



ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ
С 1993 ГОДА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
МИНИСТЕРСТВА ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
И ЕВРО-АЗИАТСКОГО ГЕОФИЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

5.2003

Геофизика

СОДЕРЖАНИЕ

- К 90-летию со дня рождения
М. К. Полшкова 3
*И. Ю. Митюнина, Б. А. Спасский,
А. П. Лаптев*
Первые волны на сейсмограммах МОВ
и изучение верхней части разреза 5
И. Н. Бусыгин
AVO-анализ и сейсмическая инверсия 13
Г. И. Овсеенко
Прогноз геологических характеристик терригенного
разреза Днепровско-Донецкой впадины
по параметрам сейсмических записей 19
*Г. В. Ведерников, Г. М. Ермолаева,
А. В. Петров, В. А. Поздняков,
Д. И. Рудницкая, В. Л. Сергеев*
Экспертная обработка материалов СГ-ОГТ 22
*В. В. Калинин, М. Л. Владов,
С. Ф. Аптикаев, В. М. Бухов, В. А. Ногин*
Сейсмическое поле, генерируемое
электрическими разрядами в скважинах 29
Ю. И. Горбачев, А. А. Никитин
Результаты математического моделирования
скважинных стержневых акустических
преобразователей 40
- В. С. Могилатов, Р. С. Мухамадиев,
Б. П. Балашов, В. В. Потапов,
В. В. Смоленцев, С. А. Феофилов,
Ш. С. Темирбулатов*
Результаты работ по оконтуриванию залежей
нефти в Татарстане методом зондирования
вертикальными токами 47
Г. С. Левин, С. А. Тихоцкий
О влиянии выбора системы высот
на результаты высокоточных
гравиметрических съемок 55
А. И. Волгина
Современные геодинамические процессы
в нефтегазоносных областях и их отражение
в гравиметрических параметрах 60
Л. Я. Ерофеев
О характере и природе изменчивости магнитной
восприимчивости гранитоидов 63
О. А. Хачай, Ю. И. Кукса, О. Ю. Хачай
Вейвлет-анализ магнитовариационного мониторинга
в сейсмоактивном районе 66
К. Ф. Тяпкин
О кризисе в современной геотектонике
и возможности выхода из него 70

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР О. К. КОНДРАТЬЕВ

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ: Л. Д. Бовт (первый зам. главного редактора), В. В. Бродовой (зам. главного редактора),
А. И. Фионов (зам. главного редактора), И. А. Безрук, А. М. Блюменцев, Г. Н. Боганик, Ю. И. Горбачев,
М. И. Кременецкий, А. С. Лаврик, А. В. Липилин, И. А. Мушин, А. А. Никитин, В. И. Петерсилье,
Е. Е. Поляков, С. Н. Птецов, Б. С. Светов, С. А. Серкерев, Ю. К. Щукин

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР ЕАГО:

Л. Д. Овчининская - науч. и худож. редактор
С. И. Козлова - редактор
Москва, 117105, Варшавское шоссе, 4/2
Тел./факс: (095) 952-77-75
E-mail: eago@dol.ru
Свидетельство о регистрации журнала
№ 0110923 от 21.07.93 г.
ISSN 1681-4568

"ИЗДАТЕЛЬСТВО ГЕРС": лицензия ЛР № 063997
Л. И. Гевчук, В. Г. Зайцева - компьютерная верстка
Р. С. Калинина - набор
Н. В. Царева - корректор
170034, Тверь, ул. Новоторжская, 12Б
Тел.: (0822) 42-59-32, 33-40-29
Отпечатано в типографии "Издательство ГЕРС":
лицензия ПД № 5-0012
тираж 1500 экз.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТ ПО ОКОНТУРИВАНИЮ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ В ТАТАРСТАНЕ МЕТОДОМ ЗОНДИРОВАНИЙ ВЕРТИКАЛЬНЫМИ ТОКАМИ

В. С. Могилатов, Р. С. Мухамадиев, Б. П. Балашов,
В. В. Потапов, В. В. Смоленцев, С. А. Феофилов, Ш. С. Темирбулатов

В статье приводятся первые результаты применения нового метода электроразведки - зондирования вертикальными токами (ЗВТ) - для решения нефтепоисковых задач. В методе реализован известный принцип зондирования становлением, но с применением особого источника электромагнитного возбуждения - заземленной многоэлектродной питающей установки. Источник (круговой электрический диполь - КЭД) заземлен в центре и равномерно по окружности. Ток в импульсном режиме протекает строго в радиальных направлениях и замыкается в земле. Мы настаиваем на том, что столь сложная конфигурация источника возникла не в результате изобретательского азарта, а как существенная необходимость.

Теория геоэлектродинамики предполагает две возможности существования электромагнитного поля в слоистой (одномерной) среде - в виде полей электрического и магнитного типов [2, 4]. Современная индукционная электроразведка (в частности, импульсная) основана, практически, лишь на использовании поля магнитного типа (поперечно-электрическое, ТЕ-, Н-поле). Это поле возбуждается индуктивно (например, петлей), и в целом такую электроразведку можно называть индуктивной (например, ЗСБ). В индуктивной электроразведке в среде возбуждается (или используется) только система горизонтальных токов и отклик контролируется распределением продольной проводимости всей вмещающей толщи. В таком отклике нефтегазовая залежь проявляется слабо и неопределенно. Альтернатива состоит в использовании нестационарного поля электрического типа (поперечно-магнитное, ТМ-, Е-поле), имеющего вертикальную электрическую компоненту. С земной поверхности такое поле возбуждается гальванически, посредством ввода тока через заземления. В этом случае, по аналогии, можно говорить о неиндуктивной импульсной электроразведке.

Свойства переменного поля электрического типа радикально отличаются от хорошо изученных свойств поля магнитного типа. В рассматриваемых электроразведочных работах на нефть применяется методика, использующая самое замечательное свойство ТМ-поля - отсутствие магнитного отклика вмещающей одномерной среды на земной поверхности.

Но не так-то просто возбуждать "чистое" (т. е. без примеси долгоживущего поля магнитного типа) переменное поле электрического типа. Ранее был известен только один источник такого рода - вертикальный электрический диполь. С земной поверхности простейший, если не единственный, способ возбуждения перемен-

ного поля электрического типа состоит в применении установки КЭД.

Теоретические и методические основы нового способа электроразведки с использованием КЭД в качестве источника (зондирования вертикальными токами - ЗВТ) изложены, например, в работах [2, 3]. Общая схема работ методом ЗВТ-М (т. е. зондирования вертикальными токами с регистрацией магнитного поля, точнее, скорости изменения индукции) приведена на рис. 1. Устраивается питающая установка - круговой электрический диполь с радиусом, соответствующим глубине исследований. В рассматриваемых работах по оконтуриванию залежей радиус (или длины каждой из 8 радиальных линий) составлял 500 - 750 м. Идея такого источника подразумевает, что геометрия его правильная, а токи в лучах выровнены. Особую проблему составляет необходимость поддерживать назначенные и равные токи (5 - 10 А) в лучах, причем в импульсном режиме. Специальная электронная система следит за этим. Эта система и есть специфическая аппаратура ЗВТ.

Измерительный комплекс состоит из компактного индукционного датчика и измерителя переходного сигнала - стандартных элементов аппаратуры МПП или ЗСБ. Комплекс (один или несколько) свободно перемещается по площади с использованием спутниковой пространственно-временной привязки к источнику. Удаление от источника - до 5 радиусов источника. Таким образом, при закрепленном источнике радиусом 750 м может быть оперативно исследована площадь до 50 км². Площадной сигнал ЗВТ, представленный на оптимальном фиксированном времени, свободный от фона вмещающей среды и целиком обязанный латеральным неоднородностям, с которыми связан пространственно, обладает высокой визуализирующей способностью.

Еще раз обсудим разницу между применением ЗСБ и ЗВТ для решения задачи оконтуривания нефтегазовой залежи. В ЗСБ регистрируемый сигнал определяется всем геоэлектрическим разрезом. И сама залежь, и изменения геоэлектрической обстановки в районе залежи весьма слабо сказываются на сигнале. Еще менее определенно влияет контур, его форма. При обработке таких данных возникает прежде всего проблема снятия фона. В геоэлектрике, однако, это не техническая проблема, а скорее, принципиальная, связанная со сложностью и неопределенностью нашего объекта - геологической среды. В ЗСБ эта проблема решается плохо, прежде всего по указанной объективной причине, а также из-за слишком затянувшегося и укоренившегося пристрастия к одномерно-

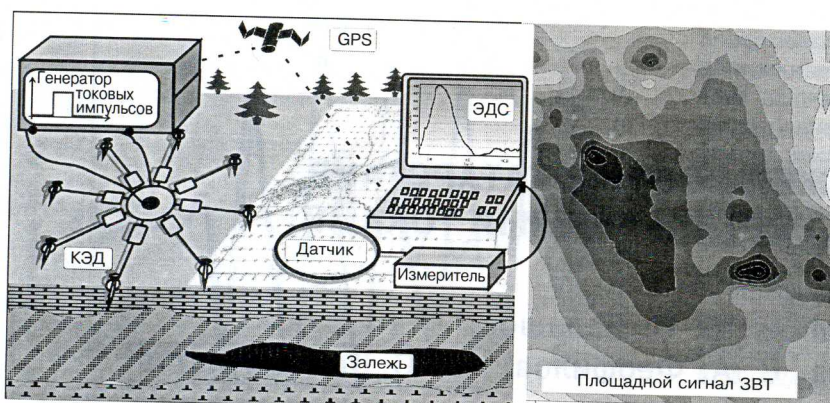


Рис. 1. Общая схема работ методом ЗВТ-М

му подходу в самых примитивных его формах (трансформации в кажущиеся величины). Кроме того, для оконтуривания залежи требуется плотный площадной сбор информации. Но система сбора данных с большой площади при закрепленном источнике (токовая петля или линия) в традиционных ЗС на самом деле не реализована (сколько бы нас не уверяли в обратном). И мы отлично понимаем почему: сам одномерный фон в сигнале при многоразных зондированиях чрезвычайно переменчив, и на таком фоне выявлять в сигнале еще и следы от слабых латеральных нарушений в разрезе немислимо. Практически работа ведется с соосной установкой, перемещаемой целиком, что очень трудоемко. Поэтому плотная площадная система наблюдений не реализуется в ЗСБ, да она и не имеет смысла из-за подавляющей одномерной составляющей отклика.

В ЗВТ фоновый сигнал устранен. Причем не посредством особых выборок в измерениях (как в методе чистой аномалии), а на физическом уровне, путем возбуждения специальной конфигурации токов в среде. Кстати сказать, установка КЭД в одномерной среде возбуждает правильную тороидальную систему токов, замыкающихся в вертикальных плоскостях. Такая система ("тороидальная катушка") не имеет квазистационарного магнитного поля вне себя (т. е. на земной поверхности и выше). Слабые нарушения горизонтальной однородности являются дополнительными источниками сигнала (впрочем, как и в ЗСБ), но фиксируются теперь (в ЗВТ) в отсутствии мощного фона. Это принципиально важно. Фиксируемый сигнал целиком, на 100%, связан с неоднородностью, с ее положением по глубине и в плане. Площадная методика с закрепленным источником реализуется в этом случае естественным и необходимым образом.

Еще одно существенное отличие состоит в том, что в ЗВТ аномальное (оно же полное) магнитное поле неоднородности, в силу чисто гальванического возбуждения, существует и до отключения источника и сразу после выключения, с самых ранних времен установления. Поскольку мы фиксируем скорость магнитной индукции, то аномальный сигнал (максимум) сдвигается в сторону более поздних времен (в зависимости от глубины до неоднородности), но все же проявляется на весьма ранних временах.

Интерпретация результатов работ ЗВТ-М

Поскольку в ЗВТ нормальное магнитное поле на земной поверхности в основном подавлено, нет нужды при

обработке данных (площадные измерения скорости магнитной индукции) снимать мощный фон путем каких-либо трансформаций в кажущиеся или иным путем, что и является важным преимуществом ЗВТ. Можно провести любопытное сопоставление с методом ЗСБ. В этом методе "трехмерный" аномальный сигнал является малой добавкой к главному "одномерному" сигналу. То, что регистрируемый сигнал в основном одномерный, приводит к тому, что считается допустимым применять одномерный аппарат при интерпретации, даже когда целью являются трехмерные объекты. Нам представляется, что это просто иллюзия. В сигнале ЗВТ-М нет одномерной составляющей, и вполне оче-

видно, что необходимо применять трехмерный подход при моделировании и при интерпретации. Можно сказать, что интерпретация в ЗВТ-М начинается с того места, где часто заканчивается интерпретация в индуктивной импульсной электроразведке (снятие фона и построение площадных изображений аномальной ЭДС). Причем трансформация площадных наблюдений в кажущиеся параметры в ЗСБ, например, является трудноразрешимой проблемой как из-за изменчивости нормального поля по площади, так и из-за вклада в него различных удаленных неоднородностей. При проведении работ ЗВТ весь наблюдаемый сигнал (магнитный) относится к геоэлектрической аномалии с достаточно четкой локализацией во времени и пространстве. Таким образом, основным приемом визуализации в ЗВТ-М является построение после первичной обработки (учета остаточного поля) профильных кривых или карт рельефа по площади наблюдаемого поля на различных фиксированных временах. Форма сигнала по площади своими экстремумами прямо указывает на неоднородность.

Более углубленная интерпретация может производиться далее с помощью трехмерного моделирования. По соответствию результатов измерений и результатов моделирования на всей площади работ определяются и уточняются все параметры объектов - неоднородностей. Ниже, например, при описании исследований Удобновской залежи в Татарстане, мы увидим, что для достижения максимального соответствия полевых и теоретических данных необходимо определенным образом распределить проводимость не только в плане, но и по глубине.

Это трехмерное моделирование по необходимости должно быть достаточно быстрым и доступным, включенным в стандартный полевой комплекс программного обеспечения, работающим без сопровождения авторов-разработчиков. Все это может быть реализовано (и реализовано) только на базе приближенного линейаризованного подхода [1]. Этот подход хорош еще и тем, что явно указывает на дальнейшую перспективу - быструю линейную 3D-инверсию площадных данных (вместо подбора) и, может быть, на томографический подход в дальнейшем.

Основное программное обеспечение ЗВТ-М сосредоточено в системе "ЗаVeT-M", где визуализируется и корректируется различная информация, относящаяся к конкретике проводимой работы (общая геоэлектрическая обстановка, предполагаемые контуры неоднородностей,

топопривязка участка работ, параметры установки КЭД), производится запуск вычислительных процедур.

Кроме того, система позволяет изображать питающую установку и точки регистрации (пикеты). Есть возможность обратиться к любому пикету и просмотреть полевую кривую, а также результат (если имеется) математического моделирования, относящийся к данному пикету, и остаточный процесс реальной установки КЭД. По мере накопления площадной информации может быть помечен любой профиль и произведена визуализация профильной кривой сигнала на интересующем времени. Фоном может служить соответственно подготовленная карта района работ.

Создан графический интерфейс, позволяющий оперативно и наглядно создать геоэлектрическую модель трехмерной неоднородности (в данном контексте - залежи) и подготовить данные для расчетов.

Среди вычислительных процедур системы "ЗаВеТ-М" основное значение имеет уже упомянутая расчетная процедура трехмерного моделирования сигнала ЗВТ на основе линеаризованного подхода. Эта процедура позволяет спроектировать работы и произвести окончательную интерпретацию данных с целью выяснения вертикальной структуры неоднородности (залежи).

Одномерное математическое обеспечение имеет вспомогательный характер и призвано решать следующие задачи: а) оценка глубинности метода в конкретных структурно-геоэлектрических условиях; б) оценка необходимых параметров питающей установки (КЭД), т. е. радиуса лучей и тока в них; в) оценка требований к точности устройства КЭД (токи в лучах, длины радиальных линий, углы между ними, число линий); г) расчет остаточного устанавливаемого магнитного поля, связанного с конечным числом радиальных линий, на всей площади оплоискования с целью оценки и коррекции полевых данных. Это остаточное поле, в случае необходимости, нужно вычитать из наблюдаемого поля. Заметим, однако, что в описываемых работах это остаточное поле становилось пренебрежимо малым на временах максимального проявления объекта (залежи).

В экспериментальных работах в Татарстане система "ЗаВеТ-М" была задействована в полевых условиях. Посредством ее удавалось ежевечерне (что настоятельно рекомендуется) подводить итоги дня, контролировать результаты и корректировать дальнейшие работы.

Работы ЗВТ на нефть и газ в Татарстане

Первые электроразведочные работы на нефть в Татарстане были проведены в 1960 г. методом ЗСДЗ и продолжались до 1970 г. под руководством Ш. С. Темирбулатова. В 1970 - 1971 гг. были проведены опытные работы методом ЗСБ, и с 1972 г. этим методом ведутся производственные работы, которые продолжают и сейчас. За это время методом ЗСБ по плотной сети наблюдений (1,4 ф. т. на 1 км²) покрыта большая часть территории Республики Татарстан. Сейчас в НПУ "Казаньгеофизика" на стадии освоения находятся работы методом МТЗ, совместно с сейсморазведкой проводятся региональные профили методами ЗСБ и МТЗ.

В настоящее время наиболее остро стоят проблемы оконтуривания небольших месторождений нефти, разбраковки сейсмоподнятий на наличие залежей углеводородов и поиск различного рода неантиклинальных

ловушек, при изучении и прогнозировании которых разрешающая способность сейсморазведки еще не достаточно высока. Известно, что запасы нефти и газа в литологически- и тектонически-ограниченных объектах во многих случаях бывают значительными. Все эти проблемы может решать метод ЗВТ, а небольшая стоимость работ делает его перспективным для использования.

Экспериментальные полевые электроразведочные работы методом ЗВТ (в основном ЗВТ-М) начались летом 1999 г. и продолжаются до сих пор в восточных районах Татарстана. Работы были организованы силами НПУ "Казаньгеофизика" ОАО "Татнефтегеофизика" и проводились сначала при участии авторов и разработчиков метода ЗВТ-М, а затем и без их непосредственного участия. Среди различных задач экспериментальных работ ЗВТ ставилась также геолого-геофизическая задача по определению границ залежей. С этой целью работы сначала проводились на Шуганской и Удобновской залежах Муслюмовского месторождения. Район работ хорошо изучен. В период 1994 - 1996 гг. проводились работы ЗСБ с плотностью 1,4 ф. т. на 1 км². Осадочный чехол имеет мощность от 1680 до 1760 м. Кристаллический фундамент обладает сопротивлением свыше 500 Ом·м. Комплекс делится на семь толщ и пачек. Нефтегазосность отмечается на двух горизонтах.

Удобновская залежь вскрыта в отложениях нижнего карбона (бобриковский горизонт) скв. 604 Тлянчи-Томакской площади. Приурочена она к песчаной линзе большой мощности (17 м) на глубине 900 м. Нефтесыщенная мощность пласта составляет 4,6 м. По результатам работ ЗСБ разрез в пределах Удобновской залежи характеризуется пониженной продольной проводимостью. По материалам электроразведочных работ над залежью выделен аномальный объект (В. И. Богатов, 1996).

Принципиальной и важной особенностью работ на Удобновской залежи является первая реализация площадной системы сбора данных (2D) при закреплённом источнике посредством покрытия района работ (4 × 2,5 км) регулярной сеткой наблюдений через 100 и 200 м. Был использован пешеходный вариант перемещения измерительной установки без потрав сельскохозяйственных посевов.

Всего было выполнено около 400 ф. т. за 56 ч работы генераторной установки. Восьмилучевая (радиус 500 м) генераторная установка КЭД была собрана на расстоянии 700 м (центральная точка) от предполагаемого края залежи. Концы лучей заземлялись с помощью 5 - 7 электродов, центральный электрод представлял собой поле электродов из 25 шт. Электроды соединялись между собой медным проводом. Ток в лучах поддерживался равным 5 А.

Посредством программного комплекса "ЗаВеТ-М" данные (сигналы ЗВТ) оперативно визуализировались, и корректировалось направление работ. По результатам измерений были получены профильные кривые, соответствующие определенным глубинам, максимумы которых указывают на положение латеральных изменений электропроводности. По предварительной интерпретации, подтвержденной также оперативным математическим трехмерным моделированием, определена "граница ЗВТ", частично совпадающая с предполагаемым контуром залежи. Причем сопоставлением полевого сигнала и результатов трехмерного моделирования показано, что неоднородность, производящая этот сигнал -

именно глубинная неоднородность, заключающаяся в дефиците проводимости, распределенном от глубины несколько сотен метров до самой залежи. Установление специфики этого распределения и его прослеживание позволяет говорить об оконтуривании залежи. В этом случае (в северо-восточной части) данные ЗВТ подтверждают предполагаемый контур залежи. Вместе с тем, это математическое моделирование позволяет утверждать, что данные ЗВТ-М определяются именно достаточно глубинной неоднородностью, а не приповерхностной, и тем более не рельефом.

В целом все же эти первые площадные работы нельзя признать вполне успешными. Материал сильно испорчен обширными зонами сильного искажения сигнала. Это часть нашего, набираемого сейчас опыта. Дело в том, что на Удобновской залежи действовали три скважины с соответствующей инфраструктурой (ЛЭП, которые мы видели, и подземные трубопроводы, которые мы, к сожалению, не приняли во внимание при расположении установки КЭД и профилей измерения). Площадные данные ЗВТ, кстати сказать, очевидным образом отображают эту инфраструктуру. Проблема в том, что искажения далеко распространяются по площади и по времени.

Шуганская залежь открыта в 1967 г. скв. 126 Менаелино-Актанышской площади. При опробовании интервалов 1539 - 1543 м и 1547,4 - 1549,2 м при фонтанировании получены притоки нефти с дебитами 50 и 9,1 м³/сут. Нефтегазосодержащими являются трещиноватые карбонатные коллекторы семилукского горизонта. Внешний контур нефтегазоносности проведен по подошве нижнего нефтенасыщенного пласта на абсолютной отметке 1449 м. К настоящему времени здесь пробурены еще три скважины, и только две из них (40060 и 40064) дали промышленный приток нефти. В гравитационном поле над залежью отмечены аномалии, по которым даны прогнозные контуры нефтегазоносности. По электроразведочным данным девонские и каменноугольные отложения в пределах залежи к западу и северо-западу от скв. 126 характеризуются проводимостью, значительно меньшей, чем за ее пределами. Над залежью также выделены аномальные объекты. Таким образом, предпосылкой при проведении работ методом ЗВТ-М в целях оконтуривания залежей нефти является факт повышения сопротивления над залежью, что, по мнению специалистов, справедливо в общем случае, а также и установлено конкретно электроразведочными работами на Муслюмовском месторождении (В. И. Богатов, 1996).

На Шуганской залежи нефти был сделан новый технологический шаг вперед, а именно, реализация площадной системы сбора информации при нескольких постановках КЭД. На рис. 2 (см. цвет. вкл.), где приведены результаты работ, указаны эти три постановки КЭД (радиусом 500 м). Следует отметить, что первая постановка была выполнена летом (1999 г.) и проведены измерения в небольшом объеме по отдельным профилям. Эти данные также были использованы в представлениях материалов по площади. Зимой были проведены работы с еще двумя постановками КЭД по приведенной на рис. 2 схеме. Зимние работы были выполнены без непосредственного участия разработчиков, что также явилось некоторым шагом в развитии метода. Профили отстояли друг от друга на 400 м. Регистрация производилась в основном через 400 м по про-

филю, и лишь в местах предполагаемого контура производилась детализация (через 200 м).

Как уже неоднократно подчеркивалось, площадной сигнал ЗВТ, свободный от фона вмещающей среды и целиком обязанный латеральным неоднородностям, с которыми связан пространственно, обладает высокой визуализирующей способностью. Использование (и просто представление) площадных данных, да еще и от различных источников возбуждения, требует некоторого выравнивания, которое заключается, во-первых, в учете изменений параметров приемно-питающей установки по площади (моментов), а во-вторых, в некотором нормировании, связанном с разном приемника и источника. На рис. 2 представлено выровненное таким образом площадное изображение сигнала ЗВТ-М на времени 9 мс процесса становления с нанесенным предполагаемым контуром нефтегазоносности. На наш взгляд, уверенно выделяется зона повышенных (положительных) значений сигнала, вполне согласующаяся с предполагаемым контуром залежи. Причем основная доля сигнала, как показало математическое моделирование, связана с неглубокозалегающей зоной (500 - 800 м) повышенного сопротивления. Однако, судя также по временным срезам на 20 и 40 мс, эта зона прослеживается по глубине до самой залежи. Таким образом, в данном случае сигнал ЗВТ сформирован не столько самой залежью, а "столбом" повышенного сопротивления над залежью.

Зимой 1999 - 2000 гг. продолжались работы методом ЗВТ (ЗВТ-М) по оконтуриванию залежей. На рис. 3 (см. цвет. вкл.) представлены предполагаемый контур нефтегазоносности (*Акбязовская залежь*) и изображение сигнала ЗВТ-М по площади на времени 31 мс. Залежь хорошо проявила себя в площадном сигнале, причем использовалась одна постановка КЭД (радиус 500 м). При этом сигнал собран с площади около 20 км².

Красно-Октябрьское месторождение нефти

Следующие работы с использованием метода ЗВТ-М проводились в Татарстане в 2001 г. на Красно-Октябрьском месторождении нефти силами опытно-методической партии НПУ "Казаньгеофизика" [5].

Площадь работ расположена в Западном Закамье, на левобережье среднего течения реки Шешмы. Ландшафт местности представляет собой сравнительно невысокое плато, слабо расчлененное овражной сетью. Абсолютные отметки рельефа изменяются от 77 м в поймах ручьев до 152 м на водоразделах. На площади работ расположены два населенных пункта, связанных грунтовыми дорогами. Площадь бедна лесами, основная часть района занята сельскохозяйственными угодьями, разделенными лесозащитными полосами.

Красно-Октябрьское месторождение открыто в результате глубокого поискового бурения, которое проводится с 1953 г. Это месторождение многопластовое, залежи нефти здесь приурочены к локальным поднятиям и установлены в отложениях среднего и нижнего карбона и в терригенных образованиях верхнего девона.

Нефтяные залежи среднего карбона связаны с карбонатными коллекторами башкирского яруса, верейского и каширского горизонтов московского яруса. Нефтяные залежи нижнего карбона приурочены к пористо-проницаемым известнякам турнейского яруса, а также к песчано-алевролитовым породам-коллекторам тульского и бобриковского горизонтов визейского яруса.

Залежи нефти в терригенном девоне отмечены в пластах кыновского и пашийского горизонтов.

За предыдущие годы в районе исследований выполнен комплекс геолого-геофизических работ, включавший структурно-геологическую, аэромагнитную и гравиметрическую съемки, электроразведочные (ВЭЗ), сейсморазведочные (МОВ, МОГТ) работы, региональное структурное дешифрирование, структурное, поисково-разведочное и эксплуатационное бурение [5]. По результатам предшествующих работ были построены предполагаемые контуры нефтеносности (рис. 4).

Электроразведочные работы методом ЗВТ-М выполнялись на площади 40 км² от трех постановок круговых электрических диполей (КЭД) в объеме 694 точки наблюдения (рис. 5). Оснащенность полевого отряда: генераторная установка ЭРС-67, аппаратура стабилизации тока в лучах КЭД, цифровой компьютеризированный измеритель переходного сигнала ЦЭИ-5 и компактный индукционный датчик. Пространственно-временная привязка осуществлялась с использованием спутниковой навигационной системы GPS.

Монтаж КЭД производился за пределами площади исследования, но в непосредственной близости от нее. Установки КЭД имели по 8 лучей, радиус каждого луча - 750 м. Работы проведены с током в лучах 4 А, т. е. суммар-

ный импульс был равен 32 А. Ввод тока в землю осуществлялся стальными стержневыми заземлителями.

Съемка велась по равномерной сети наблюдений, при расстоянии между профилями 400 м и шаге 200 м со сгущением до 100 м вблизи предполагаемого контура залежи. В местах проявления промышленных помех, в значительной степени искажавших сигнал, наблюдения не проводились, т. е. наличие электропередач, газопровода и населенных пунктов обусловило некоторую неравномерность сети пунктов наблюдений ЗВТ-М (см. рис. 5).

Регистрация скорости вертикальной B_z компоненты электромагнитного поля осуществлялась электроразведочным измерителем ЦЭИ-5 с использованием индукционного малогабаритного датчика, представляющего собой компактный аналог приемной петли и состоящего из многовитковой рамки и предварительного усилителя с малым уровнем шумов (разработчик - А. К. Захаркин). На выходе датчик эквивалентен петле площадью 203500 м² (т. е. петле 450 × 450 м).

В процессе работ строились предварительные площадные сигналы ЗВТ-М на различных временах. В качестве основного было выбрано время 21 мс, на котором площадной сигнал ЗВТ-М наиболее информативен - на нем четко виден контур электромагнитной аномалии. На рис. 6 (см. цвет. вкл.) показан полный площадной сиг-

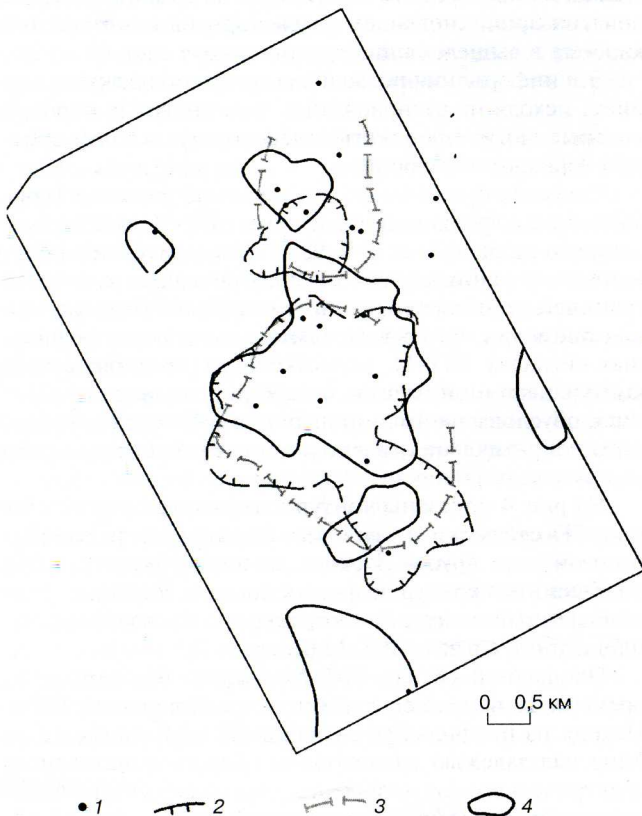


Рис. 4. Карта сопоставления результатов ранее проведенных работ:

1 - скважины глубокого бурения; результаты интерпретации геолого-геофизических материалов; 2 - контуры нефтеносности по данным сейсморазведки (С. п. 13/97 - 98 ТНГФ); 3 - контуры нефтеносности по данным глубокого бурения; электроразведка (ОМП НПУ "Казаньгеофизика" ТНГФ); 4 - прогнозный контур нефтеносности (метод ЗВТ)

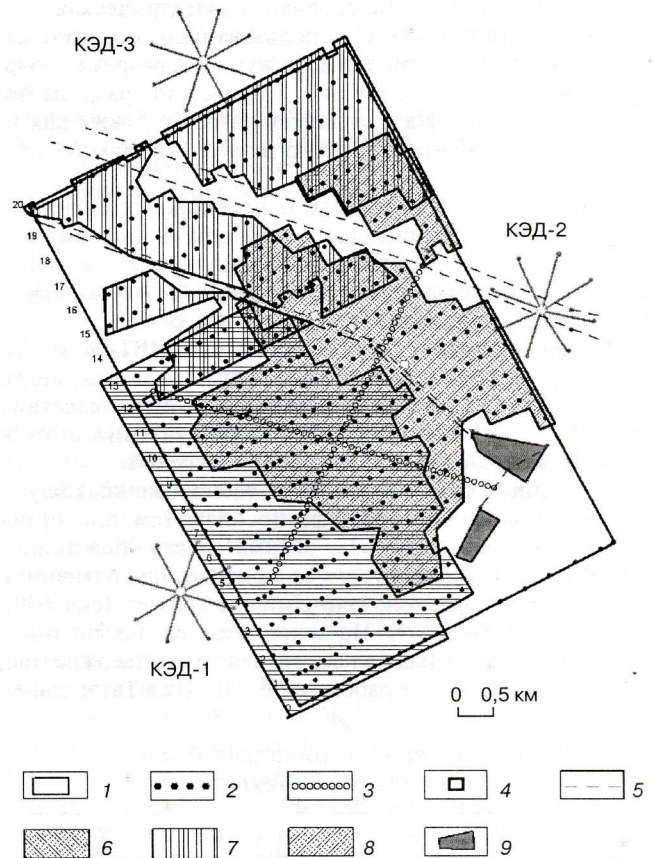


Рис. 5. Схема электроразведочных работ ЗВТ, ВП на Красно-Октябрьской залежи нефти:

1 - контур площади работ; 2 - пикеты наблюдений ЗВТ; 3 - пикеты наблюдений ВП, ЗС; 4 - пункт наблюдений ЗСБ; 5 - ЛЭП, газопровод; 6 - контур отработанных точек от КЭД-1; 7 - контур отработанных точек от КЭД-2; 8 - контур отработанных точек от КЭД-3; 9 - населенный пункт

нал ЗВТ-М на этом времени, где четко выделяется аномальная зона. Выделение таких зон и является целью построения подобных площадных сигналов. В дальнейшем эти аномальные зоны интерпретируются в соответствии с геологической ситуацией на участке работ.

Другим приемом обработки и визуализации данных является построение кажущихся разрезов вдоль профилей. Такое представление данных зондирований становлением хорошо известно. Время регистрации сигнала при этом связывается с глубиной. Однако в ЗВТ-М мы регистрируем не основной процесс становления (на земной поверхности он проявляется только в виде радиального электрического градиента), а переходное аномальное магнитное поле, возбуждаемое дополнительными токами в неоднородности. В этом случае связь времени регистрации и глубины значительно усложняется и может быть выяснена при моделировании основного процесса установления с привлечением априорных (по данным ЗСБ, например) данных о вмещающем одномерном геоэлектрическом разрезе. В таблице приведена сводная геоэлектрическая модель осадочного чехла. С использованием этих данных были построены профильные кажущиеся разрезы вдоль различных профилей. На рис. 7 приведены разрезы по профилям 7 и 10. На кажущихся разрезах, также как и на площадной картинке, четко видны аномальные области.

Изображения площадных и профильных сигналов ЗВТ-М были сопоставлены с априорной информацией, данными, полученными на этом участке с использованием других методов исследований (3D-сейсморазведка, гравirazведка, ВП, бурение скважин).

Проанализируем профильные сигналы ЗВТ-М, изображенные на рис. 7. Зоны положительного аномального сигнала (темный цвет), согласно теории, свидетельствуют об отличии электрического сопротивления в этой области по сравнению с вмещающей средой.

По данным БКЗ в скважинах, расположенных внутри обобщенного контура нефтеносности (см. рис. 6) по карбону (скв. 621, 655, 625, 619, 654), есть область повышенного сопротивления над залежью, по сравнению со скважинами, расположенными вне контура (скв. 620, 666, 308, 653, 668, 669). Наличие областей повышенного сопротивления над залежами нефти подтверждается результатами и других работ, проведенных в Татарстане.

Сводная геоэлектрическая модель осадочного чехла

№ п/п	H, м	h, м	ρ_i , Ом·м	S_i , См
1	600	600	23,2	25,9
2	800	200	6,4	31,1
3	1100	300	38,0	7,9
4	1700	600	65,0	9,2
5	1840	140	11,7	12,0

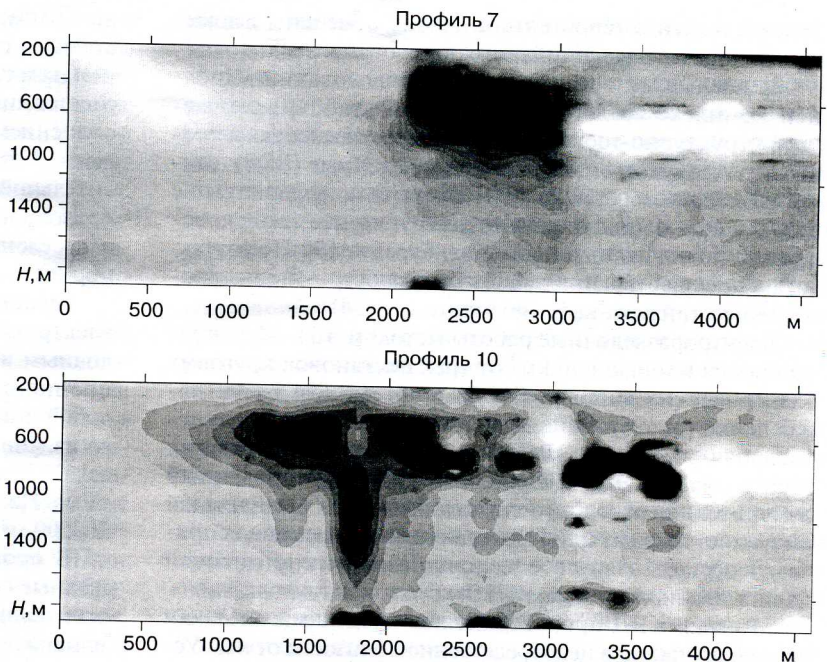


Рис. 7. Изображения профильных сигналов ЗВТ-М

Область повышенного сопротивления, видимо, обусловлена проникновением углеводородов из отложений карбона в вышележащие трещиноватые слои.

Эта информация позволила сделать привязку по глубине, исходя из расположения трещиноватых пород, в которые могут проникать углеводороды из нефтеносных горизонтов карбона.

Сопоставив данные по глубинам нефтеносных горизонтов с профильными сигналами ЗВТ-М, можно сказать, что на профилях 6, 7, 9, 10 нижняя граница положительного аномального сигнала совпадает с нижней границей нефтяных горизонтов в карбоне. Положительная аномалия, четко выделяющаяся на всех профильных сигналах ЗВТ-М, пересекающих предполагаемый контур нефтяной залежи в карбоне, по нашему мнению, обусловлена именно наличием области повышенного сопротивления, расположенной непосредственно над залежью.

На рис. 4 показаны контуры нефтеносности по данным 3D-сейсмики и глубокого бурения для различных горизонтов и ярусов. Исходя из этого, был составлен обобщенный контур нефтеносности в карбоне. Этот обобщенный контур также показан на изображении площадного сигнала ЗВТ-М (см. рис. 6).

Площадной сигнал ЗВТ-М на рис. 6 построен на времени 21 мс, что соответствует глубине около 700 м. Исходя из профильных сигналов ЗВТ-М, на этой глубине над залежью расположена область повышенного электрического сопротивления. Эта область четко выделяется в изображении площадного сигнала в виде положительного аномального сигнала. Положительный аномальный сигнал ЗВТ-М, обусловленный наличием ореола повышенного сопротивления над залежью, достаточно хорошо совпадает с предполагаемым контуром залежи нефти в карбоне по данным 3D-сейсморазведки (см. рис. 6).

Также были сопоставлены данные наличия нефти в скважинах из карбона с контуром аномального сигнала

в площадном сигнале ЗВТ-М. Скважины с нефтеносными горизонтами в карбоне (621, 619, 11862, 625 и др.) попадают в полученный нами контур, а те, в которых отсутствует нефть из карбона (308, 669, 11863, 9786), в контур не попадают.

При проведении полевых работ были также сделаны измерения методом ВП вдоль двух профилей, показанных на рис. 6. По результатам этих измерений были получены аномальные зоны, выделенные в поле ВП, соответствующие залежам углеводородов (см. рис. 5, 6). Эти зоны также достаточно хорошо совпадают с границами положительной аномальной области в площадном сигнале ЗВТ-М.

В изображении площадного сигнала заметны линейные области отрицательных значений в южной области площади. Они могут быть связаны с ослабленными зонами повышенной тектонической трещиноватости в отложениях среднего и нижнего карбона [5]. Обладая повышенными фильтрационными и емкостными свойствами, эти зоны в случае заполнения их высокоминерализованными водами резко увеличивают проводимость разреза, что обуславливает наличие аномалии отрицательного знака. В данном случае трещиноватость, вероятно, является сквозной, т. е. зоны прослеживаются от земной поверхности до кристаллического фундамента. Подтверждением тому может являться достаточно высокая сходимость этих аномалий с неогеновыми долинами, установленными бурением и уточненными по данным гравиразведки, которые, как правило, приурочены к ослабленным трещиноватым зонам осадочного чехла (рис. 8).

В результате проведенного анализа априорных данных и материалов, полученных с помощью метода ЗВТ-М, можно сказать, что на площадном и профильных сигналах ЗВТ-М отмечается ореол повышенного сопротивления над залежью нефти. Контур этой области хорошо согласуется с предполагаемым контуром нефтеносности по данным 3D-сейсморазведки. Кроме того, наш контур также согласуется с данными бурения и результатами измерений методом ВП.

После привязки профильных сигналов по глубине было получено хорошее совпадение по глубине нижней границы залежи в карбоне и нижней границы аномальной зоны на изображениях профильных сигналов ЗВТ-М для нескольких профилей.

Итак, результатом полевых работ и обработки данных являются построенные площадные и профильные сигналы ЗВТ-М. Контур залежи, полученный в изображениях этих сигналов, достаточно хорошо согласуется с результатами проведенных ранее на этом участке работ и геологией района исследований. Кроме того, впервые сделаны полноценные работы и интерпретация данных от нескольких постановок КЭД.

Заключение

Мы привели первые результаты нефтепоисковых работ методом ЗВТ-М. Они представлены просто в виде площадных изображений регистрируемого в поле сигнала и кажущихся разрезов фактически без обработки. Обращаем внимание читателя на то, что это весьма незаурядный факт в контексте нефтяной электроразведки - столь явное проявление залежи в площадном сигнале при работе с закрепленным источником. нас упрекают в том, что у нас нет интерпретации, но та-

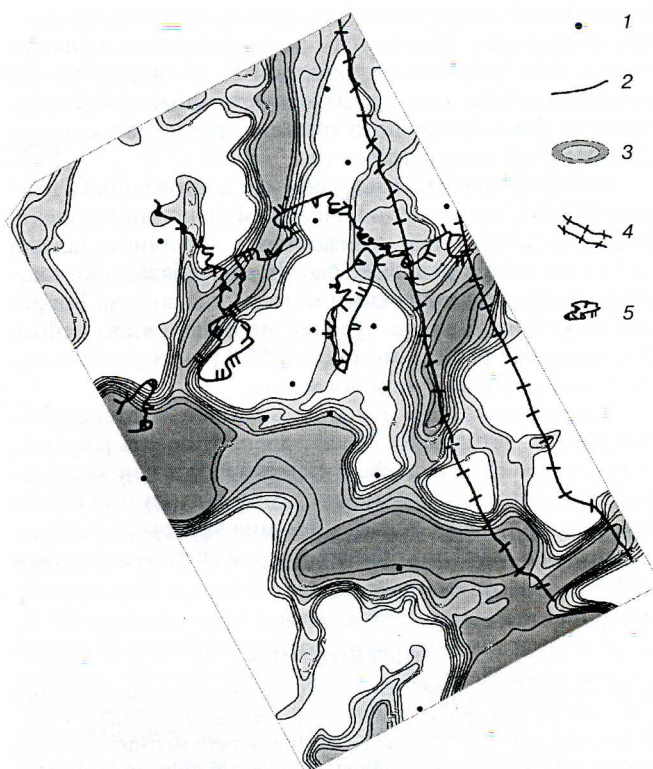


Рис. 8. Карта изопахит неоген-четвертичных отложений:

1 - скважины глубокого бурения; 2 - изопахиты неоген-четвертичных отложений; 3 - зона развития увеличенной мощности неоген-четвертичных отложений; зоны эрозированных врезов: 4 - верейские; 5 - нижнекаменноугольные

кой упрек дороже любого комплимента. На самом деле в ЗВТ-М на экспериментальном уровне решена проблема фонового (от вмещающей среды) сигнала, фатальная для традиционных ЗС. Сам измеряемый в поле сигнал связан с латеральными неоднородностями. Но дальнейшая интерпретация, разумеется, возможна и необходима, только она имеет сугубо трехмерный характер. Мы должны обратить площадной переходной сигнал ЗВТ-М в трехмерное распределение проводимости. Такая задача, однако, не решается быстро.

Как сообщалось выше, мы имеем в своем распоряжении процедуру прямого трехмерного моделирования. Почему же мы не привели результаты такого моделирования? Нам вроде бы известен контур залежи, известны по разным данным различные геоэлектрические характеристики разреза. Но мы пока не получаем удовлетворительного результата согласованности полевых и синтетических данных по всей площади и во всем временном диапазоне. Дело тут, на наш взгляд, в том, что геоэлектрические изменения, сопровождающие углеводородную залежь - весьма сложные. Сама-то нефтегазонасыщенная часть коллектора - слабый и несущественный объект в геоэлектрическом смысле. Мы, например, плохо знаем распределение минерализованной воды и изменения сопротивлений над залежью (особенно, вертикальных сопротивлений, которые совершенно не влияют на сигнал ЗСБ, но важны для ЗВТ-М). Другая сторона, ограничивающая возможности прямого трехмерного моделирования, состоит в том, что наша процедура

ра учитывает лишь чисто электродинамические процессы, связанные с трехмерным распределением проводимости, и не учитывает процессы ВП, возможно (ввиду гальванического источника), существенные для формирования даже магнитного отклика, регистрируемого в ЗВТ-М. Этот вопрос изучается.

Косвенным подтверждением как достоверности данных ЗВТ-М, так и специфических изменений геоэлектрической обстановки, связанных с наличием залежи нефти, являются недавние работы на Акбязовской площади. Здесь сейсмическими методами выявлена Боярская структура. Однако бурение не обнаружило нефти. Проведенные работы методом ЗВТ-М также не выявили какой-либо заметной аномалии.

Мы надеемся, что эти и дальнейшие нефтепоисковые работы методом ЗВТ будут препятствовать распространению мифа о неэффективности нефтяной электрозаведки. Этот миф, конечно, имел реальную основу в виде длинного ряда неудач, причина которых в приверженности к старым, привычным, экспериментальным схемам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Могилатов В. С., 1999, Вторичные источники и линеаризация в задачах геоэлектрики: Геология и геофизика, 7, 1102 - 1108.
2. Могилатов В. С., 1998, Возбуждение электромагнитного поля в слоистой Земле горизонтальным токовым листом: Изв. РАН. Физика Земли, 5, 45 - 53.
3. Могилатов В. С., Балашов Б. П., 1994, Зондирования вертикальными токами (ЗВТ): Изв. РАН. Физика Земли, 6, 73 - 79.
4. Светов Б. С., Губатенко В. П., 1988, Аналитические решения электродинамических задач: М., Наука.
5. Смоленцев В. В., 2001, Опытные-методические работы методом зондирования вертикальными токами и вызванной поляризации с целью оконтуривания залежи нефти: Казань, Казаньгеофизика.

ОБ АВТОРАХ



**Владимир Сергеевич
МОГИЛАТОВ**

Ведущий научный сотрудник Института геофизики СО РАН, доктор технических наук. В 1968 г. окончил Новосибирский государственный университет. Область научных интересов - физико-математические основания геоэлектрики с контролируемыми источниками. Автор 60 опубликованных научных работ.



**Рафаиль Сафинович
МУХАМАДИЕВ**

Главный инженер НПУ "Казаньгеофизика", Почетный разведчик недр. Окончил в 1976 г. Казанский государственный университет. Область научных интересов - технология проведения мобильных геофизических методов при поисках нефти. Автор более 15 научных публикаций.



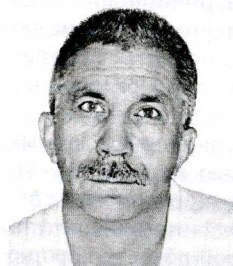
**Борис Петрович
БАЛАШОВ**

Ведущий научный сотрудник Сибирского НИИ геологии, геофизики и минерального сырья (СНИИГГиМС), кандидат технических наук. Окончил в 1971 г. Новосибирский электротехнический институт. Участвовал в разработке каротажной, сейсмокаротажной и электроразведочной техники. Автор и соавтор 24 авторских свидетельств СССР, 6 патентов РФ, 2 патентов США и 12 статей.



**Владимир Владимирович
ПОТАПОВ**

Младший научный сотрудник Института геофизики СО РАН, аспирант. В 2000 г. окончил Новосибирский государственный университет. Область научных интересов - наземная электроразведка становлением тока.



**Владимир Владимирович
СМОЛЕНЦЕВ**

Начальник опытно-методической партии НПУ "Казаньгеофизика" ОАО "Татнефтегеофизика". Окончил в 1976 г. Казанский государственный университет. Область научных интересов - новые направления при поисках и разведке углеводородов, геологическая интерпретация электроразведочных данных.



**Сергей Анатольевич
ФЕОФИЛОВ**

Технический руководитель комплексной геофизической партии № 3 НПУ "Казаньгеофизика". Окончил в 1998 г. Казанский государственный университет. Область научных интересов - новые направления при поисках и разведке залежей углеводородов, применение новых видов аппаратуры, организация полевых работ, интерпретация электроразведочных данных. Автор 3 научных публикаций.

**Шавкат Садыкович
ТЕМИРБУЛАТОВ**

Окончил в 1960 г. Казанский государственный университет. Ведущий геофизик НПУ "Казаньгеофизика". Область научных интересов - новые направления при поисках и разведке углеводородов, геологическая интерпретация электроразведочных данных.