

**ВОЗМОЖНОСТИ МТ/МВ МЕТОДОВ В РУДНЫХ ПРИЛОЖЕНИЯХ:
ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОВОДЯЩИХ ЗАЛЕЖЕЙ ВБЛИЗИ ПРОВОДЯЩИХ СЛОЕВ
ВМЕЩАЮЩЕЙ СРЕДЫ**

Варенцов Ив.М.

Центр геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли РАН, Москва, Троицк

Рассматриваются возможности комплекса современных модификаций магнитотеллурического (МТ) и магнитовариационного (МВ) методов при поиске глубоко залегающих рудных залежей в характерных условиях Норильской рудной провинции. Обсуждаются результаты имитационного моделирования данных импеданса, типпера и горизонтального МВ отклика в 2D средах, включающих аномалии электропроводности, связанные с рудными телами и расположенные вблизи проводящих слоев вмещающей среды. Отмечается значимость МВ данных для выявления подобных объектов. Представлены результаты решения задач совместной 2D инверсии данных комплекса МТ/МВ данных, показывающие перспективы выявления зон сплошного и прожилкового оруденения непосредственно над и под проводящими экранами.

Ключевые слова: рудная электроразведка, магнитотеллурический и магнитовариационный методы, проводящие экраны, имитационное моделирование, обратные задачи

В последнее десятилетие при поисках и разведке рудных месторождений значительно расширились объемы электроразведочных работ с применением МТ и МВ методов [1,2]. В частности, данные методы стали ведущими для выявления глубинных залежей в Норильской рудной провинции [1-3]. В этих исследованиях важную роль играл опыт комплексирования методов МТ/МВ зондирования, накопленный в глубинных приложениях [4], и развитый аппарат совместной инверсии различных передаточных операторов электромагнитного (ЭМ) поля – импеданса, МВ типпера, горизонтального МВ отклика и др. [5,6].

Важной особенностью геоэлектрических разрезов рудных площадей Норильского региона является близкое соседство сульфидных залежей с проводящими слоями Тунгусской и Курейской графитизированных формаций [1,3]. ЭМ отклики этих слоев с сопротивлениями первых Ом и мощностями первых сотен метров сильно интерферируют с откликами прилегающих проводящих залежей и существенно затрудняют решение задач интерпретации. В данной работе рассмотрены две характерные геоэлектрические 2D модели с рудными залежами в основании непроводящих ультраосновных интрузий, примыкающих сверху и снизу к проводящим экранам; представлены псевдоразрезы результатов моделирования различных интерпретационных параметров и обсуждаются результаты многокомпонентной инверсии полученных имитационных данных.

В модели М1 интрузия лежит на глубине 0.6-0.9 км и имеет сопротивление 5000 Ом (рис. 1д), сопротивление вмещающей эффузивно-осадочной среды – 500 Ом. Прямоугольное рудное тело шириной 0.8 км, мощностью 100 м, с глубиной верхней кромки 0.8 км и сопротивлением 0.5 Ом расположено в подошве интрузии в 100 м над проводящим слоем с сопротивлением 1 Ом, мощностью 200 м и глубиной верхней кромки 1 км. Ниже – девонский проводящий слой (с сопротивлением 50 Ом на глубине 1.5-3.0 км) и однородное основание с сопротивлением 200 Ом.

На рис. 1 а-г показаны псевдоразрезы рассчитанных в данной модели компонент двух мод импеданса (слева - кажущиеся сопротивления, справа – фазы), горизонтального МВ отклика (слева – амплитуда, справа – фаза) и типпера (слева – Re, справа – Im). Данные приведены в 17 п. зондирования на отрезке профиля [-0.8,0.8] км в диапазоне периодов 0.003-10 с. Импедансные данные отчетливо отражают квази-1D структуру разреза, но практически ничем (особенно в случае НР) не указывают на присутствие рудного тела. Связанные с ним аномалии наиболее наглядны в горизонтальном МВ отклике, достигая уровня 0.1 (10%) в амплитуде и 3° в фазе. Они весьма точно указывают на горизонтальный размер залежи и ее отделенность от нижележащего проводящего слоя. Меньшие аномалии противоположных знаков (абсолютной величиной до 0.05) прослеживаются и в данных типпера, также указывая на разделение эффектов рудного тела и аномальных токов, индуцированных в слое-экране. МВ аномалии сохраняют свою структуру (за исключением самых коротких периодов <0/01с) при добавлении в модель М1 приповерхностных неоднородностей на глубине 50-100 м.

На рис. 1е показан результат совместной 2D инверсии восьми представленных компонент МТ/МВ данных робастным методом [5]. Начальная модель выбрана слоистой с сопротивлением ее большей части 600 Ом. Достигнуто достаточно хорошее разрешение всех важнейших частей модели, как по геометрической структуре, так и по сопротивлению. Получены решения задач инверсии одних лишь МТ и МВ данных и показаны преимущества комплексирования данных. Исследовано влияние априорных оценок размеров ожидаемых структур по горизонтали и вертикали [5,6] на точность и устойчивость получаемых результатов. Решение на рис. 1е получено для априорных размеров [400x100] м, отвечающих предположению о субгоризонтальной структуре залежи. Изучено влияние априорной информации о положении слоя-экрана. Его учет в начальной модели (точный по глубине, но с большим в разы сопротивлением) позволяет ускорить сходимость итераций инверсии. При задании сопротивления слоя близким к истинному, возникают проблемы со сходимостью итераций и требуется очень тонкая настройка параметров стабилизации инверсии.

На рис. 2 показана модель М2, в которой интрузия лежит на глубине 0.95-1.2 км под проводящим слоем с сопротивлением 2 Ом, мощностью 200 м и глубиной верхней кромки 0.75 км. Рудное тело в нижней части интрузии имеет глубину верхней кромки 1.1 км, его остальные параметры, как и сопротивление интрузии и структура вмещающей среды – такие же, как и в модели М1. На рис. 2 а-г показаны (также, как на рис. 1) псевдоразрезы рассчитанных в данной модели компонент двух мод импеданса, горизонтального МВ отклика и типпера. Данные приведены в тех же 17 п. зондирования, но в несколько измененном диапазоне периодов 0.005-50 с.

Импедансные данные, как и в модели М1, отчетливо демонстрируют квази-1D структуру разреза, но не указывают на присутствие рудного тела. Влияние этого тела прослеживается в МВ откликах, имеющих сопоставимую с предыдущим случаем величину аномалий, но другую, менее богатую пространственную структуру, столь явно не показывающую горизонтальные размеры залежи и ее отделенность от слоя-экрана. Тем не менее, результаты совместной 2D инверсии восьми представленных компонент МТ/МВ данных вполне удовлетворительно выделяют рудное тело под экраном (рис. 2е). В данной ситуации априорная информация о положении данного слоя (точная по глубине, но с сопротивлением, увеличенным в 10 раз) позволяет заметно повысить точность получаемой модели, особенно в части краевых эффектов за пределами рудного тела и однородности структуры проводящего экрана.

Полученные результаты показывают трудные, но, в целом, благоприятные перспективы выявления сплошных и прожилковых рудных тел Норильского типа с сопротивлением ~ 1 Ом, залегающих на глубине ~1 км вблизи проводящих слоев Тунгусской и Курейской формаций. Для этого необходимо проведение с процентной точностью синхронных МТ/МВ зондирований в диапазоне периодов 0.003-100 с и комплексной интерпретации всех рассмотренных в данном исследовании ЭМ откликов с применением эффективных средств совместной инверсии. Некоторые примеры такого подхода на практике, пусть и не в самой полной реализации, приведены в работе [1].

Исследования выполнены при частичной поддержке ГМК "Норильский Никель" и РФФИ (гранты 08-05-00345а, 11-05-12030_офим и 13-05-12094_офим).

1. Варенцов Ив.М., Куликов В.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики // Физика Земли. 2013. № 3. С. 9-29
2. Куликов В.А., Варенцов Ив.М., Яковлев А.Г. Роль МТ методов при поиске и разведке месторождений рудных полезных ископаемых // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 2. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 286-289
3. Андреева Е.В., Бобачев А.А., Варенцов Ив.М. и др. Комплексирование геофизических методов при поисках медно-никелевых руд на объектах ГМК "Норильский Никель" // Разведка и охрана недр. №8. 2006. С. 71-79
4. Варенцов Ив.М., Ковачикова С., Куликов В.А. и др. Синхронные МТ и МВ зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 90-107
5. Варенцов Общий подход к решению обратных задач магнитотеллурики в кусочно-непрерывных средах // Физика Земли. 2002. № 11. С. 11-33
6. Варенцов Ив.М. Прагматическая 2D инверсия синхронных ансамблей МТ/МВ откликов // Материалы V Всероссийской школы-семинара им. М.Н. Бердичевского и Л.Л. Ваньяна по ЭМ зондированиям Земли. Т. 2. СПб.: СПбГУ. 2011. С. 17-21

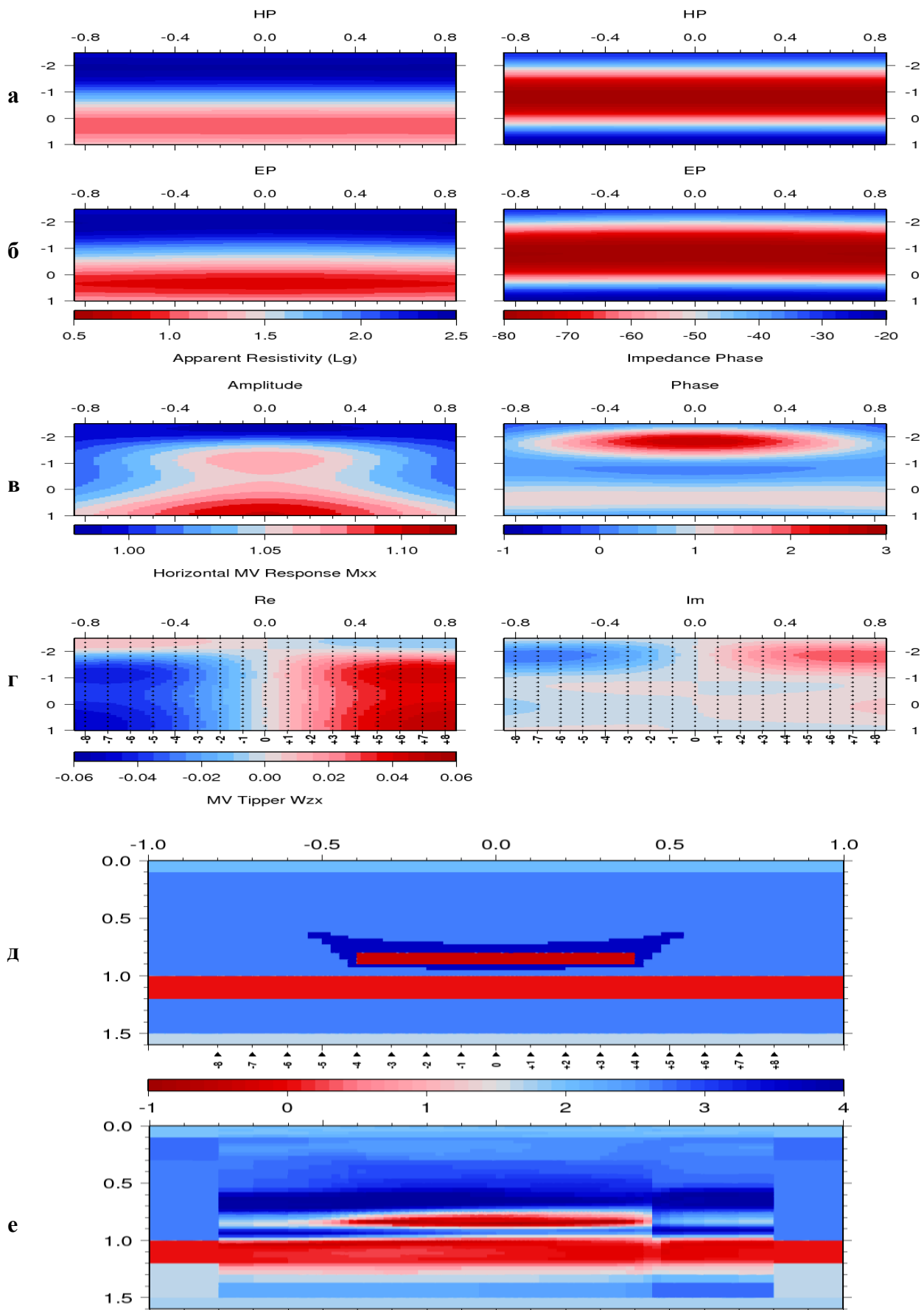


Рис. 1. Имитационная модель M1 с рудным телом над проводящим экраном (д, размеры в км, сопротивление в Ом, lg-шкала); рассчитанные псевдоразрезы двух мод импеданса (а - HP, б - EP), горизонтального MB отклика (в) и типпера (г), по вертикали – период (с, lg-масштаб); результат инверсии 8 компонент имитированных данных (е).

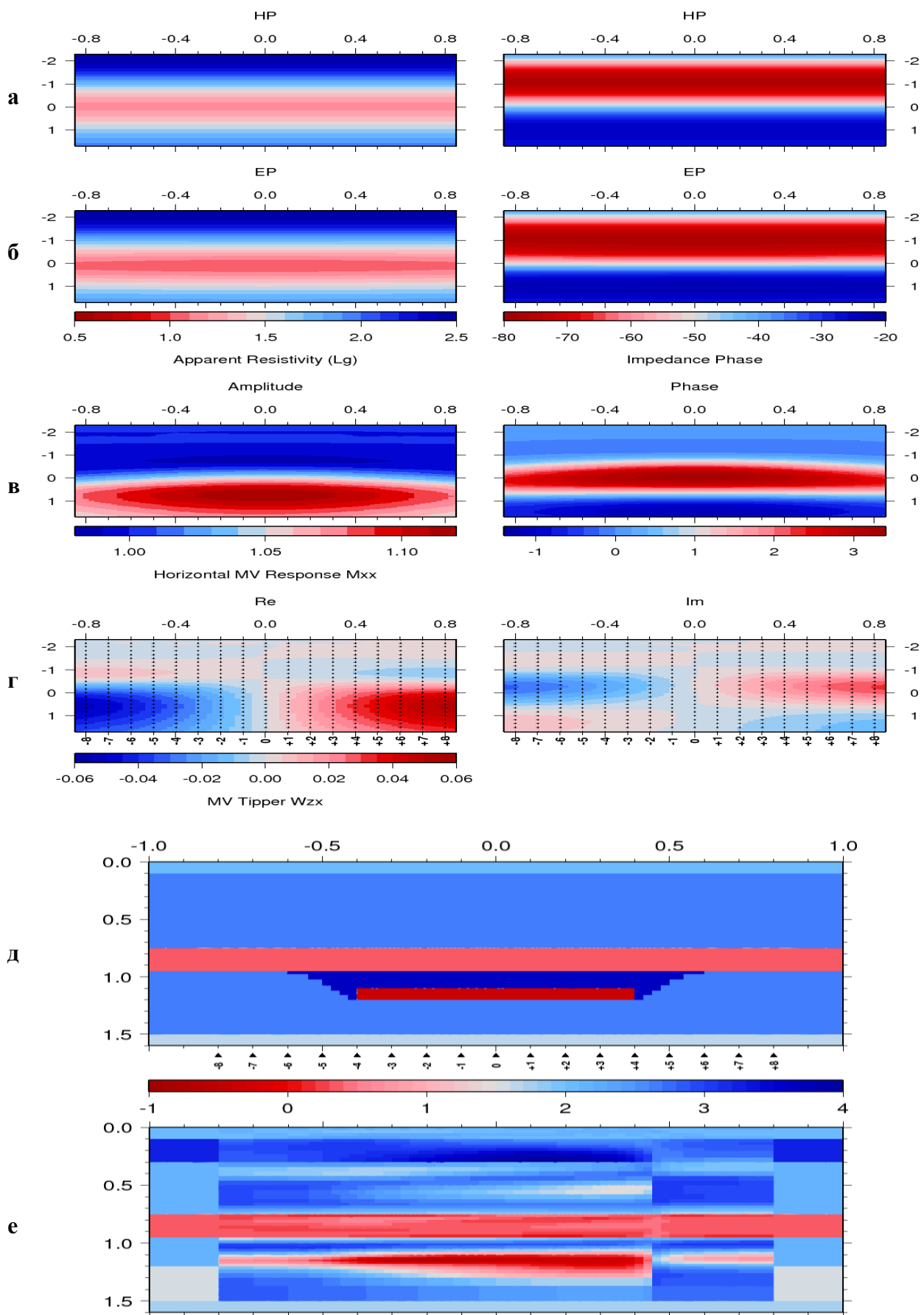


Рис. 2. Имитационная модель M2 с рудным телом под проводящим экраном (д); рассчитанные псевдоразрезы двух мод импеданса (а - HP, б - EP), горизонтального MB отклика (в) и типпера (г); результат инверсии 8 компонент имитированных данных (е); формат представления – как на рис. 1.