



ISSN 0034-026X

РАЗВЕДКА И ОХРАНА

И ОХРАНА

И ОХРАНА

ОСНОВАН В 1931 ГОДУ



70
ЛЕТ

**С ВЕЛИКОЙ
ПОБЕДОЙ!**

**ГОРДИМСЯ,
ПОМНИМ,
ЧТИМ**

5 — 2015

<http://rion-journal.com>



РАЗВЕДКА И ОХРАНА НЕДР

5 ♦ мая ♦ 2015

Основан в июле 1931 года

Ежемесячный
научно-технический
журнал

Учредители:
Министерство природных
ресурсов и экологии РФ,
Российское геологическое
общество

Главный редактор Е.А. Киселев

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

*Е.М. Аксенов, С.С. Вартамян,
А.А. Верчеба, А.Ф. Карпузов,
М.А. Комаров, А.К. Корсаков,
А.А. Кременецкий, В.С. Круподеров,
М.И. Логвинов,
Г.А. Машковцев (зам. гл. редактора),
Н.А. Мац, Н.В. Межеловский,
Н.В. Милетенко,
И.Г. Печенкин (зам. гл. редактора),
А.А. Рогожин, Н.В. Соловьев,
Е.Г. Фаррахов, Л.Е. Чесалов,
Ю.М. Эринчек*

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

*В.Н. Бавлов, Л.Г. Грабчак,
А.К. Климов, А.М. Коломиец,
И.Ф. Мигачев, А.Ф. Морозов,
О.В. Петров, П.В. Садовник,
Т.К. Янбухтин*

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

Старомонетный пер., 31,
Москва, 119017 Россия
тел.: (495) 950-30-25,
тел./факс (499) 238-15-67

Рук. редакционной группы
Тигунова М.И.

Науч. редактор Лявданская Н.К.

Редактор Гусева И.В.

Редактор-консультант Маркова С.Б.

Верстка Полищук Н.В.

E-mail: rion60@mail.ru

http://rion-journal.com

Подписные индексы:

• по Объединенному каталогу «Пресса
России» — 13007

• по каталогу Роспечати «Газеты.
Журналы» — 84412

СОДЕРЖАНИЕ

ГЕОЛОГИЯ И МЕТОДИКА ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ Руднев А.В., Пикалова В.С., Никольская Н.Е., Чепрасов И.В. Особенности геологического строения и перспективы проявлений бедных хромовых руд на примере объектов Хабаровинского массива (Южный Урал)	3
Гребенкин Н.А., Леденева Н.В., Филиппов Н.Б., Житников В.А., Литвиненко В.И. Особенности уран-золоторудных проявлений группы Ромпас и объекта Палокас (Северная Финляндия)	11
Литвиненко И.С., Голубенко И.С. Ресурсный потенциал золота в отвальном комплексе отработанных россыпных месторождений Магаданской области	17
Данковцев Р.Ф., Шашорин Б.Н., Выдрич Д.Е. Плотностная инфраструктура недр Северо-Енисейского уран-золотоносного района и глубинные факторы минерогенического контроля	24
Щербакова Т.А., Шевелев А.И. Магнетит-гидромагнетитовое оруденение на Халиловском серпентинитовом массиве	31
ГЕОФИЗИКА	
Багрянский А.А., Приходько А.Ю., Боурнас Н., Лего Ж. Аэроэлектромагнитная технология ЗТЕМ для глубинного изучения недр	36
ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ	
Челдизе Ю.Б., Барон В.А., Пугач С.Л., Кокорева С.В. Общее гидрогеологическое районирование как основа системного картографирования, изучения, использования и оценки состояния подземных вод России	41
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ	
Коротков В.В., Стародубов А.В., Овсянникова Т.М., Семенова М.П., Цирель В.С. Состояние и пути развития отечественного технико-технологического обеспечения воспроизводства МСБ урана и сопутствующих полезных ископаемых	50
Лихникевич Е.Г. Дезактивация пирохлоровых концентратов	57
Третьяк А.Я., Литкевич Ю.Ф., Гроссу А.Н. Исследования крутящего момента и скорости бурения прослоев пород и руды долотом с гидромониторным приводом	58
УПРАВЛЕНИЕ И ЭКОНОМИКА	
Денисов М.Н. Стоимость утраты запасов полезных ископаемых в результате вреда, причиненного недрам по вине недропользователя	62
ОХРАНА НЕДР И ЭКОЛОГИЯ	
Абрамов А.А., Райков С.В., Глинский М.Л., Дрожко Е.Г., Чертков Л.Г. Задачи отраслевой системы экологического мониторинга при выводе из эксплуатации объектов ядерного наследия	64
ХРОНИКА	
Берзон Е.И., Власов А.В., Миллер В.Я., Кавицкий М.Л. ОАО «Красноярск-геолсъемка» — 60 лет работы на территории Центральной Сибири	68
Марку Леонидовичу Вербе — 80 лет	71
К 60-летию Александра Евстафьевича Бахура	72



PROSPECT & PROTECTION OF MINERAL RESOURCES

Contents

GEOLOGY & METHODICS OF PROSPECT & EXPLORATION OF DEPOSITS

- Rudnev A.V., Pikalova V.S., Nikolskaya N.E., Cheprasov I.V.** The geological features and prospects of poor ore chrome occurrences as exemplified in Khabarninsky massif objects (South Urals) 3
- Grebenkin N.A., Ledeneva N.V., Philippov N.B., Zhitnikov V.A., Litvinenko V.I.** Peculiarities of the uranium-gold occurrences at Rompas group and Palokas site (Northern Finland) 11
- Litvinenko I.S., Golubenko I.S.** Resource potential of gold in the dump complex of the fulfilled loose fields of the Magadan region 17
- Dankovtsev R.F., Shachorin B.N., Vydrich D.E.** Density infrastructure depths of the North-Yenisei uranium-gold-bearing area and depth factors mineragenic control 24
- Shcherbakova T.A., Shevelev A.I.** Magnesite-hydromagnesite ores on the Khalilovo massif 31

GEOPHYSICS

- Bagryanskiy A.A., Prikhodko A.Yu., Bournas N., Legault J.** Airborne electromagnetic technology ZTEM for deep exploration 36

HYDROGEOLOGY & GEOLOGICAL ENGINEERING

- Cheilidze Yu.B., Baron V.A., Pugach S.I., Kokoreva S.V.** General hydrogeological zoning as a basis for system mapping, studying, use and assessment of the groundwater state in Russia 41

TECHNIQUES & TECHNOLOGY

- Korotkov V.V., Starodubov A.V., Ovsyannikova T.M., Semenova M.P., Tsirel V.S.** Status and the development of domestic appliances and technological support reproduction of the mineral resource base of uranium and associated minerals 50

- Likhnikovich E.G.** Deactivation of pyrochlore concentrates 57

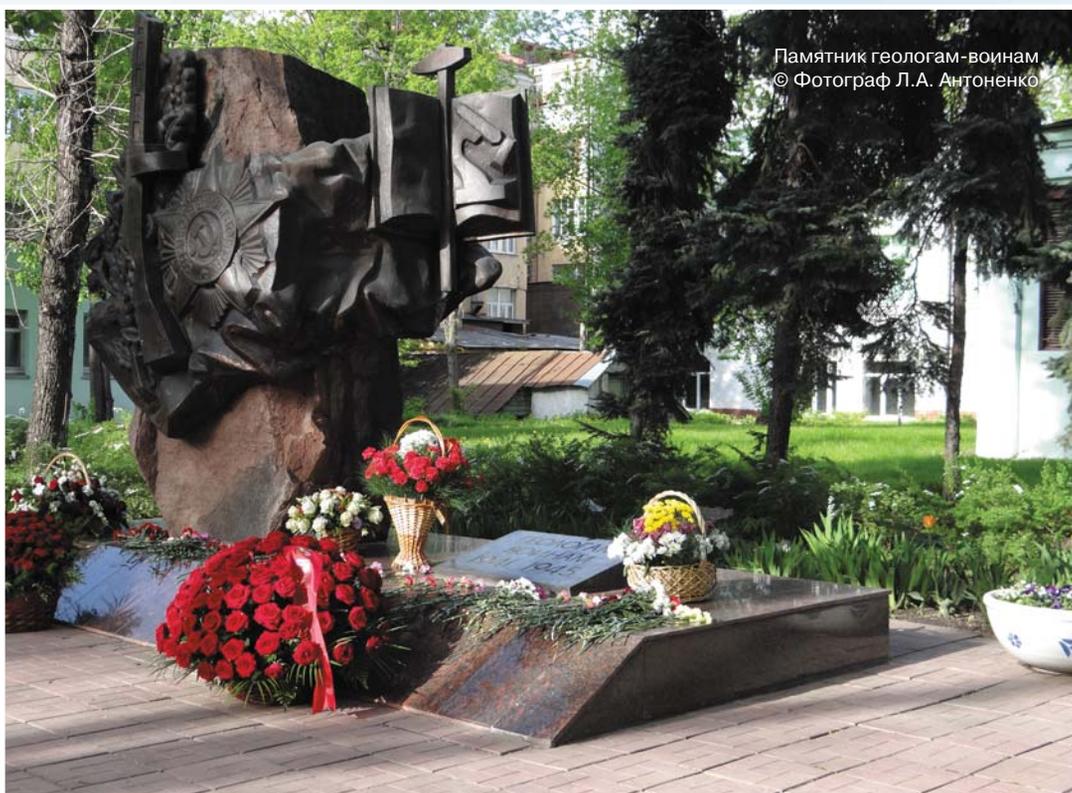
- Tretyak A.Ya., Litkevich Yu.F., Grossu A.N.** Studies torque and speed of drilling of interlayers rocks and ore bit with hydraulic monitor drive 58

MANAGEMENT & ECONOMICS

- Denisov M.N.** Cost of the lost mineral reserves due to the damage caused to the mineral subsoil 62

BOWELS PROTECTION & ECOLOGY

- Abramov A.A., Raykov S.V., Glinskiy M.L., Drozhko E.G., Chertkov L.G.** Industrial system of ecological monitoring and its part in rationale the withdrawal from exploitation the facilities of nuclear legacy of USSR 64



ГЕОФИЗИКА

УДК 55.550.370

**Багрянский А.А.¹, Приходько А.Ю.^{1,2}, Боурнас Н.¹,
Лего Ж.¹ (1 — Geotech Ltd, 2 — ООО «Геотехаэро»)**

АЭРОЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ZTEM ДЛЯ ГЛУБИННОГО ИЗУЧЕНИЯ НЕДР

Представлена инновационная аэроэлектромагнитная технология магнитовариационного зондирования ZTEM, основанная на измерениях в воздухе вариаций вертикальной компоненты естественного магнитного поля в аудио диапазоне частот, а также на синхронном измерении вариаций горизонтальных компонент поля на земле. Технология сочетает высокую детальность и большую глубинность исследований; множество практических примеров демонстрируют эффективность

*использования ее при поисках и изучении различных видов полезных ископаемых. **Ключевые слова:** аудиоманнителлурическое зондирование, аэрогеофизика, поиски месторождений.*

Bagryanskiy A.A.¹, Prikhodko A.Yu.^{1,2}, Bournas N.¹, Legault J.¹
(1 — Geotech Ltd, 2 — Geotechaero)

AIRBORNE ELECTROMAGNETIC TECHNOLOGY ZTEM FOR DEEP EXPLORATION

The paper presents an airborne electromagnetic technology of magnetovariational sounding ZTEM. The technology is based on measurements of the vertical component of natural magnetic field variations in the audio frequency range, and simultaneous measurements of variations of the horizontal components of the field on the ground. The technology combines abilities of high detail and deep investigations. The numerical

practical examples demonstrate effectiveness of the technology in exploration of different types of minerals. Key words: audio-magnetotellurics sounding, ZTEM, airborne geophysics, mineral exploration.

Для получения геоэлектрической информации о глубинном строении недр в последние десятилетия эффективно используются геофизические индукционные методы, основанные на естественных электромагнитных полях Земли [1]. Основным преимуществом этих методов, по сравнению с методами, использующими контролируемые источники электромагнитного поля, является большая глубина исследований, благодаря чему данные методы, относящиеся к аудиоманнитотеллурическим, применяются для глубинных исследований структур земной коры и поисков приуроченных к ним различных видов полезных ископаемых [2].

Традиционно магнитотеллурические методы выполняются в наземном варианте, но для преодоления известных ограничений, связанных со стоимостью и производительностью наземных методов, в течение ряда лет разрабатывался аэроэлектромагнитный метод, базирующийся на тех же принципах аудиоманнитотеллурики. В частности, одной из реализаций метода в аэро-варианте является система ZTEM, разработанная в компании Geotech Ltd (Канада). Технология ZTEM обладает высоким потенциалом в поисковой геологии при решении задач рудной геофизики [2].

В данной статье приведены принцип работы и основные характеристики ZTEM системы, на расчетных, модельных исследованиях и на практических примерах показана ее потенциальная петрофизическая и геологическая эффективность.

Основы и особенности метода ZTEM

Источником естественного переменного электромагнитного поля Земли в звуковом диапазоне частот (20 Гц — 20 кГц) является грозная активность, которая в планетарном масштабе происходит непрерывно и обуславливает разность потенциалов между поверхностью Земли и ионосферой в 200–500 кВ. Этот мощнейший электрический источник генерирует плоские электромагнитные волны* под поверхностью Земли.

* Простая гармоническая электромагнитная волна с постоянной амплитудой колебаний в любой точке наблюдения.

Магнитотеллурический метод (МТ), который широко используется в наземной геофизике, основан на изучении вариаций естественного электромагнитного поля Земли, а именно на изучении линейной связи между вертикальной и горизонтальными составляющими переменного поля, которая математически выражается в виде так называемого оператора типпера (матрица типпера или матрица Визе-Паркинсона). В аэрогеофизической модификации МТ метода рассматривается только магнитная компонента МТ данных, и для извлечения информации о геоэлектрическом разрезе используется матрица типпера, которая представляет собой серию отношений вертикальной составляющей магнитного поля к горизонтальным в направлении магнитной индукции [8]. Исходя из фундаментальной теории, индуцированное в Земле электромагнитное поле проникает в вертикальном направлении и, в случае слоистой среды, индуцированное магнитное поле в том же направлении не генерируется. Однако присутствие неоднородностей в такой среде обуславливает возникновение локальных аномалий в магнитной составляющей. Основываясь на этом принципе была разработана методика AFMAG (Audio Frequency Magnetics), описанная С. Вардом [9]. Измерительный блок аппаратуры AFMAG представлял собой систему из двух ортогональных катушек, регистрирующих наклон эллипса поляризации электромагнитного поля. Это был оперативный и эффективный метод для картирования электропроводных объектов.

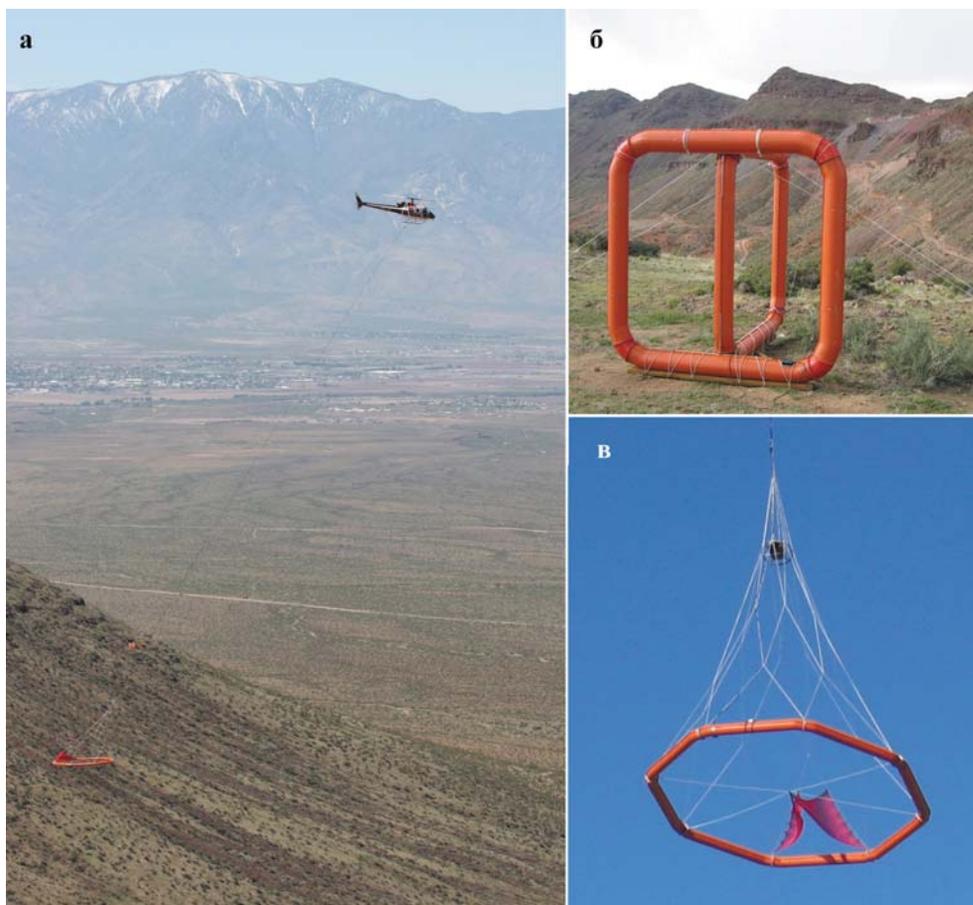


Рис. 1. Система ZTEM: а — ZTEM в процессе съемки, б — наземная базовая станция, в — подвесная вертолетная ZTEM система

Дальнейшие усовершенствования системы AFMAG базировались главным образом на техническом прогрессе электроники, что в результате и привело к конфигурации Z-axis Tipper Electromagnetic System (ZTEM, Geotech Ltd) [6], в которой вертикальная компонента магнитного поля регистрируется с использованием горизонтальной подвесной к вертолету или самолету катушки (рис. 1а, в).

Горизонтальные компоненты магнитного поля измеряются наземной базовой системой (станцией) (рис. 1б). Обработка сигнала основана на использовании частотной передаточной функции, которая связывает вертикальную компоненту магнитного поля, измеренную подвижной воздушной подвесной катушкой, с горизонтальными составляющими, измеренными неподвижной наземной базовой станцией. По сути, это метод магнитовариационного зондирования [1]. Одним из основных преимуществ ZTEM метода перед традиционными наземными методами магнитотеллурики является нечувствительность к искажающему влиянию приповерхностных неоднородностей с понижением частоты и возможность получения информации о глубинном строении, не искаженной статическим сдвигом кажущихся сопротивлений, который характерен для магнитотеллурического зондирования. Другое преимущество ZTEM технологии заключается в том, что с ее помощью возможно проведение съемки больших и удаленных площадей за короткое время.

Для представления данных измерений ZTEM обычно строятся карты общей дивергенции компоненты Z/X (DT) и карты фазового сдвига (Phase Rotation, PR).

Общая дивергенция Z/X находится как

$$DT = \text{DIV} (T_{zx}, T_{zy}) = d(T_{zx})/dx + d(T_{zy})/dy.$$

По картам DT относительно точно определяется положение проводника и его форма, но, что присуще многим производным, этот параметр теряет информацию об относительно региональных особенностях поля (с большей длиной волны), а также чувствителен к уровню шума сигнала.

В качестве альтернативы используются карты параметра полного фазового сдвига (TPR), который рассчитывается по распределению компонент Tzx и Tzy. Эта процедура превращает дипольные аномалии (cross over) в однополярные с экстремумом, соответствующим положению центра проводника. В то же время эта трансформация сохраняет информацию о длиннопериодных вариациях поля [7]. Параметр Total Phase-Rotation (TPR) и для мнимой, и для вещественной составляющей рассчитывается как

$$TPR = PR (T_{zx}) + PR (T_{zy}),$$

где PR — преобразованные (преобразование Гильберта, 90-градусный фазовый сдвиг) компоненты Tzx и Tzy.

Глубинность исследований и информативность метода в задачах структурной геологии

Диапазон глубины исследований метода ZTEM определяется шириной диапазона измеряемых частот (22–720 Гц) и зависит от общего электрического сопротивления среды. Например, при сопротивлении геологической среды 100 Ом·м глубинность исследований достигает 1500 м, а в среде с удельным электрическим

сопротивлением 2000 Ом·м измерение сигнала на частоте 30 Гц обеспечит глубину исследований порядка 3 км от поверхности. С повышением общего сопротивления повышается и глубинность исследований. Таким образом, метод обеспечивает глубину исследований, которая является недостижимой для систем с контролируемыми источниками питающего поля [4].

Как показывают модельные исследования и расчеты (рис. 2), система ZTEM высокочувствительна к контра-

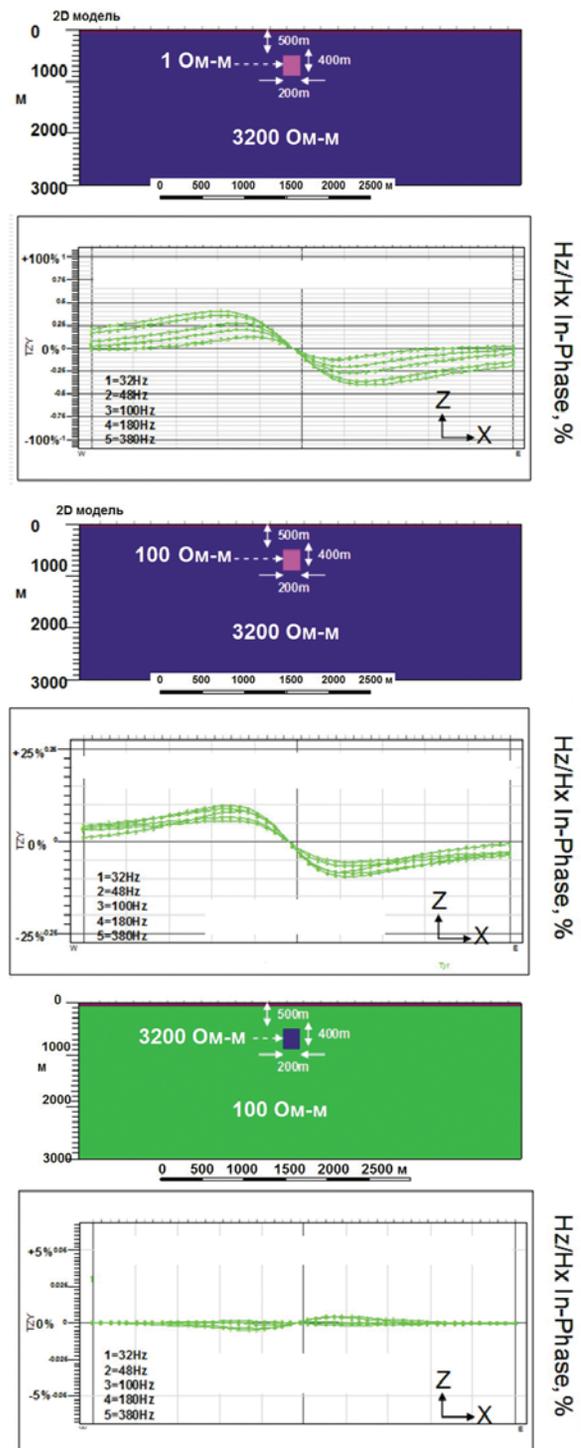


Рис. 2. Расчетный ZTEM-сигнал (графики передаточных функций) от моделей с различным соотношением удельного электрического сопротивления

стам электрического сопротивления, что означает способность детектирования как хорошо проводящих, так и непроводящих электрический ток объектов и границ между ними.

Но, тем не менее, метод является особенно чувствительным к телам и структурам с относительно низким удельным электрическим сопротивлением, к таким, как линейные структуры значительной длины, региональные и прилегающие разломы, тектонические структуры, контролирующие, например, зоны брекчирования и изменений, ассоциирующихся с медно-порфировыми системами.

Возможности метода в области реконструкции глубинных структур делают его универсальным в задачах поисков и прогнозирования различных «структурно-контролируемых» видов полезных ископаемых. К настоящему времени геологическая наука создала надежную доказательную базу концепции приуроченности большинства видов полезных ископаемых к разломам корового заложения [3], поэтому трудно переоценить потенциал использования данных ZTEM в задачах прогнозирования месторождений полезных ископаемых и даже целых рудных районов.

На рис. 3 представлены два примера сравнительных карт данных ZTEM и магнитного поля. На практике данные о распределении магнитного поля обычно подвергаются структурной интерпретации и анализу, но, как видно из этих примеров, полнота структурной картины, реконструированной только по магнитному полю, была бы крайне сомнительна.

Комплексирование данных ZTEM и наземного МТ

В связи с тем что одномерные электропроводные среды* не продуцируют аномалии вертикальной составляющей магнитного поля, ZTEM система не очень чувствительна к фоновой проводимости, т.е. проводимости однородной вмещающей среды. С целью увеличения чувствительности к фоновой проводимости, совокупного увеличения глубинности исследования и повышения его эффективности, данные наземных магнитотеллурических исследований и данные ZTEM могут комплексироваться. Комбинация даже нерегулярных и редко распределенных по площади данных наземного МТ-зондирования с данными сплошных, площадных ZTEM-съемок обеспечивает точную и надежную основу для количественной интерпретации данных ZTEM, равномерно распределенных на изучаемой площади. В этом случае может применяться совокупная инверсия наземных МТ и аэро ZTEM данных [4].

* Примером одномерной модели является горизонтально-слоистая среда.

Один из практических примеров такой совместной инверсии данных представлен для золото-серебряной эпitherмальной системы, находящейся в провинции Британская Колумбия (Канада) [5]. Иллюстрацией сопоставимости методов может служить прямое сравнение измеренных данных наземных МТ и воздушной ZTEM (рис. 4).

Таким образом, наибольшую эффективность глубинного изучения территорий можно достичь, комби-

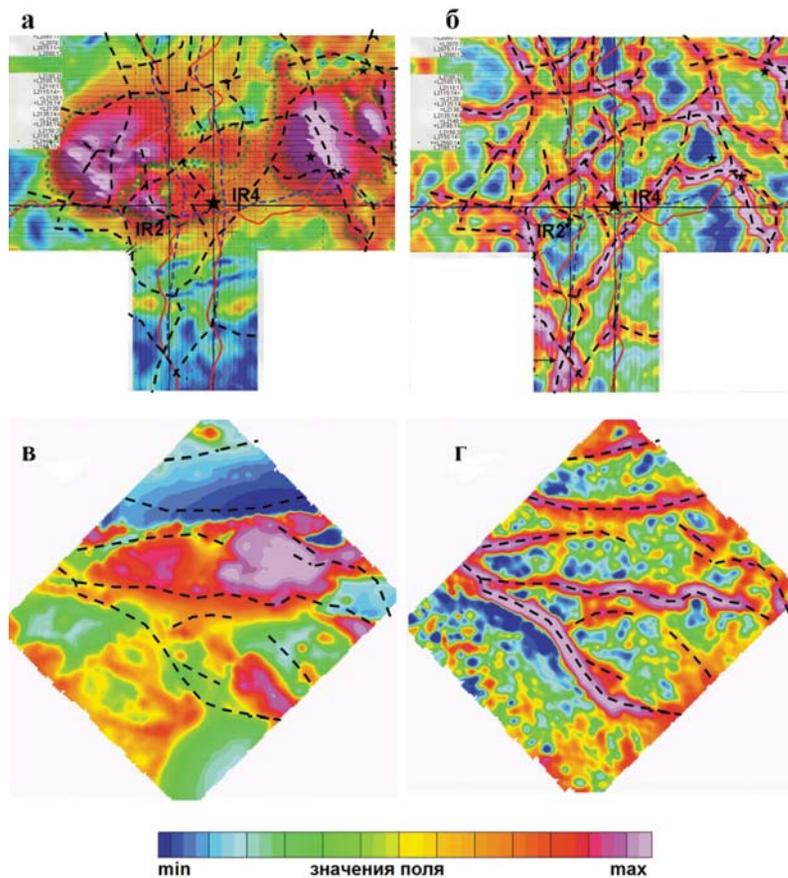


Рис. 3. Сравнительные карты магнитного поля и ZTEM общей дивергенции Z/X: а-б — участок 1: карта магнитного поля с линейментами ZTEM дивергенции (а) и карта ZTEM дивергенции, 75 Гц (б); в-г — участок 2: карта магнитного поля с линейментами ZTEM дивергенции (в) и карта ZTEM дивергенции, 49 Гц (г)

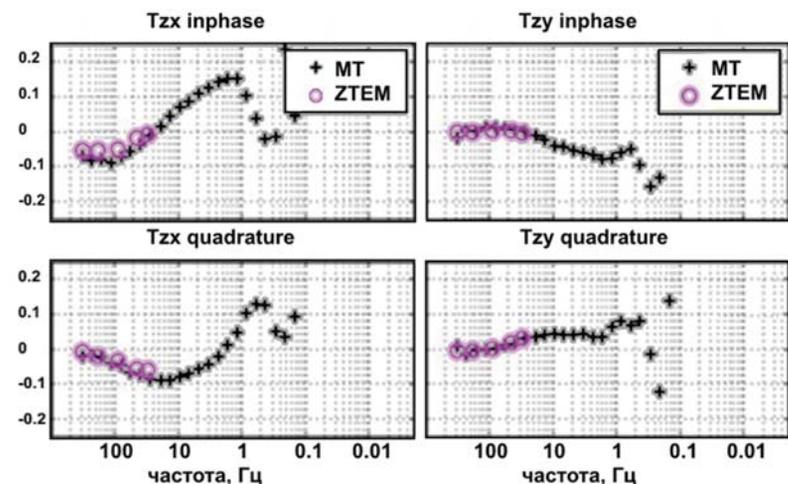


Рис. 4. Сравнительные кривые данных четырех компонентов матрицы типпера ZTEM и наземных МТ [5]

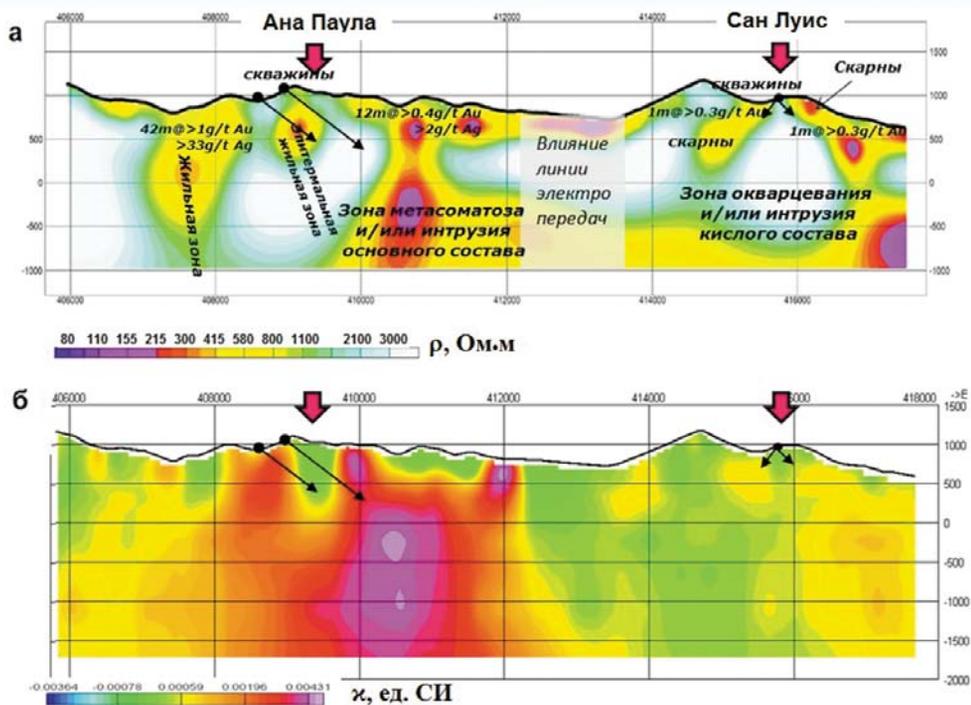


Рис. 5. Разрезы удельного электрического сопротивления по результатам 3D инверсии ZTEM данных (а) и магнитной восприимчивости по результатам 3D инверсии магнитного поля (б) для района месторождений Ана Паула и Сан Луис

нируя сильные стороны наземных МТ (наличие электрической составляющей и возможность использования низких частот, обеспечивающих большую глубину исследований) и воздушной ZTEM (покрытие больших территорий регулярной сетью наблюдений при относительной дешевизне).

Примеры полевых данных

Технология ZTEM была апробирована на многих типах месторождений полезных ископаемых. Это, например, эпитермальные и скарновые золоторудные месторождения (Мексика), золотосодержащие медно-порфировые (Пэббл на Аляске; Бабайн и Силвер Куин в Британской Колумбии), полиметаллические эксгальационно-осадочные (Нукрах в Саудовской Аравии), золоторудные жильного типа (Эд Дувайхи там же), урановые (бассейн Атабаска в Канаде), геотермальные (Илевенмайл Каньон в Неваде, США).

Рассмотрим несколько примеров.

В 2013 г. была проведена вертолетная ZTEM и магнитная съемки на одном из участков в пределах *золоторудного пояса Гуэррэро* (Мексика), перспективного на обнаружение месторождений эпитермального и скарнового генезиса.

В площадь ZTEM съемки входили два известных золоторудных месторождения эпитермального и скарнового происхождения — Ана Паула и Сан Луис, приуроченных к структурам северного простирания, контролирующим оруденение. Разрез удельного сопротивления, полученный в результате трехмерной инверсии ZTEM данных вдоль профиля наблюдений, пересекающего оба месторождения, представлен на рис. 5а. В инверсию были вовлечены данные по шести частотам одновременно. На рис. 5б отображено распределение магнитной восприимчивости, полученное в результате 3D

инверсии магнитного поля по тому же профилю.

Субвертикальная зона электропроводности в районе месторождения Ана Паула хорошо коррелирует с зоной минерализации. Минерализованная зона Сан Луис, напротив, соответствует апикальной части зоны высокого сопротивления, расширяющейся с глубиной. Относительно электропроводная зона (100–200 Ом·м) наблюдается в районе месторождения Ана Паула, которое считается эпитермальным. В противоположность этому, месторождение Сан Луис (скарновое) находится в центре аномалии относительно высокого электрического сопротивления (600–800 Ом·м), отражающего присутствие либо зон распространения наложенных процессов окварцевания, либо порфи-

ритов, обогащенных кварцем и полевым шпатом.

Как видно из приведенных результатов, по данным ZTEM хорошо определяются объекты как с низким, так и с высоким удельным электрическим сопротивлением, причем в обоих случаях характеристики сопротивления могут отражать факторы или атрибуты золоторудной минерализации в зависимости от ее генетической принадлежности.

Месторождение Пэббл представляет собой крупную золотосодержащую медно-порфировую систему в южной части Аляски. Восточная зона оруденения находится на глубине ~500 м с эквивалентным содержанием меди 0,6%. Западная, близповерхностная зона месторождения ограничивается содержанием меди в эквиваленте 0,3%. Результаты ZTEM съемки продемонстрировали высокую степень соответствия геолого-геохимической и геофизической (ZTEM) информации о системе медно-порфирового оруденения. Результаты ZTEM инверсии подтверждают тектонический контроль обеих зон минерализации.

Заключение

Использование ZTEM технологии на протяжении ряда лет продемонстрировало, что она служит эффективным инструментом геологоразведочных исследований при решении задач структурного картирования и прогнозирования различных видов месторождений полезных ископаемых. Одной из характерных особенностей технологии является ее чувствительность к электропроводным зонам, часто соответствующим разуплотненным, глубинным структурам и разломам. Возможность использования на сегодняшний день довольно хорошо разработанных инструментов 2- и 3-мерной инверсии измеренных сигналов позволяет производить количественную интерпретацию данных экономического и техно-

логичного метода ZTEM и применять его для широко-масштабных глубинных исследований и поисковых работ практически на все виды полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бердичевский, М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. — М.: Научный мир, 2009.
2. Варенцов И.М., Куликов В.А., Яковлев А.Г., Яковлев Д.В. Возможности методов магнитотеллурики в задачах рудной геофизики // Физика Земли. — 2013. — № 3. — С. 9–29.
3. Мишин Н.И., Степина З.А., Панфилов А.Л. Структурная организация рудных полей. — СПб.: Автор, 2007.
4. Holtham E., Oldenburg D.W. Three-dimensional inversion of MT and ZTEM data. — SEG. Expanded Abstracts. — 2010. — P. 655–659.
5. Hubert J., Lee B., Unsworth M., Richards J. et al. Imaging a Ag-Au rich epithermal system in British Columbia, Canada with airborne ZTEM and ground magnetotelluric data. — SEG. Annual Meeting. — 2013. — P. 1606–1610.
6. Lo B., Zang M. Numerical modeling of Z-TEM (airborne AFMAG) responses to guide exploration strategies / SEG. 78th Annual International Meeting. Expanded Abstracts. — 2008. — P. 1098–1102.
7. Lo B., Legault J.M., Kuzmin P., Combrick M. ZTEM (Airborne AFMAG) tests over unconformity uranium deposits / Extended abstract submitted to 20th ASEG International Conference and Exhibition. — Adelaide, 2009.
8. Vozoff K. The magnetotelluric method in the exploration of sedimentary basins // Geophysics. — 1972. — V. 37. — P. 98–141.
9. Ward S.H. AFMAG — airborne and ground // Geophysics. — 1959. — V. 24. — P. 761–787.

© Коллектив авторов, 2015

Багрянский Андрей Александрович // Andrei@geotech.ca

Приходько Александр Юрьевич // Alexander@geotech.ca

Боурнас Насреддин // Nasreddine.Bournas@geotech.ca

Лего Жан // jean@geotech.ca