

Выделение проницаемых зон в Земле и оценка их параметров по магнитотеллурическим и магнитовариационным данным.

О. Ингеров (“Phoenix-Geophysics” LTD), Е. Ермолин («Ниациональный Минерально-сырьевой университете «Горный»), И.Ингеров («AGCOS» INC)

Introduction

В последнее десятилетие значительно возрос объем применения метода магнитотеллурического зондирования (МТЗ) при поисках залежей углеводородов. Это связано как со значительным повышением точности, производительности и мобильности нового поколения многофункциональной аппаратуры, так и с существенно возросшими возможностями интерпретационного аппарата. Добавление в практику полевых работ измерений вертикальной магнитной компоненты (Hz) стало в последнее время правилом. Т.к. это не значительное усложнение методики полевых работ МТЗ позволяет реализовать два независимых электроразведочных метода. Первый метод – магнитотеллурическое зондирование (МТЗ), основанный на измерении 4-х горизонтальных компонент (E_x , E_y , H_x , H_y) естественного переменного электромагнитного (ЕМ) поля Земли (Berdichevsky and Dmitriev 2009). Второй метод – магнитовариационное профилирование (МВП), основанный на измерении 3-х ортогональных магнитных компонент ЕМ поля (H_x , H_y , H_z) (Rokityansky 1982). Метод МТЗ обладает большими возможностями для разделения субгоризонтальных геоэлектрических слоёв. В тоже время, метод МВП обладает повышенной чувствительностью к наличию вертикальных (наклонных) границ и аномальных объектов. Таким образом, сочетание этих двух методов позволяет достаточно детально восстановить геоэлектрический разрез. В серии опубликованных работ авторы показали, что весьма эффективными для рудной электроразведки являются методы экспресс интерпретации вертикальных разрезов типпера (Ingerov and Ermolin 2010, Ermolin et al 2014, Ingerov and Ermolin 2013). В результате этих работ была предложена методика экспресс-интерпретации данных МВП, позволяющая уже на этапе первичного анализа полевых материалов установить основные параметры аномальных объектов (форму сечения тела, его глубину, суммарную проводимость, характер распространения в глубину и по латерали). При изучении нефтегазоносных бассейнов проводящие зоны в фундаменте могут оказать существенное влияние на формирование залежей углеводородов. В данной работе показано, что подобные зоны были выделены в процессе 3D съемки МТЗ в предгорном районе Узбекистана. Прослеживание этих зон по латерали и их влияние на вышележащий осадочный разрез представляет собой несомненный интерес. В первой части исследований авторы покажут результаты 2D моделирования МВП над аномальными вертикальными(наклонными) объектами.

Вертикальные разрезы амплитуды типпера над наклонными объектами

Разрезы амплитуды типпера над вертикальными телами с различной степенью вытянутости и различными углами наклона приведены на рисунке 1a и 1b соответственно. Амплитуда типпера над самым аномальным объектом близка к нулю (четкий минимум), а по обе стороны от него наблюдается две положительные аномалии с четко выраженными экстремумами. На рисунке 1 экстремумы (основные характерные точки) обозначены красными крестиками. Именно параметры этих экстремумов: расстояние между максимумами (D_m) характеризует глубину до геометрического центра тела, а период (абсцисса) экстремума – относительную продольную проводимость сечения тела G (Ermolin and Ingerov 2010). В результате моделирования авторами установлено, что при увеличении длины вертикального объекта изменяются не только параметры характерных точек, но и форма аномалии типпера. Для оценки распространения аномального объекта на глубину авторы предлагают использовать дополнительные характерные на изолиниях со значением 0.5 или 0.7 от максимального значения типпера в основных характерных точках. При этом на изолиниях можно легко определить координаты минимального (T_{min}) максимального (T_{max}) и среднего (T_{mid}). По соотношению этих периодов можно легко оценить соотношение мощности тела к его

вертикальному размеру (L/h). Соотношение периодов $(T_{mid}/T_{min})/(T_{max}/T_{mid})$ близко к 1-3 если соотношение L/h находится в области от 1 до 10. Если L/h возрастает до 30, то соотношение периодов возрастает до 10 (Рис. 1а). При соотношении L/h больше, чем 30 значение периодов резко увеличивается. Ещё одним критерием оценки L/h могут быть расстояния d и D . Соотношения этих же расстояний можно использовать для оценки угла наклона аномального объекта. Но более наглядным для оценки угла наклона является другая особенность. Если объект наклонён, то наблюдается разница амплитуд в основных характерных точках. Амплитуда меньше в той стороне от наклонного объекта, в которую он наклонён Рис. 1б.

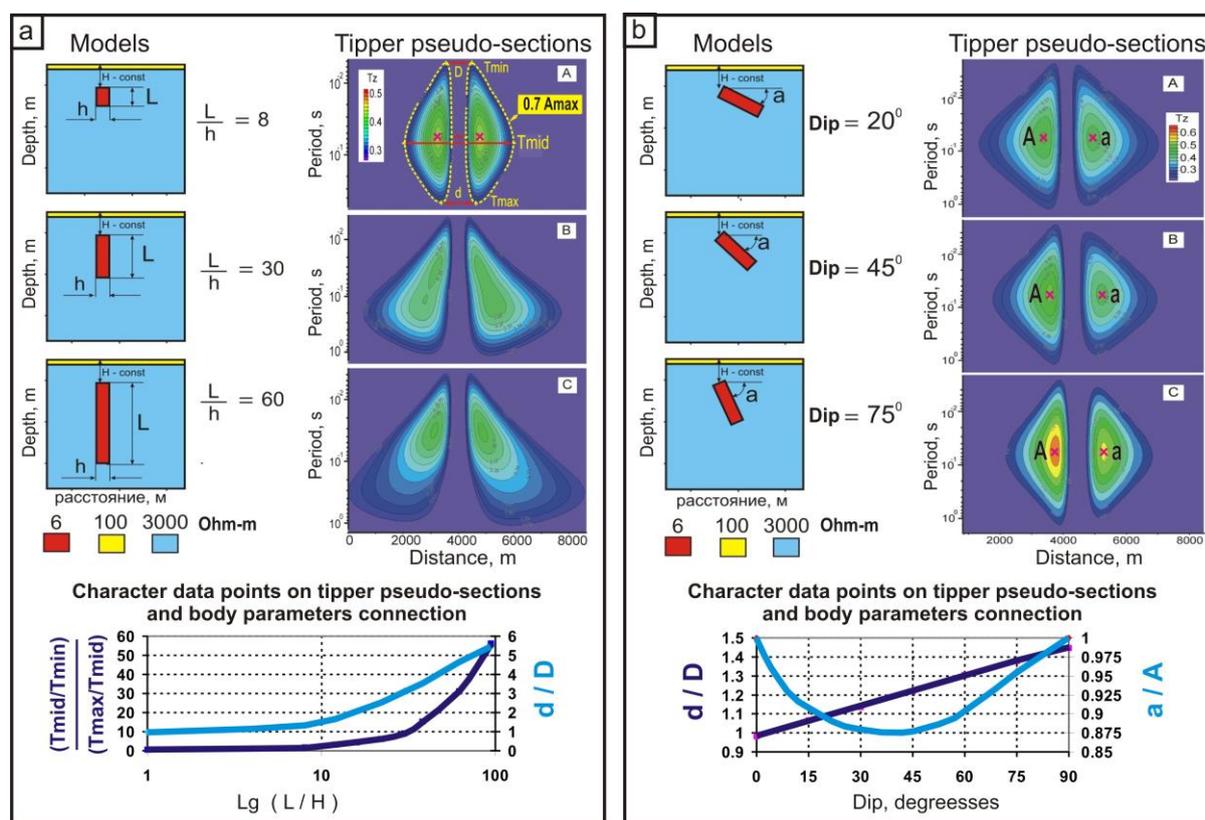


Рисунок 1. Геоэлектрические модели и рассчитанные разрезы типпера для аномального тела мощностью 200 м, с постоянной глубиной до верхней кромки – 200 м. 1а – с изменяемой длиной тела (L); 1б – с изменяемым углом падения и постоянной длиной тела (L). Снизу показаны графики взаимосвязи параметров характерных точек на разрезах типпера с параметрами аномальных тел.

Проводящие зоны в районе Восточно-Бузахурского газового месторождения.

Площадная съемка методом МТЗ, выполнена в 2008 году для разведки Восточно-Бузахурского газового месторождения и сопредельной территории в предгорном районе на юге Узбекистана. Съёмка проводилась по технологии 5EM+2E, измерения МВЗ (пяти компонентные измерения МТЗ) выполнялись только на 20% точек. На остальных пунктах наблюдений регистрировались только две горизонтальные электрические компоненты. Тем не менее, на низких частотах данные МВП достоверно отражают наличие крупных аномальных объектов на площади исследований. На Рис 2 приведена карта амплитуды типпера на периоде 300 с (0.0033Гц). Субмеридиональная зона пониженных значений типпера, проходящая вдоль линии продуктивных скважин фиксирует ось субмеридиональной глубинной проводящей области. Западнее от нее фиксируется другая проводящая область СЗ простираения, и проходит через южную часть Бузахурского месторождения. На Рис.3а приведены результаты совместной 2D инверсии данных МТЗ и МВЗ по СЗ профилю Line 1 (Рис.2), пересекающему северную

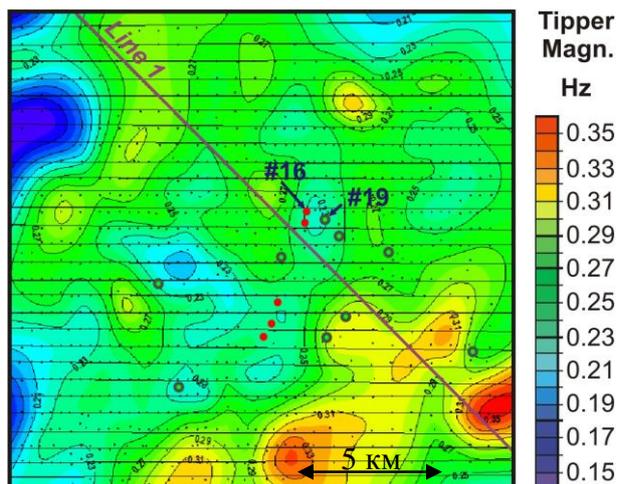


Рисунок 2. Карта амплитуды типпера на периоде 300 с, (0.0033 Гц). Красные кружки – продуктивные скважины, незаполненные кружки пустые скважины.

часть газового месторождения. На профиле расположены две буровые скважины: продуктивная №16 и пустая №19, причем последняя пересекла разлом (Fault 1), по которому восточная часть опущена на 300 м. То есть восточная граница газовой залежи тектоническая. Газовая залежь вскрыта скважиной №16 на абсолютной отметке минус 2500 м. Залежь находится в известняковых коллекторах верхне-юрского возраста. Ниже залежи с некоторым смещением в юго-восточном направлении в метоморфизированных породах палеозойского фундамента наблюдается относительно проводящая область, где сопротивление падает ниже 100 Ом-м. Ширина глубинной проводящей области составляет 4 км. Вскрытый скважиной №19 разлом 1 проецируется в пределы описанной проводящей области (Рис. 3а). По материалам 2D инверсии можно предположить существование еще трех разломов отмечаемых четкими градиентными зонами на Рис.3а. Разлом 2 (ПК 439-426) ограничивает Восточно-Бузахурскую залежь с запада. Разломы 3 (ПК 210) и 4 (ПК 103) проходят в юго-восточной части профиля и, возможно, ограничивают еще один газоносный объект. При этом разломы 2 и 3 также проецируются в пределы глубинной проводящей области. Над северной частью Восточно-Бузахурского месторождения в интервале альтитуды от -500 до -1500 м фиксируется контрастная аномалия повышенного сопротивления, которая может быть обусловлена эпигенетическими изменениями над залежью. Еще одна аномалия повышенного сопротивления, ограниченная тектоническими нарушениями 3 и 4 находится в юго-восточной части профиля в районе ПК 193-143. Эта аномалия не такая интенсивная, однако она охватывает больший интервал (альтитуда от 0 до -2000 м, Рис.3а). Следует также отметить, что непосредственно над самой Восточно-Бузахурской газовой залежью наблюдается аномалия пониженных значений сопротивления в интервале альтитуд от -2000 до -2500 м. Аномалия пониженного сопротивления примерно в этом интервале глубин наблюдается и над перспективным юго-восточным объектом. На Рис.3б приведен вертикальный разрез типпера. Несмотря на разреженную сеть точек МВП, разрез отражает основные особенности геологического строения изучаемой площади. В интервале периодов 0.003 – 10 сек разрез отражает наличие проводящих неоднородностей в Mz-Kz осадочном чехле. В интервале периодов 10-500 секунд наблюдается интенсивная аномалия амплитуды типпера, связанная с выклиниванием осадочных отложений в юго-восточном направлении. На фоне этой региональной аномалии отмечаются несколько локальных аномалий. Две самые яркие из них располагаются по краям проводящей области в палеозойских отложениях, что хорошо согласуется с данными моделирования проводящих субвертикальных тел. Ни Рис. 3с приведен вертикальный разрез реальных индукционных векторов. Векторы построены в конвенции Паркинсона, то есть смотрят на проводник (Rokityansky 1982). Даже при редкой сети наблюдений направление и амплитуда векторов позволяет определить положение разломов 3 и 4.

Conclusions

Магнитовариационные функции являются наиболее чувствительным инструментом для обнаружения глубинных проницаемых зон в земной коре. Предложена методика оперативного определения параметров проницаемых зон по данным МВП. На Восточно-Бузахурском газовом месторождении продуктивные скважины находятся в пределах субмеридиональной проницаемой зоны. Вызывает интерес диагональная проницаемая зона, проходящая через южную часть Восточно-Бузахурского месторождения.

References

Berdichevsky M.N. and V.I. Dmitriev, 2008, Models and methods of magnetotellurics: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 563 pp.

Ermolin E., Ingerov O., Ingerov I. Evaluation of 3-D ore bodies parameters using tipper frequency response 76-th EAGE Conference and Exhibition 2014, 16-19 June 2014, We P05 10

Ingerov O., Ermolin E. Mapping of thin conductive dikes and veins overlaid by sediments using methods of Audiomagnetotellurics (AMT) and Magnetovariational Profiling (MVP), SEG Technical Program Expanded Abstracts 2013: pp. 1601-1605., SEG Houston 2013 Annual Meeting.

Ingerov O., Ermolin E., 2010. The parameter estimation of 2-D conductive isometric bodies by singular points at the tipper frequency characteristic. Proceedings of 20th Induction Workshop IAGA, Giza, Egypt-2010, September 18-24. P. 303-306.

Rokityansky I.I. 1982. Geoelectromagnetic Investigation of the Earth's Crust and mantle. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 378 pp.

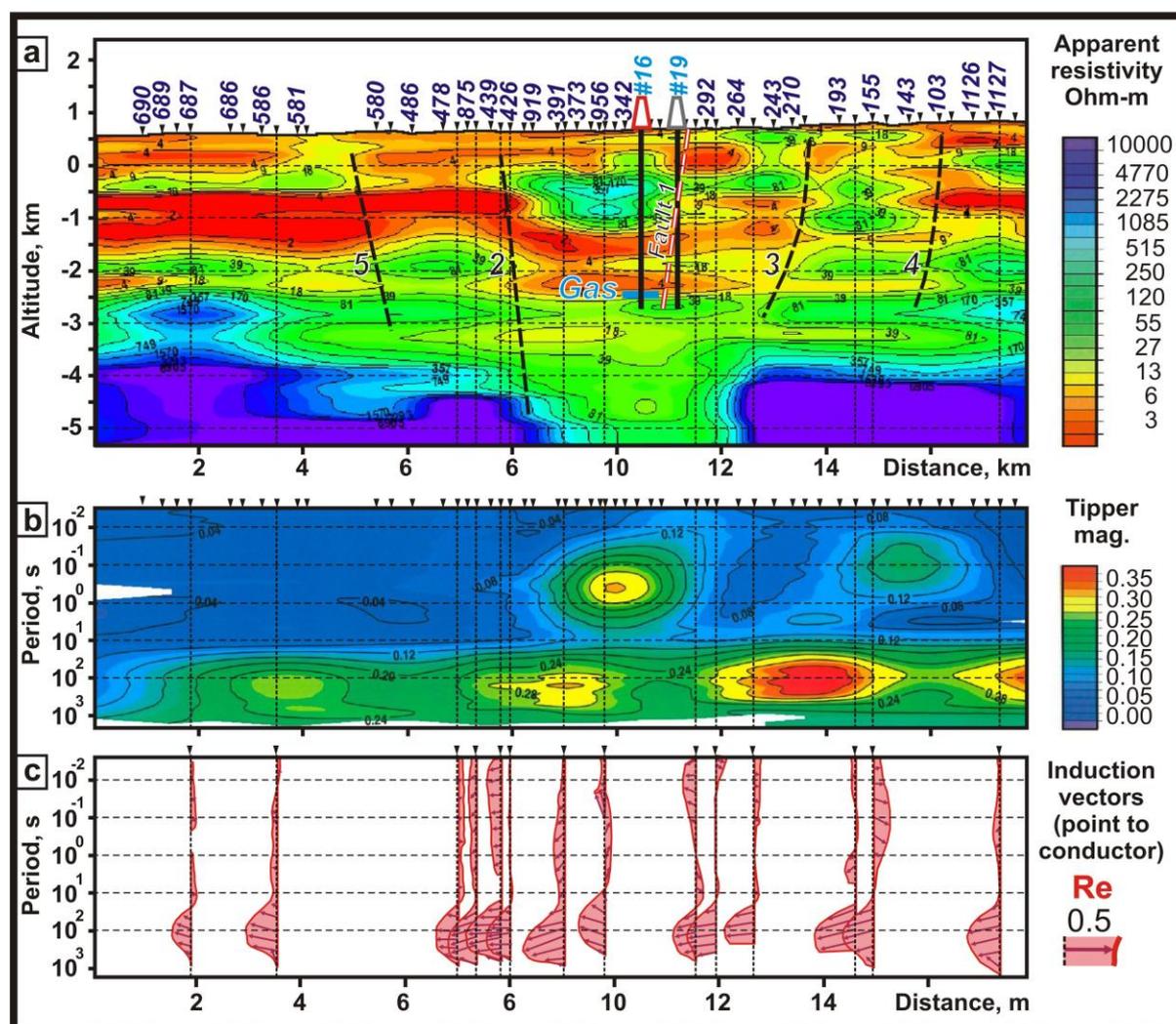


Рисунок 3. Сопоставление результатов 2D инверсии данных МТЗ-МВЗ (а) и разрезов данных МВП вдоль профиля 1 (b – псевдоразрез амплитуды типпера, с – разрез индукционных векторов в конвенции Паркинсона). Цифрами 2-5 показаны предполагаемые зоны разломов.