

ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДАМИ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ЛОКАЛЬНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

*Канд. геол.-мин. наук И. Н. МОДИН, д-р физ.-мат. наук В. А. ШЕВНИН,
инж. А. А. БОБАЧЕВ, канд. физ.-мат. наук Д. К. БОЛЬШАКОВ,
кандидаты геол.-мин. наук М. Л. ВЛАДОВ, А. В. СТАРОВОЙТОВ,
МГУ, Москва, Россия*

АННОТАЦИЯ: Нефтяные загрязнения — самый частый тип загрязнений в России. Они происходят на всех стадиях производства, транспортировки и обработки нефти. Загрязнение нефтью — необычный объект благодаря его способности к изменениям и подвижности. Априори известно, что нефть — изолятор, но она часто вызывает появление аномалий пониженного сопротивления. По мнению специалистов, в этом повинны преобразующие нефть бактерии.

Основная проблема для электрических зондирований — влияние геологического шума — приповерхностных неоднородностей (ППН), вызванные искусственным грунтом, асфальтовыми покрытиями, траншеями, трубами, кабелями и т. д., и препятствующих изучению более глубоких объектов. Влияние ППН может быть подавлено с помощью методики сплошных электрических зондирований и специального программного обеспечения, разработанных в МГУ.

ABSTRACT: Oil pollution is the most frequent type of pollution. It occurs at all stages of oil production, transportation and processing. Oil pollution is unusual object due to its ability to transformation and mobility. Changes of rock properties, caused by such pollution are inconsistent. A priori, for example, the oil is an isolator, but frequently it derives anomalies with lowered resistivity. In accordance with investigations some scientists, oil-transforming bacteria are probably responsible for that.

The main problem at engineering studies with electrical methods in urban areas is the influence of geological noise - near-surface inhomogeneities (NSI), caused with artificial ground, asphalt cover, trenches, cables tubes etc. These inhomogeneities create strong distortions and influence like "the broken glass", prevent from clear seeing deep objects. NSI's distorting influence can be canceled by the application of total electric sounding (TES) technology and special software, developed in MSU.

Нефтяные загрязнения происходят на всех стадиях производства, транспортировки и обработки нефти: вблизи нефтеперерабатывающих заводов, при разрывах нефтепроводов, в местах перекачки нефти с одного вида транспорта на другой, на заправочных станциях, при случайных авариях на транспорте и т. д. Методы электроразведки могут обеспечить оперативное слежение за загрязнениями, изучение их планового и глубинного распространения, процессы миграции. Мы изучали нефтяные загрязнения в ряде мест в России и в Германии. Загрязнение нефтью —

необычный объект благодаря его способности к изменениям и подвижности. Изменения свойств пород, вызванные таким загрязнением, противоречивы. Известно, что нефть — изолятор, но она часто вызывает появление аномалий пониженного сопротивления [12], [11] и это, видимо, вызвано деятельностью бактерий в верхней части геологической среды.

Специальные исследования химических изменений нефтепродуктов, происходящих на небольших глубинах под влиянием бактерий, были предприняты в Канаде и ряде других стран ([10, 7, 8] и др.). Они показали, что поверхностная вода может являться агентом переноса, приводящим микробы в контакт с углеводородами по разломам, трещинам или другим проводящим каналам. Микробы, которые могут метаболизировать нефти, включают плесень, дрожжи и аэробные бактерии. Для того, чтобы аэробные бактерии смогли окислять нефть, желательно выполнение следующих условий: 1. Температура поверхностных вод — от 20 до 50°C; 2. Вода должна содержать растворенный молекулярный кислород в количестве порядка 8 мг/л; 3. Нефть должна быть свободна от сероводорода (который отравляет аэробные микроорганизмы).

В результате бактериального воздействия происходит образование неуглеводородных соединений, и особенно асфальтенов, и разрушение насыщенных и ароматических углеводородов. Алканы, цикло-алканы и ароматические углеводороды — все усваиваются бактериями. Наблюдается избирательное удаление более легких членов этого ряда. Более тяжелые нормальные парафины также подвергаются бактериальному воздействию, а еще более тяжелые, более конденсированные, циклические углеводороды, по-видимому, не подвергаются разложению на данном уровне развития процесса, и их концентрация возрастает. Лабораторные эксперименты показали, что окисление нефти начинается в первые же дни после доступа к ним микробов и особенно активно проходит в первые три дня. Изменяется удельный вес нефти, которая сначала плавает на поверхности воды, а спустя 21 день образует осадок на дне лабораторного сосуда (изменение удельного веса с 0,828 г/см³ до 1 и более). Понижаются значения рН (с 7 до 6 за три дня), что указывает на образование кислотных компонентов. Природные разложенные нефти становятся более сернистыми.

Полная модель геоэлектрического разреза и методика ее исследования

Нефтяные загрязнения геологической среды образуют в земле области довольно сложных очертаний и нечеткие по изменению физических свойств. Для их обнаружения необходимо, чтобы эффект от загрязнения превышал влияние геологического шума. Его влияние — основная проблема для электрических зондирований, применяемых при изучении урбанизированных территорий. Верхняя часть разреза включает много приповерхностных неоднородностей (ППН), вызванных искусственным грунтом, асфальтовыми покрытиями, траншеями, трубами, кабелями и т. д. Эти неоднородности создают сильные искажения, препятствующие изучению более глубоких объектов, аналогично тому, как покрытое трещинами стекло или подернутая волновой рябью поверхность воды мешают видеть более удаленные объекты. Искажающее влияние ППН может быть подавлено с помощью методики сплошных электрических зондирований (СЭЗ), разработанной в МГУ [6].

Анализ полевых данных ВЭЗ для различных регионов показал, что различные признаки искажений кривых обнаруживаются на более чем 70 % кривых ВЭЗ. Причинами искажений являются приповерхностные геологические неоднородности. Интерпретация искаженных кривых в рамках горизонтально-слоистой модели дает неверные результаты. Так как искажения проявляются часто, то необходимо считать

искажающие неоднородности неотъемлемым элементом исследуемой модели и так изменить технологию ВЭЗ, чтобы минимизировать ущерб от искажений. Технология СЭЗ построена на основе изучения такой модели разреза, включающей источники искажений. Так как диагностировать искажения по единичной кривой ВЭЗ во многих случаях невозможно, то нужно переходить к совместному анализу профильных данных ВЭЗ. Если зондирования становятся не единичными, а профильными, то и основной формой визуализации результатов следует считать не отдельные кривые ВЭЗ, а разрезы ρ_k .

При выполнении СЭЗ используется двусторонняя трехэлектродная установка с линейным шагом разносов, строго равным шагу между центрами зондирования по профилю. ППН создает искажения четырех различных типов для следующих случаев: когда перемещаемый одиночный или дипольный элемент установки проходит над ППН и когда неподвижный одиночный, или дипольный элемент установки находится в пределах ППН. Одни искажения кривых зондирования оказываются конформными, а другие — неконформными [3]. На разрезах ρ_k искажения отображаются как вертикальные или наклонные полосы. Мы разработали алгоритмы и программы для подавления таких искажений, резко повышающие точность интерпретации.

Полная модель геоэлектрического разреза (рис. 1) включает три компонента: горизонтально-слоистую структуру, глубинные и приповерхностные неоднородности. Приповерхностные неоднородности (ППН) обычно не представляют интереса и являются геологической помехой. Глубинные, как правило, являются объектом поиска. Но влияние приповерхностных неоднородностей во много раз сильнее глубинных, так как они расположены ближе к точкам возбуждения и измерения поля. Учитывая сильное влияние ППН, перед интерпретацией их проявление желательно ослабить или удалить.

Размеры глубинных неоднородностей, когда они представляют интерес для исследования, определяют шаг зондирования, а глубина залегания изучаемых объектов — требуемую минимальную и максимальную глубину. Так как приповерхностные неоднородности не представляют интереса, а их размеры малы, то невозможно определять детальность исследования на основе учета их размеров. Но игнорировать наличие приповерхностных неоднородностей нельзя. Тогда надо минимизировать число попаданий питающих электродов в неоднородности. Так как их расположение неизвестно, то следует выполнять зондирования таким образом, чтобы от разных точек ВЭЗ питающие электроды попадали в одни и те же точки.

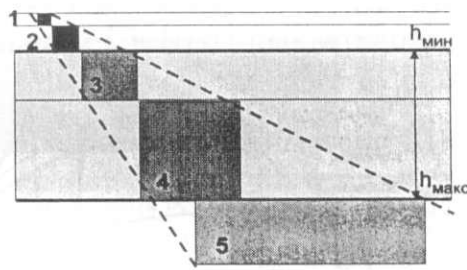


Рис. 1. Полная модель геоэлектрического разреза

Арифметический шаг роста разносов является избыточным при электрическом зондировании горизонтально-слоистых сред, но необходим для выявления приповерхностных неоднородностей. Искажения приповерхностными неоднородностями вблизи питающих электродов при увеличении разносов в геометрической прогрессии проявляются в поле ρ_k как случайная помеха, а при линейном увеличении разносов с шагом, равным шагу между точками ВЭЗ, — как регулярная помеха. Желательно выполнять зондирования с одним питающим электродом (AMN+MNB), а не двумя (AMNB), так как в этом случае легче разобраться с диагностикой искажений.

Основные типы искажений кривых ВЭЗ приповерхностными неоднородностями

Было установлено [1, 3], что искажающее влияние приповерхностных неоднородностей (ППН) зависит прежде всего от типа элемента установки: дипольного (сильные и незатухающие искажения) или одиночного (слабые по амплитуде и затухающие с разном искажения), попадающего на неоднородность (рис. 2). Кроме того, проявление искажения на разрезе ρ_k зависит от выбора точки записи (к какому элементу установки она относится: к неподвижному или подвижному). Искажения от ППН, расположенных вблизи неподвижных элементов установки, и от ППН, пересекаемых подвижными элементами установки, на разрезе ρ_k проявляются по-разному.

Искажения могут быть выявлены как на отдельной кривой зондирования, так и на псевдоразрезе ρ_k . На рис. 3 показано, как проявляется полусферическая ППН на кривых зондирования для установки AMN с точкой записи, относимой к неподвижному элементу установки. Кривая 0 соответствует фоновому двухслойному разрезу без ППН. Кривые 1, 2, 3, 4 отвечают различным вариантам встречи (б) элементов установки AMN с ППН. В случае 1 неподвижный диполь MN находится над ППН в 3 м правее центра, а одиночный электрод А перемещается вправо. В случае 2 электрод А находится над ППН в 3 м правее центра, а перемещается диполь MN. В случае 3 неподвижный электрод А находится вне ППН, а подвижный диполь MN проходит над неоднородностью. В случае 4 неподвижный диполь MN находится вне ППН, а электрод А проходит над ней.

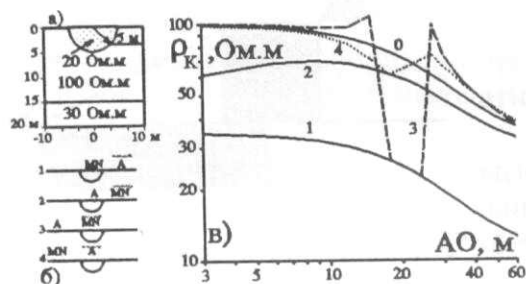


Рис. 3. Модель (а), варианты встречи с ППН (б) и кривые зондирования (в)

формы. Неконформные искажения наблюдаются в случаях 3 и 4, когда подвижный элемент установки проходит над ППН. Здесь меняется форма участка кривой ρ_k , отвечающего прохождению элемента установки над ППН. Отметим, что дипольный элемент установки дает более сильные по амплитуде эффекты, чем одиночный (поле наиболее резко меняется на границах ППН). Отметим также, что случаи 2 и 3 соответствуют методике точечных зондирования (ТЗ) — питающий электрод А неподвижен, измерительный диполь MN перемещается вдоль профиля, точка записи относится к электроду А).

Для часто используемой нами установки AMN с точкой записи в середине неподвижной линии MN, искажения, связанные с питающим и измерительным элементами, различны по амплитуде и по форме. Поэтому для их описания мы используем более локальные термины — Р- и С-эффект.

Р-эффект — это искажения неоднородностями вблизи приемных электродов. Р-эффект — от "potential" — измерительных электродов. Р-эффект проявляется как



Рис. 2. Классификация искажений, вызванных ППН

вертикальный сдвиг всей кривой или ее сегментов по оси сопротивлений без изменения формы. Если кривая ВЭЗ не сегментирована, то Р-эффект обнаруживается при сопоставлении этой кривой с соседними, а для сегментированной кривой — по заметному расхождению сегментов по вертикали при сохранении общей формы кривой. Устранение искажения называется нормализацией кривой.

С-эффект — это искажения кривых ВЭЗ приповерхностными неоднородностями, вызванные движущимися над ППН питающими электродами (С-эффект — от слова "current"). Хотя отражения на графиках профилирования и зондирования моментов перехода перемещаемого питающего электрода через приповерхностную неоднородность (контакт, пласт, полусферу и т. п.) были известны давно из работ И. М. Блоха, В. Р. Бурсиана, А. И. Заборовского и др., но как серьезная причина искажений кривых зондирования С-эффект был осознан в 1991 г., сначала на результатах математического моделирования и лишь после этого на экспериментальных данных. Причина в том, что при стандартной методике зондирования и на разрезе кажущихся сопротивлений его очень трудно распознать. Проявление С-эффекта на кривой AMN над полусферической ППН показано на рис. 3 (кривая 4), а проявление на псевдоразрезе ρ_k — на рис. 4, а. Сильная вертикальная аномалия на рис. 4, а — это Р-эффект, а С-эффект можно заметить по искривлению изолиний в виде наклонной зоны на разрезе ρ_k под углом 45° (вправо вниз). Когда питающий электрод попадает в ППН, кривая ВЭЗ заметно искажается на 1–2 разносах. С-эффект обладает рядом особенностей, делающих его более опасным, чем Р-эффект: а) изменяется форма кривой, и следовательно, тип разреза и видимое число слоев; б) на серии кривых ВЭЗ по профилю он проявляется на разрезе ρ_k как наклонный слой, причем с использованием линейного масштаба по оси разносов он выглядит прямолинейным, а с использованием логарифмического масштаба — изогнутым; в) при стандартной методике зондирования с четырехэлектродной установкой Шлюмберже и логарифмическим шагом увеличения разносов С-эффект может возникать то от А, то от В, и на соседних кривых по профилю проявляться нерегулярно, лишь при попадании электрода А или В в неоднородность. При этом пропадает главный признак — форма искажения; г) на разрезах ρ_k С-эффект слабо заметен из-за фоновых изменений поля. Для его обнаружения применяется V-трансформация разреза ρ_k (рис. 4, б, рис. 9).

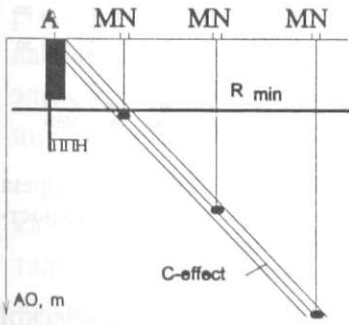


Рис. 5. Схема возникновения С-эффекта

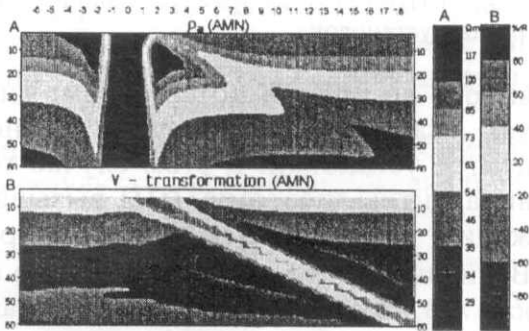


Рис. 4. Проявление Р- (вверху) и С-эффекта (внизу) на псевдоразрезе ρ_k (а) и его V-трансформации (б)

На рис. 5 показано происхождение С-эффекта, возникающего от одной ППН при измерениях с разными точками расположения неподвижного диполя MN и одним подвижным электродом А, проходящим над ППН (темный прямоугольник). Система координат: расстояние по профилю (вправо), разнос АО (вниз). Точка записи относится к MN. При выборе линейного масштаба по оси разносов АО в данной системе координат, соответствующей разрезу ρ_k , С-эффект проявит себя как линейная зона искажений, наклоненная под углом 45°. Так как разносы АО начинаются с некоторого R_{min} и разрез

рк рисуется с этого уровня, показанного на рис. 5 горизонтальной линией, то аномалия от С-эффекта подходит к этому уровню не в точке фактического размещения ППН, а на расстоянии $R_{\min}$ от нее, что учитывается на рис. 6.

Искажающие эффекты, вызванные ППН в той же системе координат для разных установок, представлены на рис. 6. Случаи 4 и 5 соответствуют установкам AMN и MNB, с точкой записи в центре MN.

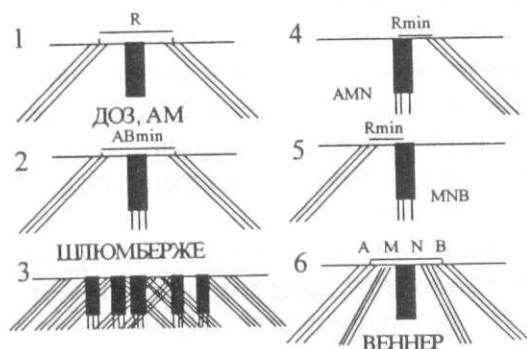


Рис. 6. Эффекты искажений (тройные линии) от ППН (черные прямоугольники) для разных установок

Попадание MN в ППН вызывает Р-эффект (показан тремя вертикальными линиями), а попадание электродов А или В — вызывает С-эффект (показан тремя наклонными линиями). Для установки Шлюмберже (случаи 2 и 3) от каждой ППН распространяются три луча искажений (вертикально вниз — Р-эффект и два луча от С-эффектов, расходящихся от ППН с ростом разноса АО. Для нескольких ППН (случай 3) искажающие эффекты накладываются друг на друга и в результате возрастает общий уровень геологических помех и уменьшаются возможности корреляции кривых ВЭЗ по профилю,

вплоть до полной потери возможности прослеживания границ в разрезе. Случай 1 на рис. 6 соответствует установкам AM и ABMN (ДОЗ) с точкой записи в центре установки. В этом случае токовые и приемные элементы установок эквивалентны, поэтому ППН вызывает появление двух одинаковых линий искажений, расходящихся на разрезе ρ_k под углом 45° . Искажения для установки Веннера имеют наиболее сложную форму. Поскольку одновременно расходятся как АВ, так и MN, и при этом с разной скоростью, а точка записи остается неподвижной, то углы наклона зон искажений от электродов АВ и MN на разрезе ρ_k различаются.

Способы визуализации результатов профильных зондирований

Изображение кривой ВЭЗ как зависимости $\rho_k = f(r)$ удобно для анализа собственно зондирования горизонтально-слоистой структуры. Поскольку изучаемая нами модель более сложная, для каждого ее элемента (глубинных и поверхностных неоднородностей, Р- и С-эффектов и слоистой структуры) должен быть найден свой оптимальный способ визуализации. Для этой цели в МГУ создан программный комплекс IPI-2D, позволяющий изображать данные СЭЗ в разных видах. Поясним возможности визуализации на примере полей для модели, центральная часть которой показана на рис. 7. За ее пределами неоднородности отсутствуют. Общая длина области моделирования — 700 м. В первом слое находятся пять объектов, имитирующих ППН. Во втором слое одна неоднородность пониженного сопротивления — модель палеодолины, в третьем слое — зона пониженного сопротивления — модель тектонической зоны. Шаг ВЭЗ по профилю — 5 м, разносы ВЭЗ от 5 до 100 м, номера пикетов ВЭЗ от -15 до +35, ширина рабочей части профиля — 300 м.

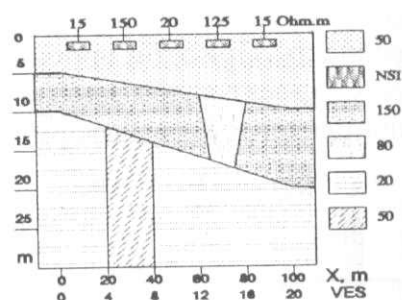


Рис. 7. Модель слоистого разреза с глубинными и приповерхностными неоднородностями

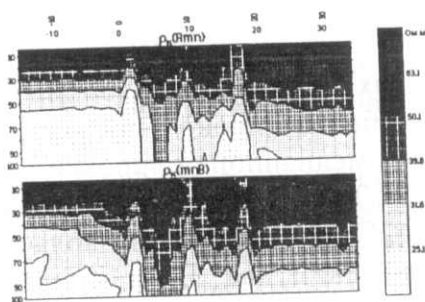


Рис. 8. Поля ρк для AMN (вверху) и MNB установок, рассчитанные для модели с рис. 7

свой способ изображения. Разрез кажущихся сопротивлений не является идеальной формой изображения, так как интерполирует поле между отдельными точками зондирования и сглаживает его многие детали. Кривые ВЭЗ и их совокупность являются наиболее привычной формой визуализации зондирований, они более детальны по сравнению с разрезом ρк, но не столь наглядны.

При регистрации в каждой точке двух зондирований AMN и MNB полезно визуализировать разность полей для этих установок, так как она подчеркивает положение неоднородностей. Это различие можно увидеть в IPI-2D с помощью разностной или D-трансформации.

Для распознавания искажений от ППН мы применяем V- и G-трансформации поля ρк, (рисунки 9, 10). V-трансформация есть результат дифференцирования поля

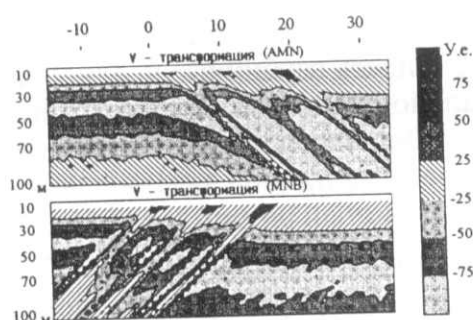


Рис. 9. Поля V-трансформаций для AMN (вверху) и MNB установок

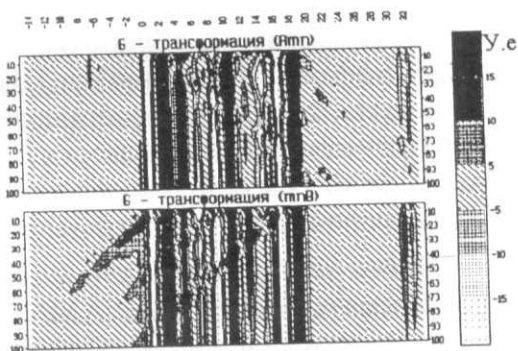


Рис. 10. G-трансформация поля ρк

ρк вдоль оси разносов (см. рис. 9), а G-трансформация — результат дифференцирования вдоль линии наблюдений (см. рис. 10). Первая трансформация подчеркивает искажения от движущихся элементов установки, а вторая — от неподвижных элементов установки. Для большей наглядности этих трансформаций используется линейный масштаб по оси Z.

Подобная система визуализации данных ВЭЗ ставит своей целью оценить на качественном уровне степень проявленности всех элементов модели — горизонтальной структуры, глубинных или приповерхностных неоднородностей, Р- и С-эффектов. В некоторых случаях с помощью трансформаций удастся увидеть глубинный объект на фоне приповерхностных искажений, в других случаях сначала требуется удалить искажения от ППН.

Для удаления искажений из результатов профильных электрических зондирований может быть использовано несколько процедур, но более широко в последнее время мы применяем нормализацию на основе алгоритма медианной полировки.

Алгоритм медианной полировки был предложен Дж.Тьюки, а для обработки профильных данных ВЭЗ он использован Е. В. Перваго. Этот алгоритм позволяет эффективно удалять из разрезов кажущихся сопротивлений как С-, так и Р-эффекты. Величины Р- и С-эффектов могут быть оценены отдельно для каждого пикета профиля и представлены в виде отдельных графиков. Данный алгоритм разделяет эффекты от неоднородностей, выходящих непосредственно на поверхность, находящихся на глубине, и влияние горизонтально-слоистой составляющей разреза. Работа алгоритма основана на свойстве регулярности проявления эффектов от этих составляющих. Алгоритм сравнивает выборки из экспериментального поля, взятые для одного пикета по всем разносам, для одного разнота по всем пикетам, и выборку вдоль оси проявления С-эффекта, — с аналогичными выборками. Если данная выборка имеет систематический сдвиг в уровне r_k по отношению к соседним, это свидетельствует о регулярности соответствующего эффекта. Фактически алгоритм разделяет суммарное поле на основные составляющие: эффекты от горизонтально-слоистой структуры, от неоднородностей вблизи движущихся и неподвижных элементов установки и случайные помехи. После разделения каждая составляющая очищается от случайных помех, а эффекты от неоднородностей разделяются на поверхностные и глубинные по характеру их проявления в поле r_k . Затем программа Median вновь собирает (восстанавливает) поле r_k из частей, очищенных от случайных помех и влияния ППН.

Таким образом, обработка программой Median в пакете IPI-2D позволяет выявить эффекты искажений от ППН и удалить их, увидеть глубинные неоднородные объекты и выделить составляющую горизонтально-слоистого разреза. Слоистый разрез может быть подвергнут количественной 1D-интерпретации. Глубинные объекты могут быть промоделированы с помощью расчета прямой задачи для 2D-модели, включающей как эти неоднородности, так и слоистый разрез.

Модельный пример. Если модельные данные r_k из примера на рисунках 7, 8 преобразовать к установке AMNB и осуществить 1D-интерпретацию, то форма границ окажется сильно искаженной (глубинная структура изучается как бы через

разбитое стекло), рис. 11, а. Если же выполнить фильтрацию искажений, то одномерная интерпретация воспроизведет структуру модели с существенно большей точностью (рис. 11, б). Дополнительной оценкой качества обработки может являться величина среднеквадратической погрешности интерпретации кривых ВЭЗ (невязка). Графики таких погрешностей до и после обработки для всех точек ВЭЗ по профилю показаны на рис. 12. Как на теоретических моделях, так и на большом экспериментальном материале нами установлено, что после обработки заметно снижается погрешность интерпретации, причем наиболее заметно там, где находились ППН (см. рис. 12, Пк -5 ... +20). Только после подавления геологических помех можно решать такие тонкие геологические задачи, как исследование нефтяных загрязнений.

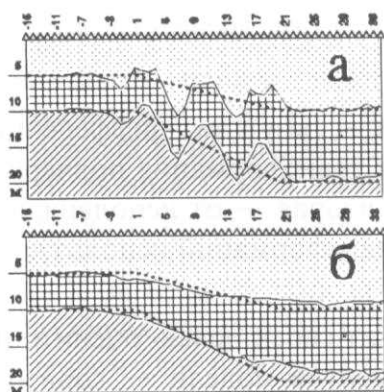


Рис. 11. Сравнение результатов 1D-интерпретации ВЭЗ для модели с рис. 7 до (а) и после (б) обработки

Электрические наблюдения на урбанизированных территориях могут выполняться и без гальванических контактов с землей. GPR, или георадар — очень удобный прибор для таких измерений. Он обеспечивает большую детальность исследования. К сожалению, георадар имеет небольшую глубину исследования и некоторые проблемы с оценками глубин. Мы используем георадар вместе с электрическим зондированием ВЭЗ или СЭЗ, которое дает надежные привязки глубин для радара и имеет большую глубину исследования. Традиционное электрическое зондирование нуждается в заземлениях питающих и приемных электродов. Между тем, в России более 40 лет используется бесконтактный вариант метода сопротивлений [4, 5]. В С.-Петербурге серийно выпускается аппаратура ЭРА-В для таких работ. Она может работать без заземлений на частотах 5 и 600 Гц. На 600 Гц можно использовать бесконтактные питающие и приемные линии, а на 5 Гц — только приемные линии [9]. При температурах около нуля и сыром снежном покрове обычным ВЭЗ очень мешают утечки электрического тока. В таких условиях бесконтактные измерения имеют большие преимущества. Пример бесконтактных зондирований приведен далее, на рисунках 15, 16.

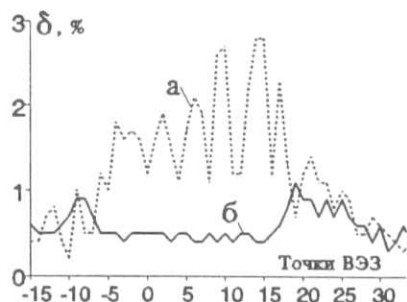


Рис. 12. Среднеквадратические погрешности интерпретации ВЭЗ до (а) и после (б) обработки

Результаты практических работ

Для изучения загрязнений на нефтеперерабатывающем заводе в городе В применялись методы сопротивлений, ВП, ЕП и георадар. Область загрязнения оказалась подобной рудному телу, так как над ней были выявлены пониженные значения кажущегося сопротивления, отрицательные значения потенциала ЕП, повышенные значения ВП. Георадар выявил пониженную диэлектрическую проницаемость в области загрязнения. По комплексу методов выявлена область загрязнения (рис. 13) и оценена толщина загрязненного слоя (рис. 14). Отмечались аналогичные аномалии низкого сопротивления над нефтяными загрязнениями [12].

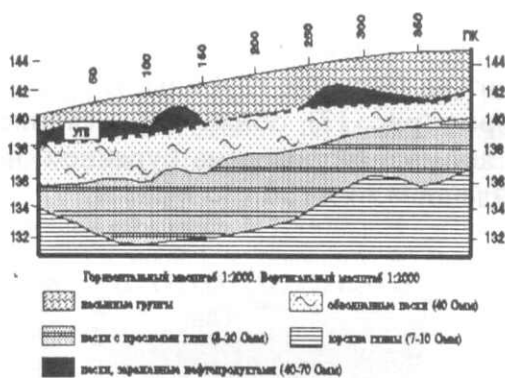


Рис. 13. Нефтяное загрязнение в верхней части разреза

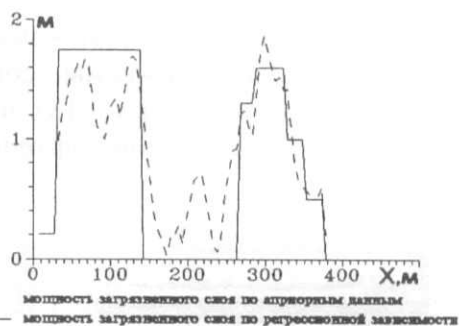


Рис. 14. Оценка мощности загрязнения по данным геофизики

Почему нефтяное загрязнение проявляется пониженными сопротивлениями? По мнению специалистов, в этом повинны преобразующие нефть бактерии. В верхних частях геологического разреза бактерии очень активны, они трансформируют часть нефтяной пленки в различные кислоты. Кислоты реагируют с горными породами и ионами железа, находящимися в воде, и в результате понижают сопротивление

грунтовых вод, обостряют карстовые процессы, вызывают образование пирита и аномалии ВП.

В городе А нефтяное загрязнение располагается на глубинах до 50 м. После 40 лет работы нефтеперерабатывающего завода под ним образовалось большое вторичное скопление нефти. Изучение области загрязнения методом СЭЗ позволило определить слоистую структуру разреза и обнаружить палеодолины, заполненные проницаемым материалом. Система таких палеодолин создает наиболее вероятные пути распространения нефтяного загрязнения, обнаруженного на значительном (несколько километров) расстоянии от завода. Этот пример показывает, что не только фоновый геологический разрез, но и некоторые аномальные его особенности играют важную роль в размещении и перемещении загрязнения. Карстовые процессы в карбонатных породах способствуют вертикальному распространению нефтяного загрязнения. В связи с неблагоприятными погодными условиями работы на профиле 11 (рисунки 15, 16) проводились с незаземленной измерительной линией.

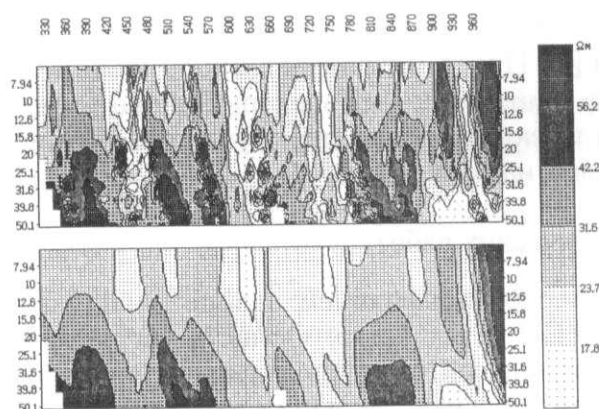


Рис. 15. Поля ρ_k до и после подавления геологических помех

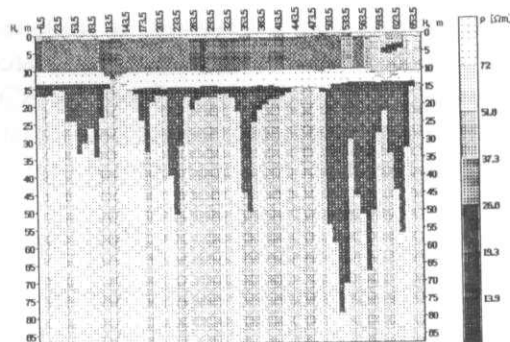


Рис. 16. Следы нефтяного загрязнения в слое известняков по данным СЭЗ с бесконтактными измерениями электрического поля с рис. 15

В городе Б имеется похожий нефтеперерабатывающий завод. Есть много признаков того, что потеря нефти там не меньше, чем в А, но нет богатых вторичных скоплений. Причина, видимо, в том, что разрез в основном песчанистый, хотя и с прослоями глин, и вытекающая нефть уходит на большие глубины. Видны ее следы в разрезе, измененные сопротивления пород (рис. 17), обнаружены скопления нефтепродуктов (рис. 18), часть подобных аномалий проверена бурением, но значительных скоплений нефтепродуктов не найдено.

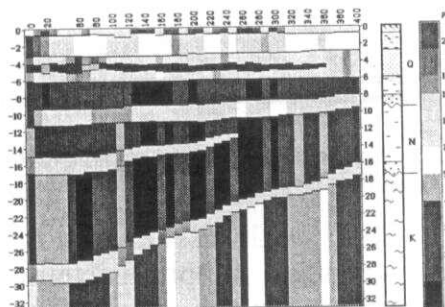


Рис. 17. Следы нефтяного загрязнения в слоистом песчано-глинистом разрезе, по данным СЭЗ на профиле 2

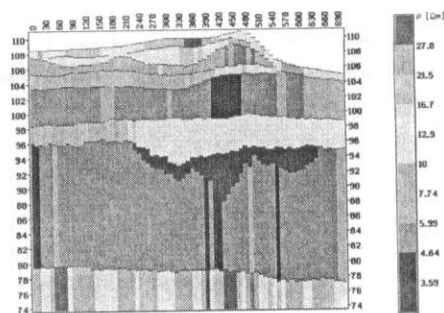


Рис. 18. Скопление нефтепродуктов в слоистом песчано-глинистом разрезе, по данным СЭЗ на профиле 4

Выводы:

1. При изучении загрязнений надо учитывать как фоновый разрез, так и тонкие детали разреза: палеодолины, разломы, тонкие прослои проницаемых пород.

2. Для изучения тонкой структуры разреза необходимо свести к минимуму влияние геологических помех, вызванных приповерхностными неоднородностями как природного, так и особенно техногенного происхождения.

3. Нефтяное загрязнение является особым объектом с необычными свойствами, подвижное, агрессивное к вмещающим породам, оно сопровождается аномалиями низкого сопротивления и повышенными значениями ВП.

Авторы благодарны доценту кафедры горючих ископаемых Геологического факультета МГУ А. М. Гусевой за консультации по вопросам бактериальных преобразований нефти в верхних частях геологического разреза.

Работы по данной теме были выполнены при поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект 98-05-65059).

ЛИТЕРАТУРА

1. Новые подходы к электрическим зондированиям горизонтально-неоднородных сред / Бобачев А. А., Марченко М. Н., Модин И. Н., Перваго Е. В., Урусова А. В., Шевнин В. А. // Физика Земли. — 1995. — № 12. — С. 79—90.
2. Многоэлектродные электрические зондирования в условиях горизонтально-неоднородных сред / Бобачев А. А., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. — М., 1996. — 50 с. // Разведочная геофизика. Обзор. АОЗТ "Геоинформмарк". — Вып. 2.
3. Возможности электроразведки при экологических исследованиях / Бобачев А. А., Большаков Д. К., Горбунов А. А., Коларов Д. Л., Модин И. Н., Перваго Е. В., Шевнин В. А. // Международная конференция SEG-EАГО-EАEG (СПб., 10—13 июля 1995 г.).
4. Ортогональное электроразведание с незаземленными рабочими линиями / Под ред. А. С. Нахабцева. — Л.: Недра, 1990. — 115 с.
5. Электропрофилирование с незаземленными рабочими линиями / Составители: А. С. Нахабцев, Б. Г. Сапожников, А. И. Яблучанский. — Л.: Недра, 1985. — 96 с.
6. Электроразведка методом сопротивлений / Под ред. В. К. Хмелевского и В. А. Шевнина. — М.: МГУ, 1994. — 160 с.
7. Bailey N.J.L., Krouse H.R., Evans C.R. Rogers M.A. Alteration of crude oil by waters and bacteria - evidence from geochemical and isotope studies. American association of petroleum geologist bulletin, N5, 1973, pp.1276—1290.
8. Bailey N.J.L., Jobson A.M., Rogers M.A. Bacterial degradation of crude oil: comparison of field and experimental data. Chemical geology, v.11, 1973, p.203—221.
9. D.K.Bolshakov, I.N.Modin, B.G.Sapognikov, V.A.Shevvin. Non-contact resistivity measurements. EAGE 58th Conference, June 1996, Amsterdam, The Netherlands. P051.
10. Milner C.W.D., Rogers M.A., Evans C.R. Petroleum transformations in reservoirs. Journal of geochemical exploration, N 7, 1977, p.101—153.
11. Modin I. N., Shevvin V. A., Bobatchev A. A., Bolshakov D. K., Leonov D. A., Vladov M. L. Investigations of oil pollution with electrical prospecting methods. Proceedings of the 3rd Meeting environmental and engineering geophysics. Aarhus, Denmark, 8—11 September 1997.
12. Vanhala H. Mapping oil contaminated sand and till by spectral induced polarization method. Proceedings of EAGE 55th annual meeting, Zeist, 1992.