

Целевые объекты и параметры в электроразведке на нефть

© В. С. Могилатов, 2012

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

Поступила 27 апреля 2012 г.

Представлено членом редколлегии В. Н. Шуманом

Традиційний параметр електророзвідки — питомий електричний опір. У нафтовій електро-розвідці часто, за замовчанням, використовується саме цей параметр, а об'єктом вважається тіло покладу. Подібний підхід спричинює низьку ефективність нафтової електро-розвідки. Необхідна орієнтація на інші електромагнітні параметри, властивості середовища й на інші цільові об'єкти (наприклад, ореольні змінення). Це потребує застосування нетрадиційних експериментальних схем в польових умовах, а також нетрадиційної інтерпретації.

The resistivity is the traditional parameter for electrical prospecting. The body of a deposit is a target object in the oil electrical prospecting. Such approach dooms the petroleum electrical prospecting to a low efficiency. We need more focus on the other electromagnetic parameters and the properties of the medium, the other targets (such as halo). And this, of course, requires innovative pilot schemes in the field and alternative interpretation.

Введение. Говорят, что электроразведка — это метод сопротивлений. Соответственно, а иногда и очень внушительно, утверждается, что электроразведка не может считаться прямым методом. Вроде бы все верно, сопротивление не является каким-либо полезным минералом. Выяснение структуры его распределения — это всего лишь выяснение распределения некоторого геоэлектрического параметра, присущего любой геологической среде. К тому же достаточно условного и кажущегося — в зависимости от масштабов взаимодействия геосреды и электромагнитного поля с определенными пространственно-временными характеристиками. Основные, базовые, традиционные методы электроразведки — ВЭЗ и ЗСБ действительно по своим физико-математическим основаниям никакого другого параметра практически и не могут дать. Следовательно, поиск и разведка углеводородов методами электроразведки выглядит неразрешимой проблемой. Объект поиска — газонефтяная залежь — является весьма слабой аномалией проводимости. Тело залежи очень мало по сравнению с километровыми проводящими толщами, перекрывающими ее, несмотря на большой контраст удельного сопротивления нефти и окружающих пород.

Конечно, есть некоторые исключения, когда традиционная электроразведка все же достаточно результативна при поисках нефти. Таковым исключением являются условия

Восточной Сибири, где вмещающий разрез высокоомный, и даже по данным ЗСБ можно заметить смену флюида в коллекторе на большой глубине. Другой пример эффективности традиционной электроразведки (довольно парадоксального характера) наблюдается в морских условиях, когда в глубоком море (более 1 км) погруженная установка *ABMN* (метод *CSEM*) регистрирует феноменальный аномальный эффект от тонкого высокоомного включения за счет поглощения морской водой индуктивной составляющей (ТЕ-поляризованной), определяющей суммарный сигнал в наземном варианте. Однако используются огромные разносы (>10 км), и о детальности в плане и речи нет.

Особо следует сказать о возможности повысить эффективность электроразведки с традиционными установками за счет уточнения, усложнения, уплотнения и разнообразия собираемых данных и применения полноценного трехмерного подхода при интерпретации. В результате можно получить весьма подробные структурные описания ситуации, включая, например, распределение минерализованной воды, так, что это позволит довольно определенно говорить о возможном наличии и границах всего лишь зоны пониженной проводимости коллектора. Этот путь, разумеется, прямой и честный, но не дешев, требует весьма квалифицированного персонала, далеко не всем доступен, а также не всегда эффективен. В Западной

Сибири всего этого недостаточно потому, что по физическим основаниям сигналы в традиционной электроразведке тотально зависят от проводимости перекрывающей и вмещающей толщ, а аномальные влияния слишком слабы и неоднозначны.

Итак, мы видим решение проблемы электроразведки на нефть в следующем:

1) применении методик, предусматривающих компенсацию влияния проводимости вмещающих сред;

2) определении геоэлектрических параметров, более специфических для углеводородных объектов, нежели удельное сопротивление;

3) дополнении самой залежи другими специфическими целевыми объектами, связанными с залежью.

Все три пункта теснейшим образом взаимосвязаны. Убрав из сигнала «нормальный», связанный с общей проводимостью разреза, фон, можно обнаружить другие факторы электромагнитного процесса в геосреде и параметры, кроме удельного сопротивления (при соответствующей интерпретационной модели). А новые параметры создадут и новый целевой объект, более благоприятный, чем сама залежь (например, менее глубинный).

Конечно, речь идет об ореоле изменений среды над залежью под действием миграции углеводородов. Миграция углеводородов — факт несомненный. Это показывает геохимический анализ на земной поверхности. Следовательно, определенные изменения должны происходить и во всей толще над залежью, например, появление нового вещества в поровом пространстве, какие-то химические реакции. Но существует ли ореол в электроразведочном контексте? Для некоторых электроразведчиков вопрос уже нелеп — они давно работают с таким объектом. Речь идет о методах вызванной поляризации (ВП), в которых применяются заземленные питающие и приемные линии. Изменение сигнала с такой установки над залежью относят не к изменению проводимости, а к изменению параметров частотной дисперсии проводимости. И не потому, что в таких методах игнорируют проводимость, а потому, что сигналы объясняются теоретически именно посредством дисперсии. Тонкие свойства электрохимических процессов и процессов, приводящих к наблюдаемой дисперсии удельной проводимости, изменяются под воздействием миграции углеводородов.

Таким образом, констатируется необходи-

мость изучения параметров ВП для электроразведки на нефть и газ. В этом, конечно, ничего нового нет, но совершенно ясно, что нельзя ограничиваться применением классической схемы *ABMN* [Моисеев, 2002]. В отклике среды от этой установки слишком много еще электродинамического процесса установления магнитного типа (индуктивного, ТЕ-процесса), связанного с проводящей толщиной разреза. Необходимо как-то бороться с этим «классическим» основанием установки *ABMN*. Можно заметить, что самые необходимые меры в этом отношении приняты в дифференциально-нормированный метод электроразведки (ДНМЭ), например [Veeken et al., 2009]. Ниже будем говорить и о более радикальных методах. Следует также признать, что объектом в электроразведке на нефть методами ВП выступает ореол измененных пород над залежью. Попытки привязать процессы ВП к самой залежи и к областям, непосредственно к ней примыкающим, могут только вызвать недоверие к результатам. Процессы ВП инициируются током, стекающим с заземлений, и соответственно процессы на глубине остаются в тени процессов в верхней части разреза.

Итак, объект в методах ВП не сама залежь, а ореол изменений в среде над залежью. Хотя изменения в ореоле незначительны, но он занимает огромный объем среды, часто до самой поверхности Земли. Следовательно, не требуется большой глубинности. Контур ореола в плане неплохо повторяет контур самой залежи. Наконец, сам факт наличия ореола свидетельствует о наличии именно углеводородов. Конечно, для тех методов, где привыкли опираться только на аномалии сопротивлений (ЗСБ и прочие методы зондирования становлением (ЗС) с индуктивным приемом сигнала), ореолы как бы и не существуют.

На рис. 1, в показан кажущийся геоэлектрический разрез на Шадкинском месторождении нефти (Татарстан) по данным метода зондирования вертикальными токами с магнитным приемом (ЗВТ-М). В соответствии с теорией этого метода, в магнитном сигнале не наблюдается вклад одномерной структуры разреза, соответственно нет ее и на рисунке (она, впрочем, известна по данным ЗСБ, рис. 1, б). Представлен профильный сигнал некоторого переходного процесса, при этом время установления трансформировано в глубину. Несомненно, сигнал связан с ореолом, причем самый простой анализ показывает, что в ореоле генерируется вертикальный магнитный

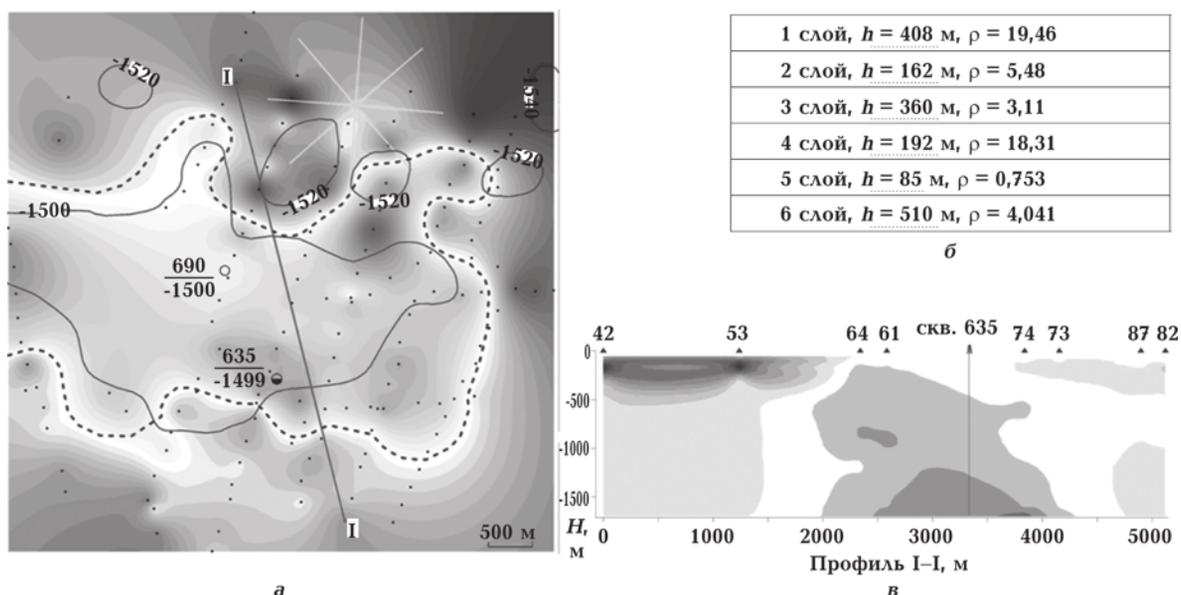


Рис. 1. Карта изолиний сигнала ЗВТ на Шадкинском поднятии (а), вмещающий разрез (б) и кажущийся разрез (в).

момент — ореол «намагничивается». Это проявление нового геоэлектрического параметра, непосредственно связанного с присутствием углеводородного материала в среде, в поровом пространстве. На рис. 1, а показано площадное представление сигнала ЗВТ-М, которое дает информацию о латеральном распространении углеводородов на Шадкинском месторождении. В то же время этот пример показывает некоторую проблему такого нефтепоискового объекта, как ореол. Ореол может смещаться в сторону от контура самой залежи. В данных работах ЗВТ-М, впрочем, ореол прослежен до самой залежи. Еще добавим, что данные нефтехимической разведки на Шадкинской площади хорошо согласуются с контуром, предлагаемым ЗВТ-М. Ореол выходит на земную поверхность.

Итак, оценим конкретно комплексные работы двумя методами, каждый из которых устроен так, чтобы радикально, уже на физическом уровне, минимизировать в отклике влияние проводимости вмещающей толщи. Один способ электроразведки направлен на выделение традиционных параметров ВП, а другой — на выделение нового параметра, определяемого, как геомагнитный, поскольку, по нашим представлениям, он связан с магнитным полем Земли и с силой Лоренца. Целевым объектом являлся ореол распространения углеводородов вверх.

Зондирования встречными линиями. Классическая установка для изучения процессов

ВП в переходном режиме *ABMN*, а также применяемая в ДНМЭ установка *ABMON* имеют недостатки при проведении работ, особенно на небольших месторождениях, в сущности связанные с неэффективностью линии *AB* как источника. Необходимо на физическом уровне компенсировать влияние вмещающей среды и электродинамический процесс, в основном определяемый индуктивной составляющей (ТЕ-поле). Индуктивная составляющая возбуждается токовым отрезком, и если включить два токовых отрезка навстречу друг другу, то в значительной мере наша задача решена. На рис. 2 приведено схематичное изображение токов, протекающих в среде при работе с линией *AB*, и при использовании двух линий, включенных навстречу друг другу. Источник, состоящий из двух горизонтальных линий с одинаковым током, включенных навстречу друг другу, называется встречной электрической линией (соответствующая приемно-питающая установка *ABAMN*), а метод соответственно — зондирования встречными линиями (ЗВЛ). По сравнению с классической установкой *ABMN* установка

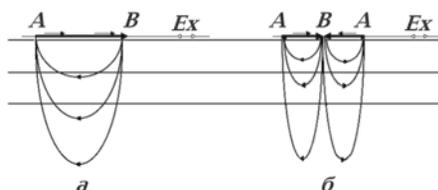


Рис. 2. Схематичное изображение токов в разрезе с линии *AB* (а) и при работе со встречной линией (б).

со встречной линией гораздо чувствительней к параметрам поляризации.

Приведем результаты математического моделирования сигналов для установок *ABMN* и *ABAMN* для 5-слойной модели (таблица). Среда, для которой выполнялось моделирование, характерна для района Татарстана, где проводились описанные ниже работы. При проведении работ использовались реальные запротоколированные параметры установки и реальные параметры генераторной и измерительной техники.

Среда, используемая для моделирования

Номер слоя	Удельное сопротивление, Ом·м	Мощность слоя, м
1	20	500
2	10	500
3	100	700
4	3	200
5	∞	∞

Длина линии *AB* — 1500 м, длина линии *ABA* (встречной линии) — 1500 м. Ток в линиях составлял 20 А. Измерительная и генераторная линии находятся на одной прямой, расстояние между центрами линий 1500 м. Длина приемной линии 100 м. Аппаратура уверенно измеряла сигнал в линии *MN* до уровня 10 мкВ (сигнал от скорости индукции $\partial B_z / \partial t$ — до уровня 0,5 мкВ). Для построения графиков были отобраны сигналы, превышающие этот порог в два раза (больше 20 мкВ). Для расчетов использовалась универсальная программа «Выбор-ЗС».

Расчеты проводились для четырех значений поляризации второго слоя — 0, 5, 15, 30 % ($\tau=0,1$ с, $\epsilon=0,5$ по Cole-Cole). На рис. 3 приведены значения ЭДС для установок *ABMN* и *ABAMN*, на рис. 4 — кривые отношения сигнала для среды с поляризацией к сигналу для среды без поляризации для установок *ABMN* и *ABAMN*. На рис. 4 часть кривых короче остальных, поскольку не учитывались различия в сигналах, если сам сигнал менее 20 мкВ.

По результатам проведенного моделирования можно сделать следующие заключения.

1. Абсолютная величина сигнала при работе с установкой *ABMN* больше, чем при работе с установкой *ABAMN*. Однако при увеличении влияния поляризации разница становится менее существенной.
2. Изменение поляризации от 0 до 30 % при работе с установкой *ABMN* изменяет сигнал на

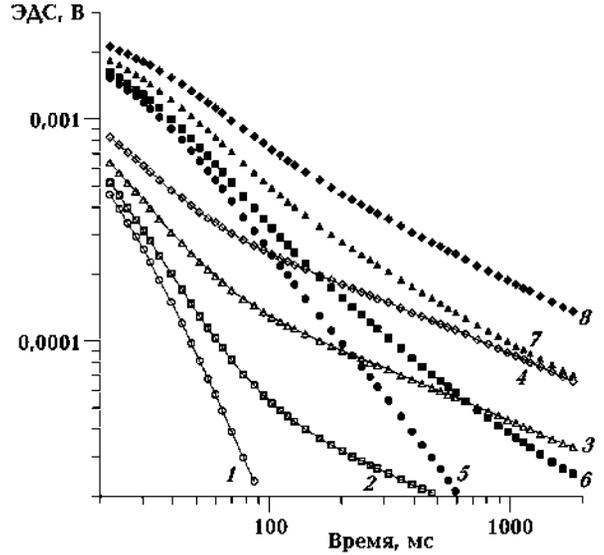


Рис. 3. Измеряемые сигналы при разной поляризуемости: 1—4 — *ABAMN* (1 — 0 %, 2 — 5 %, 3 — 15 %, 4 — 30 %), 5—8 — *ABMN* (5 — 0 %, 6 — 5 %, 7 — 15 %, 8 — 30 %).

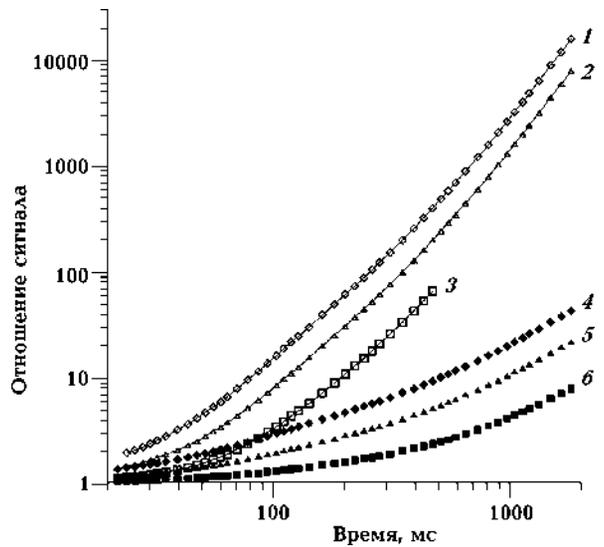


Рис. 4. Отношение сигнала для среды с ВП к сигналу для среды без ВП: 1—3 — *ABAMN* (1 — 5 %, 2 — 15 %, 3 — 30 %), 4—6 — *ABMN* (4 — 5 %, 5 — 15 %, 6 — 30 %).

поздних временах примерно в 10 раз, при работе с установкой *ABAMN* — примерно в 10000 раз (в 1000 раз сильнее).

3. С точки зрения традиционной электроразведки ЗС при использовании встречных токов подавляется свой же сигнал. На самом деле в этой установке подавляется только индуктивная (ТЕ) часть сигнала (ненужная и мешающая) и сигнал теперь определяет ТМ-отклик [Могилатов, Балашов, 2005]. Несмотря на то, что при использовании ТМ-поля измеряемый сигнал

меньше, его чувствительность к важным для нас параметрам среды больше в 100—1000 раз.

4. В районах с большим уровнем помех можно увереннее проводить измерения при работе с установкой *АВАМN*, чем с установкой *АВМN*, так как разница в сигнале из-за изменения поляризации среды в несколько раз больше.

5. При работе с установкой *АВАМN* можно регистрировать более короткие сигналы, быстро выходя на «чистую ВП», что позволяет увеличить скорость проведения работ (удешевить работу) или измерять более точно (увеличить количество измеряемых дублей).

Для справедливости заметим, что на теоретических одномерных моделях для установки *АВМОН* (как в ДНМЭ) результат был бы аналогичным. Но такие теоретические расчеты и работа в поле — очень разные вещи. Подавление сигнала на физическом уровне гораздо эффективнее в плане качества измерений, чем измерение разности сигналов измерительными линиями и дальнейшая их обработка математическими методами.

Как и для интерпретации данных в ДНМЭ или в более традиционных модификациях с установкой *АВМN*, для интерпретации полевых данных ЗВЛ можно использовать одномерные модели поляризующейся среды на основе формулы Cole-Cole. Для этого необходимы данные о распределении сопротивления, получаемые по результатам зондирований становлением. Для интерпретации данных ЗВЛ применялись широко распространенные программы семейства «Подбор» для различных типов источни-

ков и программа «Выбор-ЗС» [Могилатов и др., 2007].

Новый параметр в методе ЗВТ-М. Речь идет о данных нового метода импульсной электро-разведки — зондировании вертикальными токами (ЗВТ) [Могилатов, Балашов, 2005]. Метод основан на применении нетрадиционного источника — кругового электрического диполя (КЭД) (рис. 5). В теоретическом отношении КЭД является наземным аналогом вертикального электрического диполя (ВЭД). Такая сложная конфигурация питающих линий необходима для того, чтобы полностью удалить поле магнитного типа (ТЕ-поле) из процесса становления. Здесь происходит полная компенсация ТЕ-поля, т. е. доведено до логического конца то, что лишь начато в установке со встречными линиями, и предоставляется редкая возможность поработать с переменным полем электрического типа. Как можно использовать ТМ-поле? Можно измерять радиальную компоненту электрического поля и воспользоваться чрезвычайной разрешающей способностью ТМ-поля по отношению к тонким высокоомным объектам (что нам демонстрирует CSEM (controlled source electromagnetic), в котором магнитная мода поглощается морской водой). В наземном (не в морском) варианте это, скорее, новый высокоэффективный метод ВП. Однако есть и другой подход, основанный на том, что такая конфигурация питающего тока обеспечивает компенсацию магнитного отклика вмещающей одномерной среды на земной поверхности. В этих условиях измерения

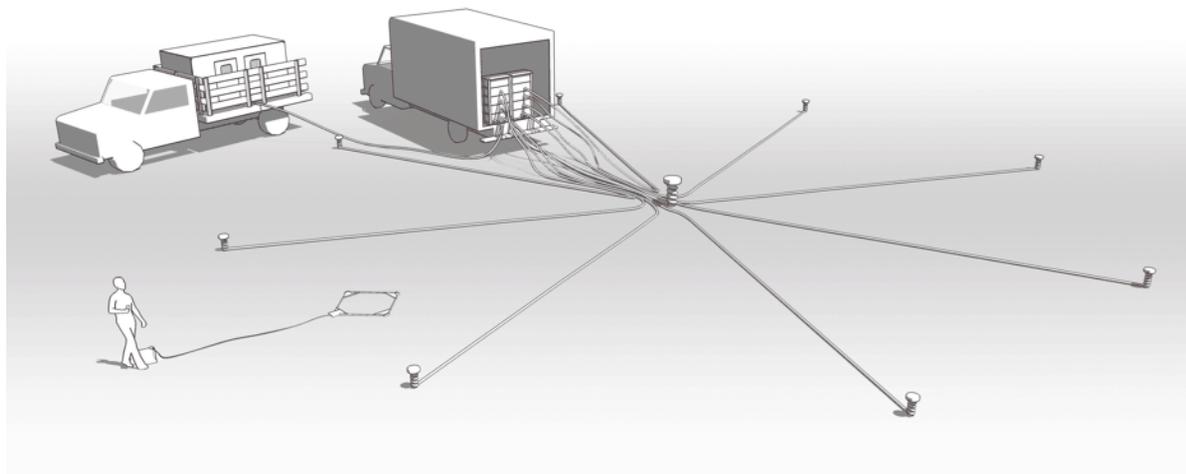


Рис. 5. Схема работ методом ЗВТ-М.

магнитного поля регистрируют разного рода аномалии. Авторы метода рассчитывали лучше решать традиционную задачу электроразведки — выделение и оконтуривание слабых латеральных неоднородностей проводимости. В случае рудной электроразведки это вполне оправдалось, и трехмерное (по проводимости) моделирование подтверждает полевые данные.

Однако при нефтепоисковом применении ЗВТ с индуктивным магнитным приемом (ЗВТ-М) обнаружился довольно непонятный, хотя и крайне благоприятный экспериментальный факт. Залежи нефти проявляют себя в площадном сигнале ЗВТ областью повышенных значений ЭДС одного знака (измерения dB_z/dt индуктивным датчиком) [Балашов и др., 2011 и др.]. Контур отмечался сменой знака. Такой результат сам по себе зачастую устраивал заказчиков, но, конечно, нуждался в объяснении и дальнейшей интерпретации. В результате многолетних упорных попыток в этом направлении с применением трехмерного моделирования удалось установить следующие:

- 1) отклик генерируется не самой залежью, а вертикально-протяженной областью среды над залежью — ореолом, что хорошо видно на кажущихся разрезах (см. рис. 1);
- 2) даже сложные модели распределения проводимости в залежи и ореоле не объясняют однополярный сигнал над ореолом (устойчивый в большом диапазоне времен);
- 3) представление ореола зоной аномальных значений параметров ВП (в модели Cole-Cole) также приводит к двуполярному сигналу над ореолом;
- 4) «не проходит» и модель с магнитными свойствами — снова двуполярный сигнал.

Анализ площадных сигналов показывает, что ореол в процессе становления приобретает магнитный момент, «намагничивается» в вертикальном (или близком к этому) направлении. Это выглядело странно, потому что КЭД возбуждает в земле только горизонтальное магнитное поле (H_ϕ), но, в конце концов, навело на мысль о земном поле, которое в наших широтах почти вертикально (наклонение 70°), и на геомагнитный эффект, который преобразует постоянное действие магнитного поля Земли в переходный магнитный момент ореола. Этот геомагнитный эффект сейчас изучается, он связан с эффектом Лоренца, микроструктурой вещества и состоянием порового пространства геологической среды.

Пример комплексного исследования сейсмического поднятия методами ЗС, ЗВЛ, ЗВТ-М.

Работы проводились ООО «Научно-техническая фирма ЗаВеТ-ГЕО» по заказу ООО «ТНГ-Казаньгеофизика» на территории Татарстана. Цель работ — оценка наличия углеводородов в выявленной сейсморазведкой положительной структуре и оконтуривание нефтяной залежи, если углеводороды будут выявлены. Работы проводились недалеко от известного нефтяного месторождения, что дало возможность сравнить сигналы над нефтяным месторождением и над изучаемым сейсмоподнятием.

Зондирование становлением (ЗС) установкой АВ-q. Этот этап являлся предварительным, необходимым для полноценной обработки результатов методов ЗВТ-М и ЗВЛ. Работы были проведены вдоль одного профиля, который пересекал исследуемое поднятие и известное месторождение. Точки измерения dB_z/dt при работе методом ЗС совпадали с точками измерений электрического градиента E_x при последующей работе со встречными линиями (рис. 6). При определении мощности слоев использовались данные сейсморазведки. Зондирование становлением необходимо для создания послойной вмещающей модели, которая, в свою очередь, необходима для: а) трехмерного моделирования; б) расчета остаточного поля КЭД (рассчитывалось для определения достоверного диапазона времен ЗВТ-М); в) интерпретации данных ЗВЛ с учетом параметров ВП.

Метод зондирования встречными линиями. Точки измерений E_x от встречных линий совпадали с точками измерений установкой АВ-q (см. рис. 6). Точки, в которых проводились измерения, находились на разном удалении от центров встречных линий. После проведения измерений была проведена 1D интерпретация параметров среды с учетом параметров поляризации по формуле Cole-Cole. Модель по удельным сопротивлениям строилась на основе результатов первого этапа работ установкой АВ-q.

Метод ЗВТ-М. Измерения проводились с разными сетями наблюдений. Были построены карты сигналов на различных временах измерений от 10 до 100 с. При проведении данных работ применялась зондирующая установка, состоящая из восьми стабилизаторов тока ГТЕ-10с, сетевого блока питания, блока управления и девяти блоков балластных резисторов. Измерительные комплекты состояли из измерителей «Цикл 7» для измерения компоненты dB_z/dt и измерителей «Цикл ВП2» для измерения электрической компоненты электромагнитного поля. Эта аппаратура является частью серии аппаратуры «Цикл».

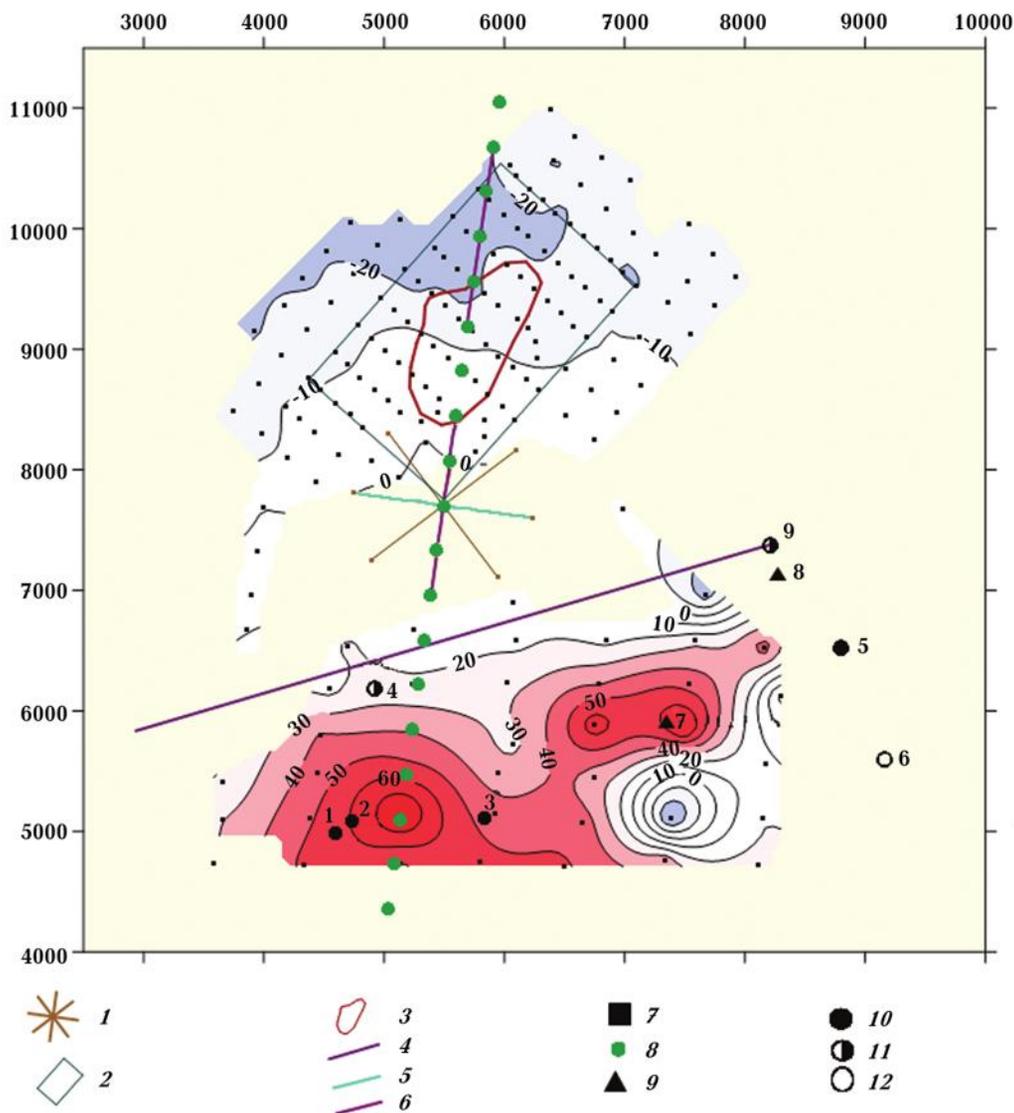


Рис. 6. Результаты работ ЗВТ-М на времени 55,7 мс: 1 — линии генератора, 2 — контур участка, 3 — контур горизонта У, 4 — нефтепровод, 5 — линия АВ, 6 — линия АВА, 7 — пикеты ЗВТ-М, 8 — пикеты АВ-*q* и ДЭЗ, 9 — буровые вышки, 10—12 скважины (10 — с нефтью, 11 — с малым дебитом, 12 — пустые).

Аппаратура «Цикл» более 15 лет выпускается фирмой «Научно-техническая компания ЗаВеТ-Гео». На сегодняшний день фирма выпустила несколько сотен комплектов аппаратуры, что является свидетельством того, что это один из самых надежных комплексов для проведения работ ЗСБ-МПП-ЗС. Кроме того, это очень гибкий комплекс измерительной и генераторной аппаратуры — все три метода были отработаны с одним комплектом аппаратуры.

На рис. 6 отражены результаты работ ЗВТ-М в виде изолиний сигнала на времени 55,7 мс. Зелеными точками обозначен профиль, вдоль которого проводились измерения ЗС (АВ-*q*) и

ЗВЛ. Расстояние между точками измерений 375 м. Известное нефтяное месторождение находится южнее нефтепровода (обозначенного фиолетовым цветом). В зону измерений попали четыре скважины и одна буровая. Дебит скважин 1—3 более 20 м³/сут, скважины 4 — 2 м³/сут. Исследуемое сейсмическое поднятие и лицензионный участок находились северовосточнее установки КЭД. Сеть наблюдений ЗВТ-М на лицензионном участке — 150×300 м, над известной нефтяной залежью сеть в 10 раз реже — примерно 500×700 м. Линия АВ (часть установки КЭД), используемая для метода ЗС (АВ-*q*), обозначена светло-зеленым цветом; две

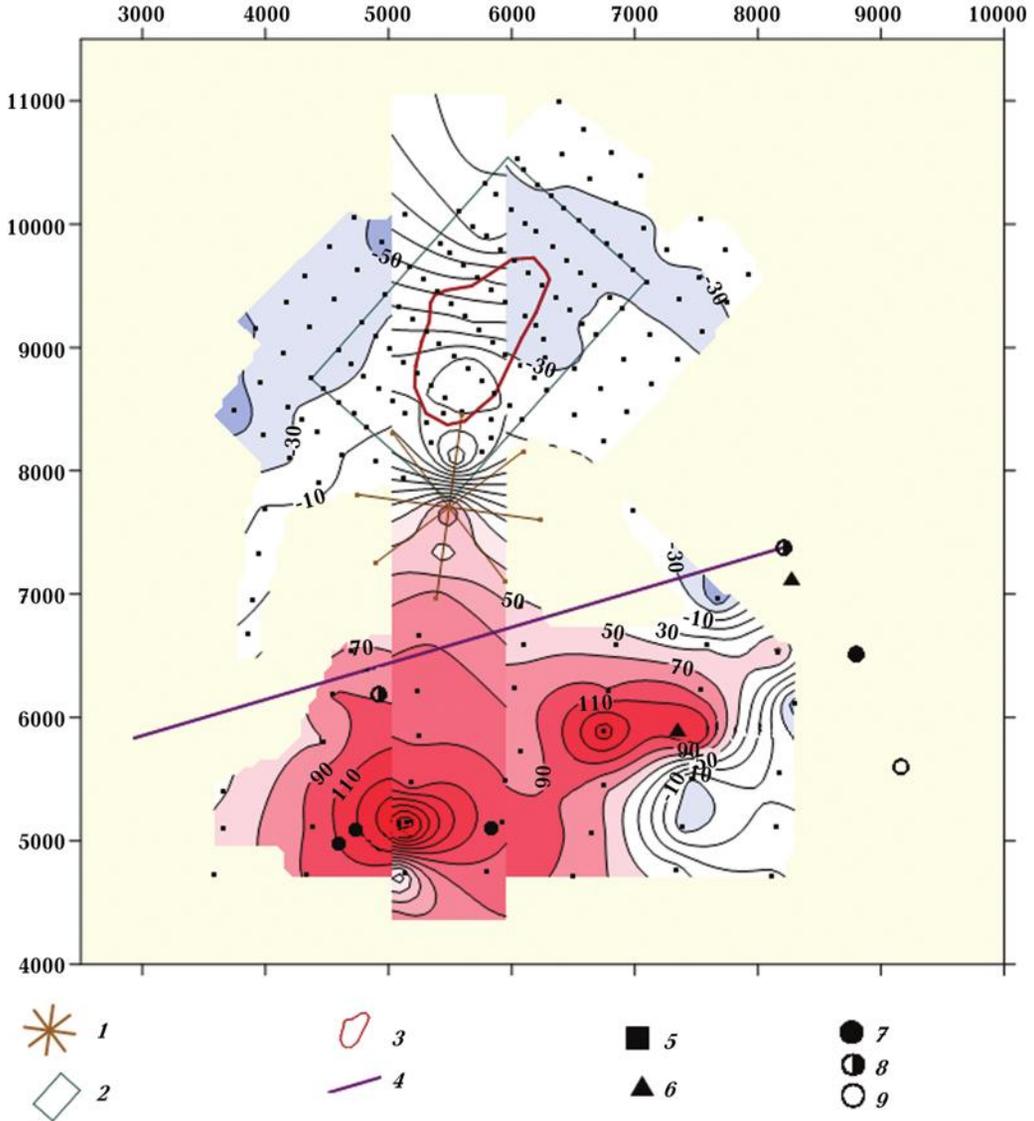


Рис. 8. Площадные результаты работ ЗВТ-М на времени 32,2 мс и полоса изолиний параметра поляризации, отстроенная вдоль профиля измерения сигнала ЗВЛ: 1 — линии генератора, 2 — контур участка, 3 — контур горизонта У, 4 — нефтепровод, 5 — пикеты, 6 — буровые вышки, 7—9 скважины (7 — с нефтью, 8 — с малым дебитом, 9 — пустые).

из пяти линий АВА, используемых для ЗВЛ, — темно-фиолетовым.

Опыт проведения работ ЗВТ-М показывает, что зоны нефтенасыщения отмечаются положительным сигналом (на карте красный цвет) [Могилатов, Балашов, 2005; Helwig et al., 2010; Балашов и др., 2011]. Скважины 1—3 находятся в зоне уверенного положительного сигнала, скважина 4 — в зоне малого положительного сигнала. К огорчению заказчика работ, лицензионный участок (обследуемое сеймоподняtie) попал в зону отрицательного сигнала, что свидетельствует об отсутствии углеводородов. Так как сеть наблюдений над известной нефтя-

ной залежью была слишком редкая для метода ЗВТ-М, то карта южнее нефтепровода получилась недостаточно полной (см. рис. 6).

На рис. 7 построен вдоль профиля параметр поляризации, полученный по результатам 1D инверсии данных ЗВЛ. Внизу схематично изображено расположение скважин 1—4. Удельные сопротивления и мощности слоев определены по результатам работ установкой АВ- q . Весь эффект ВП отнесен ко второму слою, и при этом условии определялась его поляризация. Координаты, указанные на графике, смещены от точки измерения к центру установки АВАН на 1/3 расстояния между точкой изме-

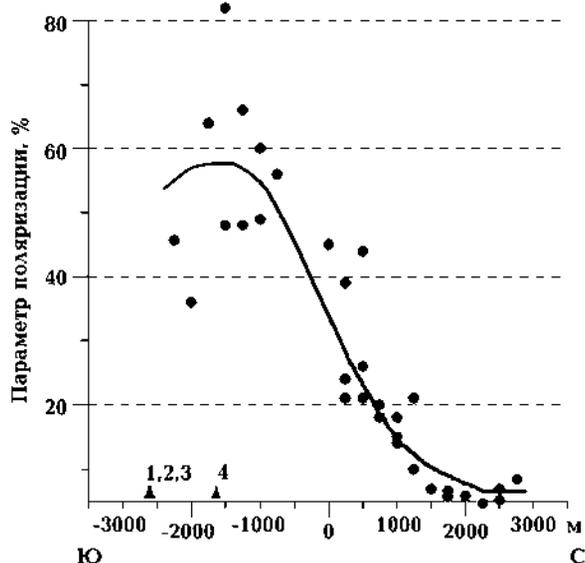


Рис. 7. Параметр поляризации, полученный по результатам 1D инверсии данных ЗВЛ.

рения и центром соответствующей установки. На графике видно, что при движении по профилю на юг происходит увеличение параметра поляризации в 7—10 раз. Данные ЗВЛ согласуются с данными ЗВТ-М и с априорными данными. На севере, там, где находится изучаемый объект, параметр поляризации мал, что свидетельствует об отсутствии углеводородов. Напротив, на юге, там, где находится известное нефтяное месторождение, параметр поляризации большой. Объяснить сигналы ЗВЛ изменением удельного сопротивления среды невозможно. Интерпретация результатов работ установкой *AB-q* демонстрирует изменение суммарной проводимости разреза вдоль профиля не более чем на 10 %, при этом сигнал при работе с установками ЗВЛ изменяется в 10 раз, что, конечно, невозможно объяснить таким малым изменением проводимости.

На рис. 8 совмещены площадные результаты работ ЗВТ-М на времени 32,2 мс и полоса изолиний параметра поляризации, отстроенная вдоль профиля измерения ЗВЛ. Координаты точек по измерениям ЗВЛ смещены от точки измерения к центру установки *ABAMN* на 1/3 расстояния между точкой измерения и

центром соответствующей установки. Этот рисунок демонстрирует, что границы залежи, полученные двумя принципиально разными методами электроразведки — ЗВТ-М и ЗВЛ, хорошо совпадают при проведении этих работ.

Обсуждение результатов и выводы. Предложенный комплекс методов электроразведки позволяет определить различные электродинамические параметры среды, а не только изменения удельного сопротивления. Эти дополнительные параметры позволяют выделить объект, непосредственно относящийся к месторождению углеводородов, — ореол эпигенетических изменений. Работы методом ЗВТ-М дают его контур. Это очень ценная информация, но дальнейшая интерпретация (распределение по глубине) затруднена из-за неясности природы сигнала. Привлечение традиционных параметров ВП повышает достоверность интерпретации электроразведочных данных при поисках углеводородов, однако необходимо привлекать более «аномальные» методы. В качестве такового можно предложить метод ЗВЛ на основании его гораздо большей чувствительности к параметрам поляризации, чем у традиционных методов электроразведки ВП. ЗВЛ дает теоретически обоснованные и понятные сообществу геофизиков результаты в виде параметров частотной дисперсии. Однако сигнал ЗВЛ, как и в большинстве методов электроразведки, усредняет информацию о среде между точкой измерения и генератором и не способен дать такую детальную площадную информацию, как это возможно в ЗВТ-М. Имеет смысл проводить предварительные профильные работы ЗВЛ и по их результатам ставить ЗВТ-М.

Для интерпретационного процесса с использованием и ЗВТ-М, и ЗВЛ необходимы сведения о распределении удельного сопротивления среды — данные традиционных ЗС, проведенных ранее, либо включить работы ЗС в текущий комплекс работ.

Комплекс ЗВТ-ЗВЛ-ЗС органически сочетается в аппаратурном плане. Вся аппаратура, необходимая для ЗВЛ и ЗС, является частью и элементами аппаратуры ЗВТ. Сообща используются и элементы приемно-питающих установок.

Список литературы

Балашов Б. П., Мухамадиев Р. С., Могилатов В. С., Ангреев Д. С., Злобинский А. В., Шишкин В. К., Стогний В. В. Оконтуривание залежей углеводородов

с использованием зондирований вертикальными токами // Геофизика. — 2011. — № 1. — С. 61—66.

Могилатов В. С., Балашов Б. П. Зондирования вер-

- тикальными токами. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2005. — 208 с.
- Могилатов В. С., Захаркин А. К., Злобинский А. В. Математическое обеспечение электроразведки ЗСБ. Система «Подбор». — Новосибирск: ГЕО, 2007. — 157 с.
- Мусеев В. С. Метод вызванной поляризации при поисках нефтеперспективных площадей. — Новосибирск: Наука, 2002. — 136 с.
- Helwig S. L., Mogilatov V. S., Balashov B. P. The use of a circular electrical dipole source in hydrocarbon exploration // SEG Expanded Abstracts 29. — 2010. — P. 764. — DOI:10.1190/1.3513893.
- Veeken P. C. H., Legeydo P. J., Davidenko Y. A., Kudryavceva E. O., Ivanov S. A., Chuvaev A. Benefits of induced polarization geoelectric method to hydrocarbon exploration // Geophysics. — 2009. — **74**. — P. B47—B59.