

**КОРОВЫЕ АНОМАЛИИ ГЛУБИННОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ
ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА****В. Н. Груздев, В. И. Жаворонкин***Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 24 декабря 2014 г.

Аннотация: магнитовариационные исследования показали, что локальные аномалии электропроводности литосферы ВКМ пространственно и генетически связаны с активными глубинными разломами. Проводящие аномалиеобразующие объекты обусловлены либо образованиями, выполняющими наложенные структуры, либо интенсивной насыщенностью высокоминерализованным флюидом области дилатансии в зонах глубинных разломов.

Ключевые слова: магнитовариационные исследования, Воронежский кристаллический массив, электропроводность, глубинные разломы.

**DEEP CRUSTAL ANOMALIES OF THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY
FOR THE VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF**

Abstract: magneto-variances sounding have shown that local anomalies of electrical conductivity of the VCM lithosphere spatially or genetically related to active faults systems. Anomalous conductive objects are either entities that perform the imposed structure, or intense saturation of the highly mineralized fluids in the dilatant zones of the deep faults.

Keywords: magneto-variances sounding, Voronezh crystalline massif, electrical conductivity, deep faults.

Введение

Изучение глубинной электропроводности Воронежского кристаллического массива (ВКМ) методом магнитовариационных исследований (МВИ) проводилось коллективом сотрудников Воронежского государственного университета (В.М. Максимов, В.Н. Груздев, С.Н. Закутский, В.И. Жаворонкин и др.) начиная с 1965 г. Накопленный фактический материал изложен в многочисленных публикациях и обобщен в [1]. Одним из основных результатов этих исследований явилось выявление в коровом сегменте ВКМ ряда локальных аномальных зон повышенной электропроводности – Обо-янской, Тамбовской, Павловской, Губкинской и др., обладающих различными пространственными и физическими характеристиками [1–3 и др.]. Объективность их существования подтверждена последующими комплексными исследованиями сотрудников кафедры геофизики ВГУ, а также данными магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, выполненных различными организациями в пределах периферийных частей массива [4–6].

Подобные геоэлектрические неоднородности в консолидированной коре на глубинах 5–15 км установлены по данным магнитотеллурических и магнитовариационных исследований во многих регионах Земли. В частности, на Балтийском [7, 8], Канадском [9] и Украинском [8, 10] щитах, в Южной Африке [11,

12], на Австралийской платформе [13] и др.

Выявление и изучение подобных аномальных структур земной коры важно не только с целью познания эволюции и строения региона, но и с позиций рудогенеза [14 и др.] и глубинного нефтегазообразования [15].

Исходные данные и методика исследований

При выявлении и изучении зон аномальной проводимости использовались результаты магнитовариационных наблюдений в 69 пунктах, неравномерно расположенных на территории ВКМ. Пространственное положение пунктов наблюдений выбиралось с учетом простирания различных структурно-тектонических блоков ВКМ, а также особенностей проводимости осадочного чехла и поверхности консолидированного фундамента. Расстояния между ними колебались в пределах от 20–30 км до 300 км. Регистрация геомагнитных вариаций осуществлялась синхронно в одном базисном и нескольких рядовых пунктах.

В аналитической части исследования использованы данные магнитотеллурических зондирований, выполненных в разные годы С. Н. Закутским и обобщенные им в [16].

В процессе геологической интерпретации авторы опирались на схему геологической эволюции региона, изложенную в [17, 18 и др.], в качестве картографи-

ческой основы приняты фондовые материалы разных авторов.

Методика интерпретации данных МВИ в условиях ВКМ детально описана в [1]. В данной работе отметим только те ее положения, которые отражают процесс выявления локальных коровых неоднородностей.

Для анализа экспериментального материала на первом этапе применялся метод расчета векторов индукции, предложенный Н. Wiese [19]. При этом использовались временные реализации, содержащие импульсы «бухтообразных» возмущений ($T=1800-3600$ с) и длиннопериодных пульсаций ($T=180-300$ с) при различных направлениях поляризации первичного поля. В результате была получена информация о наличии аномалий геомагнитных вариаций, в частности, выделены и протрассированы их оси. Выявленная зависимость коэффициентов линейной связи между компонентами поля от направления его поляризации, и частотная зависимость модуля и направления векторов индукции указывают на неоднородность строения осадочного чехла и верхней части кристаллического фундамента, а также на наличие трехмерных проводящих зон в земной коре.

Для получения информации о параметрах проводящих зон был выполнен анализ геомагнитных вариаций в частотной области. По максимальным комплексным амплитудам фильтрованных компонент поля рассчитаны комплексные передаточные функции по методике U. Schmucker [20]. Последние позволили дать качественную характеристику латеральным геоэлектрическим неоднородностям в недрах Земли [21].

Методика регистрации компонент геомагнитного поля позволила синхронизировать наблюдения по всем пунктам путем расчета передаточных функций. На их основе для конкретных интервалов периодов ($T=180-300$ с, и $T=1800-5400$ с) рассчитывались синхронные амплитуды H_x -, H_y -, H_z -компонент геомагнитного вариаций для всей территории ВКМ, с частичным выходом на сопряженные структуры, а также для отдельных профилей, секущих основные структурные элементы ВКМ [22]. Синхронизация компонент поля дала возможность выполнить разделение наблюдаемого геомагнитного поля на нормальную, аномальную, поверхностную и глубинную части.

В качестве нормальной геоэлектрической модели консолидированной части земной коры и верхней мантии ВКМ принята обобщенная градиентная модель докембрийской Восточно-Европейской платформы, скорректированная для данного региона. Эта модель построена на основе всех имеющихся данных о геологическом строении и тектоническом развитии региона, вещественном составе и температурном режиме недр, с привлечением результатов глобального магнитовариационного зондирования. Градиентная модель аппроксимирована горизонтально-слоистой моделью с постоянными значениями ρ в пределах отдельных слоев. Для территории ВКМ было принято, что верхний 9 км слой более проводящий, по сравнению с Восточно-Европейской платформой в целом. Это подтверждено данными методов ТТ, ВЭЗ, опро-

бования результатов бурения.

Для получения распределения параметра электропроводности с глубиной было выполнено разделение наблюдаемого поля в двумерном и трехмерном вариантах (в зависимости от характера аномалии) на нормальную, аномальную, поверхностную и глубинную части. Для разделения наблюдаемого поля в двумерном варианте по профилям в априори задавалась однородная геоэлектрическая модель вдоль оси перпендикулярной направлению профиля, нормальный геоэлектрический разрез ВКМ, суммарная продольная проводимость осадочного чехла, а также предполагалось, что модель возбуждается Е-поляризованным полем, обусловленным сторонним током локализованным в непроводящей атмосфере. Наблюдаемое полное поле подвергалось пространственному Фурье-преобразованию, в результате которого определялись комплексные спектры поля. По параметрам нормальной горизонтально-слоистой модели рассчитывались нормальные спектральные импедансы, которые использовались для разделения полного поля на составные части [1].

Для разделения поля в трехмерном варианте использовались видимые амплитуды H_x -, H_y - и H_z -компонент, которые предварительно были синхронизированы путем расчета передаточных функций. Направление поляризации первичного поля выбрано северо-восточное, та как при этом наблюдается максимальное проявление аномального эффекта. Геомагнитное поле, зарегистрированное в базисном пункте вдали от аномальной зоны, было принято за нормальное поле [22].

Разделение аномального поля на поверхностную и глубинную части осуществлялось на спектральном уровне с привлечением дополнительной информации о нормальном электрическом поле и проводимости осадочного чехла. Осадочный чехол аппроксимировался пленкой Прайса-Шейнмана с поверхностной проводимостью $S(x)$, меняющейся только в направлении профиля.

Характеристика электропроводности верхней части коры до глубины 3 км дана на основе распределения нормированного электрического поля по данным метода теллурических токов ($T < 90$ сек). Распределение сопротивления осадочного чехла и приповерхностной части кристаллического фундамента получено по данным ВЭЗ и ДЭЗ.

Результаты интерпретации геофизических данных

По характеру поведения действительных векторов Визе, комплексных векторов индукции и возмущения Шмукера (рис. 1), распределения синхронизированных амплитуд компонент поля для различных периодов и направлений поляризации первичного поля на территории ВКМ и сопредельных структур (рис. 2) отмечается несколько зон аномального поведения геомагнитного поля.

При северо-восточной поляризации для бухтообразных возмущений и длиннопериодных пульсаций геомагнитное поле имеет наиболее выраженный

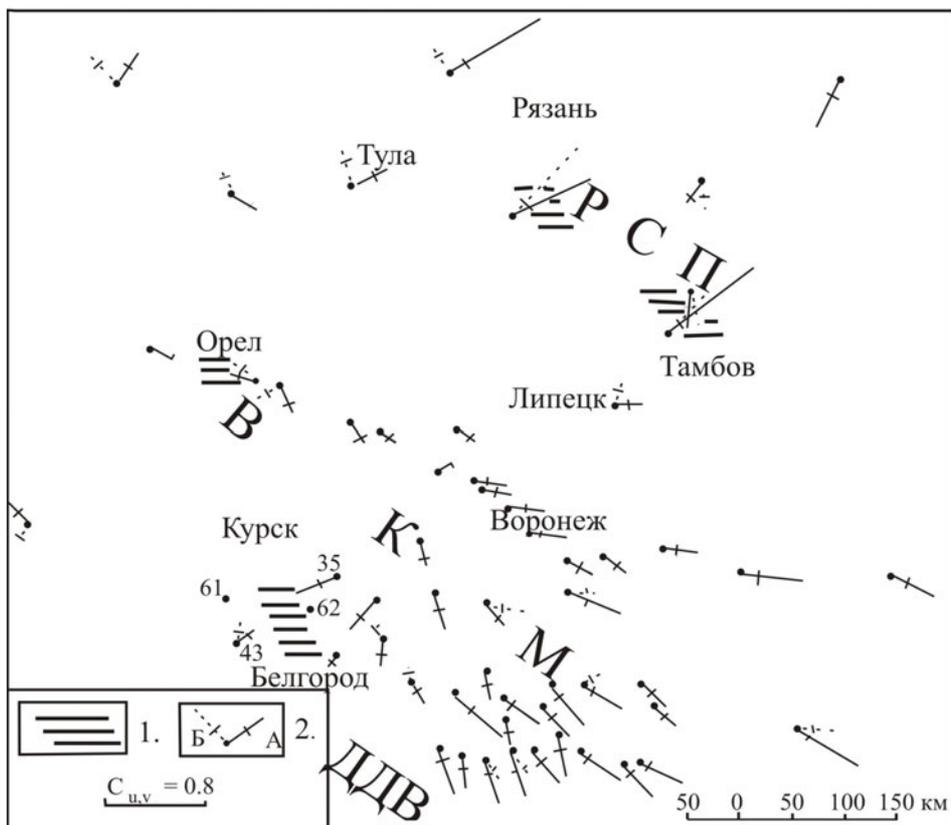


Рис. 1. Карта векторов индукции Шмукера ($T = 1800$ с). Условные обозначения: 1 – зоны электропроводности; 2 – вектор индукции с радиусом достоверности: А – действительная часть; В – мнимая часть.

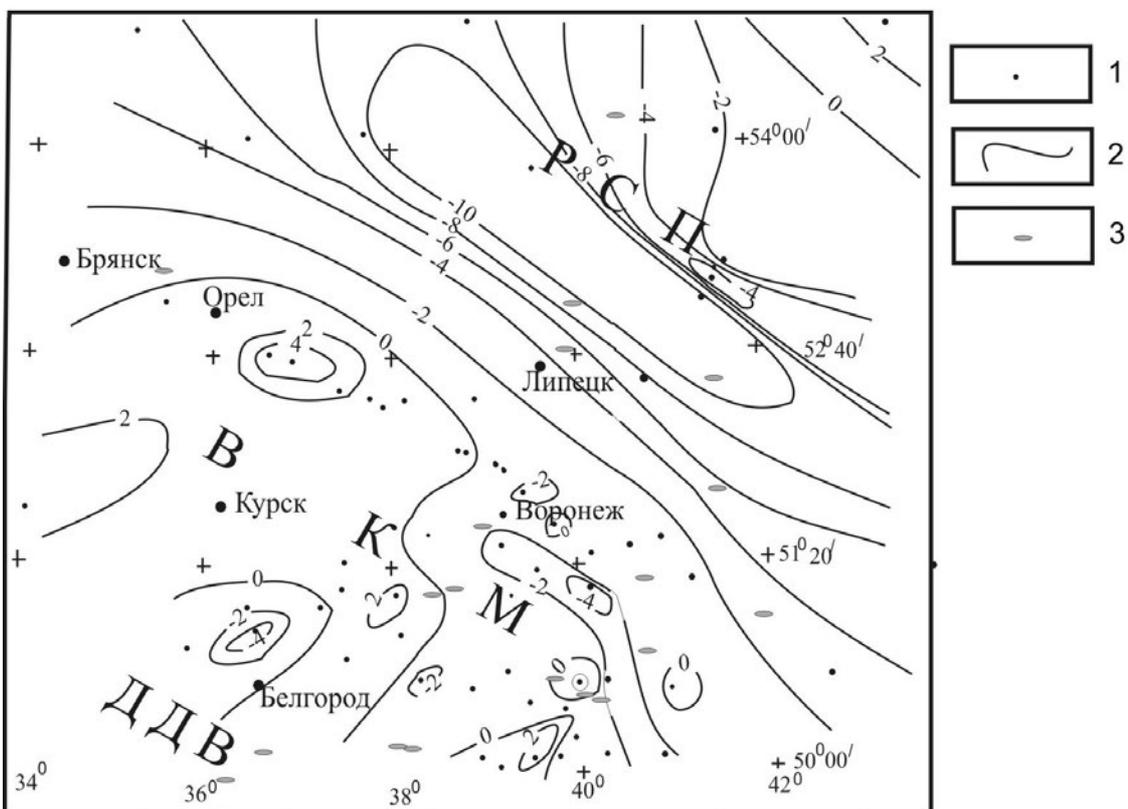


Рис. 2. Карта амплитуд H_z -компонента при северо-восточной поляризации первичного поля ($T = 300$ с). Условные обозначения: 1 – пункты наблюдения; 2 – изолинии напряженности поля в нТл; 3 – эпицентры землетрясений.

аномальный характер поведения. В пределах мегаблока КМА, за исключением его юго-восточной части, отмечается региональное положительное поле в H_z -компоненте (1–2 нТл) и в H_x -компоненте (8–10 нТл). Все остальные крупные структуры ВКМ характеризуются отрицательным полем H_z -компонента, интенсивность которого плавно растет по модулю от свода ВКМ в сторону Рязано-Саратовского прогиба (РСП), достигая величины 10–12 нТл на их сочленении. Амплитуда H_x -компонента плавно растет в направлении РСП до величин 16–18 нТл. На фоне регионального изменения поля выделяются локальные аномальные зоны изометрической формы, которые приурочены к зонам разломов различного порядка и сочленениям структурно-тектонических блоков ВКМ.

В пределах аномальных зон были построены геоэлектрические разрезы с использованием результатов двумерного моделирования поля при заданных нормальном геоэлектрическом разрезе и распределении суммарной электропроводности осадочного чехла.

Характерной особенностью геоэлектрических разрезов для ВКМ является наличие более проводящего верхнего горизонта, обладающего сопротивлением 2000 Ом·м, и четко выраженных аномальных проводящих зон, в пределах которых удельное сопротивление уменьшается до 10–800 Ом·м.

В районе г. Обояни зафиксирована локальная глубинная проводящая зона, которая создает Обоянскую аномалию геомагнитных вариаций, зарегистрированную в 6 пунктах наблюдения. Неколлинеарность мнимой и действительной частей векторов индукции и возмущения в 2 пунктах, а также распределение синхронных амплитуд различных компонент, указывает на трехмерный характер распределения аномального поля (рис. 1). Аномалия в плане имеет размеры в поперечнике до 150 км и выделяется по четкой инверсии H_z -компонента и одновременном увеличении амплитуды H_x -компонента на 44 %. В общем плане интенсивность поля в аномальной зоне на 30–40 % превышает нормальный фон. Глубина залегания верхней кромки Обоянской проводящей зоны – 8 км, нижней – 18 км, аномальное удельное сопротивление около 10 Ом·м; аномальная суммарная электропроводность более 1000 См (рис. 3). Проводящая зона пространственно совпадает с глубинным разломом [23] и коррелируется с региональной положительной аномалией магнитного поля.

Глубинная проводящая зона по геомагнитным вариациям фиксируется в крайней северо-западной части региона в районе г. Железнодорожска (рис. 4). Она регистрируется при северо-восточном и северо-западном направлениях поляризации первичного поля и фиксируется нулевыми значениями вертикального компонента, а также увеличением амплитуды горизонтальных компонент на 20 % от нормального уровня. Возможно, эта проводящая зона является северо-западным продолжением Обоянской проводящей зоны и пространственно сопряжена с Белгород-Михайловским подвижным поясом, заложенным вдоль одноименного разлома [23]. В приведенных

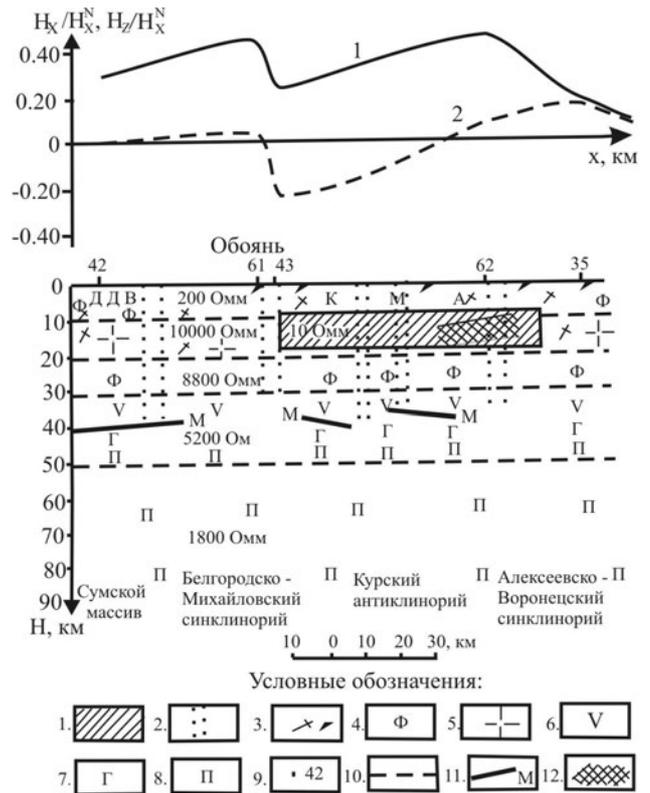


Рис. 3. Схематический геолого-геофизический разрез Обоянской глубинной проводящей зоны. Условные обозначения: 1 – проводящая зона по электромагнитным данным; 2 – глубинные разломы по сейсмическим данным; 3 – гнейсограницы, мигматиты, железистые кварциты; 4 – гнейсы; 5 – граниты; 6 – амфиболиты, габбро-амфиболиты, граниты; 7 – габбро-амфиболиты, граниты, габбро-пироксиниты; 8 – перидотиты, пироксениты, эглогитоподобные породы; 9 – пункт геомагнитного наблюдения и его номер; 10 – границы нормального горизонтально – слоистого геоэлектрического разреза; 11 – поверхность Мохоровичича; 12 – сейсмический волновод. Цифры у графиков: 1 – отношения H_x -компоненты наблюдаемого геомагнитного поля к H_x -компоненте нормального поля; 2 – отношение H_z -компоненты наблюдаемого геомагнитного поля к H_x -компоненте нормального поля.

разрезах, выполняющие наложенную синклинорную структуру породы курской и оскольской серий фиксируются не только в гравитационном и магнитном полях, но и в поле электрического сопротивления поверхности кристаллического фундамента. Снижение удельного сопротивления до первых сотен Ом·м обусловлено широким распространением интенсивно углефицированных сланцев роговской свиты.

Не менее четко фиксируется проводящая зона в центральной части ВКМ (район г. Губкина) (рис. 5). В наблюдаемом поле аномальный объект отображается нулевыми значениями Z-компоненты и увеличением не менее чем на 30 % амплитуды одной из горизонтальных компонент. На разных участках Алексеевско-Воронецкой структуры установлено еще несколько локальных проводящих объектов. По всей видимости, они представляют собой единую протяженную линейную аномалию, распадающуюся на отдельные объекты из-за нерегулярности сети наблюдений. На глубинах до 3–5 км эти зоны характеризуются повы-

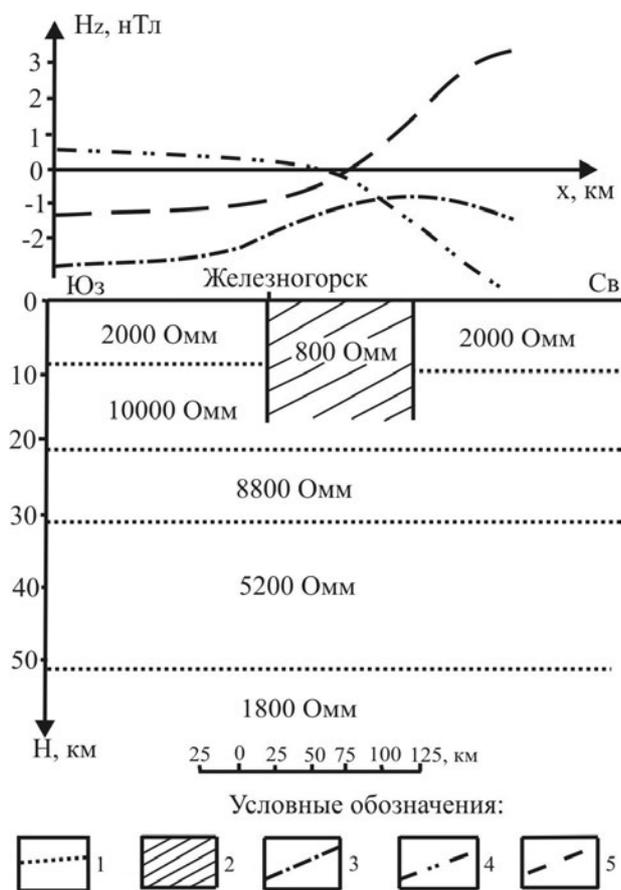


Рис. 4. Геоэлектрическая модель вдоль профиля Белополье-Железнодорожск-Мценск. Условные обозначения: 1 – границы горизонтально-слоистой нормальной геоэлектрической модели; 2 – глубинная проводящая зона ($\rho = 800 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 3 – амплитуда H_z -компонента ($T = 300 \text{ с}$) при северо-западном направлении поляризации первичного поля; 4 – амплитуда H_z -компонента ($T = 1800 \text{ с}$) при северо-восточном направлении поляризации первичного поля; 5 – амплитуда H_z -компонента ($T = 1800 \text{ с}$) при северо-западном направлении поляризации первичного поля.

шенной проводимостью ($500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$) при различных поляризациях первичного поля. Магнитовариационные данные по бухтообразным возмущениям позволяют уверенно трассировать аномальные объекты до глубины порядка 15 км. В геолого-структурном плане данная аномальная зона приурочена к Алексеевско-Воронежскому нижнепротерозойскому подвижному поясу, контролируемому глубинным разломом. В ее пределах в срезе кристаллического фундамента по данным ВЭЗ фиксируется интенсивная аномалия электропроводности, обусловленная черносланцевыми образованиями тимской свиты оскольской серии. Сопряженность с аномальной зоной эпицентров нескольких землетрясений, изменение в ее рамках скорости вертикальных движения свидетельствуют о том, что один или несколько разломов, образующих сложный тектонический узел, активны на современном этапе.

Глубинная проводящая зона установлена в районе г. Павловска на границе мегаблока КМА и Хоперского мегаблока (рис. 6). Эта зона отмечается аномальным

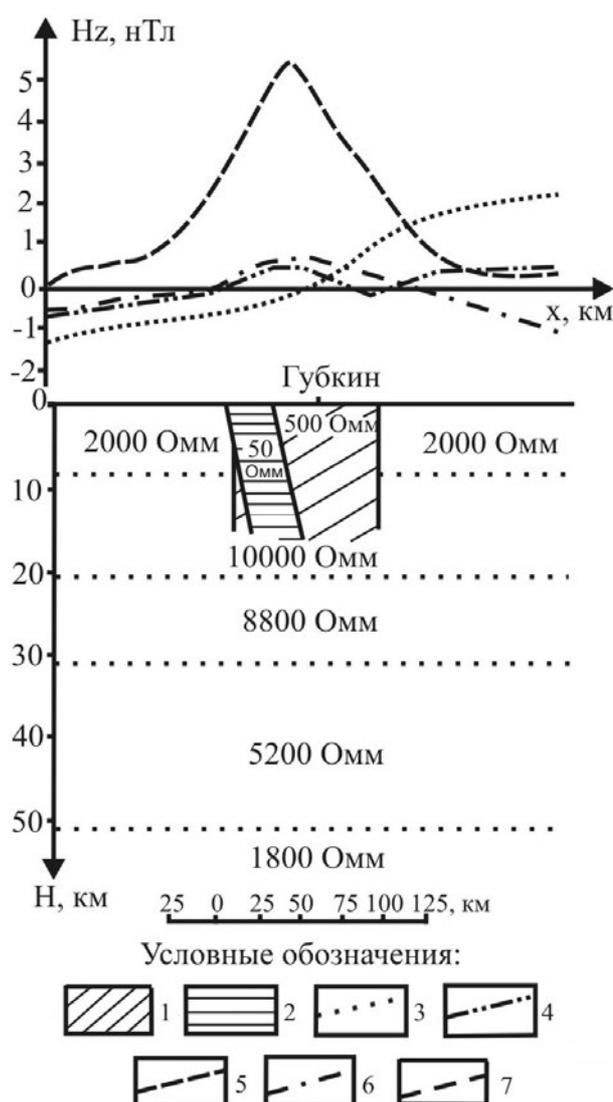


Рис. 5. Геоэлектрическая модель вдоль профиля Шебекино-Губкин-Елец. Условные обозначения: 1 – глубинная проводящая зона ($\rho = 500 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 2 – глубинная проводящая зона ($\rho = 50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 3 – границы горизонтально-слоистой нормальной геоэлектрической модели; 4 – амплитуда H_z -компонента ($T = 300 \text{ с}$) при северо-восточном направлении поляризации первичного поля; 5 – амплитуда H_z -компонента ($T = 1800 \text{ с}$) при северо-западном направлении поляризации первичного поля; 6 – амплитуда H_z -компонента ($T = 300 \text{ с}$) при северо-западном направлении поляризации первичного поля; 7 – амплитуда H_z -компонента ($T = 1800 \text{ с}$) при северо-восточном направлении поляризации первичного поля.

поведением поля длиннопериодных пульсаций и бухтообразных возмущений, проявляющимся в изменении аномальной части вертикальной и горизонтальной компонент на 30 % от уровня нормального поля. Проводящая зона создает линейную аномалию северо-западного простирания, которая прослеживается на расстоянии свыше 200 км и пространственно совпадает с Лосевской шовной зоной, ограниченной с востока Лосевско-Мамонским глубинным разломом. В приразломной части эта зона представляет собой наложенную либо приразломную структуру, выполненную породами лосевской серии. В пределах выяв-

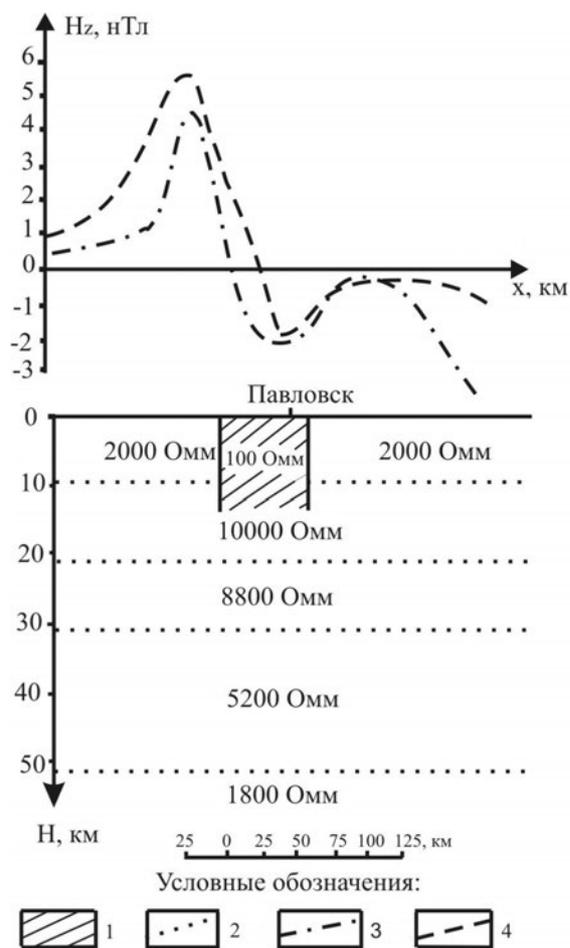


Рис. 6. Геоэлектрическая модель вдоль профиля Айдар-Павловск–Новохоперск. Условные обозначения: 1 – глубинная проводящая зона ($\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$); 2 – границы горизонтально-слоистой нормальной геоэлектрической модели; 3 – амплитуда H_z -компонента ($T=300 \text{ с}$) при северо-восточном направлении поляризации первичного поля; 4 – амплитуда H_z -компонента ($T=300 \text{ с}$) при северном направлении поляризации первичного поля.

ленной аномалии происходит резкое снижение электрического сопротивления приповерхностной части кристаллического фундамента до 200 и менее Ом·м. В геоэлектрических характеристиках глубоких уровней коры аномальная область не фиксируется, что связано с особенностями залегания углефицированных песчанико-сланцевых образований воронцовской серии, слагающих верхнюю часть фундамента мощностью в несколько км и залегающих на высокоомных ниже- и верхнеархейских породах. В непосредственной близости от аномальных зон установлено несколько эпицентров землетрясений, что свидетельствует об активности современных тектонических процессов в этой части региона. Эти процессы фиксируются также изменением направления вертикальных движений земной коры и снижением степени ее разуплотненности.

Природа коровых аномалий ВКМ

Анализ вертикального распределения аномальных электромагнитных полей в разрезе земной коры ВКМ показывает, что многие из аномалиеобразующих объ-

ектов можно разделить на две части – приповерхностную (до глубин 3–5 км) и глубинную. Природа повышенной проводимости разных уровней аномальных зон обусловлена различными факторами, являющимися производными единого процесса значительно растянутого во времени.

Выше отмечалось, что аномальные объекты пространственно тяготеют к крупным синклинным зонам, представляющим собой межблоковые наложенные структуры, выполненные нижнепротерозойскими вулканогенно-осадочными образованиями. В разрезе некоторых из них, в значительном объеме присутствуют либо породы карбонатно-терригенно-углеродистой, либо черносланцевой формаций. Участки развития этих образований фиксируются резким падением электрического сопротивления как в верхней части кристаллического фундамента (до 500 и менее Ом·м), так и на глубинах до 5 км (до 100 Ом·м). Таким образом, приповерхностная составляющая подобных проводящих аномальных зон обусловлена вещественными особенностями геологического разреза земной коры.

Природа электромагнитной аномалии в области Лосевско-Мамонского глубинного разлома не столь однозначна. С одной стороны, она может истолковываться спецификой вулканогенно-осадочных образований, выполняющих узкую наложенную структуру, с другой, что более вероятно, аномальный эффект может вызываться увеличением плотности тока на границе блоков с различными электрическими параметрами. Именно вдоль Лосевско-Мамонского разлома проходит граница между структурами Лосевской шовной зоны, сложенными, в основном, высокоомными образованиями, и Липецко-Волгоградской эпикратонной впадиной, верхняя часть разреза которой на данном участке характеризуется повышенной проводимостью.

Природа зон аномально высокой электропроводности средних и нижних горизонтов земной коры в значительной степени дискуссионна. К настоящему времени сформировалось два основных подхода к истолкованию их генезиса [8 и др.].

Один из них – электронно-проводящая концепция, предполагает присутствие графита и сульфидно-углеродистых образований на этих глубинах [24]. Они, благодаря высокой электропроводности, выполняют роль коллекторов для токов искусственного и естественного происхождения и, таким образом, определяют особенности регистрируемых электромагнитных полей.

На наш взгляд более логичной и обоснованной применительно к платформенным условиям является вторая – флюидная, концепция, существующая в нескольких вариантах. Возможность ее использования для истолкования аномалий электропроводности ВКМ детально рассмотрена нами в [3, 25]. Основные положения нашего подхода сводятся к следующему.

Повышение электропроводности в глубинных горизонтах земной коры связано с наличием в них высокоминерализованных водных флюидов. Источник их в кристаллической коре может быть разнообразным. Флюиды могут являться продуктами таких хо-

рошо изученных процессов как дегазация мантии или дегидратация минералов в основании коры, либо результатом декрипитации газово-жидких включений в породообразующих минералах [26]. Для целей данного исследования генезис его не важен, важно то, что в пределах средней и нижней коры существует потенциальный проводник тока, наличие которого подтверждено результатами сверхглубокого бурения.

По оценке Л.Л. Ваньяна [27] медленно мигрирующие сквозь плохо проводящую покрывку растворы могут существовать в средней части земной коры несколько десятков миллионов лет. По данным [28] вода в изолированных пустотах консолидированной коры может сохраняться в течение более 1 млрд лет благодаря низкой проницаемости метаморфической толщи и большому числу изолированных пустот в ней. Таким образом, образовавшиеся в процессе эволюции Земли жидкие высокоминерализованные флюиды сохраняются в "законсервированном" виде на протяжении значительного промежутка времени. Зоны максимальной концентрации их в микротрещинах разнообразным образом отображаются в результатах глубинных сейсмических исследований (волноводы) и комплексного моделирования литосферы ("хрупкое окно" в нижней коре по [29]).

Однако, наличия потенциального проводника электрического тока в изолированных пустотах для формирования интенсивных локальных аномалий электропроводности недостаточно. Необходимы сообщающиеся каналы, в которых заключается электропроводящее вещество, так как замкнутые микротрещины, даже в значительной степени насыщенные высокоминерализованным флюидом, не могут оказывать существенного влияния на электропроводность земной коры.

Оптимальные условия для формирования локальных приводящих зон в полной мере существуют в зонах разломов. Именно в них возникают предельные напряжения, при которых процессы дилатансии [30] достигают максимума и реализуются в виде зон скальвания [31]. В последних наиболее разуплотнены и, тем самым, наиболее проницаемы зоны сколов и прилегающие к ним деформационные полосы. Из вертикальной зональности разломов следует, что в зонах скальвания области интенсивного дилатансионного разуплотнения могут достигать глубин в первые десятки км. Таким образом, в зонах разломов и на глубинах более 10 км могут существовать мощные коллекторы для высокоминерализованного водного флюида. Причем, морфология разломных зон на глубинных горизонтах такова, что насыщенные растворы могут достаточно активно мигрировать вдоль них на значительные расстояния.

Безусловно, природа коровых аномалий еще долгое время будет вызывать дискуссию. Однако, уже на этом этапе их исследования, приверженцы обеих концепций сходятся в том, что исследуемые объекты имеют важное металлогеническое значение. В частности, активно развивающий первую из них А.А. Жамалетдинов [8], исходя из повсеместной приурочен-

ности рудных месторождений к областям широкого развития электронно-проводящих пород – углеродистых и сульфидно-углеродистых, приходит к выводу о важном рудоконтролирующем значении коровых проводников. Приверженцы второй концепции – флюидной, считают, что аномалии электропроводности, являясь зонами проявления геодинамических и сопутствующих им процессов, связаны с процессами рудогенерации [8, 14 и др.]. К интересному выводу пришел А.Н. Дмитриевский [15] показавший, что коровыми аномалиями электропроводности, обусловленными, по его мнению, процессами дилатансии, фиксируются процессы, способствующие генерации и транспортировке углеводородов как глубинного, так и органического генезиса. Близкая по смыслу идея применительно к ВКМ изложена в [32].

Результаты наших исследований Воронежского массива показывают приуроченность выявленных аномальных зон к разломам, а некоторых из них к тектоническим узлам, представляющим собой области пересечения нескольких разломов. Поскольку с этими структурами пространственно и генетически связано абсолютное большинство рудных месторождений ВКМ [32, 33 и др.], то коровые аномалии электропроводности являются важным объектом при металлогенических и поисковых исследованиях в пределах региона.

Выводы

1. В пределах корового сегмента Воронежского кристаллического массива по данным магнитовариационных исследований установлены зоны аномально высокой электрической проводимости. Результаты моделирования позволили определить геометрические и физические параметры аномалиеобразующих объектов.

2. Аномалии электропроводности, выявленные в пределах ВКМ на различных уровнях земной коры, обусловлены объектами разной природы. Приповерхностные аномалии связаны со спецификой петрологических ассоциаций, выполняющих наложенные структуры. Среднекоровые аномалии обусловлены наличием высокоминерализованного флюида в открытых порах, генетически связанных с процессами дилатансии в зонах глубинных разломов.

3. Локальные электропроводящие объекты в земной коре пространственно и генетически связаны с унаследовано развивающимися глубинными разломами и обусловлены геологическими процессами, протекающими в них. Существует тесная взаимосвязь между коровыми аномалиями и рудогенезом, а возможно, и с процессами генерации углеводородов.

4. Аномальные зоны в пределах консолидированной коры являются уникальными геолого-геофизическими объектами, представляющими интерес для решения прикладных и фундаментальных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Груздев, В. Н. Электропроводность территории ВКМ и сопредельных регионов / В. Н. Груздев // Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 89–154.
2. Максимов, В. М. О результатах магнитовариационных иссле-

- дований в южной части Воронежского кристаллического массива (ВКМ) / В. М. Максимов, В. Н. Груздев, В. И. Жаворонкин // V Всеобщая школа-семинар по электромагнитным зондированиям. Тез. докладов. – Киев: Наукова думка, 1978. – С. 87.
3. Жаворонкин, В. И. Структура литосферы Воронежского массива вдоль профиля Брянск–Павловск по данным глубинных электромагнитных исследований / В. И. Жаворонкин, В. Н. Груздев // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1996. – № 2. – С. 190–194.
 4. Алексанова, Е. Д. Глубинные аномалии электропроводности в северной части Воронежской антеклизы / Е. Д. Алексанова [и др.] // Геофизика. – 2013. – № 2. – С. 31–37.
 5. Варенцов, Ив. М. Склон Воронежского кристаллического массива (геофизика, глубинные процессы) / Ив. М. Варенцов, В. В. Гордиенко, И. В. Гордиенко [и др.]. – Киев: Логос, 2013. – 118 с.
 6. Логвинов, И. М. Геоэлектрические исследования юга Воронежского кристаллического массива / И. М. Логвинов [и др.] // Геофизический журнал. – 2014. – № 2. – С. 75–84.
 7. Ковтун, А. А. Строение коры и верхней мантии на северо-западе Восточно-Европейской платформы / А. А. Ковтун. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1989. – 284 с.
 8. Жамалетдинов, А. А. Электропроводность земной коры территории России и сопредельных стран / А. А. Жамалетдинов // Вопросы геофизики. – Вып. 39. – СПб., 2006. – С. 69–90.
 9. Dowling, F. L. Magnetotelluric measurements across the Wisconsin Arch / F. L. Dowling // J. Geophys. Res. – 1970. – Vol. 75. – № 14. – P. 2683–2698.
 10. Рокитянский, И. И. Исследования аномалий электропроводности методом магнитовариационного профилирования / И. И. Рокитянский. – Киев: Наукова думка, 1975. – 279 с.
 11. Van Zijl, J. S. V. A crystal geoelectric model for South African Precambrian granite terrains based on deep Schlumberger soundings / J. S. V. Van Zijl, S. A. Joubert // Geophys. – 1975. – Vol. 40. – № 4. – P. 657–663.
 12. Khoza, T. D. Lithospheric structure of an Archean craton and adjacent mobile belt revealed from 2-D and 3-D inversion of magnetotelluric data: Example from southern Congo craton in northern Namibia / T. D. Khoza, A. G. Jones, M. R. Muller [et al.] // J. of Geophys. Res. – 2013. – V. 118. – P. 1–20.
 13. Lilley, F. E. M. The Carpentaria electrical conductivity anomaly, Queensland, as a major structure in the Australian Plate / F. E. M. Lilley, L. J. Wang [et al.] // GSA Monograph. – 2001. – 201. – P. 1–16.
 14. Шеремет, Е. М. Аспекты генетической связи оруденения Кировоградского рудного района (КРР) с глубинными аномалиями повышенной электропроводности / Е. М. Шеремет, И. Ю. Николаев, Н. Г. Агаркова, Т. К. Бурахович // Наукові праці УкрНДМІ НАН України. – № 13, Ч. II. – 2013. – С. 265–284.
 15. Дмитриевский, А. Н. Инновационное развитие нефтяной и газовой промышленности России / А. Н. Дмитриевский // Бурение и нефть. – 2012. – № 1. – С. 3–12.
 16. Закутский, С. Н. О результатах магнитотеллурического зондирования / С. Н. Закутский // Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 155–165.
 17. Чернышов, Н. М. Геодинамическая модель формирования ВКМ в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов, Ю. Н. Стрик, И. П. Лебедев // Геотектоника. – 1997. – № 3. – С. 21–33.
 18. Чернышов, Н. М. Краткий очерк геологического строения Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов // Литосфера Воронежского кристаллического массива по геофизическим и петрофизическим данным. – Воронеж: Научная книга, 2012. – С. 8–20.
 19. Wiese, H. Geomagnetische Tiefentelluric / H. Wiese. – Berlin: Deutsche Akad. Wiss., 1965. – 146 p.
 20. Schmucker, U. A spherical harmonic analysis of solar daily variations in the years 1964–1965: response estimates and source field for global induction. – I. Methods / U. Schmucker // Geophys. J. Int. – 1999. – Vol. 136. – P. 439–454.
 21. Груздев, В. Н. Анализ структуры поля геомагнитных вариаций в пределах ВКМ методом группового учета аргументов / В. Н. Груздев, О. М. Муравина, А. С. Сапранова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2012. – № 1. – С. 182–188.
 22. Груздев, В. Н. Электропроводность осадочного чехла и консолидированного фундамента ВКМ / В. Н. Груздев // Вопросы теории и практики геологической интерпретации гравитационных, магнитных и электрических полей: материалы 40-й сессии Междунар. семинара им. Д. Г. Успенского. – М.: ИФЗ РАН, 2013. – С. 120–125.
 23. Серебряков, Е. Б. Системы разломов Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и их аналоги на Украинском щите / Е. Б. Серебряков, В. И. Жаворонкин // Геофизический журнал. – 1987. – № 3. – С. 12–17.
 24. Жамалетдинов, А. А. Графит в земной коре и аномалии электропроводности / А. А. Жамалетдинов // Физика Земли. – 1996. – № 4. – С. 12–29.
 25. Груздев В. Н. Геоэлектрическая модель и некоторые особенности структуры коры Воронежского кристаллического массива / В. Н. Груздев, В. И. Жаворонкин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1998. – Вып. 6. – С. 245–247.
 26. Виноградов, А. Н. Декрипитационный механизм влияния газово-жидких включений на электропроводность горных пород / А. Н. Виноградов, В. А. Тюрменов // Теория и методика глубинных электромагнитных зондирований на кристаллических щитах. Ч. 2. Матер. междунар. совещ. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2006. – С. 63–72.
 27. Ваньян, Л. Л. О природе электропроводности активизированной земной коры / Л. Л. Ваньян // Физика Земли. – 1996. – № 6. – С. 93–95.
 28. Кременецкий, А. А. Геолого-геохимические методы глубинного прогноза полезных ископаемых / А. А. Кременецкий [и др.]. – М.: Наука, 1990. – 223 с.
 29. Глазнев, В. Н. Комплексные геофизические модели литосферы Фенноскандии / В. Н. Глазнев. – Апатиты: КаЭМ, 2003. – 252 с.
 30. Brace, W. Dilatancy in fracture of crystalline rocks / W. Brace, B. W. Paulding, C. H. Scholz // Journ. Geophys. Res. – 1966. – Vol. 71. – № 16. – P. 3939–3953.
 31. Гинтов, О. Б. Дилатансионное разуплотнение кристаллических пород в центральной части Украинского щита / О. Б. Гинтов, В. М. Исая, Л. В. Исая // Докл. АН УССР. Сер. Б. – 1987. – № 12. – С. 18–21.
 32. Глазнев, В. Н. Перспективы нефтегазоносности кристаллического фундамента Воронежского массива по геолого-геофизическим данным / В. Н. Глазнев, В. И. Жаворонкин // Новые идеи в науках о Земле. IX Междунар. конф. – М., 2009. – С. 10.
 33. Жаворонкин, В. И. Роль разломов в формировании эндогенного оруденения на территории Воронежского кристаллического массива / В. И. Жаворонкин, В. Л. Бочаров, Е. Б. Серебряков // Изв. Вузов. Геол. и разведка. – 1989. – № 10. – С. 24–29.
 34. Глуховский, М. З. Прогнозирование алмазоносных кимберлитов с использованием космических снимков в пределах Воронежского кристаллического массива / М. З. Глуховский, В. М. Моралев, В. И. Жаворонкин // Исслед. Земли из космоса. – 1993. – № 6. – С. 84–93.

Воронежский государственный университет

*Груздев В.Н., доцент кафедры геофизики
E-mail: grumerr@rambler.ru; Тел.: 8(473)220-83-85*

*Жаворонкин В.И., доцент кафедрой геофизики
zhavoronkin@geol.vsu.ru; Тел.: 8(473)220-83-85*

Voronezh State University

*Gruzdev V.N., Professor assistant, geophysical department
E-mail: grumerr@rambler.ru; Tel.: 8(473)220-83-85*

*Zhavoronkin V.I., Professor assistant, geophysical department
Tel.: 8(473)220-83-85*