



УДК 550.834(571.5)

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ БОКОВОГО КАРОТАЖА ПРИ ФОРМИРОВАНИИ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА ЮГА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ© С.В. Компаниец¹, О.В. Токарева², А.В. Поспеев³, И.К. Семинский⁴^{1,2,3,4}ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие»,

664011, Россия, г. Иркутск, ул. Рабочая, 2а.

^{2,4}Иркутский государственный технический университет,

664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

В работе проведено сопоставление геоэлектрических моделей, полученных по данным БК, и результатам интерпретации кривых ЗСБ, отмечено их сходство и различие. Приведен пример использования модели бокового каротажа при проведении детальной инверсии – расчленении толстого слоя, приуроченного к продуктивному интервалу подсолевого комплекса на отдельные геоэлектрические подгоризонты.

Ил. 3. Библиогр. 3 назв.

Ключевые слова: боковой каротаж (БК); геоэлектрическая модель; зондирование становлением поля в ближней зоне (ЗСБ).

TO POSSIBILITY OF USING LATERAL LOGGING DATA WHEN BUILDING GEOELECTRIC MODELS OF SOUTHERN SIBERIAN PLATFORM SEDIMENTARY COVER

S.V. Kompaniets, O.V. Tokareva, A.V. Pospeev, I.K. Seminsky

Irkutsk State Technical University,

83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

Irkutsk Electroprospecting Company CJSC,

2a Rabochaya St., Irkutsk, 664011, Russia.

The paper compares geoelectric models obtained through lateral logging data and the results of NTEMS curves interpretation, while indicating their similarities and differences. It also provides an example of using a lateral logging model when carrying out a detailed inversion – stratification of a thick layer confined to the production interval of the subsalt complex into separate geoelectric subhorizons.

3 figures. 3 sources.

Key words: lateral logging (LL); geoelectric model; near-field transient electromagnetic sounding (NTEMS).

Введение

Целью исследования является сопоставление геоэлектрических моделей, полученных по результатам наземных индукционных электромагнитных зондирований и ГИС. Предпосылкой для сравнения результатов зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и бокового каротажа (БК) послужило сходство изучаемого физического свойства среды – удельного электрического сопротивления (УЭС). Обеспечение надежности интерпретации данных зондирования становлением поля в ближней зоне для каждой новой территории требует максимального использования имеющейся геолого-геофизической информации, прежде всего результатов сейсморазведочных работ, данных бурения и геофизических исследований скважин, в том числе методов электротометрии. Основное

преимущество БК (по сравнению с другими видами электрического каротажа) заключается в использовании симметричной измерительной установки и реализации принципа фокусировки электрического тока, что снижает влияние бурового раствора и радиальной неоднородности разреза вблизи ствола скважины. Это позволяет детальнее расчленить разрез, а в благоприятных случаях точнее определить удельное сопротивление пластов.

Изучение разреза осадочного чехла методами ЗСБ и БК

Одним из наиболее распространенных электроразведочных методов для изучения осадочного чехла юга Сибирской платформы является ЗСБ. ЗСБ – метод с импульсным контролируемым источником, основанный на изучении поля во временной области переходных процессов, которые возбуждаются в земле при

¹Компаниец Софья Викторовна, ведущий геофизик, тел.: 89021740281, e-mail: Ksv@ierp.ru

Kompaniets Sofya, Leading Geophysicist, tel.: 89021740281, e-mail: Ksv@ierp.ru

²Токарева Ольга Владимировна, аспирант ИрГТУ, ведущий геолог, тел.: 89140064775, e-mail: mov@ierp.ru

Tokareva Olga, ISTU Postgraduate, Leading Geologist, tel.: 89140064775, e-mail: mov@ierp.ru

³Поспеев Александр Валентинович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, тел.: 89025131767, e-mail: avp@ierp.ru

Pospeev Alexander, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Professor, tel.: 89025131767, e-mail: avp@ierp.ru

⁴Семинский Игорь Константинович, аспирант ИрГТУ, геофизик ЗАО «Иркутское электроразведочное предприятие», тел.: 89500714269, iks@ierp.ru

Seminsky Igor, ISTU Postgraduate, Geophysicist of Irkutsk Electroprospecting Company CJSC, tel.: 89500714269, iks@ierp.ru



изменении тока в источнике. Регистрируемые индукционные сигналы пропорциональны электропроводности среды на некоторой эффективной глубине зондирования, зависящей от времени наблюдения. Применяемая на юге Сибирской платформы типичная установка ЗСБ подразумевает квадратную генераторную петлю со стороной 500–600 м и несколько приемных. При токах в источнике от 10 до 200 А возможно изучение разреза осадочного чехла и фундамента до глубин 3000–5000 м.

БК – метод скважинной геофизики, изучающий кажущееся удельное сопротивление по стволу скважины многоэлектродным зондом с автоматической фокусировкой тока [2]. Зонд имеет центральный электрод A_0 (точку записи), симметрично по отношению к которому расположено несколько (от двух до шести) экранирующих электродов.

Экранные электроды препятствуют растеканию тока центрального электрода по скважине и обеспечивают его направление непосредственно в исследуемый пласт. Благодаря применению экранирующих электродов уменьшается влияние на результаты измерений промывочной жидкости, заполняющей скважину, а также неоднородностей среды, ортогональных оси скважины. Детальность и глубинность исследований БК связаны с размерами зонда. Применяя зонды различной длины (0,44; 0,55; 1,05; 2,25; 4,25; 8 м), можно оценить глубину проникновения фильтрата промывочной жидкости и более точно определить удельное сопротивление пластов.

Сопоставление ЗСБ и БК

Несмотря на то что оба метода являются электротометрическими, результаты их интерпретации могут существенно различаться.

ЗСБ является наземным индукционным зондированием. Изменение эффективной глубины исследования благодаря действию скин-эффекта обеспечивается за счет расширения объема среды, занимаемого электромагнитным полем с течением времени. При этом пропорционально уменьшается разрешающая способность метода. Результатом исследований является геоэлектрическая модель среды, получаемая путем инверсии наблюденных кривых. Точность ее оценки зависит от погрешностей наблюдений и обработки данных, корректности разбиения разреза на отдельные горизонты и других факторов. Как правило, она колеблется от первых процентов до десятков процентов. В силу индукционного характера зондирования кривые ЗСБ нечувствительны к поперечной анизотропии разреза.

Метод БК является скважинным вариантом метода сопротивлений, использующим для измерения кажущегося сопротивления (КС) постоянный ток. Близость измеряемых значений КС к истинным значениям УЭС достигается при большом соотношении толщины исследуемого пласта к размерам зонда, а также максимально близком положению электродов к неизменным породам пласта. При значительном отличии сопротивления бурового раствора от УЭС пласта, а также наличии зон воздействия технологического

флюида на пласт, значения КС сложным образом зависят от параметров среды. Дополнительное искажающее влияние вносит поперечная анизотропия разреза, связанная с переслаиванием пород, имеющих различное сопротивление.

В пределах юга Сибирской платформы бурение, как правило, производится на максимально засоленных растворах, имеющих крайне низкое УЭС (0,015–0,02 Ом·м). Карбонатно-галогенная часть разреза характеризуется отношением сопротивлений в вертикальном и горизонтальном направлениях порядка 1/100–1/500. При наличии слоя буровой жидкости между электродами зонда и стенкой скважины, а также глинистой корки и зоны проникновения в пласт, величина измеренного КС может отличаться от УЭС пласта в несколько раз.

Методика формирования геоэлектрической модели

Для сопоставления геоэлектрических моделей, полученных по результатам инверсии данных ЗСБ, и данным бокового каротажа, прежде всего необходимо привести к единому уровню масштаб исследований. Для этого важно использовать единый глубинный каркас. Понятно, что в силу значительно меньшей разрешенности геоэлектрических моделей наземных зондирований необходимо некоторое интегрирование каротажных данных.

Как правило, для получения структурных данных используются данные сейсморазведки и бурения, обладающие существенно большей точностью оценки геометрии разреза по сравнению с электроразведкой.

Расчет геоэлектрической модели по боковому каротажу заключается в получении значений среднего кажущегося продольного сопротивления горизонтов ρ . Оно рассчитывается как отношение толщины пласта к его суммарной кажущейся продольной проводимости:

$$\rho = \frac{h}{\sum_{i=1}^n S_{ki}} = \frac{h}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{\rho_{ki}}},$$

где S_{ki} , ρ_{ki} – соответственно кажущаяся проводимость и сопротивление подслоя; i – индекс подслоя при разбиении слоя с шагом исследований (как правило, 0,2 м); n – количество подслоев в слое.

В результате формируется геоэлектрическая модель, в которой количество и мощность горизонтов соответствуют модели ЗСБ.

Сопоставление геоэлектрических моделей ЗСБ и БК (рис. 1), полученных на ряде скважин, позволяет сделать вывод о различной сходимости значений геоэлектрических параметров на различных интервалах глубин.

Определенное расхождение моделей, построенных на основе исследований ЗСБ и БК, в пределах карбонатно-галогенного комплекса связано с тем, что результаты измерений на постоянном токе пропорциональны поперечному сопротивлению пород,

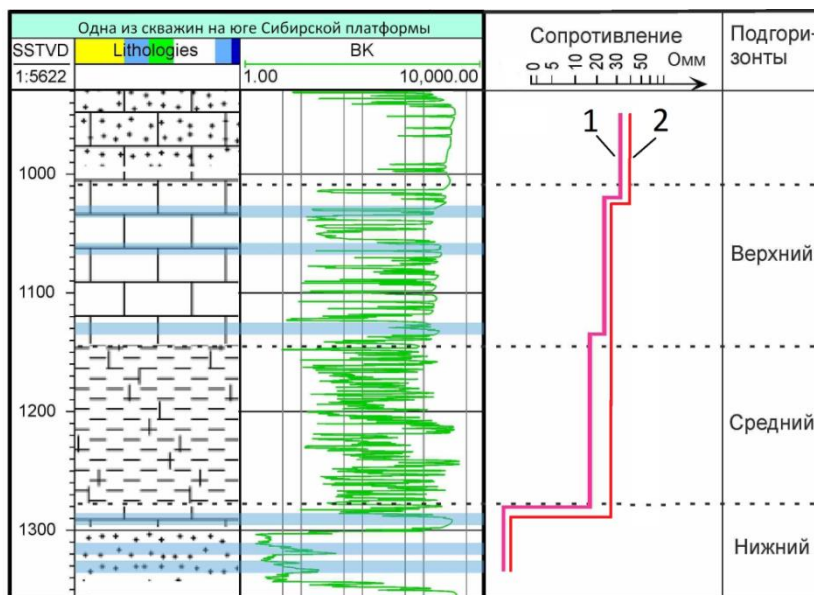


Рис. 1. Сопоставление геоэлектрического разреза подсолевого комплекса по БК (на графике сопротивления № 1) и ЗСБ (на графике сопротивления № 2)

а данные индукционных зондирований, основанных на переменном токе, связаны с продольным сопротивлением. В подсолевой части разреза, особенно при наличии коллекторов, значения ρ по данным БК, как правило, ниже УЭС за счет понижающего влияния бурового раствора, глинистой корки и зоны проникновения бурового раствора в зонах с углеводородным насыщением.

Несмотря на указанные отличия, использование данных бокового каротажа несет неперемнную пользу, так как позволяет сформировать априорную стартовую модель для инверсии данных ЗСБ. На основе этого возможна более точная слоистая аппроксимация разреза и оценка реальной разрешающей способно-

сти индукционных зондирований [3].

Пример привлечения данных БК при инверсии данных ЗСБ

На одной из площадей юга Сибирской платформы расчет геоэлектрической модели по результатам БК дал основание для дифференциации подсолевого геоэлектрического горизонта на три более тонких слоя с целью отдельного прогноза распространения коллекторов и их вероятного насыщения.

Инверсия данных ЗСБ проводилась в два этапа (рис. 2). На первом этапе инверсия проводилась в рамках модели, в которой целевой интервал подсолевого комплекса был представлен одним слоем мощностью около 350 м.

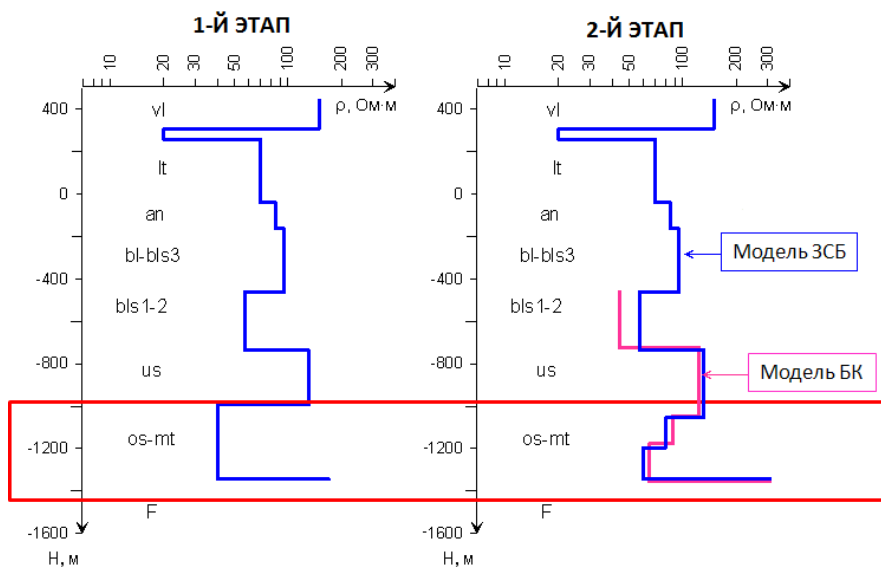


Рис. 2. Геоэлектрические модели, построенные после выполнения 1-го и 2-го этапов инверсии (1-й этап – подсолевой комплекс представлен единым слоем; 2-й этап – подсолевой комплекс разделен на три интервала на основе данных БК)



Второй этап инверсии производился уже для определения параметров отдельных горизонтов подсолевого комплекса. Данный этап инверсии возможен при выполнении трех условий:

- исследуемая среда соответствует горизонтально-слоистому разрезу (в разрезе отсутствуют локальные неоднородности);
- существует априорная информация, на основе которой возможно закрепить мощности горизонтов;
- геоэлектрическая контрастность выделяемых горизонтов достаточна для надежного определения их параметров.

На основе априорной информации по данным сейсморазведочных работ и скважин глубокого бурения исследуемый интервал был разделен на три горизонта: верхний, включающий продуктивные карбонатные отложения Осинского и Усть-Кутского пластов-коллекторов; средний, включающий относительно выдержанную пачку терригенно-глинистых отложений Собинской свиты; нижний, в состав которого входят преимущественно терригенные отложения венда, содержащие в себе продуктивные пласты-коллекторы.

Определение геоэлектрических параметров слоя мощностью 100–150 м на поздних временах становления поля является достаточно трудной задачей. Одним из условий выполнения детальной интерпретации является обеспечение достаточной величины геоэлектрической контрастности горизонтов.

В ходе анализа результатов расчета значений сопротивления по данным бокового каротажа для отдельных толщ выявлено, что наиболее высокими значениями сопротивления порядка 200 Ом·м характеризуются породы верхнего слоя, который приурочен к карбонатным отложениям Осинского и Усть-Кутского горизонтов. Средний интервал, включающий в себя преимущественно глинисто-

карбонатные отложения Собинской свиты, характеризуется средним уровнем значений сопротивления порядка 120 Ом·м. Нижний интервал приурочен преимущественно к терригенным отложениям венда, сопротивление для которых составляет первые десятки Ом·м (см. рис. 1).

Второй этап инверсии проводился путем последовательной минимизации невязки решения методом покоординатного спуска в автоматическом режиме. Поскольку финальная невязка инверсии тем меньше, чем ближе стартовая модель к истинной, на втором этапе инверсии было проделано несколько расчетов с разными стартовыми значениями сопротивлений верхнего и среднего подгоризонтов подсолевой толщи. В результате определено, что наилучшие результаты получаются при использовании величины стартового сопротивления в пределах 60–70 Ом·м, что примерно в два раза ниже, чем следует из модели БК.

Результаты детальной инверсии для уменьшения ошибок расчетов далее были подвергнуты пространственной фильтрации, на основании чего получено площадное распределение геоэлектрических параметров подсолевого комплекса с точностью не ниже 10%. Для формирования граничных уровней на точках ЗСБ были проанализированы данные более 9 скважин глубокого бурения, находящихся в районе исследования.

Сопоставив осредненные значения сопротивления терригенной части подсолевого комплекса со значениями эффективной мощности по ГИС (рис. 3), можно отметить отчетливую закономерность, согласно которой эффективная мощность коллекторов обратно пропорциональна значениям сопротивления. В результате территория исследуемой площади дифференцирована на две зоны, которые характеризуются различной вероятностью наличия нефтегазонасыщенных резервуаров в разрезе.

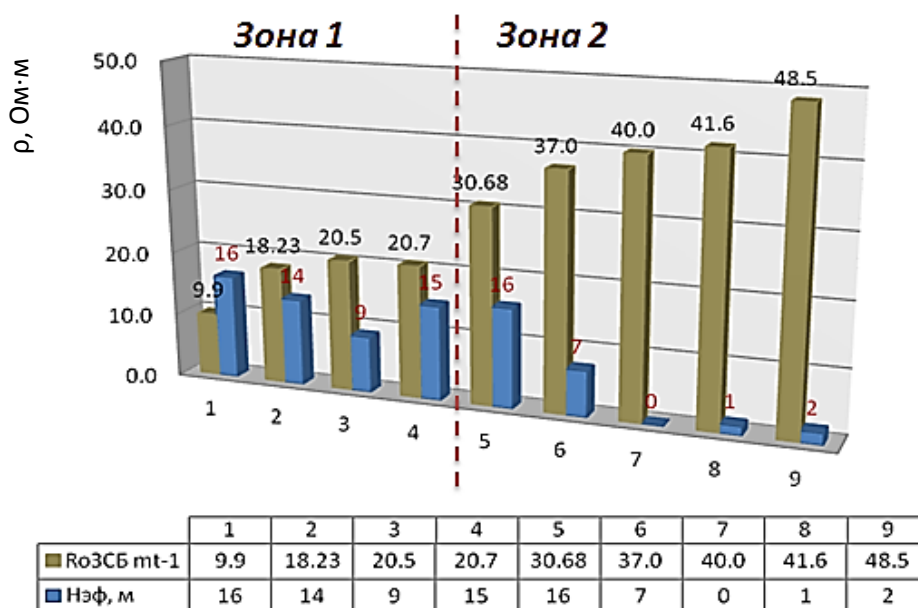


Рис. 3. Диаграмма сопоставления эффективной мощности коллекторов в нижнем подгоризонте по ГИС и значений сопротивления нижнего подгоризонта подсолевого комплекса по данным ЗСБ

**Выводы**

1. Расчет геоэлектрической модели по данным электрического каротажа является важным этапом при формировании стартовой геоэлектрической модели ЗСБ.

2. Использование данных БК позволяет определить соотношение значений сопротивления более «тонких» горизонтов для проведения детальной ин-

версии.

3. При сопоставлении геоэлектрической модели по данным БК и ЗСБ получено сходство параметров на качественном уровне. Количественные расхождения моделей сопротивления по БК и ЗСБ вполне объяснимы вследствие различий этих двух методов геоэлектрических исследований.

Статья поступила 12.03.2014 г.

Библиографический список

1. Буддо И.В., Поспеев А.В., Агафонов Ю.А. Некоторые аспекты выделения пластов-коллекторов в осадочном чехле юга Сибирской платформы по данным нестационарных электромагнитных зондирований // Материалы всероссийской школы-семинара имени М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по электромагнитным зондированиям земли. Кн. 2. СПб., 2011. С. 170–173.

2. Дахнов В.Н. Интерпретация результатов геофизических исследований разрезов скважин. М.: Недра, 1982. 448 с.

3. Шемин Г.Г. Геология и перспективы нефтегазоносности венда и нижнего кембрия центральных районов Сибирской платформы (Непско-Ботуобинская, Байкитская антеклизы и Катангская седловина): монография. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 467 с.

УДК 528.11:551.435.627

ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ВЫСОТ ТОЧЕК ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ЗОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПО СТЕПЕНИ ОПОЛЗНЕВОЙ ОПАСНОСТИ

© А.А. Кузин¹

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,
199106, Россия, г. Санкт-Петербург, 21-я Линия, 2.

Приведены результаты исследования точности цифровой модели рельефа (ЦМР), полученной по результатам воздушного лазерного сканирования (ВЛС) в масштабе 1:2000. С этой целью проведено сравнение высот точек тахеометрической съемки в масштабе 1:2000 с ЦМР по ВЛС. Исследования показали, что ЦМР по ВЛС получена с достаточной точностью, необходимой в качестве основы для регионального зонирования территорий по степени опасности проявления оползневых процессов.

Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 6 назв.

Ключевые слова: цифровая модель рельефа; воздушное лазерное сканирование; тахеометрическая съемка; оползневые процессы; зонирование.

ACCURACY ESTIMATION OF AIRBORNE LASER SCANNING POINT ELEVATION FOR ZONING TERRITORIES BY LANDSLIDE HAZARD DEGREE

A.A. Kuzin

National Mineral Resources University (University of Mines),
2, 21 Line Vasilyevsky Ostrov, St. Petersburg, 199106, Russia.

The article presents the results of studying the accuracy of a digital elevation model (DEM) obtained by the results of airborne laser scanning (ALS) in the scale of 1:2000. The heights of tacheometric surveying points are compared with DEM by ALS in the scale of 1:2000. The research has shown that DEM by ALS obtains the accuracy that is sufficient for zoning territories according to landslide hazard degree.

4 figures. 1 table. 6 sources.

Key words: digital elevation model; airborne laser scanning; tacheometric surveying; landslide processes; zoning.

Негативное влияние оползневых процессов проявляется в виде нарушений целостности инженерной и транспортной инфраструктуры, становится причиной снижения безопасности проживания людей. Все это приводит к весьма ощутимым экономическим потерям. Исключить воздействие оползней возможно еще на начальных этапах освоения территории, выбрав участок для строительства с учетом наименьшей степени опасности развития на нем оползневых процессов.

Существуют различные методики зонирования территории по степени оползневой опасности, кото-

рые основываются на детальном изучении и сравнении ряда условий оползнеобразования, информацию о которых можно получить из топографических, геологических, гидрогеологических, геоморфологических, климатических, сейсмических и других карт в масштабах 1:2000 и мельче [2]. Но одним из основополагающих моментов при этом является изучение рельефа земной поверхности по топографическим картам: от точности и детальности получения рельефа зависит надежность зонирования территорий по степени оползневой опасности.

¹Кузин Антон Александрович, аспирант, тел.: 89119586283, e-mail: antonkuzin89@mail.ru
Kuzin Anton, Postgraduate, tel.: +79119586283, e-mail: antonkuzin89@mail.ru