УДК 550.837

С.В.ШАКУРО
Центральная ГГЭ ФГУГП «Волгагеология», Нижний Новгород

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ МЕТОДОВ ПРИ ИЗУЧЕНИИ БЕНЗИНОВЫХ (КЕРОСИНОВЫХ) ЛИНЗ НА ОБЪЕКТАХ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Линзы техногенных гравитационно-подвижных нефтепродуктов, сформировавшиеся в верхней части разреза, являются источниками повышенной экологической опасности. При их изучении может быть использован комплекс геофизических методов, позволяющий в сложных условиях нефтебаз и нефтеперерабатывающих заводов получить достоверную информацию о строении и условиях формирования очага загрязнения. Приведен обзор типичных задач, возникающих при исследовании подобных объектов, и методов их решения на основе данных, полученных на объектах хранения нефтепродуктов Самарской области и Краснодарского края.

The subsurface man-caused oil-slime lenses are known as the objects of higher ecological risk. Their exploration may be carried out with the set of bundled geophysical methods, highly effective in sophisticated research conditions of oil storages and plants, providing wealthy data on the composition and formation of the pollution area. The given review of typical tasks, rising while exploring such objects and the methods of their solving is based on field data, collected while surveying oil storages located in Samara and Krasnodar regions.

Техногенные месторождения нефтепродуктов с извлекаемыми объемами в сотни, тысячи кубических метров и более формируются в районе нефтебаз, нефтехранилищ, нефтеперерабатывающих заводов, находящихся в эксплуатации достаточно длительный срок (20, 30 лет и более) за счет постоянных утечек, происходящих (или, по крайней мере, происходивших ранее) практически на всех стадиях производства. Как правило, достаточно компактные линзы нефтепродуктов формируются у зеркала вод первого от поверхности водоносного горизонта и мигрируют по его уклону, частично «размазываясь» как в плане, так и по вертикали в пределах зоны аэрации (рис.1). Помимо очевидной экологической опасности, эти залежи в некоторых случаях представляют и определенный коммерческий интерес, поскольку в благоприятных условиях большая часть продукта – бензина (смеси бензинов) или керосина может быть извлечена и переработана.

Предполагается, что линза подразделяется на зону полного насыщения вмещающих пород нефтепродуктами, мощность которой примерно соответствует мощности чистого нефтепродукта в скважинах, и обширную зону частичного насыщения, образующуюся при вертикальных движениях линзы во время сезонных колебаний уровня грунтовых вод. Контакт подошвы линзы и зеркала грунтовых вод фиксируется как наблюдательными скважинами, так и геофизическими методами – электрозондированием и сейсморазведкой методом преломленных волн (МПВ). По данным сейсморазведки в зоне развития линзы уровень грунтовых вод несколько ниже, чем на периферии, разрешающей же способности электрозондирования, как правило, недостаточно для точного картирования данной границы. По мнению некоторых исследователей, амплитуда этого прогиба может быть использована для оценки объема залежи. Граница между зонами полного и частичного насыщения

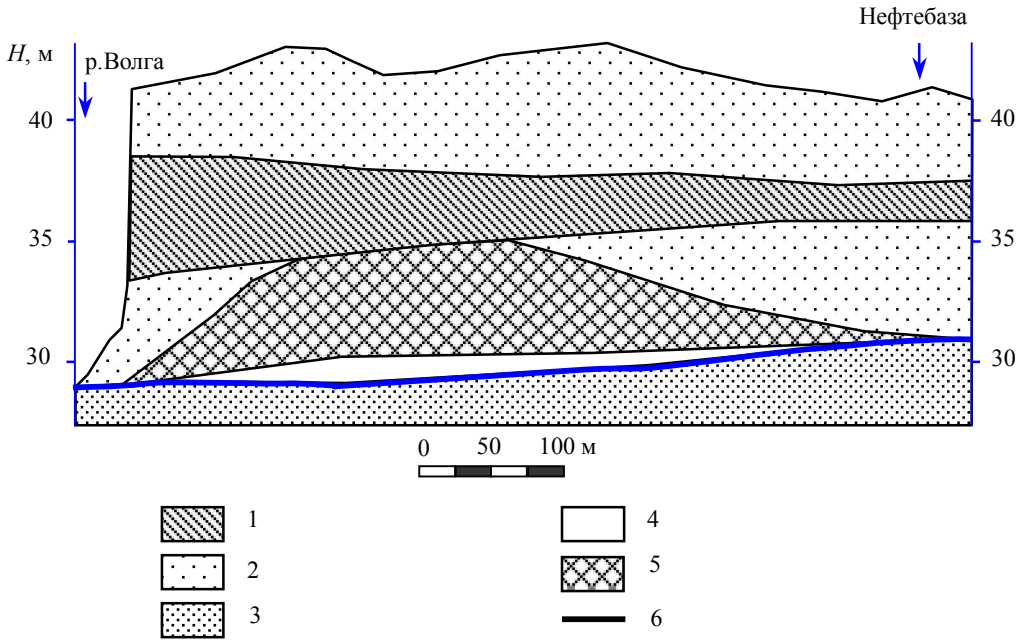


Рис.1. Геологический разрез через центральную часть линзы нефтепродуктов в районе Тольяттинской нефтебазы
1 – суглинки; 2 – сухие пески; 3 – полностью водонасыщенные пески; 4 – пески, полностью насыщенные нефтепродуктами; 5 – пески, частично насыщенные нефтепродуктами; 6 – уровень грунтовых вод

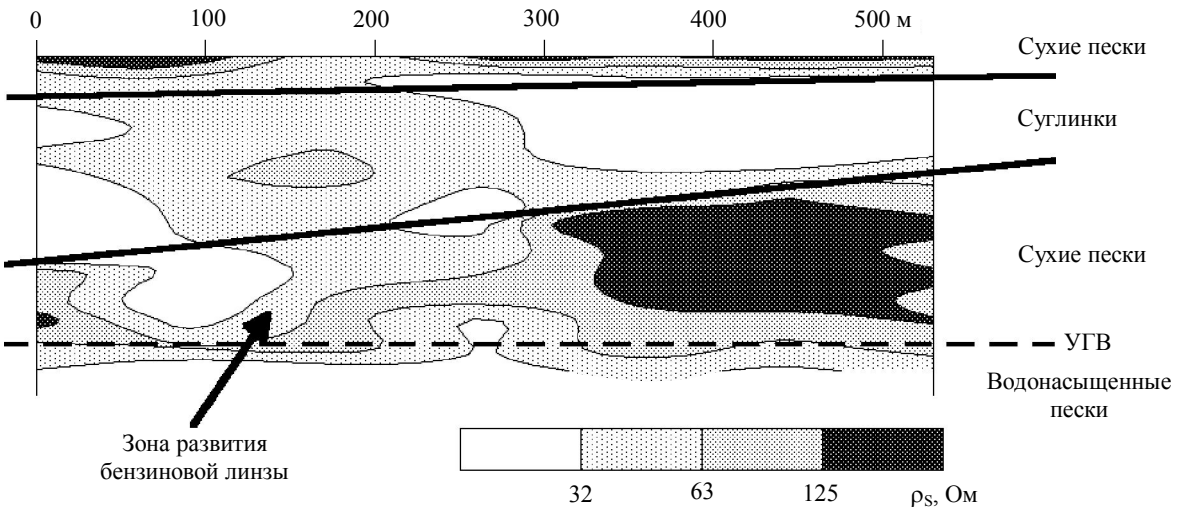


Рис.2. Геоэлектрический разрез дифференциального (по *S*) сопротивления через центральную часть линзы нефтепродуктов. Уровень грунтовых вод (УГВ) залегает на глубине 10-12 м

пород нефтепродуктами ни сейсмо-, ни электрозондированием не фиксируется, что позволяет предположить наличие в естественных, не нарушенных скважинами, условиях плавного перехода от полного к частичному насыщению.

В геоэлектрическом разрезе (рис.2) областям, загрязненным нефтепродуктами, соответствуют зоны пониженных электросопротивлений.

Как правило, контрастность геоэлектрических аномалий невысока. Аномалии

кажущегося сопротивления в пределах линз, залегающих в слабопроницаемых породах (суглинках) и разрушенных карбонатных породах, не превышают 10-20 %, в песках редко достигают 100 %. Поэтому для качественной оценки положения и размеров линзы в плане и разрезе нами вместо кажущегося сопротивления используется параметр дифференциальной проводимости по суммарной продольной проводимости *S*.

Тот факт, что нефтепродукты, являясь в чистом виде изоляторами, проявляют себя в наблюдаемых полях удельного сопротивления именно низкоомными аномалиями, имеет несколько объяснений. Во-первых, по-видимому, в большинстве случаев, вещество, слагающее тело линзы, является не чистым нефтепродуктом, а его водной эмульсией, которая на фоне сухих, относительно высокоомных пород обладает пониженным электросопротивлением. Во-вторых, активные процессы аэробной и анаэробной биодеградации нефтепродуктов, протекающие в естественных условиях, приводят к образованию и накоплению в зоне аэрации продуктов разложения, также снижающих электросопротивление среды. Наблюдаемые низкоомные аномалии над относительно недавними (менее полугода) разливами нефтепродуктов, а также закономерное снижение удельного сопротивления пород от периферии к центральной части линз (рис.3), позволяет принять в качестве основной первую версию и, в частности, использовать параметр удельного сопротивления породы в пределах линзы для количественной оценки загрязнения.

Как правило, при изучении техногенных залежей нефтепродуктов перед геофизиками ставятся следующие задачи:

1) картирование контура линзы и оценка объема нефтепродуктов;

2) изучение динамики линзы;

3) изучение каналов миграции нефтепродуктов.

Как было показано выше, первая задача эффективно решается электрозондированием методом сопротивлений. Для решения второй задачи необходимо привлечение детальных сведений о положении уровня

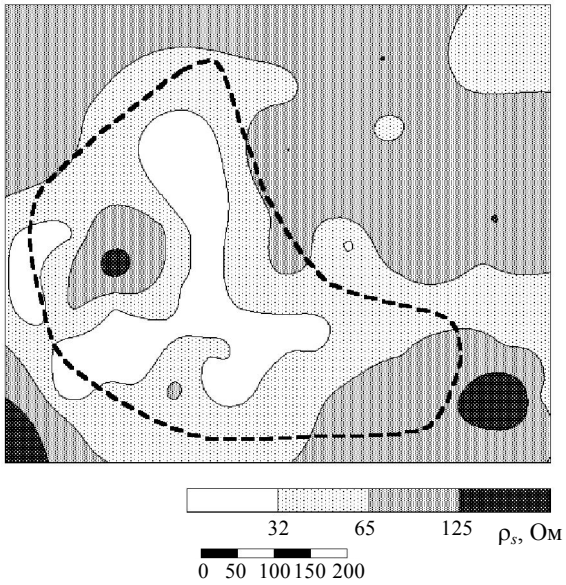


Рис.3. Карта дифференциального (по *S*) сопротивления на разносах 25-35 м (установка Шлюмберже). Пунктиром показан условный контур линзы по данным бурения, выполненного до проведения геофизических работ

грунтовых вод, которые могут быть получены сейсморазведкой МПВ или, при неглубоком залегании УГВ, методами георадиолокации. На основе же данных электрозондирования, как правило, возможно не только оценить (больше-меньше), но и достаточно надежно определить коэффициенты фильтрации вмещающих линзу пород, исходя из удельного электросопротивления водонасыщенной части разреза, с опорой на данные параметрии и известные для конкретных типов пород и конкретных областей зависимости $K_ф = f(\rho_{уд})$. В частности, поле $K_ф$ мелкозернистых песков на рис.4 рассчитано по зависимости, полученной в результате обобщения сведений по нескольким участкам, расположенным в пределах волжских террасовых отложений Татарстана (сам же участок работ находится в Самарской области также в пределах надпойменной террасы р.Волги). Рассчитанные коэффициенты фильтрации практически совпали с полученными в результате опытных откачек из нескольких наблюдательных скважин, расположенных на участке.

На основе карт, представленных на рис.4, было рассчитано поле скоростей

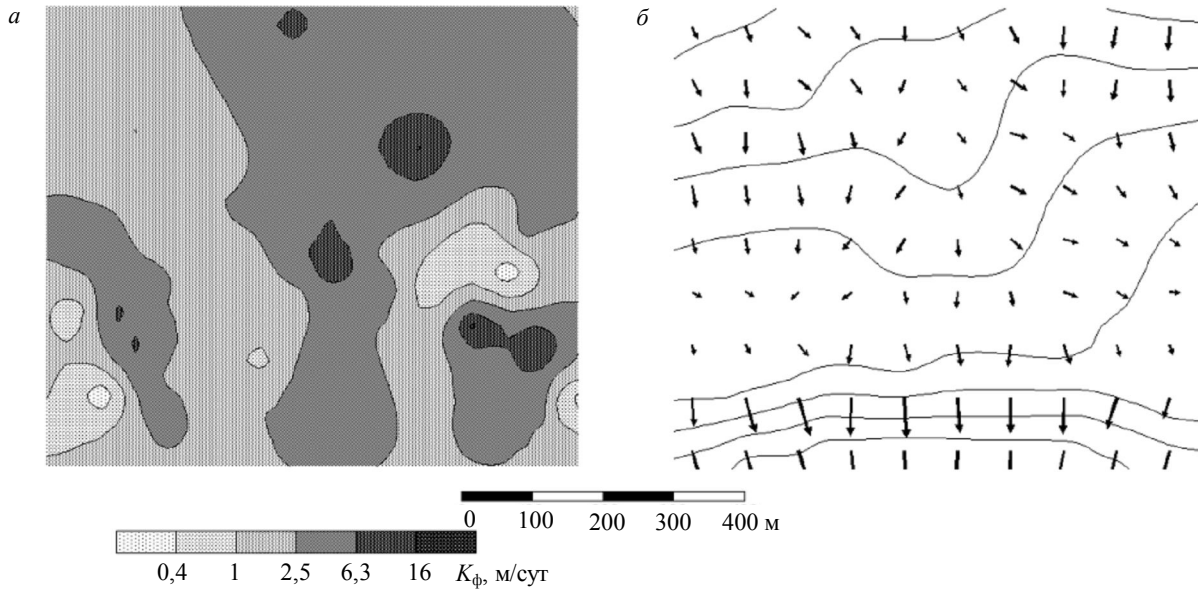


Рис.4. Карта коэффициента фильтрации мелкозернистых песков, вмещающих линзу нефтепродуктов, по данным электрозондирования (*а*) и карта изогипс и уклонов уровня грунтовых вод по данным сейсморазведки МПВ и бурения (*б*). Сечение изогипс 0,5 м. Южная (нижняя) часть рисунков – берег реки

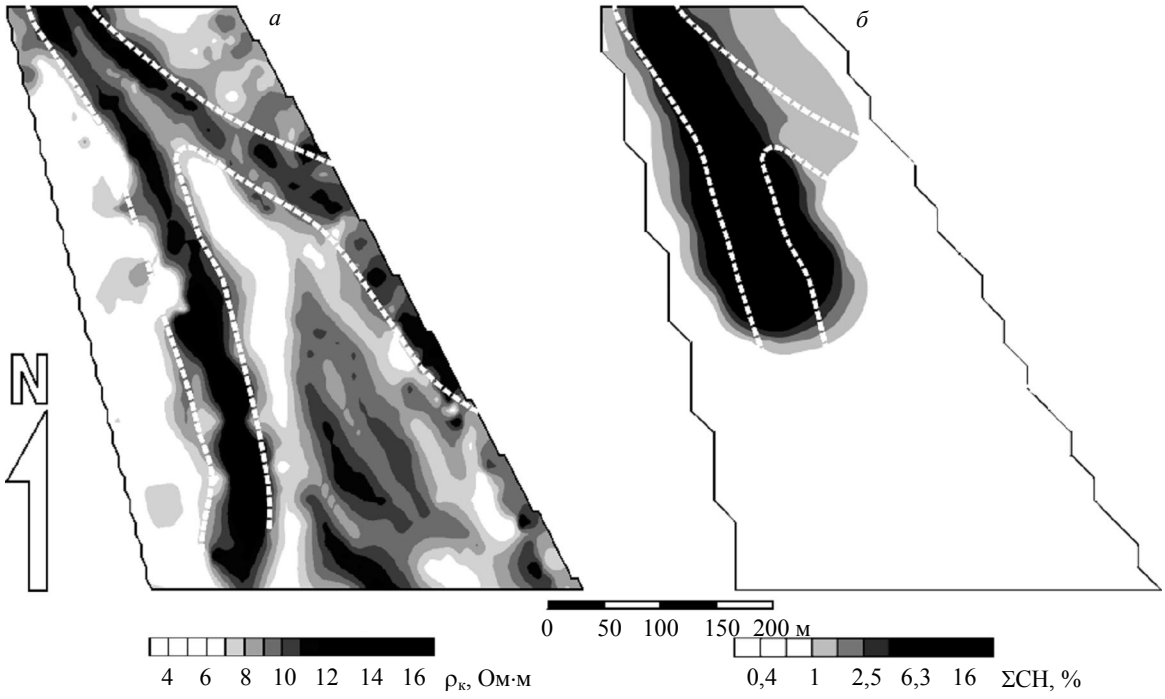


Рис.5. Карта кажущегося сопротивления по данным электропрофилирования с дипольной экваториальной установкой (*а*) и карта суммарного содержания углеводородных газов в подпочвенном воздухе (*б*). Белый пунктир – контур высокоомного палеовреза

фильтрации нефтепродуктов и составлен прогноз продуктивности добывающих скважин, а также предсказан залповый выброс нефтепродуктов в реку в юго-восточной части территории (за пределами исследованного участка), который и произошел спустя полгода после завершения геофизических работ.

Задача поиска и картирования каналов миграции техногенных нефтепродуктов возникает при проектировании защитных систем (дренажей, скважин), предотвращающих выход поллютанта в поверхностные водоемы. Проницаемые зоны в четвертичных обломочных породах характеризуются повышенными электросопротивлением и потенциалом естественного электрического поля. Пример площадного картирования путей миграции бензина, пролившегося при разрыве магистрального бензопровода, приведен на рис.5.

Здесь, по данным электропрофилирования, на фоне весьма низкоомного глинистого разреза (4-10 Ом·м) уверенно картируется палеорусло оврага, выполненное суглинками (12-20 Ом·м). В северной части участка палеоврез вскрывается современным оврагом, где и отмечаются выходы бензина. Несмотря на слабую проницаемость, суглинки на данном участке являются единственным возможным коллектором нефтепродуктов. Примечательно, что интервал палеовреза, содержащий нефтепродукты (см. данные площадных атмохимических исследований – рис.5, *б*), также характеризуется некоторым снижением кажущегося электросопротивления – с 17-18 Ом·м в его южной, незагрязненной, части до 11-13 Ом·м в зоне атмохимической аномалии. Возвращаясь к анализу причин возникновения в местах залегания техногенных нефтепродуктов именно низкоомных аномалий, необходимо отметить, что здесь мы имеем дело с весьма «свежим» разливом, поэтому биогенную гипотезу снижения электросопротивления пород можем исключить. Следовательно, по крайней мере на этом объекте, мы наблюдаем снижение удельного электросопротивления пород именно за счет образования в зоне аэрации относительно низкоомных водно-бензиновых эмульсий.

Линейные исследования методом сплошного электрозондирования (электротомографии), направленные на поиск высокоомных проницаемых зон – коллекторов авиационного керосина, были выполнены на берегу Таганрогского залива в районе г.Ейска (рис.6).

На узкой береговой полосе было пройдено два параллельных профиля электротомографии с дипольной осевой установкой, вдоль которых также выполнены атмохимические исследования и наблюдения методом естественного поля; вдоль берега залива с шагом 5-10 м выполнена резистивиметрия. Все методы показали очень высокую сходимость: высокоомным проницаемым врезам соответствуют атмохимические аномалии и максимумы естественного электрического поля; они находят продолжение и в локальных минимумах (порядка 0,1-0,15 г/л) минерализации прибрежной морской воды. Исключение составляет врез 2, который картируется только на профиле, удаленном от береговой линии (приведен на рис.6) и отсутствует в разрезе соседнего профиля, т.е. яв-

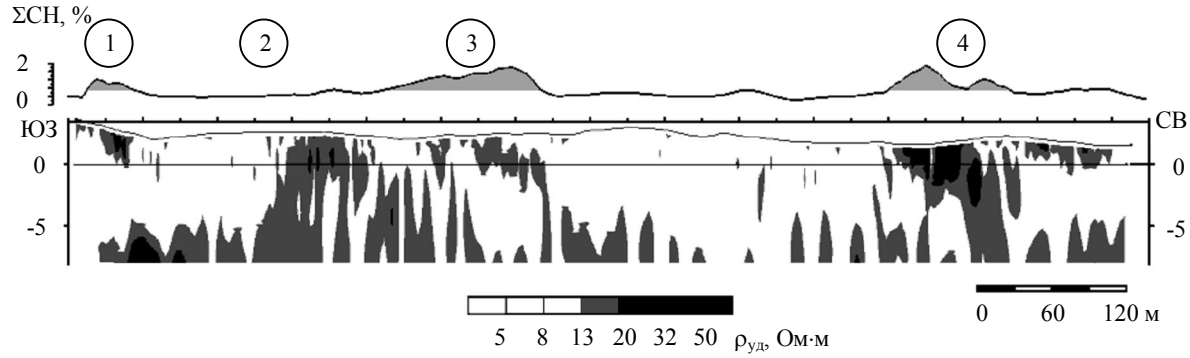


Рис.6. Разрез удельного электросопротивления по результатам 2D-инверсии данных электротомографии. Над разрезом – график суммарного содержания летучих углеводородов в подпочвенном воздухе. Цифры – номера врезов проницаемых пород. Нулевая линия на разрезе примерно соответствует положению уровня грунтовых вод

ляется «слепым», не выходящим в море. По результатам настоящих работ врез 4 был перекрыт дреной, из которой сейчас ведется откачка авиатоплива; в ближайшее время будут сооружены дренажи на врезах 1 и 3.

Еще одна немаловажная задача, которую может решать электроразведка, в частности электрозондирование, – оценка информативности атмохимических исследований, как правило, выполняемых при исследовании участков, загрязненных нефтепродуктами. Дело в том, что глубинность газовых методов напрямую зависит от проницаемости (гидравлического сопротивления) зоны аэрации. Выполняя исследования на достаточно обширной территории, можно в пределах одного участка столкнуться с принципиально разными условиями формирования газовых аномалий: в зонах с малым гидравлическим сопротивлением зоны аэрации атмохимические аномалии могут быть обусловлены нефтепродуктами, флотирующими на грунтовых водах; на участках существенного повышения глинистости пород зоны аэрации это влияние может быть существенно ослаблено или вовсе экранировано. С другой стороны, определенная часть газовых аномалий может быть вызвана углеводородными газами нетехногенного происхождения. Такая ситуация была встречена нами при выполнении работ в районе Тольяттинской нефтебазы (см. разрез на рис.1); только составленная по данным электрозондирования карта гидравлического сопротивления ($m/K_{\text{ф}}$) зоны аэрации позволила правильно истолковать результаты атмохимических исследований.

В заключение хочется отметить, что на всех отработанных объектах единственным однозначно интерпретируемым геофизическим методом исследования выступила именно электроразведка (метод сопротивлений). В зависимости от детальности, площади и задач исследования это либо электротомография с использованием симметричных или дипольных установок, точечное зондирование, электропрофилирование. Комплексирование же электроразведки с малоглубинной сейсмикой и газовыми методами, как правило, позволяет решить весь круг задач даже при отсутствии надежной априорной информации.