УДК 550.837+571.36

Д.А.АЛЕКСЕЕВ
Московский государственный университет
А.Г.ЯКОВЛЕВ, Д.В.ЯКОВЛЕВ
ООО «Северо-Запад», Москва
В.А.МАТРОСОВ
ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА», Мирный

ПЛОЩАДНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ МЕТОДОМ АМТЗ НА ТРУБКАХ ВЗРЫВА В ЯКУТИИ

Детальные работы методом аудиомагнитотеллурического зондирования (АМТЗ) проводились на небольшом участке, в пределах которого закартирован ряд трубок взрыва. Исследования выполнялись на двух из них. Обе трубки порождают яркие аномалии на картах кажущегося сопротивления. Южная аномалия имеет простую структуру: понижение кажущегося сопротивления сопровождается характерной радиальной ориентировкой длинных осей полярных диаграмм; вещественные индукционные стрелки также направлены радиально от центра аномалии. Северная аномалия имеет более сложную структуру. Малые амплитуды (менее 0,1) индукционных стрелок, но закономерный характер их распределения по площади свидетельствуют об очень высоком качестве данных. Приводится ряд результатов трехмерного моделирования. Также выполнялись профильные наблюдения вкрест известной разломной зоны. Ее положение четко отслеживается по аномалиям кажущегося сопротивления и фазы импеданса.

Detailed 3D investigations were performed in the permafrost area which includes two known kimberlite pipes. Both create clear anomalies on the maps of the apparent resistivities. Southern anomaly has a simple structure, here apparent resistivity decreases, impedance polar diagrams are elongated in radial directions, induction arrows also radiate from the center. Northern anomaly has more complicated structure. Data quality is very good: induction arrows are very small (less than 0,1) but their regular and slow change from site to site evidence for their reliable estimation. Some results of 3D-geoelectrical modeling are demonstrated. Observations were also fulfilled along the profile which crosses known fault zone. Anomalies of decreased apparent resistivity and impedance phase correspond to this zone.

В августе-сентябре 2003 г. специалистами ООО «Северо-Запад» (Москва) при участии студентов МГУ и поддержке ЯНИГП ЦНИГРИ АК «АЛРОСА» проводились работы методом АМТЗ на полигоне АК «АЛРОСА» близ г.Мирный (Республика Саха – Якутия). Выполнялись площадные наблюдения на участке Хатат, где закартирован ряд туфовых трубок взрыва, а также наблюдения по профилям в районе Западного разлома. Работы проводились с целью оценки возможностей применения метода АМТЗ для оконтуривания трубок взрыва и выявления разрывных нарушений. Общий объем работ составил более четырехсот точек зондирования.

Данные приведены в прямоугольной системе координат: ось X направлена на восток, ось Y – на юг. Записи поля были обработаны с помощью программы SSMT 2000 компании «Phoenix Geophysics». Результаты обработки получены в частотном диапазоне 10 Гц – 10 кГц. Была проведена ручная редакция и сплайн-аппроксимация полученных частотных зависимостей по программе Corrector ООО «Северо-Запад». Кривые кажущегося сопротивления по профилям 28 и 30 были нормализованы [1] с помощью программы MTS Prof ООО «Северо-Запад»; при этом осуществлялось сглаживание графика кажущегося сопротивления на частоте 3 кГц экспонен-

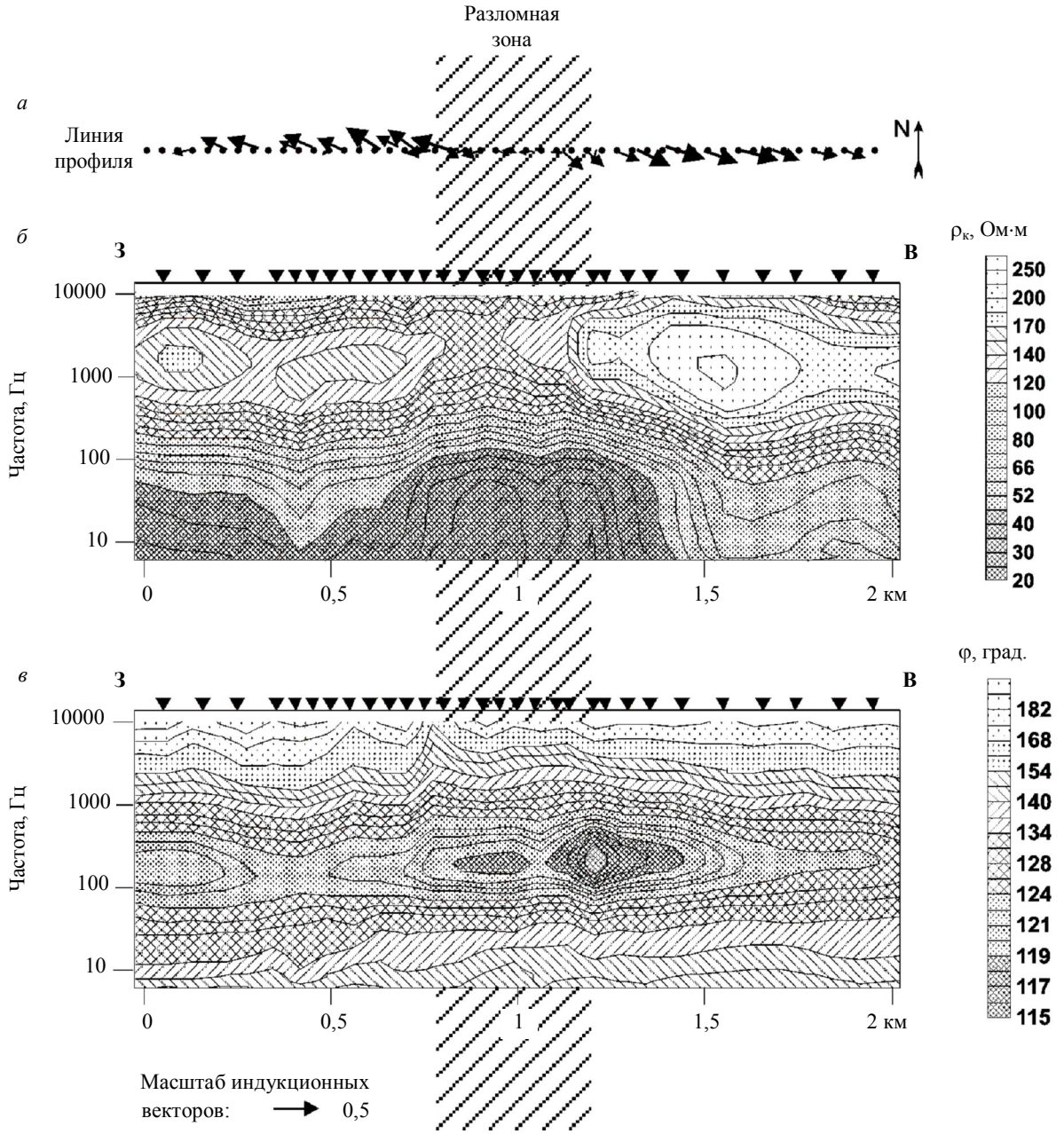


Рис.1. Результаты работ методом АМТЗ в районе Западного разлома:
а – вещественные индукционные векторы на частоте 100 Гц; *б* – частотный разрез кажущегося сопротивления;
в – частотный разрез фазы импеданса

циальным фильтром, полуширина которого составляла 150 м.

Профили в районе Западного разлома. Работы АМТЗ проводились по профилям 28 и 30; ось разлома на профиле 28 соответствует пикету 5000.

Предварительный анализ полученных разрезов кажущихся сопротивлений по профилю 28 выявляет различие в уровнях сопротивлений по разные стороны от разлома. Восточнее оси разлома разрез в целом более высокоомный, чем к западу от нее. Возможно, более низкие сопротивления в западной части профиля связаны с появлением в верхней части разреза проводящих юрских отложений, перекрывающих здесь толщу верхнекембрийских образований, обнажающихся восточнее пикета 4650. На частотных разрезах продольной, поперечной и эффективной компонент фазы импеданса

выделяется область аномальных значений в районе пикетов 4700-5050 в частотном диапазоне 200-300 Гц. Смещение этих аномалий относительно выхода оси разлома на поверхность может быть связано с его невертикальным падением.

Сходный характер имеют и разрезы по профилю 30 (рис.1, *б*). Отмечается смена общего уровня сопротивления, имеющего повышенные значения в пределах восточной половины профиля и пониженные в западной его части. Глубинная проводящая аномалия отмечается на продольной, поперечной и эффективной компонентах в пределах пикетов 4800-5400. На частотных разрезах фаз импеданса выделяются аномалии, приуроченные к интервалу пикетов 4950-5500 (рис.1, *в*). Эти аномалии проявлены более ярко по сравнению с описанными выше аномалиями на профиле 28.

На обоих профилях отмечается крупная аномалия в интервале пикетов 2600-4300; однако, возможно, она является следствием увеличения проводимости верхней части разреза на этом участке профиля.

Карта-схема амплитудных полярных диаграмм по профилям 28 и 30 приведена для частот 10, 100 и 1000 Гц. На профиле 28 в интервале пикетов 5150-5450 полярные диаграммы вытянуты сильнее, чем в целом по профилю. Здесь же заметно увеличение значений дополнительных компонент тензора импеданса на общем спокойном фоне. На профиле 30 столь яркой картины не наблюдается, однако на пикетах 5200-5300 происходит резкая смена направления вытянутости полярных диаграмм. Нанесенная на частотные разрезы штриховка показывает предполагаемое положение разломной зоны.

Карты-схемы вещественных индукционных стрелок [2] выявляют аномальную картину их поведения в районе разлома. Яркий характер эта картина имеет в центральной части профиля 30 на частоте 100 Гц (рис.1, *а*). Индукционные стрелки над центром разломной зоны имеют малую абсолютную величину, а по краям от нее их длина существенно увеличивается. Кроме того, их направление становится упорядоченным – они ориентируются перпендикулярно простиранию разлома в направлении от него. На профиле 28 на частоте 100 Гц отмечается иная картина. Здесь индукционные стрелки имеют относительно небольшой размер и хаотично ориентированы в пределах всей западной половины профиля, вплоть до пикета 4900. Восточнее оси разлома, в интервале пикетов 4950-5600, стрелки резко наращивают свой размер и приобретают четко выраженное восточное направление, связанное, по-видимому, с влиянием разломной зоны. Представляется, что этот симметричный эффект не выражен к западу от оси разлома из-за суперпозиции эффектов влияния разлома и регионального тренда, связанного с возможным существованием проводящей области к западу от района исследований. Этот тренд хорошо виден на карте индукционных стрелок по профилю 28 на частоте 20 Гц. Восточнее пикета 5000 на него накладывается эффект влияния разлома, что и приводит к резкому увеличению длины индукционных стрелок.

Площадные наблюдения на участке Хатат. Зондирования проводились по имеющейся сети пикетов. Были выполнены наблюдения в районе двух аномалий – аномалии 197 (северной) и аномалии в районе скважины 12 (южной). Шаг наблюдения составил 25 м в центрах аномалий и 50 м на периферийных участках.

Карты кажущихся сопротивлений на частотах 10, 100, 1000 и 5000 Гц выявили наличие аномалий компонент *XY* и *YX* и эффективного кажущегося сопротивления на предполагаемых участках полигона.

Карты амплитудных полярных диаграмм (рис.2, *б*) выявили характерную картину радиальной ориентировки длинных осей диаграмм по отношению к центру аномалии кажущегося сопротивления. Примечательно, что над самым центром аномалии диаграммы имеют незначительную вытянутость. По-видимому, подобная картина может быть использована как признак для оконтуривания проводящей аномалии.

Положение центра южной проводящей аномалии хорошо совпадает с контуром трубки по данным ЯНИГП ЦНИГРИ, что ясно видно на карте эффективного кажуще-

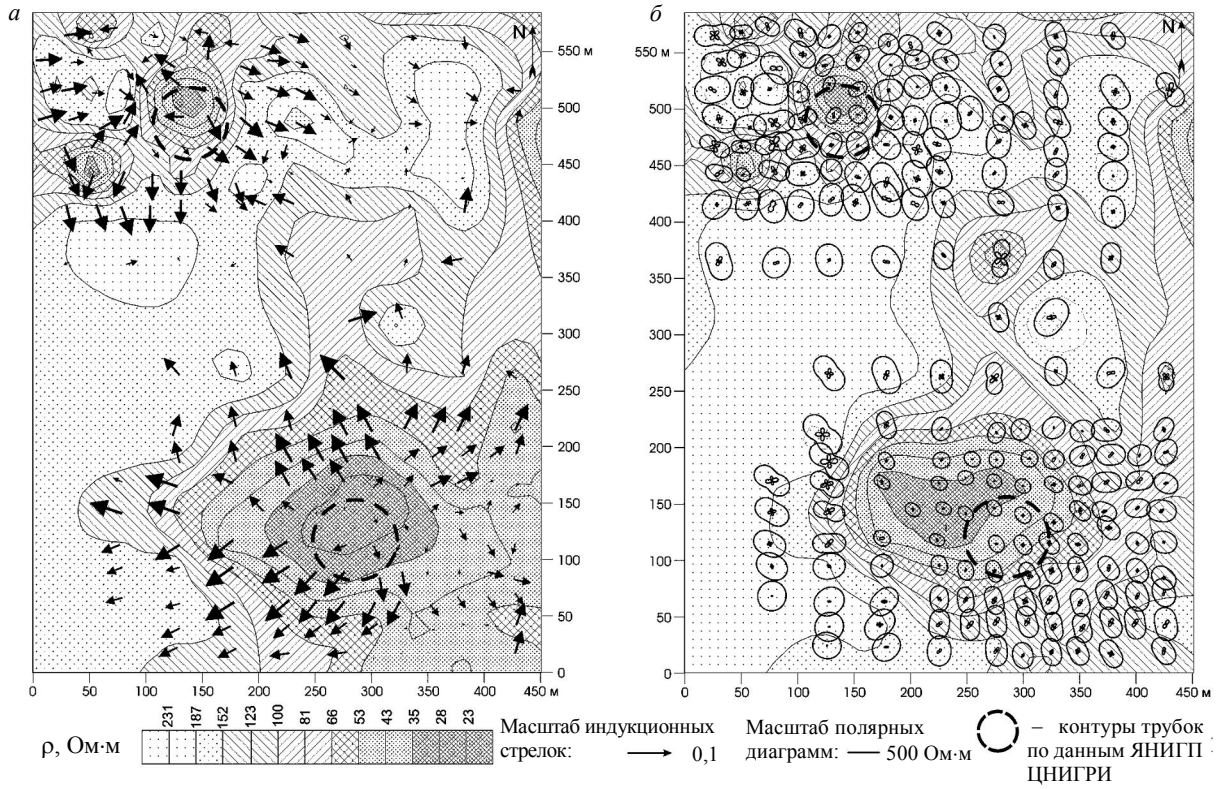


Рис.2. Результаты работ методом АМТЗ на участке Хатат:
а – карта вещественных индукционных векторов и эффективного кажущегося сопротивления на частоте 5000 Гц;
б – карта полярных диаграмм и эффективного кажущегося сопротивления на частоте 10 Гц

гося сопротивления на частоте 5 кГц (рис.2, *а*). Северная проводящая аномалия, в отличие от южной, одиночной аномалии, имеет более сложную структуру из-за наличия западнее нее высокоомной аномалии, а также из-за примыкающей с юго-запада проводящей области. Это видно как на картах кажущегося сопротивления, так и на картах амплитудных полярных диаграмм.

Проводящая аномалия на картах ρ_{XY} в районе пикета 25950 на профиле 26050, по всей видимости, связана с искажением соответствующей компоненты кажущегося сопротивления и не должна приниматься во внимание.

На карте вещественных векторов Визе (индукционных стрелок) [2] на частоте 5 кГц, наложенной на карту эффективного кажущегося сопротивления (рис.2, *а*), видна их закономерная ориентация, указывающая направление от центра проводника. Особенно ярок этот эффект в южной аномалии. Северная аномалия характеризуется сложной картиной векторов: аномальный эффект наложен здесь на фоновое (восточное) направление индукционных стрелок. С понижением частоты фоновое направление векторов на восток начинает доминировать и в области южной аномалии; оно может быть связано с влиянием Центрального разлома. Этот тренд хорошо виден на карте векторов Визе, построенной для частоты 100 Гц.

Было проведено 3D-моделирование [3] для ряда геоэлектрических моделей, состоящих из слоистого разреза, вмещающего различные проводящие структуры. Для моделей (рис.3, *а* и рис.3, *б*) амплитуды аномалии векторов Визе хорошо согласуются с данными наблюдений. В то же время присутствие в модели системы разломов порождает интенсивную аномалию векторов Визе, со слишком медленным пространственным затуханием, не отвечающим наблюдениям.

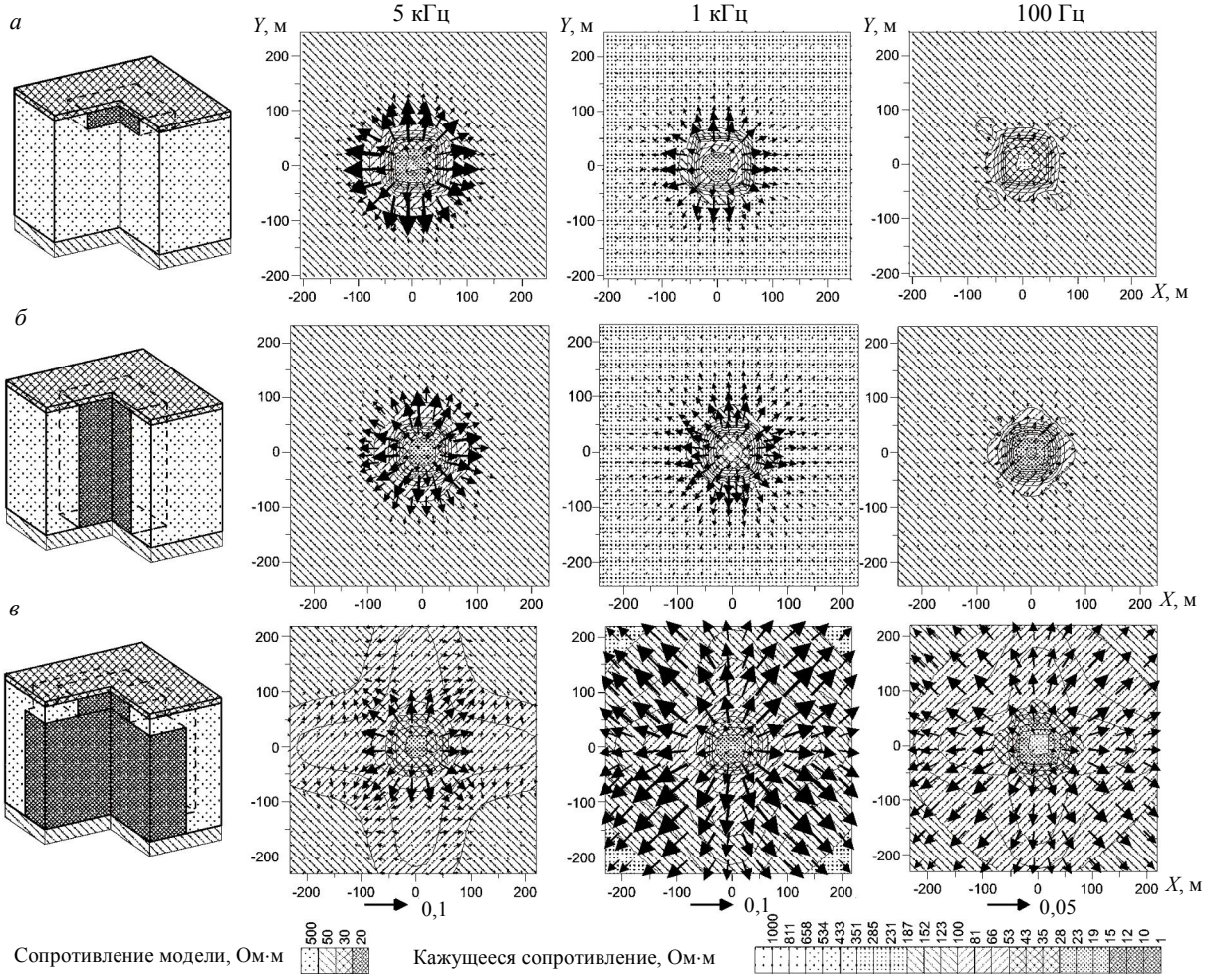


Рис.3. Результаты трехмерного моделирования:
а – карты вещественных индукционных векторов и эффективного кажущегося сопротивления для модели, состоящей из горизонтально-слоистого полупространства и приповерхностной проводящей неоднородности сопротивлением 20 Ом·м; *б* – то же для модели, состоящей из горизонтально-слоистого полупространства и столбообразной проводящей неоднородности сопротивлением 20 Ом·м; *в* – то же для модели, состоящей из горизонтально-слоистого полупространства, приповерхностной проводящей неоднородности сопротивлением 20 Ом·м и системы двух перпендикулярных проводящих разломов сопротивлением 20 Ом·м

Таким образом, проведенные исследования иллюстрируют возможность использования метода аудиомагнитотеллурического зондирования при решении задач картирования разрывных нарушений и кимберлитовых тел, часто связанных с первыми. Следует заметить, что характерная радиальная ориентировка вещественных индукционных стрелок может рассматриваться как важный картировочный признак при разведке алмазоносных трубок. Результаты 3D-геоэлектрического моделирования указывают на возможность образования аномалии типпера от локальной неоднородности небольших размеров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ и интерпретация магнитотеллурических данных / М.Н.Бердичевский, В.И.Дмитриев, Д.Б.Новиков, В.В.Пастуцан. М: Диалог-МГУ, 1997.

2. *Бердичевский М.Н.* Об обратной задаче зондирования с использованием магнитотеллурических и магнитовариационных данных / М.Н.Бердичевский, В.И.Дмитриев, Н.А.Мерщикова. М.: МАКС Пресс, 2000.

3. Three-dimensional inducting logging problems. PART I: An integral equation solution and model comparisons / D.B.Avdeev, A.V.Kuvshinov, O.V.Pankratov, G.A.Newman // Geophysics. 2002. Vol.67. № 2. P.413-426.