

отложений и оптимальная сеть расположения технологических скважин ( $Q = 5-6 \text{ м}^3/\text{ч}$ ).

В районе скважин 5.9.42 и 5.13.10 процесс СПВ урана практически завершен. А в зоне действия скважины 5.9.26 находится на завершающей стадии процесса.

#### Выводы:

1. Каротаж методом мгновенных нейтронов деления целесообразно использовать при горно-подготовительных работах для оперативного подсчета запасов, вскрытых технологическими скважинами, а также для заверки данных ГК, полученных при разведке, в качестве контрольного метода согласно действующим нормативно-методическим инструкциям ФБУ ГКЗ.

2. Каротаж КНД-М в комплексе с ГК позволяет получать оценку основного радиологического показателя — комплексной поправки, учитывающей  $K_{\text{кр}}$  и  $P_{\text{Rn}}$  сопоставимую по величине с поправкой, полученной по результатам опробования керна.

3. Метод КНД-М весьма эффективен на стадии отработки и погашения запасов при СПВ и может применяться во всех контрольных, наблюдательных и вновь сооружаемых скважинах с целью оценки остаточного и техногенно-переотложенного урана в продуктивном горизонте, а также выявлять не орабатываемые целики урановых руд.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Инструкция по каротажу методом мгновенных нейтронов деления с аппаратурно-методическим комплексом АМК КНД-М (в модификации АИНК-49). — СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2014.
2. Карамушка, В.П. Рекультивация объектов добычи и переработки урановых руд / В.П. Карамушка, У.Н. Камнев, Р.Е. Кузин. — М.: Изд-во «Горная книга», 2014. — 183 с.
3. Кочкин, Б.Т. Геохимические особенности рудовмещающей среды на месторождениях урана Хиагдинского рудного поля / Б.Т. Кочкин, И.Н. Солодов, Н.И. Ганина и др. // Геология рудных месторождений. — 2017. — Т. 59. — № 5. — С. 340–362.
4. Маринов, Б.Н. О возможной роли углекислых ураноносных вод в кайнозойском рудообразовании на Витимском плато (Забайкалье) / Б.Н. Маринов, А.В. Ильичев // Матер. по геол. месторождений урана. Инф. сб. КНТС. — М.: ВИМС, 1988. — Вып. 113. — С. 90–98.
5. Методы ядерно-геофизического каротажа на месторождениях урана / И.М. Хайкович, Н.А. Мац, Г.И. Ганичев. — СПб.: ФГУНПП «Геологоразведка», 2007. — 314 с.
6. Самович, Д.А. Минерально-сырьевая база Витимского урановорудного района и перспективы ее расширения / Д.А. Самович, С.А. Дзядок, С.С. Тирских, А.Ю. Федин // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 9. — С. 17–19.
7. Солодов, И.Н. Техногенные геохимические барьеры в рудоносных горизонтах гидрогенных месторождений урана / И.Н. Солодов, Г.А. Шугина, О.И. Зеленова // Геохимия. — 1994. — № 3 — С. 415–430.
8. Тарханова, Г.А. Особенности минерального состава и условия формирования руд Вершинного месторождения / Г.А. Тарханова, В.Т. Дубинчук, Н.И. Чистякова и др. // Разведка и охрана недр. — 2014. — № 6. — С. 7–13.
9. Тарханова, Г.А. Генетические особенности формирования уранового оруденения витимского типа / Г.А. Тарханова, Д.А. Прохоров // Разведка и охрана недр. — 2017. — № 11. — С. 47–59.
10. Чернявский, М.К. Перспективы освоения минеральных вод юга Витимского плоскогорья / М.К. Чернявский // Геология Забайкалья: Матер. II всероссийской молодежной научной конференции, посвященной 85-летию со дня рождения чл.-корр. РАН Ф.П. Кренделева (15–18 мая 2012 г., Улан-Удэ). — Улан-Удэ: Изд-во ФГБУН Бурятский научный центр, 2012. — С. 165–167.

© Миносьянц А.Р., Солодов И.Н., Гурулев Е.А., 2019

Миносьянц Александр Рубенович // Minosyantzar@rbm-armz.ru  
Солодов Игорь Николаевич // INSolodov@armz.ru  
Гурулев Евгений Александрович // Gurulev.E.A.@hiagda.ru

Кочукова В.А. (АО «Росгеология» «Иркутское геофизическое подразделение»)

#### ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕРПРЕТАЦИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ В ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

*В работе представлены инновационные методические подходы интерпретации данных электромагнитных исследований (метод зондирования поля в ближней зоне), позволяющие оперативно получать информацию по изучаемой площади, на всех этапах интерпретации. Проведенные исследования позволили успешно интегрировать электромагнитные данные ЗСБ в сейсмические пакеты обработки, что значительно упрощает процесс комплексирования геофизических данных, позволяет получать более достоверные результаты прогноза перспективных участков и повышает инвестиционную привлекательность объектов недропользования. **Ключевые слова:** электромагнитные исследования, зондирование становлением поля в ближней зоне, трансформация кривой становления поля, Сибирская платформа, нефтегазоперспективные участки, проводящие и высокоомные горизонты.*

Kochukova V.A. (Rosgeologia, Irkutsk geophysical unit)

#### INNOVATIVE APPROACHES TO THE INTERPRETATION OF ELECTROMAGNETIC SOUNDINGS IN THE GEOELECTRICAL CONDITIONS IN THE SOUTHERN SIBERIAN PLATFORM

*The paper presents innovative methodological approaches to the interpretation of electromagnetic research data (the method of sensing the field in the near zone), allowing you to quickly obtain information on the study area, at all stages of interpretation. The conducted research has allowed to successfully integrated electromagnetic TEM data in the seismic processing package, which greatly simplifies the process of integration of geophysical data allows to get more accurate forecast results of prospective areas and increases of investment appeal of objects of subsurface use. **Keywords:** electromagnetic research, sensing of the formation of the field in the near zone, transformation of the curve of formation of the field, Siberian platform, oil and gas prospective areas, conducting and high-resistance horizons.*

#### Введение

Изучение геоэлектрического строения осадочного чехла является неотъемлемой частью комплекса методов геофизических исследований в современном мире при поисках месторождений углеводородного сырья. Изучение геоэлектрических характеристик, точнее, изменения удельного электрического сопротивления горных пород, слагающих разрез осадочного чехла, позволяет производить вероятностную оценку перспективных в нефтегазоносном отношении участков,

структурно-тектонических элементов, а также картирование зон улучшенных коллекторов нефтегазоперспективных горизонтов.

В настоящее время основным геофизическим методом для изучения геоэлектрического строения перспективных территорий является метод зондирования в модификации зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) [4]. Метод электромагнитных исследований ЗСБ используется в геофизике более 30 лет. Основной направленностью его является обнаружение нефтегазоперспективных участков. Метод основан на изучении поля переходных процессов, которое возбуждается в земле при изменении тока в источнике. Поведение этого поля определяется продольной проводимостью проводящих горизонтов разреза.

#### *Характеристика объекта исследования*

Разработка инновационных методических подходов интерпретации электромагнитных исследований методом становления поля в ближней зоне (ЗСБ) на Сибирской платформе основана на материалах ЗСБ, полученных на Нукутской площади, расположенной в Аларском, Нукутском и Черемховском районах Иркутской области (рис. 1). В геологическом строении территории принимают участие архей-протерозойские метаморфические и интрузивные образования кристаллического фундамента, а также породы вендской, кембрийской, юрской систем, рыхлые четвертичные отложения, слагающие осадочный чехол.

В составе осадков по структурным и литологическим признакам выделяются три комплекса: подсолевой — пониженного сопротивления, охватывающий терригенные, карбонатные породы чорской свиты с включением нижней части усольской свиты по осинский горизонт; карбонатно-галогенный — повышенного сопротивления, к которому относятся усольская, бельская, булайская, ангарская и литвинцевская свиты. Надсолевой — объединяет карбонатно-терригенные отложения выше подошвы верхоленской свиты, обладающих пониженным сопротивлением. Отметим, что на площади исследований верхний структурный комплекс в значительной степени размыт. В отличие от внутренних областей платформы ангарские отложения не содержат солей, а соли в бельской свите маломощны и местами отсутствуют. Наиболее простая геоэлектрическая модель осадочного чехла представляется четырехслойным типом КН, однако с проявлением региональных пластов-коллекторов в различных комплексах осадочного чехла разрез аппроксимируется более сложной многослойной моделью. В разрезе в целом выделяются восемь геоэлектрических горизонтов.

#### *Инновационные подходы в интерпретации данных электромагнитных исследований*

В настоящее время в АО «Росгеология» активно внедряются передовые геофизические программные комплексы, одним из которых является программа Stratimagic. Программный комплекс Stratimagic

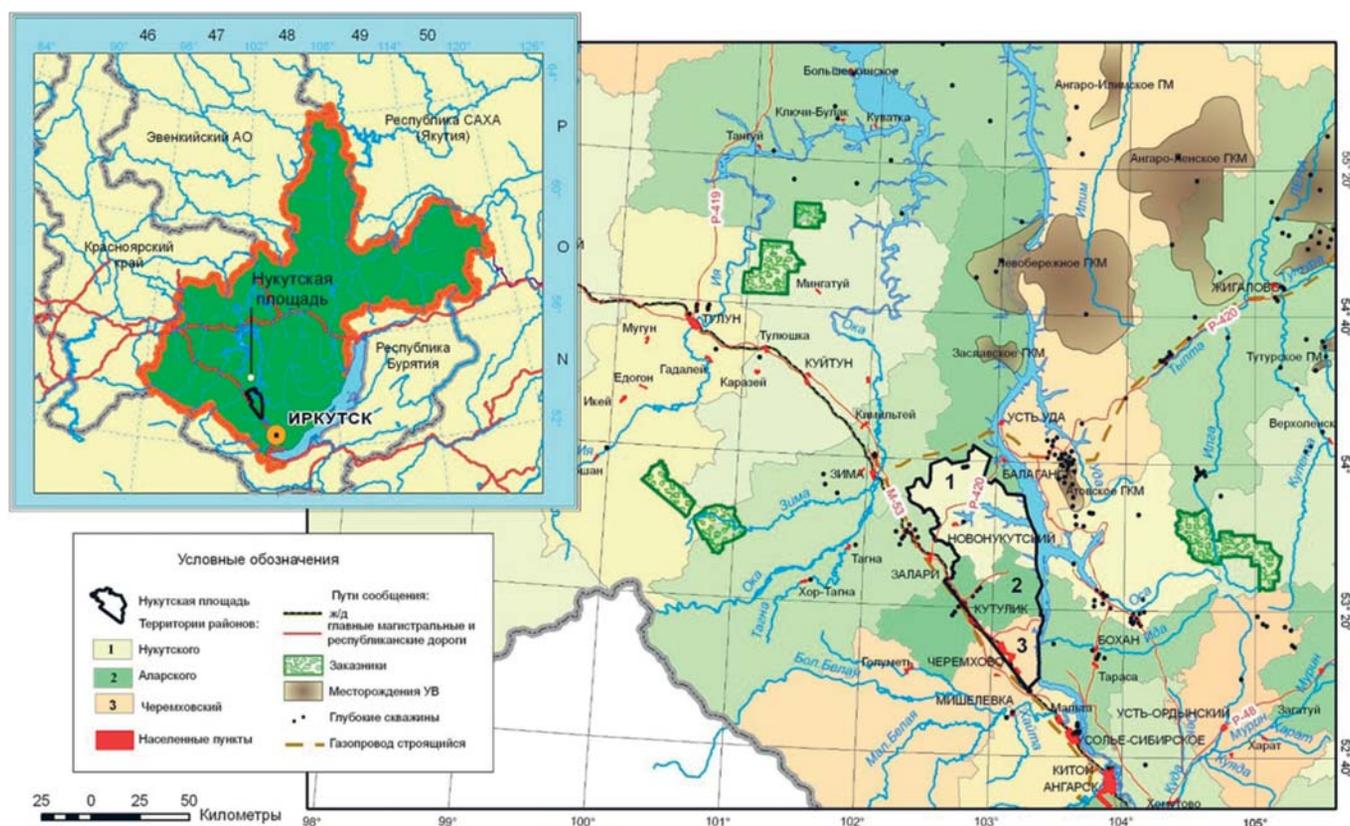


Рис. 1. Обзорная схема района работ

1-НУК  
 Альтитуда скважины 403,36 м  
 Глубина скважины 2552 м  
 Пикет ЗСБ (удаление 1,6 км) 1455

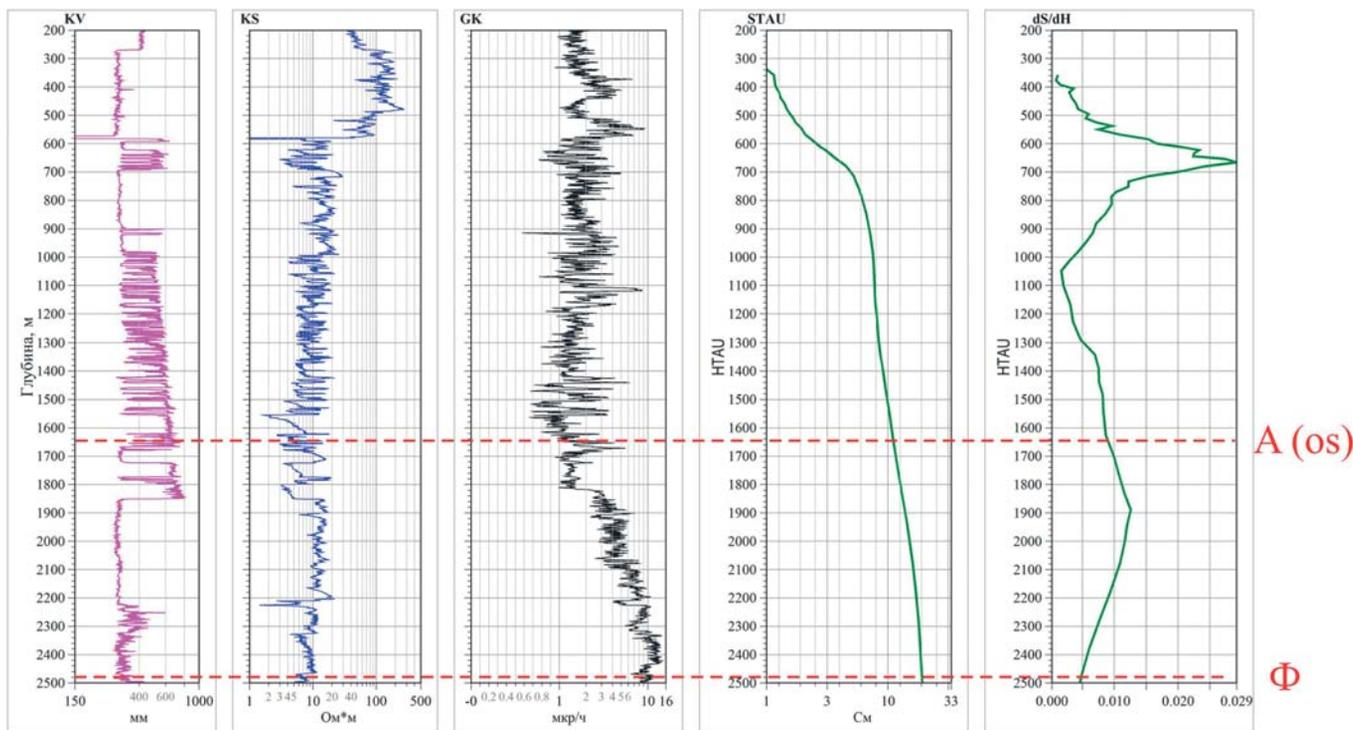


Рис. 2. Интервал исследования подсолевого комплекса на каротажных кривых и кривых ЗСБ в трансформациях  $S_{\tau}(H_{\tau})$  и  $dS_{\tau}/dH_{\tau}$

используется для сейсмофациального анализа, где применяют технологию искусственных нейронных сетей (ИНС). Применение ИНС позволяет определять, анализировать и интерполировать детальные характеристики коллекторов, не выявляемые другими способами [1, 2]. В основе ИНС лежит алгоритм самоорганизующейся нейронной сети для распознавания и оценки изменения формы сейсмического сигнала на изучаемом интервале (например, в коллекторе). Далее проводится сопоставление с данными каротажа (ПС, ГК) и по методике Муромцева [3, 5] определяются условия осадконакопления данного интервала разреза.

Результаты электромагнитных зондирований ЗСБ представляются в виде кривых становления поля  $S_{\tau}(H_{\tau})$  [1], где кажущаяся продольная проводимость отражает распределение продольной проводимости разреза  $S_{\tau}$  до глубины  $H_{\tau}$  (рис. 2).

Инновационные методические подходы к интерпретации данных ЗСБ позволяют анализировать в программе Stratimagic исходный полевой материал ЗСБ в различных трансформациях ( $S_{\tau}(H_{\tau})$  и  $dS_{\tau}/dH_{\tau}$ ) с использованием алгоритмов автоматической классификации. На начальном этапе интерпретации проводится районирование площади по форме кривой становления поля и оценивается распределение проводимости территории в целевом интервале. При этом кривая  $dS_{\tau}/d(H_{\tau})$  позволяет определить значения удельной кажущейся электропроводности и корректно

привязать по глубине проводящие и высокоомные комплексы [5]. Далее полученная информация используется при комплексировании геофизических данных.

Интерпретация данных ЗСБ, как правило, проводится в два этапа: **качественного анализа и количественной интерпретации.**

Инновация методики заключается в независимом анализе полученных полевых электроразведочных данных от субъективного взгляда интерпретатора. Здесь осуществляется анализ трансформации кривых зондирований  $S_{\tau}(H_{\tau})$  в профильном представлении, на которых визуализируются проводящие и высокоомные слои, привязанные к стратиграфическим комплексам, выделенным по данным каротажа. Оценивается характер изменения кривых, проводится их корреляция, выполняется районирование площади по типам кривых, выявляются закономерности процесса становления на различных участках территории, проводится выбор предварительной (стартовой) модели разреза, определяется тип геоэлектрического разреза.

Инновационные методические подходы интерпретации ЗСБ включают в себя построение карт распределения проводимости осадочного чехла по исследуемой площади в программе Stratimagic (Paradigm Geophysical) в целевом интервале с использованием алгоритмов автоматической классификации. При этом исходный полевой материал ЗСБ

интегрируется в программный комплекс Stratimagic с помощью специализированных программ (разработчик ОП ИГП АО «Росгеология»). Интервалы исследования задаются по результатам интерпретации данных сейсморазведки МОГТ и/или скважин глубокого бурения.

Вместе с тем, на этапе интерпретации электромагнитных исследований сейсморазведочные данные МОГТ отсутствуют, поэтому пикировка горизонтов проводится по данным ЗСБ. Предложенный подход позволяет выделить более контрастно и детально проводящие и высокоомные слои, их начальную и конечную глубину залегания, при этом используется кривая  $dS\tau/dH\tau$ , которая является производной кривой  $S\tau(H\tau)$ . Качество пикировок контролируется глубина-

ми и мощностями, полученными по дифференциальным разрезам (разрезы изоом), которые отражают распределение проводящих и высокоомных горизонтов в разрезе (рис. 3).

Построение дифференциальных разрезов выполняется в программе ZondTEM1D в процессе инверсии с определенным шагом по глубине. В результате детально определяется мощность проводящих и высокоомных горизонтов, а также кажущаяся глубина их залегания. При наличии скважин на территории глубины сопоставляются с данными каротажа и увязываются со стратиграфическими комплексами. При наличии корреляции данных МОГТ интервалы исследования задаются по глубинным разрезам.

После детального проведения качественного анали-

за мы имеем достаточную для моделирования (инверсии) информацию, что позволяет нам более достоверно выполнять **количественную** интерпретацию (второй этап интерпретации данных ЗСБ).

Количественная интерпретация заключается в численном моделировании (инверсии) горизонтально-слоистой среды, параметры которой увязываются с данными ГИС, бурения и сейсморазведки с использованием программных комплексов GeoModel (АО «Росгеология») и ZondTEM1D (разработчик А.Е. Каминский) для каждой точки ЗСБ. При 1D инверсии осуществляется подбор геоэлектрической модели теоретической кривой к практической кривой (кривая становления поля  $S\tau(H\tau)$ ) с минимальной невязкой. При этом геоэлектрическая модель не должна противоречить априорной информации. После проведения количественной интерпретации материалов ЗСБ выполняется построение карт и разрезов целевых геоэлектрических горизонтов. На заключительном этапе проводится комплексная интерпретация результатов геофизических методов с целью выделения перспективных в нефтегазопроисковом отношении участков. Инновационные методические

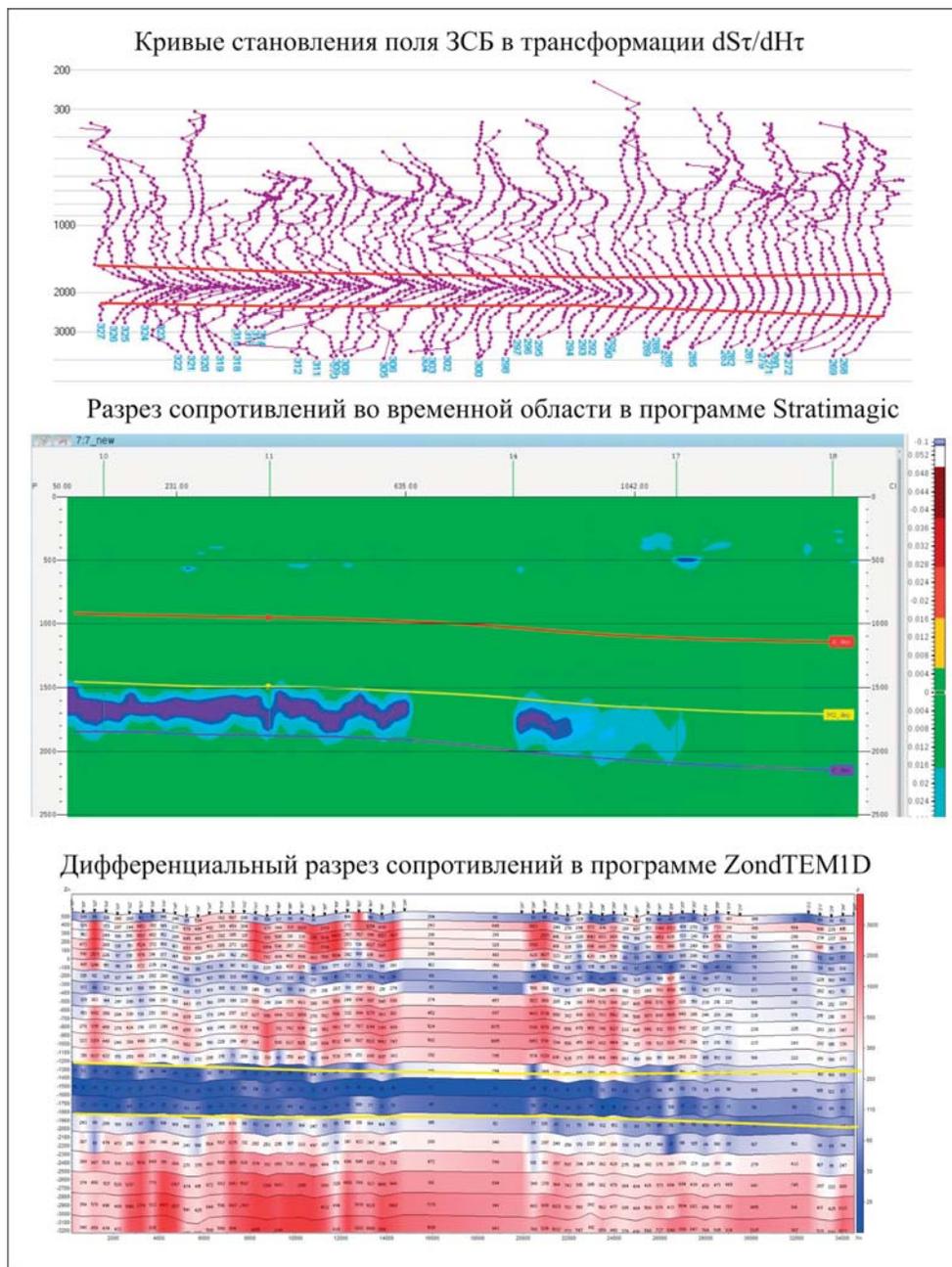
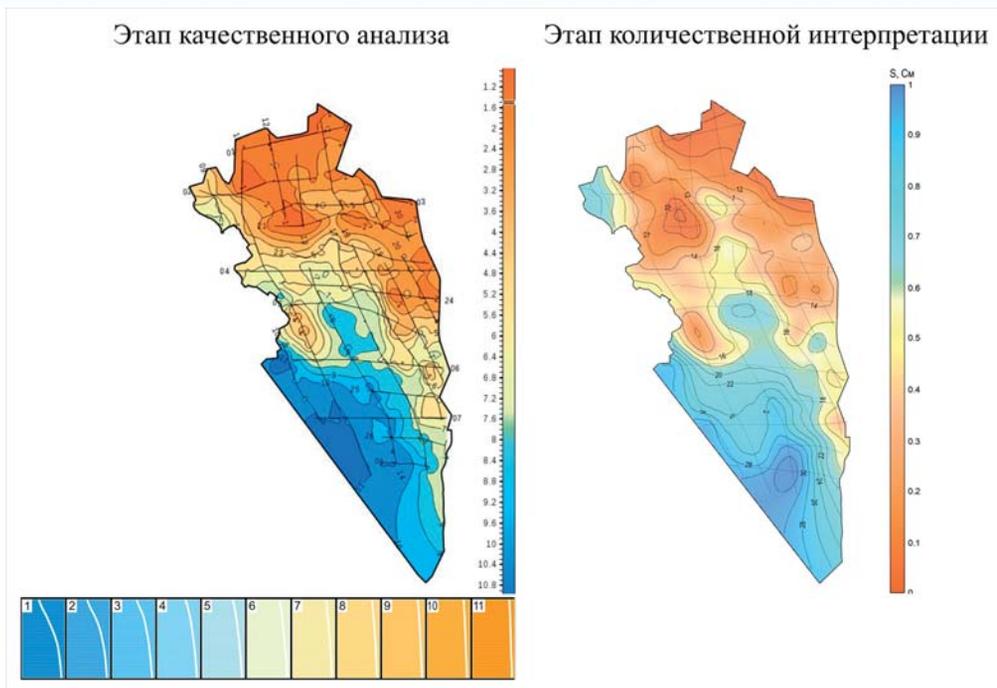


Рис. 3. Пример пикировки проводящих горизонтов при качественном анализе



**Рис. 4. Сопоставление карт проводимости отложений подсолевого комплекса в интервале отражений А–Ф, выполненных по разным методикам интерпретации**

подходы к геофизической интерпретации позволяют интегрировать результаты данных электромагнитных исследований в сейсмические пакеты программ, что существенно повышает эффективность комплексирования.

#### **Результаты**

В связи с тем, что основные перспективы в нефтегазопроисковом отношении юга Сибирской платформы связаны с продуктивными коллекторами подсолевого комплекса (осинский, парфеновский, боханский горизонты), разработанная инновационная методика была направлена на изучение этого интервала.

В результате была конструирована карта распределения проводимости в интервале А–Ф, которая для сравнения сопоставлена с картой электропроводности осадочного чехла в том же интервале после количественной интерпретации (рис. 4).

При сопоставлении карт прослеживается аналогия в структуре и морфологии аномальных полей. В южной части Нукутской площади хорошо выраженная аномалия, соответствующая проводящим отложениям (синий цвет), соответствует распределению проводимости с 1 по 4 класс. На севере площади зона ухудшения коллекторов соответствует распределению проводимости с 8 по 11 класс. В перспективной в нефтегазопроисковом отношении центральной части площади распределение классов проводимости подтверждает более сложную структуру геоэлектрического поля, здесь фиксируются проводимости с 4 по 8 класс.

#### **Выводы**

Разработанные методические подходы существенно повышают уровень и информативность качественного анализа интерпретации данных ЗСБ, а также существенно повышают уровень оперативности получения информации и геологической эффективности интерпретации геоэлектрических аномалий.

Интегрирование электромагнитных данных в сейсмические пакеты программ значительно облегчают проведение комплексирования на всех этапах интерпретации геофизических данных, что позволяет увеличить достоверность комплексного прогнозного параметра, а также позволяет

надёжно картировать перспективные в нефтегазоносном отношении участки.

Использование специализированных программных продуктов позволяет оперативно выполнять поставленные геофизические задачи.

Предложенная методика интерпретации материалов электромагнитного зондирования является инновационной и позволяет существенно повысить инвестиционную привлекательность объектов недропользования.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Латыпова, Э.С. Сейсмофациальный анализ как основной метод прогноза развития коллекторов в условиях ограниченной изученности бурением / Э.С. Латыпова, Т.А. Нестерова, Т.А. Кононова. — Матер. 18-й конференции «Геомодель-2016». — Геленджик, 2016.
2. Малярова, Т.Н. Методика изучения и прогноза коллекторских свойств резервуаров руслового генезиса по данным сейсморазведки 3D и ГИС в условиях широтного Приобья. / Т.Н. Малярова, С.Н. Птецов, Н.А. Иванова. — Матер. геофиз. науч.-практ. конференции ТюменьОЕАГО: «Выделение коллекторов, оценка их ФЕС и нефтенасыщенности по данным полевой и промысловой геофизики Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции» — Тюмень, 2004.
3. Муромцев, В.С. Электрометрическая геология песчаных тел — литологических ловушек нефти и газа / В.С. Муромцев. — М.: Недра, 1984. — С. 260.
4. Сидоров, В.А. Электроразведка зондированиями становлением поля в ближней зоне / В.А. Сидоров, В.В. Тикшаев. — Саратов: ВНИИГГ, 1969. — С. 68.
5. Хамидулина, Г.С. Особенности интерпретации данных электромагнитных зондирований при поисках залежей углеводородов / Г.С. Хамидулина, Д.К. Нурғалиев, Д.И. Хасанов // Георесурсы. — 2012. — № 4 (46). — С. 26–30.

© Кочукова В.А., 2019

Кочукова Вероника Алексеевна // nikamop@mail.ru