УДК 550.837.21:551.241

А.М.ПАШЕВИН, В.А.ТУПИЦИН,
В.В.ГОМУЛЬСКИЙ
ФГУГП «Иркутскгеофизика», Иркутск, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОТЕЛЛУРИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ НА ПРОФИЛЕ «БАТОЛИТ» (ЮГ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ)

Изложены результаты последних региональных магнитотеллурических съемок, выполненных вдоль опорного геофизического профиля «Батолит». Охарактеризованы особенности геоэлектрического разреза Сибирской платформы и рассмотрены особенности методики интерпретации магнитотеллурических данных в условиях Сибири.

The latest results of regional magnetotelluric surveys along «Batholit» reference geophysical profile are presented. Characteristic features of the Siberian platform geoelectric section are described. The methodic of the magnetotelluric data interpretation is justified.

Глубинные геоэлектрические исследования тектоносферы Земли в настоящее время приобрели важное прикладное значение благодаря тому, что ее структура и физическое состояние в целом обнаруживают тесную связь с тектоникой, магматизмом, процессами осадконакопления и формирования месторождений полезных ископаемых. Глубинное строение Сибирской платформы изучается по сети опорных геофизических профилей комплексом геолого-геофизических методов, в составе которых магнитотеллурическое зондирование занимает одно из ведущих мест.

В 2004-2005 годах специалистами ФГУГП «Иркутскгеофизика» методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) проведены работы на участке профиля «Батолит» протяженностью 780 км. Профиль проходит по территории Красноярского края, Иркутской области и Республики Саха (Якутия), пересекая крупные тектонические структуры Сибирской платформы: Катангскую седловину, Непско-Ботуобинскую антеклизу и Предпатомский краевой прогиб.

Регистрация магнитотеллурического (МТ) поля проводилась полевой электроразведочной станцией MTU System-2000 («Phoenix»). Шаг наблюдения составил 1,7-2,3 км. Запись электрических компонент осуществлялась с использованием крестообразной установки с длиной диполей 50 м. Для записи магнитной составляющей применялись ферромагнитные индукционные датчики фирмы «Phoenix». Частотный диапазон измерений составил 0,0025-3600 с.

Методика интерпретации МТ-данных. Магнитотеллурическое зондирование характеризуется высокой технологичностью полевых работ и позволяет исследовать среду на значительную глубину. Вместе с тем серьезной проблемой, возникающей при его применении, является обеспечение надежности интерпретации данных, поскольку наблюденное распределение магнитотеллурического поля сложным образом зависит от распределения проводимости в среде – как по вертикали, так и по горизонтали. В зависимости от поляризации МТ-поля на кривых МТЗ проявляются индукционные или гальванические эффекты.

Первые воздействуют на продольно-поляризованное к неоднородности электромагнитное поле, что и приводит к влиянию параметров разреза на кривые МТЗ не только непосредственно под точкой наблюдений, но и в стороне от нее. Несмотря на то, что теоретические модели описывают многочисленные примеры индукционных эффектов, на практике последние встречаются редко. Проявление индукционных эффектов ограничено диапазоном периодов, в пределах которых кажущаяся глубина зондирования сопоставима с расстоянием до неоднородности. В большинстве случаев латеральные размеры достаточно проводящих объектов на порядки превышают толщину зондируемых слоев.

Второй тип эффектов – гальванические. Они обусловлены тем, что при поперечной поляризации поля к неоднородности на ее границах возникают избыточные заряды. В этом случае кривая МТЗ в левой части отмечает проводимость верхнего проводящего слоя, а далее повторяет нормальную кривую за пределами неоднородности. Низкочастотная часть наблюдаемой кривой при этом смещается по вертикальной оси.

Когда кривые регистрируются в диапазоне периодов, б□льших, чем диапазон формирования гальванических эффектов, и кроме приповерхностных других значительных неоднородностей нет, кривые МТЗ по всем направлениям конформны, но могут быть смещены по вертикали.

В двухмерной обстановке диагностика общего характера приповерхностного разреза не представляет особой трудности даже при его относительно низкой изученности (в силу протяженности аномальных по электрическим свойствам объектов). В трехмерной среде ситуация осложняется. Практическая оценка влияния трехмерных неоднородностей и, соответственно, их подавление являются серьезной проблемой при интерпретации МТЗ. Успешное ее разрешение определяется количеством и характером априорной информации, а также совокупностью применяемых методических приемов.

Особенностью геоэлектрического разреза Сибирской платформы является распределение электрических неоднородностей в пределах крупных геологических комплексов, характеризующихся различным уровнем залегания и составом слагающих их пород.

Наиболее локализованный характер имеют неоднородности приповерхностной части разреза (первые десятки метров), в силу их контрастности (до десятков процентов), а также высокой пространственной частоты. Изучить распределение проводимости в этом интервале разреза не представляется возможным, и подавление гальванического влияния выполняется статистически.

Достаточно сильно в структуре магнитотеллурического поля проявляются аномалии, обусловленные распределением проводимости верхней, преимущественно терригенной толщи пород, которая подстилается галогенно-карбонатными образованиями. Влияние градиентов проводимости этой части разреза на кривые МТЗ, как правило, имеет гальваническую природу и может быть учтено математическим моделированием поля над неоднородными средами или пространственной фильтрацией данных.

Отложения карбонатно-галогенного комплекса являются региональным экраном для гальванически возбужденного электромагнитного поля. Информацию о геоэлектрическом строении этой части разреза и более глубоких горизонтов несут продольные кривые МТЗ.

Ниже залегает относительно проводящий комплекс пород, который представлен отложениями нижнего кембрия, рифея (в центральной части профиля отложения рифея отсутствуют) и верхней части земной коры. Аномальными объектами здесь являются относительно проводящие и проводящие зоны, а также локализованные геоэлектрические неоднородности.

Подобное распределение геоэлектрических неоднородностей разреза Сибирской платформы обуславливает выработку соответствующей методики интерпретации. На первом этапе анализируется влияние негоризонтального распределения проводимости только двух первых уровней. При этом выбираются продольные относительно градиентов проводимости верхнего слоя кривые МТЗ. Поскольку аппроксимация неоднородностей двухмерными или изометричными моделями является лишь определенным приближением к реальной геологической обстановке, выбранные кривые правильнее называть квазипродольными. При линейном характере распределения неоднородностей надсолевого комплекса это будут кривые, ориентированные вдоль простирания аномальных зон, при этом максимальные в проводящих зонах и минимальные – в непроводящих. В случае преимущественно изометрического характера надсолевых неоднородностей вблизи их границ квазипродольными будут эффективные кривые. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается только внутри изометричных неоднородно-

стей, где гальваническим эффектам подвергаются все компоненты МТ-поля. Здесь в качестве квазипродольной выбрана кривая, имеющая наиболее близкий уровень к соседним квазипродольным кривым.

Таким образом, при анализе кривых остается нерешенной проблема гальванического влияния самой верхней части разреза, а также влияния, наблюдаемого в центральных частях изометричных зон. Для их подавления применяется пространственная фильтрация данных. Для этого определяется период, начиная с которого гальванические эффекты верхней части разреза (в первую очередь, надсолевого комплекса) являются полностью сформированными. На этом периоде отобранные по осям неоднородностей импедансы вдоль профиля сглаживаются полиномом. Все отклонения от него принимаются за шум.

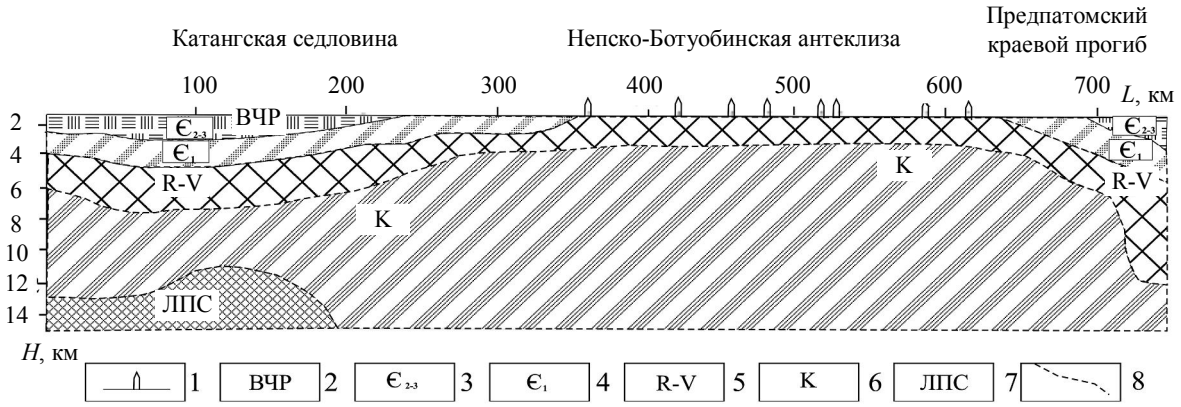
Параметры сглаживания выбираются исходя из следующих критериев: с одной стороны, избежать излишней детализации глубоких частей разреза, а с другой, – и не потерять фактически наблюдаемые особенности глубоких горизонтов.

Результаты выполненных исследований. Профиль пересекает три крупные тектонические структуры Сибирской платформы: Катангскую седловину, Непско-Ботуобинскую антеклизу и Предпатомский краевой прогиб, которые характеризуются различными структурно-литологическими особенностями осадочного чехла, земной коры и верхней мантии. В качестве характерного примера нами приводятся результаты интерпретации геоэлектрического разреза верхней коры, выполненные на фрагменте профиля «Батолит» (см. рисунок).

По электрическому сопротивлению выделены обобщенные геоэлектрические комплексы, границы которых в целом совпадают с литолого-стратиграфическими границами осадочного чехла и петрофизическими границами земной коры.

В осадочном чехле выделяются четыре геоэлектрических комплекса. Первый – стратиграфически приурочен к образованиям верхнего палеозоя и нижнего мезозоя и характеризуется сложным строением. Мощность меняется от 200 до 350 м, сопротивление – от 15 до 300 Ом·м. В комплексе выделяется ряд низко- и высокоомных зон. Низкоомные зоны приурочены к терригенным отложениям пермокарбона и песчано-глинистым отложениям юры. Высокоомные зоны, как правило, соответствуют туфогенным образованиям триаса и плотным песчано-обломочным породам перми.

На отдельных участках отмечено пониженное сопротивление верхней части разреза (15-20 Ом·м). Аномалии могут соответствовать разломам, где отложения обладают повышенной трещиноватостью. Следует отметить, что в формировании аномальных зон значительную роль играют интрузии траппов, широко распространенные в районе. Мощность интрузивных тел может достигать 100 м.



Геоэлектрический разрез верхней коры участка профиля «Батолит» протяженностью 780 км

1 – скважины; 2-6 – геоэлектрические комплексы (2 – неоднородные образования верхней части разреза – ВЧР, 3 – средне-позднекембрийские, 4 – раннекембрийские, 5 – венд-рифейские, 6 – кристаллической коры); 7 – «литосферный проводящий слой – ЛПС»; 8 – границы геоэлектрических слоев

Второй геоэлектрический комплекс стратиграфически приурочен к породам верхнего-среднего кембрия и верхней части ангарской свиты нижнего кембрия. Мощность толщи уменьшается с запада на восток с 700 до 300 м. Комплекс имеет повсеместное распространение и отличается низким сопротивлением. Наибольшие мощность и проводимость наблюдаются в пределах Катангской седловины. Низкое электрическое сопротивление отложений, вероятнее всего, связано с широким развитием коллекторов, содержащих высокоминерализованные растворы. Отмечены и высокоомные объекты (более 100 Ом·м), связанные, скорее всего, с плотными карбонатными породами кембрия или трапповыми телами.

Третий геоэлектрический комплекс охватывает галогенно-карбонатную часть пород нижнего кембрия. Комплекс характеризуется повышенным (65-100 Ом·м.) сопротивлением. Мощность его уменьшается в восточном направлении от 1,5 до 1,0 км. В его пределах выделяются аномальные зоны повышенной проводимости.

Четвертый геоэлектрический комплекс представлен отложениями мотской свиты, венда и рифея. Комплекс имеет большую мощность в пределах Катангской седловины и Предпатомского краевого прогиба. В центральной части Катангской седловины мощность толщи достигает 3,5 км. Сопротивление комплекса не превышает 60 Ом·м. Повышенная проводимость отложений может быть обусловлена обилием глинистой фракции в терригенных породах и повышенной раздробленностью горных пород.

В разрезе консолидированной земной коры и верхней мантии выделяется ряд геоэлектрических комплексов.

Верхняя часть кристаллического фундамента, как правило, характеризуется высоким сопротивлением, превышающим первые сотни ом-метров. Кровля кристаллического фундамента, по данным МТЗ, воздымается с запада на восток с глубины 5-6 км в Катангской седловине до 1,7-2 км в пределах Непско-Ботуобинской антеклизы (НБА). На западном склоне НБА в низах осадочного чехла фиксируется аномалия пониженного сопротивления, которая, вероятно, захватывает и самую верхнюю часть фундамента. Значимость аномалии определяется тем, что этот район является одним из перспективных в плане накопления углеводородов в продуктивных толщах. Далее на восток кровля фундамента погружается до 7 км в Предпатомском краевом прогибе. Погружение фундамента в сторону прогиба происходит в виде сбросов, которые контролируются системой разломов. Это подтверждается как сейсмическими, так и электромагнитными материалами. Если судить по сопротивлению, фундамент имеет блоковое строение. Максимальные значения его сопротивления отмечаются в пределах антеклизы, что можно объяснить бльшей консолидированностью пород. Минимальные значения сопротивления комплекса наблюдаются в пределах Катангской седловины и Предпатомского краевого прогиба.

Ниже фиксируется литосферный проводящий слой (ЛПС). Глубина до поверхности слоя колеблется от 12-15 км в Катангской седловине до 20-25 км в пределах НБА. Наиболее приподнятое положение ЛПС отмечается в западной части профиля. Наблюдается плавное погружение слоя в восточном направлении. Мощность слоя составляет 15-30 км, сопротивление – 250-400 Ом·м. В пределах Катангской седловины ЛПС наиболее проводящий (200-100 Ом·м).

Верхняя мантия, разделяющая литосферный и астеносферный проводники, имеет сопротивление от 350-400 до 800-900 Ом·м.

Залегающий ниже астеносферный слой характеризуется поведением, близким к поведению ЛПС. Погружение его кровли отмечается в направлении с запада на восток, в пределах Предпатомского краевого прогиба происходит его подъем. Глубина залегания кровли астеносферы меняется от 150 до 240 км. Сопротивление комплекса в среднем составляет 60-70 Ом·м.

Таким образом, выполненные исследования представляют значительный геологический интерес, поскольку впервые детальными комплексными геофизическими работами пересечены крупные геологические структуры Сибирской платформы.