

**СЕКЦИЯ «РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ, МЕТОДИКИ, АППАРАТУРЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИИ
ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ (ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКА, СЕЙСМОРАЗВЕДКА,
ГЕОАКУСТИКА, ГРАВИМАГНИТОРАЗВЕДКА) ПРИ РЕШЕНИИ ШИРОКОГО СПЕКТРА
ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ЗАДАЧ.»**

Шевнин В.А.¹, Мусатов А.А.², Делгадо-Родригес О.², Рыжов А.А.³ (¹Геологический ф-тет МГУ, ²Мексиканский нефтяной институт, ³ВСЕГИНГЕО). (shevninv@rambler.ru)

Методика электрических исследований грунтов, загрязненных нефтепродуктами.

Представленная в докладе тема была начата в МГУ в 1993-1999 годах, затем исследована в Мексиканском нефтяном институте (МНИ) в 2000-2007 годах, использовала некоторые результаты работ В.Саука и Э.Атекваны (США) и выполнялась совместно с Рыжовым (ВСЕГИНГЕО).

Загрязнения окружающей среды сопровождают развитие человечества, тем более нефтяные загрязнения, которые возникают на всех этапах извлечения, хранения, транспортировки и распределения нефтепродуктов. Вредное воздействие нефтяных загрязнений распространяется на растительность, животный мир, микроорганизмы и человека. Такие загрязнения должны быть под контролем и их вредные последствия необходимо устранять. Согласно Ф.М.Гольцману, чтобы что-то найти надо знать, что искать, и где искать. То есть надо знать, какими физическими (и химическими) изменениями характеризуется загрязненный нефтепродуктами грунт, в каком интервале разреза он концентрируется и как проявляется в данных геофизических методов.

Достаточно давно известно, что свежее нефтяное загрязнение проявляется как объект повышенного электрического сопротивления, а зрелое загрязнение – как проводящий объект, благодаря бактериальной биодеградации нефтепродуктов в верхних частях разреза (ВЧР). Позиция загрязнения по глубине в значительной степени определяется положением уровня грунтовых вод (УГВ) в случае грунтов высокой проницаемости, абсорбцией нефтепродуктов на глине и временем действия загрязнения. Оказывают влияние также сезонные изменения УГВ, которые вызывают размазывание загрязнения в разрезе по вертикали.

Саук в 1998 и 2000 году опубликовал модель изменений свойств грунта под влиянием нефтяного загрязнения, которую можно назвать «линейной». Зрелое нефтяное загрязнение сопровождается повышенной активностью бактерий, продукты деятельности которых приводят к возникновению в зоне загрязнения органических и неорганических кислот, которые взаимодействуют с зернами породы, растворяют и разъедают их, при этом увеличивается количество солей в воде и в грунте и снижается сопротивление грунта. Дальнейшие исследования Атекваны показали слабую корреляцию или даже ее отсутствие между соленостью подземных вод и степенью загрязнения грунта, что привело к созданию другой модели загрязнения, в которой изменения электрических свойств вызваны такими факторами как увеличение количества поверхностно-активных веществ, появлением биопленок – колоний бактерий в поровом пространстве загрязненного грунта и заметным повышением поверхностной проводимости грунта по сравнению с электропроводностью поровой влаги, что и является главным индикатором загрязнения.

Исследования нефтяных загрязнений выполненные авторами опирались на разработанную Рыжовым методику петрофизических расчетов или связь сопротивления грунта с соленостью поровой влаги, структурой порового пространства и наличием глины в составе пород. Рыжов разработал алгоритм точного теоретического расчета сопротивления пород по совокупности петрофизических параметров. Это позволяет оценить степень влияния на сопротивление каждого петрофизического параметра, оценить точность его оценки по сопротивлению и перейти к обратной задаче – расчету всех петрофизических параметров в плане и разрезе на основе данных ВЭЗ. Петрофизический подход позволяет определять по сопротивлению грунта такие параметры как глинистость грунта, его пористость, ионно-обменную емкость, поверхностную проводимость и коэффициент фильтрации. В чистых грунтах эти параметры определяются близко к истинным, а в загрязненных нефтепродуктами грунтах оказываются аномальными, при этом аномальные параметры позволяют достаточно точно локализовать загрязнение.

Выдвинутая Атекваной и ее коллегами модель загрязненного грунта, аномальные свойства которой вызваны ростом поверхностной проводимости, по их мнению для своего изучения требует применения такого мощного метода электроразведки как спектральное ВП. Результаты авторов настоящего доклада показали, что петрофизическая интерпретация данных метода сопротивлений (в частности ВЭЗ) также позволяет выделять эффект поверхностной проводимости и не требует применения такой дорогой методики и аппаратуры как спектральное ВП.

Наша технология была опробована на нескольких десятках участков нефтяного загрязнения. Было получено 9 авторских свидетельств. Некоторые элементы методики, интересные для поиска и локализации загрязнения представлены в настоящем докладе. На участке загрязнения удастся выделить 1) маркирующий горизонт – элемент разреза в котором сконцентрированы проявления загрязнения. Согласно Сауку он находится над УГВ в нижней части зоны аэрации. Для точной локализации загрязнения важной является 2) граница между чистым и загрязненным грунтом по величине сопротивления и любым петрофизическим параметрам. Можно указать такую величину сопротивления выше которой грунт не несет признаков загрязнения, а при меньших сопротивлениях является загрязненным. 3) Петрофизическое моделирование для проверки непротиворечивости всех собранных данных. О каких данных идет речь. Прежде всего это сопротивления, определенные по ВЭЗ, дополненные величиной солености поровой влаги, температуры, пробой грунта. Грунт измеряется в лаборатории как функция сопротивления от солености насыщающей влаги. Эта кривая позволяет определить содержание глины, пористость песка и глины, ионно-обменную емкость глины. Зная сопротивление и соленость грунта и модель грунта, полученную по измерениям образцов, можно пересчитать сопротивления ВЭЗ в петрофизические параметры. Почему в петрофизическом моделировании мы говорим о проверке непротиворечивости данных. Потому что уже есть примеры, когда обнаруживается несоответствие (или неполное соответствие) трех групп собранных данных (сопротивления грунта, солености воды и пробы грунта). Например пробы воды была взята из лужи после свежего дождя, а подземные воды более сильно минерализованы и свойства грунта вступают в противоречие с соленостью воды. Проба грунта может вступать в противоречие с данными ВЭЗ и солености когда главным фактором изменения сопротивления по ВЭЗ является колебание влажности в зоне аэрации. Поэтому петрофизическое моделирование часто оказывается итеративным процессом. Когда же соответствие трех групп данных достигнуто, наступает этап расчета петрофизических параметров и представления результатов именно в виде петрофизических разрезов и карт. Такая форма представления позволяет найти общий язык с геологами, использовать их терминологию и параметры. Практические примеры применения технологии демонстрируются в докладе.

Выводы

Грунты загрязненные нефтепродуктами в случае зрелого загрязнения могут быть откартированы методом ВЭЗ для определения положения загрязнения в плане и по глубине. Мы предлагаем картировать загрязнение установив границу разделы чистых и загрязненных грунтов на основе петрофизического моделирования.

Определение петрофизических параметров по сопротивлению грунта помогает более четко характеризовать типы грунтов как при отсутствии, так и в случае нефтяного загрязнения. Петрофизический подход обогащает результаты интерпретации ВЭЗ и помогает найти общий язык с геологами разных специализаций.

При представлении результатов в виде карт удастся добиться более высокого разрешения изображений по отношению к загрязнению. Эффект загрязнения редко меняет сопротивления более чем в 2-5 раз, на разрезах мешает вертикальный градиент сопротивлений, на картах его нет.

Литература

- Abdel Aal, G. Z.; Atekwana, E. A.; Slater, L. D.; Atekwana, E. A. 2004. Effects of microbial processes on electrolytic and interfacial electrical properties of unconsolidated sediments. *Geophys. Res. Lett.*, Vol. 31, No. 12, L12505 10.1029/2004GL020030
- Atekwana, E., Cassidy, D. P., Magnuson, C., Endres A. L., Werkema, Jr., D. D. and Sauck W. A., 2001: Changes in geoelectrical properties accompanying microbial degradation of LNAPL. in *Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Engineering and Environmental Problems*. 1 – 10.
- Atekwana, E. A., Atekwana, E. A., Rowe, R. S., 2003, Relationship Between Total Dissolved Solids and Bulk Conductivity at a Hydrocarbon-Contaminated Aquifer, *SAGEEP Proceedings*, pp. 228-237.
- Рыжов А.А., Судоплатов А.Д. Расчет удельной электропроводности песчано-глинистых пород и использование функциональных зависимостей при решении гидрогеологических задач // *Научно-технические достижения и передовой опыт в области геологии и разведки недр*. М., 1990. С. 27-41.
- Sauck, W. A., 1998: A conceptual model for the geoelectrical response of LNAPL plumes in granular sediments. In *SAGEEP Proceedings*, 805-817.
- Shevnin V., Mousatov A., Ryjov A., Delgado O. 2007, Estimation of clay content in soil based on resistivity modeling and laboratory measurements. *Geophysical Prospecting*. Vol. 55, 265-275.
- Шевнин В.А., Рыжов А.А., Делгадо-Родригес О. Оценка петрофизических параметров грунтов по данным метода сопротивлений. *Геофизика*, # 4, 2006, с. 37-43.