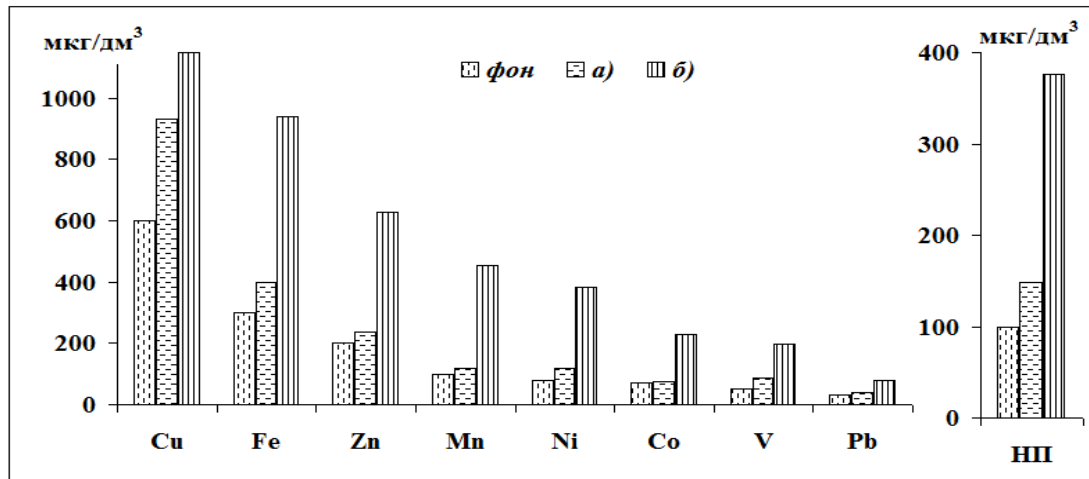


Рис. 2. Содержание ТМ и НП в поровых растворах, выделенных из рыхлых почвообразующих грунтов зоны аэрации, их фоновый уровень в грунтовых водах (фон)

Условия опытов: (a), (б) – см. рис. 1

<sup>1</sup> Применялись только в экспериментах с глинистыми породами, отобранными с глубины 1005–1013 м.

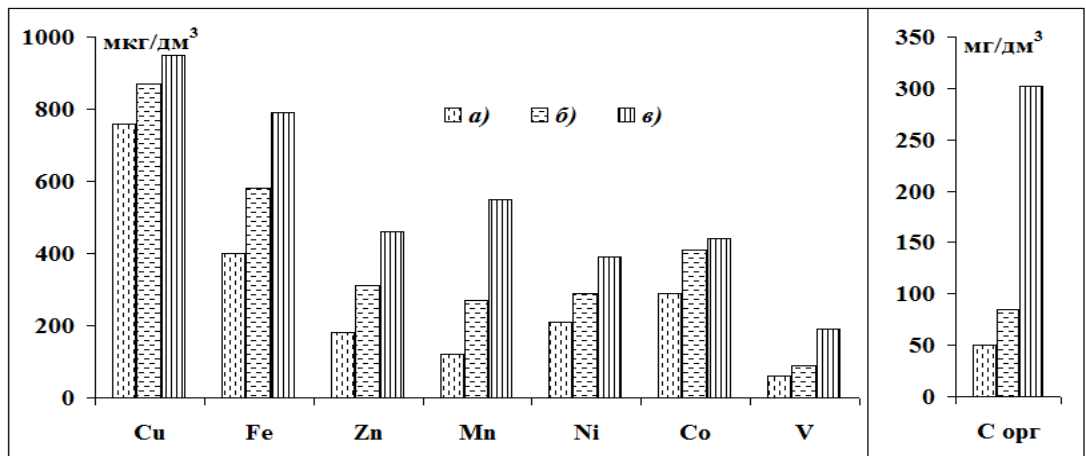


Рис. 3. Содержание ТМ и ОВ ( $C_{орг}$ ) в поровых растворах, выделенных из плотных глинистых пород

Условия опытов: (а), (б), (в) – см. рис. 1