

УДК 550.372

## ГЛУБИННЫЕ АНОМАЛИИ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Е.Д. Алексанова, И.М. Варенцов, В.А. Куликов, И.М. Логвинов, И.Н. Лозовский,  
П.Ю. Пушкарев, Е.Ю. Соколова, В.Н. Тарасов, Н.Л. Шустов, А.Г. Яковлев

**Аннотация.** По результатам многолетних работ методом глубинного магнитотеллурического зондирования (ГМТЗ) в пределах северо-западного склона Воронежского кристаллического массива выявлены и околочены коровые зоны пониженного сопротивления – Кировоградско-Барятинская и Курская. Для двух профилей ГМТЗ проведена двумерная бимодальная инверсия и получены модели сопротивлений до глубины 50 км. Проведено сопоставление результатов ГМТЗ с потенциальными полями.

**Ключевые слова.** Магнитотеллурическое зондирование, коровые аномалии электропроводности.

**Abstract.** Two crustal anomalies of low resistivity, «Kirovograd-Baryatino» and «Kursk», were revealed and delineated on the north-western slope of Voronezh crystalline massif as a result of magnetotelluric (MT) soundings. Two-dimensional bimodal inversion of MT data was performed, and cross-sections along two profiles until 50 km depth were constructed. MT results were compared with potential field data.

**Key words.** Magnetotelluric sounding, crustal conductivity anomalies.

**ВВЕДЕНИЕ.** Летом 1991 г. сотрудниками кафедры геофизики геологического факультета МГУ во время проведения площадных работ методом магнитотеллурического зондирования (МТЗ) в районе Смоленской АЭС около г. Барятинно Калужской области были получены аномальные кривые МТЗ, указывающие на наличие крупного проводящего объекта в земной коре. За аномальной областью закрепилось название – Барятинская коровая аномалия электропроводности [Бобачев и др., 1996].

Основной этап геофизических исследований на Барятинской аномалии начался в конце 90-х годов прошлого столетия по инициативе нескольких сотрудников кафедры геофизики геологического факультета МГУ: А.Г. Яковлева, В.А. Куликова, Н.Л. Шустова, Е.Д. Алексановой и др. и при материальной поддержке со стороны компании ООО «Северо-Запад». Возобновлению работ способствовало появление в непосредственной близости от аномалии базы геофизических практик геологического факультета МГУ в д. Александровка Юхновского района Калужской области. Начиная с 1999 г. подавляющее большинство геофизических исследований на Барятинской коровой аномалии проводилось и проводится именно в рамках учебных практик студентов геологического факультета МГУ и Российского геологоразведочного университета (МГРИ-РГГРУ).

На первом этапе в период с 1999 г. по 2007 г. все измерения осуществлялись благодаря лично-му энтузиазму преподавателей и студентов кафедры геофизики геологического факультета МГУ и геофизического факультета РГГРУ. Проведением наземных магнитометрических работ в период с 1999 г. по 2003 г. руководил видный специалист

в области рудной геофизики, профессор РГГРУ В.В. Бродовой. Профессор В.В. Бродовой и его сотрудники П.В. Новиков и А.А. Иванов показали, что интенсивные магнитные аномалии в южной части Калужской области являются продолжением Курской магнитной аномалии (КМА). Ими был выделен отдельный Северо-Калужский железорудный бассейн, составлена его структурная схема [Бродовой и др., 2004, 2005].

Гравиметрические измерения проводились в небольшом объеме под руководством сотрудников лаборатории гравимагнитных методов кафедры геофизики геологического факультета МГУ: Л.А. Золотой, С.А. Тихоцкого, М.В. Калишевой и др.

Основной объем геофизических работ пришелся на электроразведочные и в первую очередь на магнитотеллурические методы. Электроразведочные работы выполнялись под руководством сотрудников лаборатории электромагнитных зондирований кафедры геофизики геологического факультета МГУ: Е.Д. Алексановой, В.А. Куликова, П.Ю. Пушкарева, Н.Л. Шустова, А.Г. Яковлева. Активное участие в обсуждении результатов и планировании работ принимал руководитель лаборатории профессор М.Н. Бердичевский.

За период с 1999 г. по 2003 г. в южной части Калужской области было выполнено более 40 точек магнитотеллурических (МТЗ) и около 30 точек магнитовариационных (МВЗ) зондирований. Измерения выполнялись станциями ЦЭС-М. Техническое состояние станций ЦЭС-М было низким, что отразилось на качестве измерений. Во многих точках запись велась без регистрации вертикальной компоненты магнитного поля. Из-за недостатка аппаратуры измерения велись без синхронной регистрации

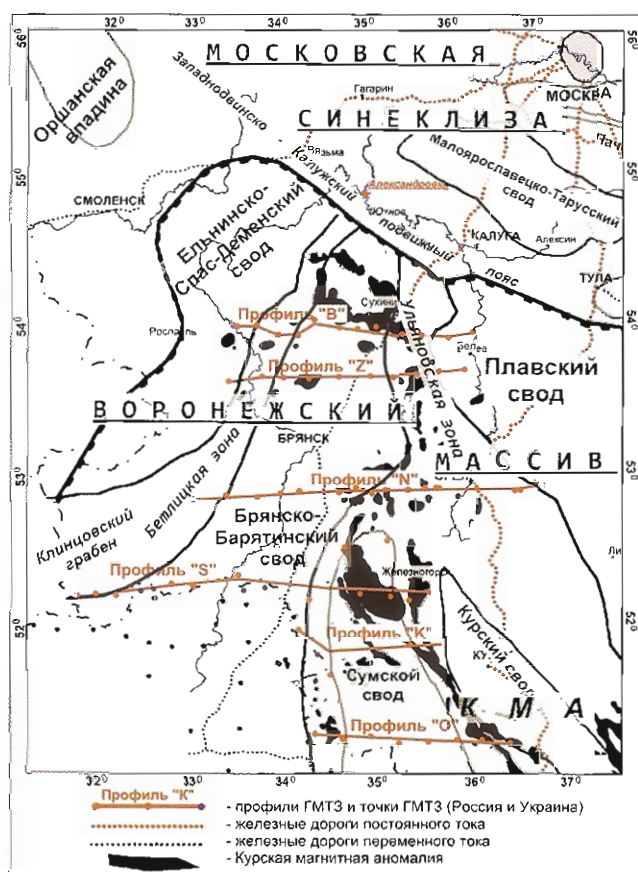


Рис. 1.

Положение профилей ГМТЗ на северо-западном склоне Воронежской антеклизы

на базовой точке. Длительность магнитотеллурических записей составляла 15–18 часов, что оказалось недостаточно для получения устойчивых результатов в низкочастотной области.

В 2007 г. начался качественно новый этап проведения магнитотеллурических измерений на Бяратинской аномалии. Благодаря инициативе И.М. Варенцова помимо геологического факультета МГУ и ООО «Северо-Запад» к геофизическим исследованиям подключился Центр геоэлектromанитных исследований – филиал Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ЦГЭМИ ИФЗ РАН). Исследования поддерживались российскими грантами РФФИ 07-05-00437а, 08-05-00327а, 08-05-10004, 11-05-00491, а также российско-украинским грантом РФФИ-Укр\_Ф 09-05-90439. Исследования велись в сотрудничестве с украинскими коллегами из Института геофизики НАНУ (И.М. Логвинов и другие), поскольку было выдвинуто предположение о том, что Бяратинская зона является продолжением Кировоградской коровой аномалии электропроводности, которая активно изучается украинскими геофизиками, начиная еще с 70-х годов прошлого столетия. В результате возникло новое обозначение: Кировоградско-Бяратинская коровая аномалия электропроводности.

В течение 5 лет измерения методом ГМТЗ были выполнены по нескольким субширотным профилям, пересекающим коровую аномалию электропроводности в Калужской, Брянской, Курской об-

ластях России и на севере Украины. На российской территории измерения проводились в рамках студенческих учебно-производственных практик преподавателями и студентами кафедры геофизики геологического факультета МГУ. Техническую и аппаратную поддержку осуществляла компания ООО «Северо-Запад». Измерения 5 компонент электромагнитного поля проводились в синхронном режиме со станциями MTU канадской компании «Phoenix Geophysics». Базовая станция располагалась на учебном полигоне геологического факультета МГУ в д. Александровка Калужской области (рис. 1). Время записи на полевых точках было увеличено до 48 часов. Предварительные результаты работ неоднократно докладывались на различных конференциях и семинарах [Александрова и др., 2010, 2011, Варенцов и др., 2011 а, б, 2012].

### Географическое и геологическое положение района работ

С российской стороны глубинные магнитотеллурические зондирования (ГМТЗ) в общем объеме 66 ф.н. были выполнены по 6 субширотным профилям (см. рис. 1). Каждому профилю зондирования было присвоено имя (по порядку с севера на юг): Бетлица («В»), Жиздра («З»), Навля («Н»), Суземка («С»), Курск («К»), Обоянь («О»). Кроме того, при построении низкочастотных карт магнитотеллурических параметров нами использовались данные с 26 точек ГМТЗ (см. рис. 1), выполненных на территории Украины сотрудниками Украинского института геофизики.

Административно работы проводились в пределах Калужской, Брянской, Смоленской, Курской, Орловской, Тульской областей. Среднее расстояние между точками зондирования по профилям составило 15–20 км. С точки зрения тектонического районирования все зондирования были выполнены в пределах северо-западного склона Воронежской антеклизы (см. рис. 1) [Бобров, 2006].

Мощность осадочных отложений в пределах площади работ изменяется от 150–200 м в районе южных профилей – Суземка и Курск – до 800–900 м на восточном окончании профиля Бетлица. Осадочный чехол представлен на 90% отложениями среднего и верхнего отделов девонской системы. В северной части площади работ (профили Бетлица и Жиздра) в верхней части осадочного чехла развиты породы нижнего карбона и мезозоя. Четвертичные отложения, представленные в основном моренными суглинками, практически повсеместно перекрывают палеозойские и мезозойские осадки.

Наиболее проводящими являются нижние горизонты осадочного чехла – терригенные породы среднего отдела девона, насыщенные пластовыми минерализованными водами. Значения суммарной продольной проводимости осадков ( $S_{oc}$ ) в пределах площади работ изменяются от 10 до 100 см. Минимальные значения  $S_{oc}$  фиксируются в сводовой части Воронежской антеклизы (профиль Курск), максимальные – в Клиновском грабене (рис. 2).

### Характеристика магнитного и гравитационного полей

На рис. 3 представлены карты магнитного (а) и псевдогравитационного (б) полей для зоны сочленения Московской синеклизы и северо-западного склона Воронежской антеклизы.

Характер магнитного поля (рис. 3, а) определяется в первую очередь областями интенсивных положительных аномалий, связанных с железистыми кварцитами (средние значения магнитной восприимчивости  $\chi = 1,5-2$  ед. СИ). Уровень аномального поля в этих зонах превышает 2000 нТл. В южной части площади это узкие линейные зоны северо-западного простирания. По мере продвижения к границе Московской синеклизы вместо полосовых магнитных аномалий типа КМА мы видим высокоинтенсивные разрозненные магнитные аномалии разного размера и конфигурации. По предположению профессора В.В. Бродового, структуры КМА в своем развитии на север наткнулись на жесткий блок основания Московской синеклизы, и здесь произошло образование промежуточного тектонического блока, оторванного от основного массива.

Кроме того, положительные магнитные (500–2000 нТл) и гравитационные (до 30 мГл) аномалии могут быть связаны с интрузивными образованиями верхней части кристаллического фундамента, которые представлены в районе преимущественно габброидными разновидностями и создают целые пояса. Один из таких поясов выделяется в пределах Московской синеклизы в виде региональной подковообразной аномалии, раскрывающейся на север, – Гагаринско-Истринский свод (рис. 3 а, б).

В псевдогравитационном поле наиболее ярко выделяются две области положительных (5–20 мГал) значений поля: в пределах северо-западного крыла Воронежского массива это линейная зона северо-северо-восточного простирания, а в южной части Московской синеклизы – дугообразная зона субширотного простирания (рис. 3, б).

По версии С.П. Боброва [6], эти две аномалии отвечают Вяземско-Касимовской и Брянско-Ярославской проторифтовым зонам активного спрединга, по которым происходил в рифейское время раздвиг плит Тверской, Рославльской, Владимирской и Тульской, и интенсивный выброс мантийного материала базит-ультрабазитового состава. Судя по характеру гравитационного поля, линейный выброс мантийного материала по этим зонам имел дискретный характер с образованием центров наиболее интенсивного лаваобразования (Демидовский, Сычевский, Дмитриевский, Московский, Дудоровский и Брянский «срединные массивы»).

### Коровый проводник на картах магнитотеллурических параметров

На этапе качественного анализа магнитотеллурических данных для нескольких периодов были построены карты кажущегося сопротивления, фазы импеданса, карты вещественных и мнимых индук-

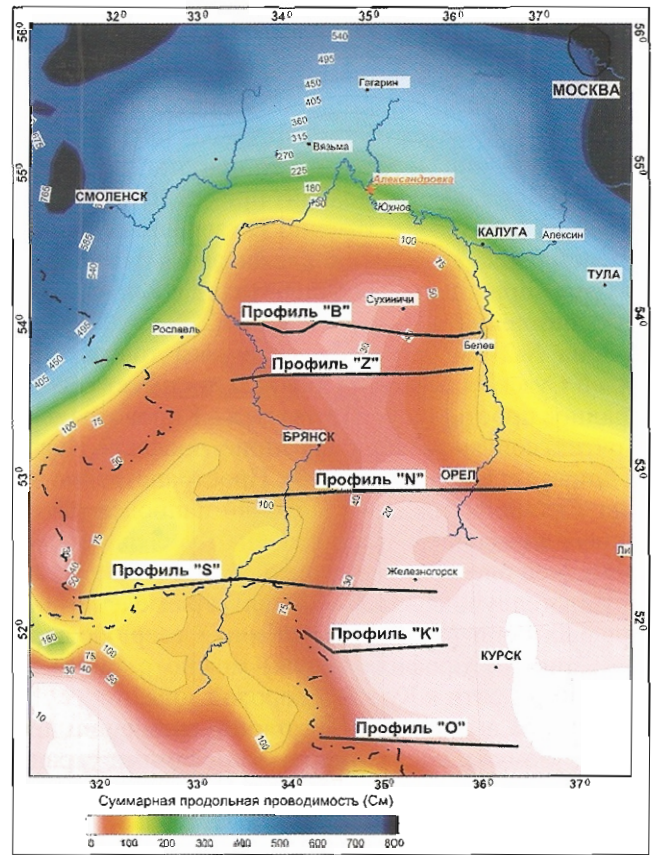


Рис. 2.

Карта суммарной продольной проводимости  $S$  осадочно-чехла северо-западного склона Воронежской антеклизы (по Шейнкману А.Л., 2003 г.)

ционных векторов, а также карты амплитуд горизонтального магнитного тензора.

Наиболее ярко коровый проводник проявляется на периодах от десятков секунд до 1000 с. Относительно небольшое количество данных при нерегулярной сети наблюдений (обход крупных городов, электрифицированных железных дорог, нефтепроводов и т.д.) не позволяет получить детальной картины распределения коровой электропроводности,

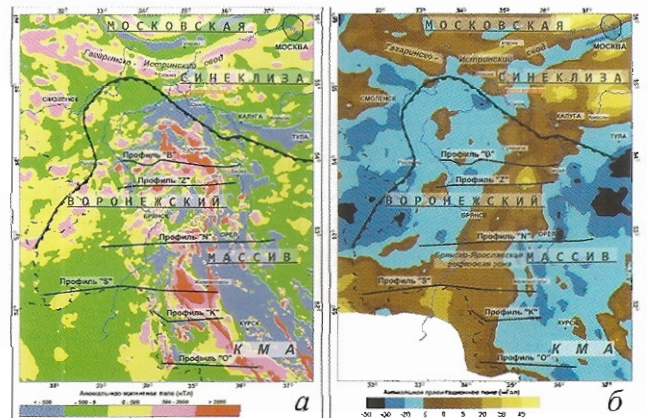


Рис. 3.

а) карта аномального магнитного поля северо-западного склона Воронежской антеклизы; б) карта аномального гравитационного поля северо-западного склона Воронежской антеклизы

но в общих чертах по всем параметрам выделяются одни и те же аномальные зоны. На рис. 4 мы обозначили их цифрами 1, 2 и 3.

Зона №1 имеет простирание, близкое к меридиональному, и прослеживается от самых южных точек профиля Обоянь ( $\approx 50^\circ$  с.ш.) до широты г. Южного. Ось аномалии на юге проходит примерно по  $34^\circ$  в.д., на севере – по  $35^\circ$  в.д. Именно эта зона повышенной коровой проводимости прослеживается далее на юг на территории Украины и переходит в Кировоградскую аномалию.

Зона №2 выделена по восточным точкам профилей Суземка, Курск и Обоянь. Она имеет северо-западное простирание и сливается с Кировоградско-Брянтинской аномалией в районе профиля Навля, на широте г. Орел (см. рис. 4). Пространственно эта зона хорошо совпадает с полосой наиболее интенсивных аномалий КМА и названа Курской коровой аномалией электропроводности. Как видно из карт магнитотеллурических параметров, разделение аномальных зон №1 и 2 очень условно. Северную часть аномалии (от профиля Навля) можно с таким же успехом отнести к Курской коровой зоне.

Зона №3 выделена на восточном окончании профиля Суземка и подтверждается соседними украинскими точками.

Боле устойчивая и последовательная картина структуры проводника наблюдается на широтных компонентах тензора импеданса. На периоде 100 с кажущееся сопротивление над коровыми проводящими зонами опускается до 50–100 Ом·м, при фоновых значениях 800–1000 Ом·м (рис. 4, а). Аномалия по фазе импеданса над коровыми проводниками составляет около  $20^\circ$  (рис. 4, б), аномалия по горизонтальному магнитному тензору достигает 30% (рис. 4, в).

Сопоставляя результаты ГМТЗ с картами потенциальных полей, мы видим, что Курская коровая аномалия электропроводности совпадает с линейной зоной КМА, Кировоградско-Брянтинская аномалия в южной части совпадает с положительной аномалией ДГ Брянско-Ярославской рифтовой зоны, а в северной части повторяет очертания магнитных аномалий Северо-Калужского рудного бассейна (рис. 5).

### Двумерные геоэлектрические модели по отдельным профилям

Для отдельных профилей ГМТЗ была проведена двумерная бимодальная инверсия по программе R. Maskie [12]. В инверсию привлекались только четыре компонента тензора импеданса, магнитовариационные параметры не использовались. Инверсия проводилась в несколько этапов по методике, предложенной М.Н. Бердичевским [Бердичевский, Дмитриев, 2004].

Сначала осуществлялся одномерный подбор верхней части разреза. Результаты одномерного подбора использовались в качестве стартовой модели для первого этапа 2D-инверсии с равными весами ТЕ и ТМ-мод, большим параметром сглаживания и редкой сеткой периодов. Полученная на 1-м этапе модель, дающая общее представление о строении разреза, задавалась в качестве стартовой для следующего этапа, где увеличивался вес ТЕ-моды, уменьшался радиус сглаживания и шаг по частотам. По результатам второго этапа более точно подбираются глубинные структуры. Далее следовали еще 2 этапа с одинаковым весом для продольных и поперечных кривых, уменьшенным параметром сглаживания и ручной редакцией стартовых моделей для устранения «ураганных» значений сопротивления. Невязка подбора в итоговых моделях составила 3–4%. В статье мы приведем результаты только по самым северным профилям ГМТЗ, где структура коровой аномалии имеет четко выраженный двумерный характер, а итоговые геоэлектрические модели по соседним профилям демонстрируют хорошую преемственность (рис. 6).

На геоэлектрических моделях, полученных в результате двумерной инверсии по профилям Бетлица и Жиздра, область повышенной проводимости в верхней коре по форме представляет собой крупное асимметричное линзовидное тело, вогнутое в центральной части. Размеры проводящей зоны в широтном направлении составляют 70 км на профиле Бетлица и 110 км на профиле Жиздра, мощность в вертикальном сечении – около 10 км. Проводник погружается с востока на запад. Положение верхней кромки аномальной зоны меняет-

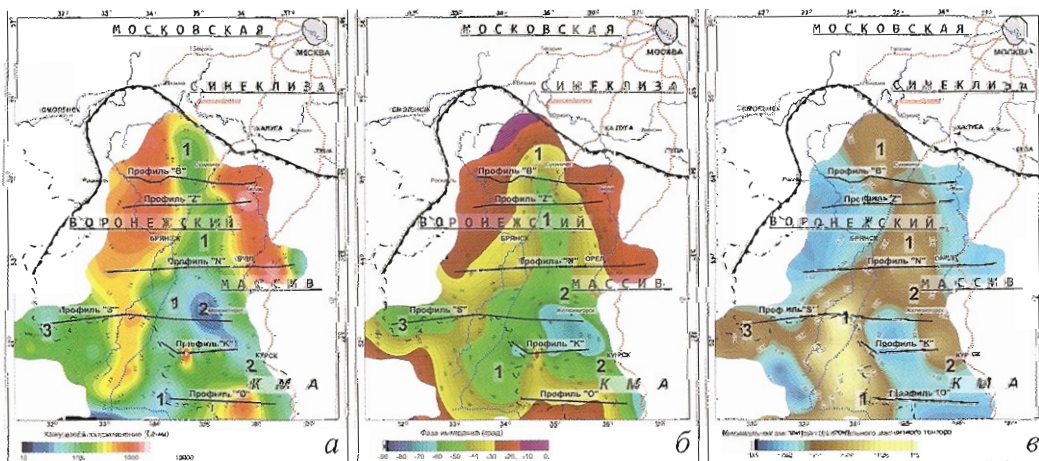


Рис. 4. а) широтная компонента кажущегося сопротивления (период 100 с); б) широтная компонента фазы импеданса (период 40 с); в) максимальная амплитуда горизонтального магнитного тензора (период 400 с)

ся от 10 км (В-08, Z-08) в восточной части до 25–30 км в центре и на западе. Удельные электрические сопротивления пород в пределах аномальной области составляют первые сотни Ом·м, при фоновых значениях 1000–3000 Ом·м.

Над геоэлектрическими разрезами приведены графики аномального магнитного поля (в нТл) и поля силы тяжести (в относительных единицах). Характерный максимум поля  $\Delta G$  на восточном окончании профилей отвечает центральной части Брянско-Ярославской проторифтовой зоны, насыщенной магматическими породами основного-ультраосновного состава. По современным представлениям эпоха существования этой зоны датируется возрастом 3–2,5 млн. лет и отвечает глубинам примерно 15–30 км. Последующие этапы рифтогенеза в значительной мере унаследовали коллизионные ослабленные зоны (швы) архейских и древнепротерозойских тектонических циклов, здесь в разное время существовали Брянско-Калужская, Бетлицкая, Ульяновская и др. подвижные зоны [6].

Графики поля силы тяжести хорошо согласуются с морфологией и глубиной залегания корового проводника. Максимум  $\Delta G$  приходится на участки, где проводящая зона максимально приближена к поверхности. Для профиля Жиздра мы оценили эффект от возможного аномалиеобразующего тела с избыточной плотностью  $0,1 \text{ г/см}^3$  относительно вмещающих пород, форма которого была просто восстановлена по геоэлектрической модели. На рис. 6, б график  $\Delta G$  от этого тела показан пунктирной линией. Избыточная плотность  $0,1 \text{ г/см}^3$  в пределах палеорифта говорит о большом содержании здесь интрузивных пород основного состава среди гранито-гнейсовых кратонов.

Максимумы магнитного поля также коррелируются с областями пониженных сопротивлений в верхней части земной коры [Абрамова и др., 2011]. Природа магнитных аномалий может быть различна. Восточный максимум  $dTa$  предположительно связан с железистыми кварцитами северного, смещенного блока КМА. Западный максимум (точки АМТЗ В-05, Z-04) скорее всего вызван интрузивными образованиями базитового состава Бетлицкой подвижной зоны раннепротерозойского возраста.

**ВЫВОДЫ**

В результате многолетних работ методом магнитотеллурического зондирования в пределах северо-западного склона Воронежского кристаллического массива выявлены и околочурены коровые зоны пониженного сопротивления – Кировоградско-Бярятинская и Курская.

Для двух северных профилей Бетлица и Жиздра проведена двумерная бимодальная инверсия и получены модели сопротивлений до глубины 50 км. По результатам 2D-инверсии Кировоградско-Бярятинская аномалия в северной части представляет собой крупное асимметричное линзовидное тело шириной от 70 до 120 км в диапазоне глубин от 10 до 45 км. Краевые зоны аномалии, отвеча-

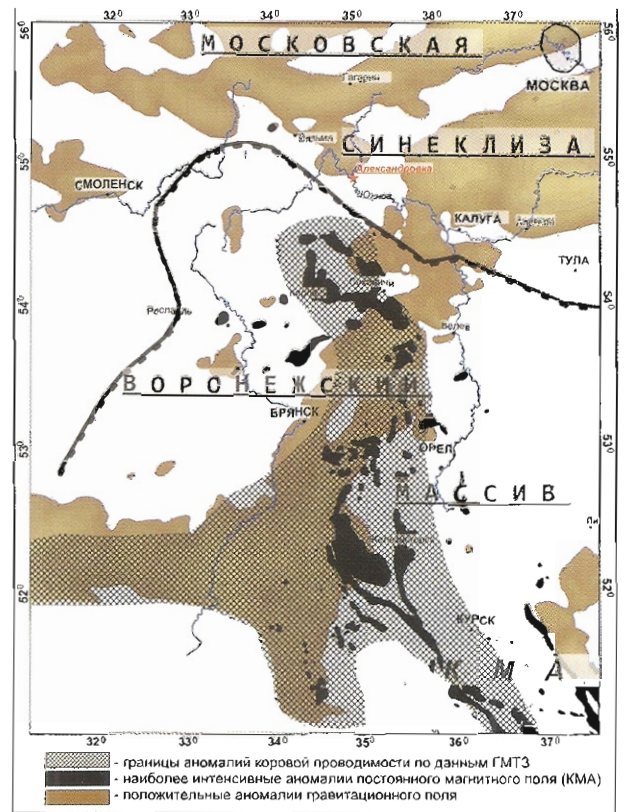


Рис. 5.

Область повышенной проводимости в земной коре на северном склоне Воронежской антеклизы по результатам качественного анализа МТ-данных на фоне положительных аномалий магнитного и гравитационного полей

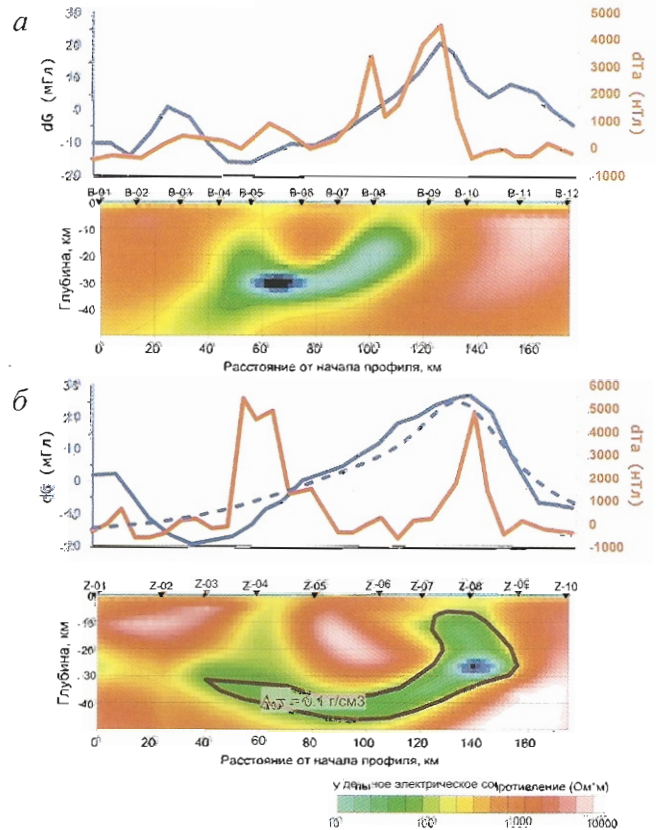


Рис. 6.

Геоэлектрические модели по результатам двумерной инверсии по профилям Бетлица (а) и Жиздра (б)

ющие максимальному подъему проводника к поверхности, коррелируются с наиболее контрастными аномалиями магнитного поля, а на востоке и с региональным максимумом поля  $\Delta G$ .

Важнейшей задачей наших исследований является уточнение природы проводимости коровых аномалий. Этот вопрос уже несколько десятилетий является предметом научной дискуссии. Существует две основные точки зрения: «графитовая» и «флюидная».

Согласно первой гипотезе, природа проводящих зон в коре объясняется повышенным содержанием графитизированных пород со связной системой проводников. Вторая гипотеза связывает повышенную проводимость с наличием в коре флюидопроницаемых зон. Проводимость (ионного типа) таких слоев зависит от пористости, связности порового пространства, проводимости флюида и может составлять от 1 до 10 См/м. Обе гипотезы имеют как сильные, так и слабые стороны. Вероятно, в разных регионах мы имеем дело с различным типом аномальной коровой проводимости. Существуют прямые доказательства наличия графитизированных пород в карельских образованиях на Балтийском щите, в протерозойских толщах Воронежской антеклизы, на Енисейском кряже и т.д. Флюидная проводимость характерна для современных тектонически активных областей, вулканических поясов.

В нашем случае повышенная проводимость в коре на больших глубинах может быть связана с сульфидными залежами и областями гидротермально измененных пород в пределах Брянско-Ярославской проторифтовой зоны и более молодых ослабленных зон, располагавшихся на ее месте. В пользу этой гипотезы говорит совпадение максимума гравитационной аномалии и восточного края проводящей зоны. В самой верхней части кристаллического фундамента пониженные значения сопротивления могут быть связаны также с влиянием графитизированных пород, а в местах развития железистых кварцитов – с зонами их окисления.

Сульфидная минерализация изверженных пород ранее редко рассматривалась как основная причина аномалий коровой проводимости. Это могло быть связано с отсутствием опыта в проведении МТЗ, который является основным методом изучения коровой электропроводности, на сульфидных месторождениях. За последние годы ситуация изменилась. Различные модификации магнитотеллурических методов прочно вошли в комплекс рудной геофизики, и полученный опыт показал, что даже при незначительных концентрациях сульфидных минералов в интрузивных телах мы наблюдаем обширные и контрастные по сопротивлению аномалии связанные как непосредственно с рудными минералами, так и с гидротермально измененными породами ореола месторождений.

## Литература

1. Абрамова Д.Ю., Абрамова Л.М., Варенцов И.М., Куликов В.А., Лозинский И.Н., Рабочая группа KIROVOGRAD. Корреляция аномалий постоянного магнитного поля и коровых геоэлектрических структур на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. № 4. С. 62–69.
2. Алексанова Е.Д., Варенцов И.М., Верецагина М.И. и др. ЭМ-зондирование осадочного чехла и консолидированной земной коры в зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе: проблемы и перспективы // Физика Земли. 2010. № 8. С. 62–71.
3. Алексанова Е.Д., Баглаенко Н.В., Варенцов И.М. и др. Сопоставление геофизических полей в зоне Кировоградской и Курской аномалий электропроводности // Современное состояние наук о Земле (Материалы международной конференции памяти В.Е. Хаина). М.: МГУ, 2011. С. 33–37.
4. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Обратные задачи магнитотеллурики в современной постановке // Физика Земли. 2004. №4. С. 12–29.
5. Бобачев А.А., Петрухин Б.П., Куликов В.А., Хмелевской В.К., Яковлев А.Г. Опыт применения основных электромагнитных зондирований для глубинных и региональных исследований в юго-западной части Московской синеклизы // Тезисы докладов научн. конф. «Электромагнитные исследования с контролируруемыми источниками». СПб, 1996. С. 89–90.
6. Бобров С.П. Тектоника и минерагения Калужской области и прилегающих к ней территорий. Калуга: ИП Кошелев А.Б. (Издательство «Эйдос»), 2006. 336 с.
7. Бродовой В.В., Иванов А.А. Физико-геологические модели рудных объектов Калужской рудоносной области // Геофизика. М., 2004. №6.
8. Бродовой В.В., Иванов А.А. Магнитные исследования при изучении геологического строения и перспектив Северо-Калужского железорудного узла // Изв. вузов. Геология и разведка. 2005. №2.
9. Варенцов И.М., Алексанова Е.Д., Баглаенко Н.В. и др. Массивсинхронных МТ/МВ зондирований KIROVOGRAD: первые модели 2D-инверсии // V Всероссийская школа-семинар по ЭМ-индукции. Санкт-Петербург: СПбГУ, 2011 а. 4 с.
10. Варенцов И.М., Ковачикова С., Куликов В.А., Логвинов И.М. и др. Изучение коровых аномалий электропроводности на западном склоне Воронежской антеклизы методом синхронного электромагнитного зондирования // Международная конференция «Современное состояние наук о Земле» памяти В.Е. Хаина (Расширенные тезисы). М.: МГУ. 2011 б. 5 с.
11. Варенцов И.М., Ковачикова С., Куликов В.А., Логвинов И.М., Трегубенко В.И., Яковлев А.Г., Рабочая группа KIROVOGRAD. Синхронные МТ и МВ зондирования на западном склоне Воронежского массива // Геофизический журнал. 2012. Т. 34. №4. С. 90–107.
12. Mackie R.L., Rieven S. and Rodi W. Users manual and software documentation for two-dimensional inversion of magnetotelluric data. November 12, 1997.

РЕЦЕНЗЕНТ – доктор технических наук И.А. Безрук

**ОБ АВТОРАХ****КУЛИКОВ**

**Виктор Александрович**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончил геологический факультет МГУ в 1991 г. Автор более 40 научных работ.*

**АЛЕКСАНОВА**

**Елена Дмитриевна**

*Ведущий геофизик ООО «Северо-Запад». Окончила геологический факультет МГУ в 2000 г.*

**ВАРЕНЦОВ**

**Иван Михайлович**

*Кандидат физико-математических наук. Директор Центра геоэлектромагнитных исследований Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (ЦГЭМИ*

*ИФЗ РАН). Автор более 100 научных работ.*

**ЛОЗОВСКИЙ**

**Илья Николаевич**

*Магистрант кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.*

**ПУШКАРЕВ**

**Павел Юрьевич**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончил геологический факультет МГУ в 1998 г. Автор более 40 научных работ.*

**СОКОЛОВА**

**Елена Юрьевна**

*Кандидат физико-математических наук. Ведущий научный сотрудник ЦГЭМИ ИФЗ РАН. Окончила геологический факультет МГУ в 1979 г. Автор более 40 научных работ.*

**ШУСТОВ**

**Николай Львович**

*Научный сотрудник кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончил геологический факультет МГУ в 1991 г.*

**ЯКОВЛЕВ**

**Андрей Георгиевич**

*Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры геофизики геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Окончил геологический факультет МГУ в 1981 г. Автор более 80 научных работ.*

**ЛОГВИНОВ**

**Игорь Михайлович**

*Ведущий научный сотрудник Института геофизики НАНУ им. С.И. Субботина (Киев, Украина), пионер советских магнитовариационных исследований, один из открывателей Кировоградской аномалии электропроводности.*

**ТАРАСОВ**

**Виктор Николаевич**

*Старший научный сотрудник Института геофизики НАНУ им. С.И. Субботина (Киев, Украина), активный исследователь геоэлектрического строения Украины и Антарктиды.*