

УДК 550.837

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЗОНДИРОВАНИЯ ОСАДОЧНОГО ЧЕХЛА И КОНСОЛИДИРОВАННОЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ В ЗОНЕ ПЕРЕХОДА ОТ МОСКОВСКОЙ СИНЕКЛИЗЫ К ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЕ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

© 2010 г. Е. Д. Алексанова^{1,2}, Ив. М. Варенцов³, М. И. Верещагина¹, В. А. Куликов^{1,2}, П. Ю. Пушкарев¹, Е. Ю. Соколова³, Н. Л. Шустов¹, В. К. Хмелевской¹, А. Г. Яковлев^{1,2}

¹Геологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова

²ООО “Северо-Запад”, г. Москва

³ЦГЭМИ ИФЗ им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва

E-mail: vermaria@mail.ru

Поступила в редакцию 25.01.2010 г.

Рассмотрены методика и результаты электромагнитных зондирований (ЭМЗ), выполненных в зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе, в окрестности геофизической базы МГУ в д. Александровка Юхновского района Калужской области. Построены сводные кривые ЭМЗ, характеризующие комплексы слагающих осадочный чехол пород, и прослежены изменения этих комплексов в указанной зоне перехода. По результатам длительных измерений построены эталонные кривые магнитотеллурического (МТ) и магнитовариационного (МВ) зондирования в точке наблюдения ALX, расположенной на геофизической базе МГУ. В результате интерпретации МТ данных, полученных в регионе, построены карты мощности и суммарной продольной проводимости осадочного чехла. В пределах Воронежской антеклизы выделен проводник в консолидированной земной коре. Перспективы дальнейших исследований региона связаны с прослеживанием корового проводника в пределах Воронежской антеклизы, а также с созданием на геофизической базе МГУ обсерватории с целью проведения длительных измерений электромагнитного (ЭМ) и других геофизических полей.

ВВЕДЕНИЕ

Московская синеклиза и Воронежская антеклиза являются крупнейшими тектоническими структурами Восточно-Европейской платформы. В области их сочленения граница между осадочным чехлом и метаморфическим фундаментом плавно погружается с юга на север. На расстоянии порядка 100 км ее глубина увеличивается от 500 до 1200 м. Такая мощность осадков, с одной стороны, не дает оснований ожидать перспектив нефтегазоносности, характерных для более глубоких осадочных бассейнов. С другой стороны, здесь оказывается неэффективной добыча твердых полезных ископаемых, присутствующих в фундаменте. Поэтому практический интерес к подобным переходным зонам невелик и изучены они относительно слабо.

Исследования значительной части указанной области осложнены высоким уровнем промышленных ЭМ помех – самыми яркими их источниками являются электрифицированные (на постоянном токе) железные дороги Москва–Вязьма и Москва–Сухиничи. Кроме того, существенное искажающее влияние оказывают электрифицированные дороги на переменном токе, многочисленные магистральные трубопроводы, мощные линии электропередачи.

В то же время, рассматриваемая переходная зона благоприятна для оценки современных возможностей методов ЭМ зондирований при изучении осадочного чехла и консолидированной земной коры. Здесь происходит плавное выклинивание осадочного чехла, причем не всех его слоев равномерно, что порождает существенные неоднородности структуры ЭМ поля. При уменьшении мощности высокоомного комплекса в средней части осадочного чехла возникает гальваническая связь между его верхней и нижней низкоомными частями, а при выклинивании нижних осадочных слоев, обеспечивающих основную часть интегральной проводимости чехла, возрастают ЭМ отклики, связанные с токами, текущими в глубинных коровых проводящих структурах. В этих условиях можно плодотворно изучать и сопоставлять разрешающую способность различных модификаций ЭМ зондирований.

Западный склон Воронежской антеклизы, характеризующийся однородно низкой продольной проводимостью осадков [Шейнкман и др., 2003], представляется удобным “окном” для изучения глубинной геоэлектрической структуры земной коры и верхней мантии. Для этого, однако, требуется достаточно сложная система электромагнитных зондирований, включающая опорные глубинные

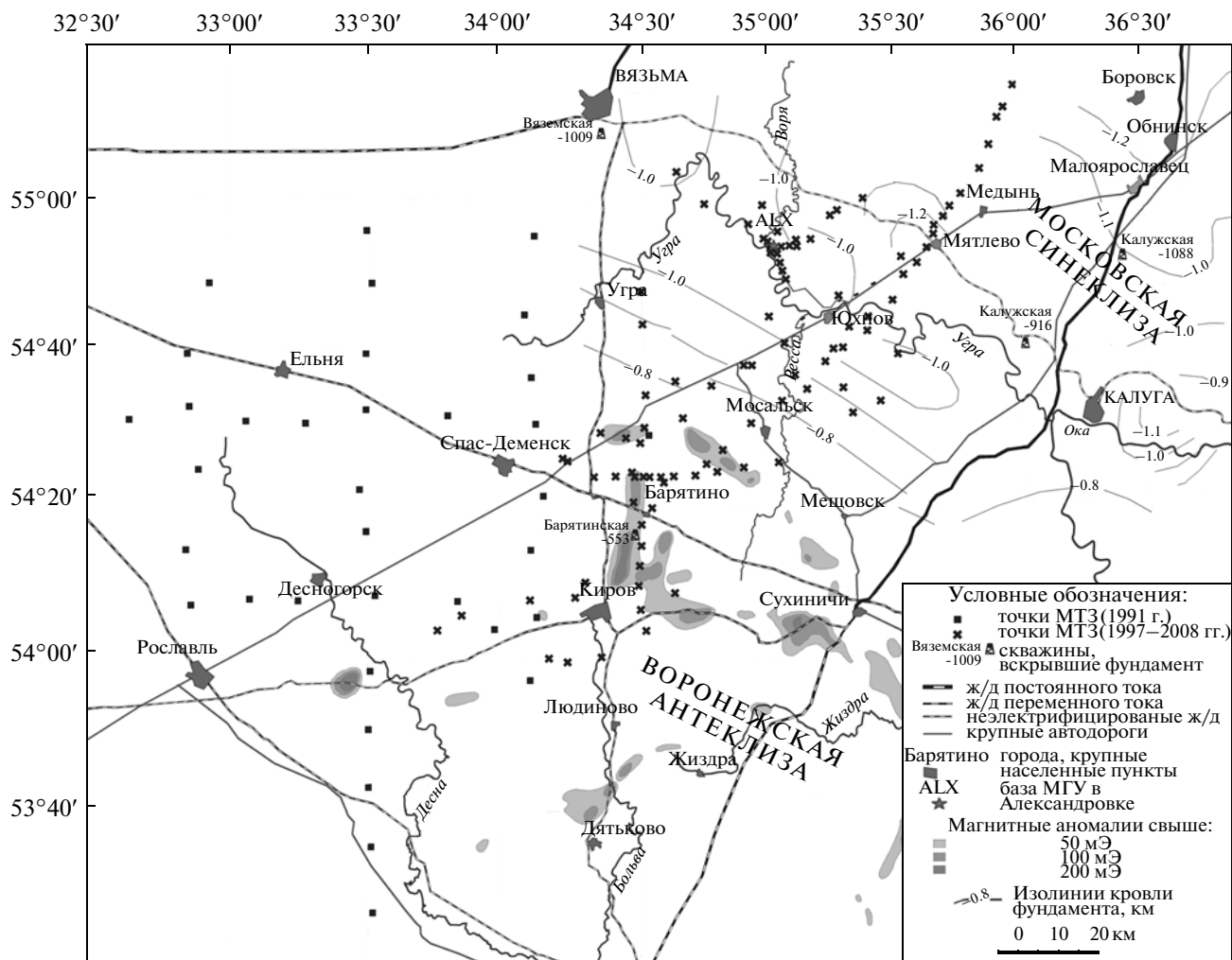


Рис. 1. Схема района исследований.

зондирования и более плотную сеть наблюдений для контроля изменчивости приповерхностной проводимости. При этом для борьбы с интенсивными промышленными ЭМ помехами существенно проведение синхронных зондирований.

В настоящей статье обобщаются результаты большой серии ЭМ зондирований, выполненных Геологическим факультетом МГУ и ООО “Северо-Запад” в достаточно широкой окрестности геофизической базы МГУ в д. Александровка Юхновского района Калужской области. Полевые исследования проводились в ходе учебно-производственных практик студентов-геофизиков МГУ, РГГРУ и Университета “Дубна”, а также в ходе геофизических работ в окрестности Смоленской АЭС (рис. 1). Идея включения в программу студенческих практик реальных научных экспериментов, актуальных для изучения региональной геоэлектрической структуры, оказалось весьма плодотворной. Ниже представлены результаты различных методов электромагнитного зондирования (ЭМЗ): магнитотеллури-

ческого (МТЗ), частотного (ЧЗ), становлением поля в ближней зоне (ЗСБ), дипольного электрического (ДЭЗ) и вертикального электрического (ВЭЗ). Обсуждаются перспективы дальнейших ЭМ исследований в окрестности геофизической базы МГУ и на западном склоне Воронежской антеклизы.

В 1990-е годы ЭМ наблюдения концентрировались, в основном, в северной части рассматриваемой зоны, вблизи геофизической базы МГУ. Исследовались методические вопросы комплексной интерпретации данных ЭМЗ и изучались особенности геоэлектрического строения осадочного чехла [Хмелевской и др., 1999; Куликов и др., 1999]. По мере продвижения зондирований на юг, вглубь Воронежской антеклизы, было отмечено многократное уменьшение интегральной проводимости чехла. При этом на кривых МТЗ проявилась глубинная аномалия электропроводности.

В конце 1990-х—начале 2000-х годов зондирования с целью изучения этой аномалии проводились в районе с. Барятино Калужской области [Электро-

разведка..., 2005; Алексанова и др., 2005] в пределах яркой Барятинской магнитной аномалии, поэтому параллельно, под руководством профессора РГГРУ В.В. Бродового, выполнялись гравимагнитные исследования [Бродовой и др., 2000; 2001]. Было выяснено, что магнитная аномалия создается, прежде всего, железистыми кварцитами, залегающими в верхней части фундамента, в то время как аномалия электропроводности связана с более глубокими горизонтами земной коры.

Материалы рассмотренных наблюдений дополняются данными МТЗ, выполненных Геологическим факультетом МГУ в 1991 г. западнее при изучении геодинамического состояния района Смоленской АЭС. Эти исследования проводились под непосредственным научным руководством проф. М.Н. Бердичевского. Впрочем, и все последующие исследования в регионе связаны с его именем. Он неоднократно приезжал на геофизическую базу МГУ знакомиться с технологией проведения работ и периодически оценивал получаемые результаты. Интерпретация накопленных данных МТЗ проводилась в соответствии с предложенными им подходами. Эта предыстория объясняет появление данной статьи в томе, посвященном памяти Марка Наумовича.

МЕТОДИКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Для детального изучения верхней части разреза (примерно до 200 м) применялись методы ВЭЗ и ЗСБ [Электроразведка..., 2005]. Наблюдения методом ВЭЗ проводились с установкой Шлюмберже (разносы до 520 м), при этом использовались генератор “Астра” и измеритель “МЭРИ” (ООО “Северо-Запад”). В методе ЗСБ применялась однопетлевая установка или соосная двухпетлевая установка (размером 100 м × 100 м и более), работы проводились с аппаратурой “ТЕМ-Fast” (“АЕМР” Ltd) или “Цикл” (ООО “Эльта-Гео”).

С целью получения информации о нижних горизонтах осадочного чехла (до глубин 1000 м и более), использовались методы ДЭЗ и ЧЗ. Источником поля являлась генераторная группа “УГЭ-50”, создающая в питающей линии (длиной 500 м и более) ток порядка 50 А. Наблюдения выполнялись с помощью измерителя “МЭРИ”. Разносы при проведении работ методом ДЭЗ превышали 10 км. В методе ЧЗ измерялись магнитная (H_z или H_y) и электрическая (E_x) компоненты поля в диапазоне частот 0.038–780 Гц.

Наибольшую глубинность исследований обеспечил метод МТЗ. Применялась аппаратура MTU-5 (“Phoenix Geophysics” Ltd) и ЦЭС-М (ООО “Круко”). Наблюдения, как правило, проводились в течение 12–15 ночных часов, при этом регистрировались 5 компонент поля. С 2007 г. ставились синхронные зондирования длительностью 2–3 дня.

Качество данных МТЗ в районе работ наиболее существенно зависит от близости к электрифицированным железным дорогам (ЭЖД), особенно на постоянном токе. Использование синхронных схем зондирования позволяет уменьшить эту зависимость и приблизиться к этим дорогам на первые десятки км. В то же время, ЭМ поле ЭЖД несет определенную информацию о разрезе [Алексанова и др., 2003].

В результате обработки данных ЭМЗ строились кривые кажущегося сопротивления. В методе МТЗ, помимо кривых кажущегося сопротивления, строились также фазовые кривые и частотные зависимости магнитовариационного (МВ) отклика (типпера).

СВОДНЫЕ КРИВЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ЗОНДИРОВАНИЙ

Кривые кажущегося сопротивления качественно отражают изменение сопротивления с глубиной. При этом методы, использующие индукционную моду ЭМ поля, такие как МТЗ, ЗСБ и ЧЗ с измерением магнитного поля, дают представление о продольном сопротивлении слоев ρ_l [Ваньян, 1965]. Методы, использующие гальваническую моду (ВЭЗ, ДЭЗ и ЧЗ по электрической компоненте при гальваническом возбуждении поля) позволяют получить информацию также и о поперечном сопротивлении слоев ρ_n . Кажущееся сопротивление в этих методах зависит от среднеквадратичного сопротивления толщи $\rho_m = \sqrt{\rho_l \rho_n}$.

Сводная кривая ЭМЗ состоит из нескольких кривых кажущегося сопротивления, отвечающих разным методам ЭМЗ и разным компонентам поля [Хмелевской и др., 1999]. Для ее построения все эти кривые кажущегося сопротивления выносятся на одну ось ординат, при этом оси абсцисс для методов постоянного тока (геометрических зондирований) и методов переменного тока (индукционных зондирований) различны. Для методов ЧЗ и МТЗ по оси абсцисс откладывается корень из периода колебаний (\sqrt{T}), для метода ЗСБ — $\sqrt{2\pi t}$, где t — время становления поля. Для кривых методов ВЭЗ и ДЭЗ по оси абсцисс откладываются, соответственно, разносы $AB/2$ и R .

Основной проблемой при построении сводных кривых является совмещение осей, отвечающих методам постоянного и переменного тока. Оно производится по маркирующим горизонтам, то есть по слоям, которые проявились на кривых зондирования обоих типов. Ось $AB/2$, R двигают параллельно оси \sqrt{T} , $\sqrt{2\pi t}$ и масштабируют до тех пор, пока экстремумы, отвечающие выбранным маркирующим слоям, не совпадут.

В исследуемом регионе можно выделить три основных осадочных слоя. Верхний представлен силь-

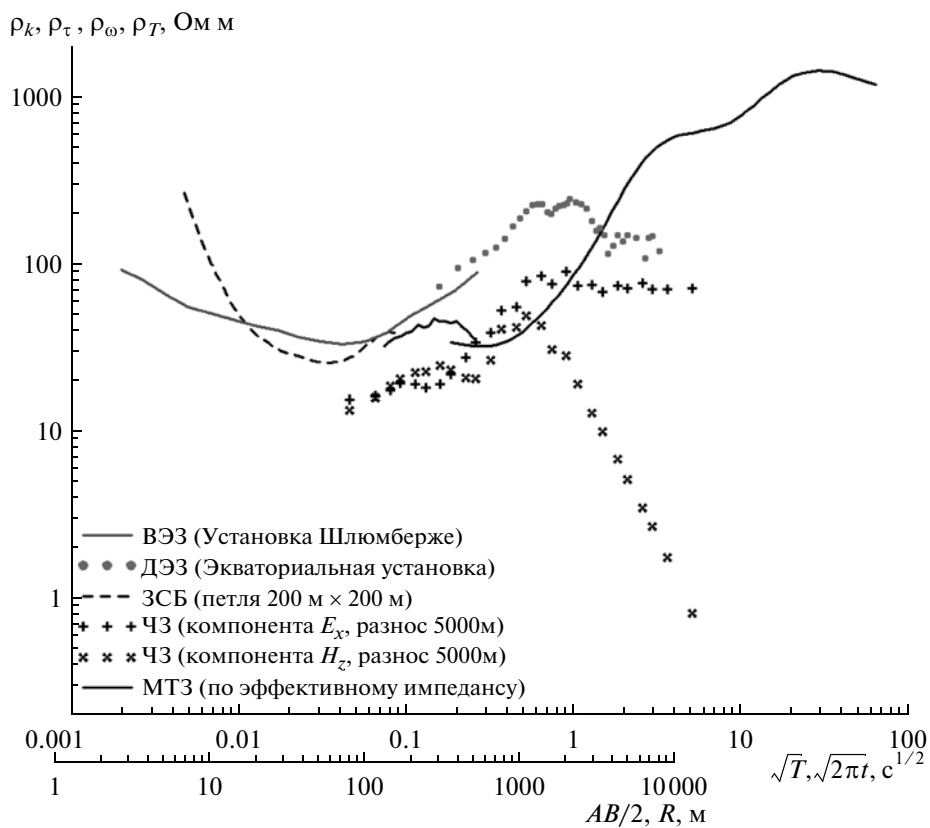
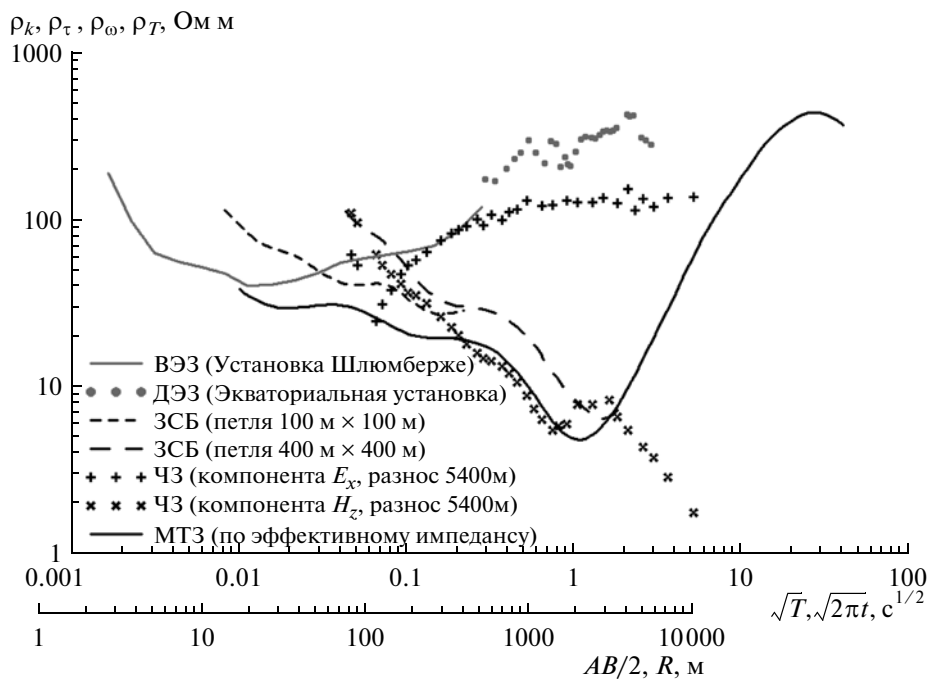


Рис. 2. Сводные кривые ЭМЗ, полученные в районе д. Александровка (вверху) и с. Барятино (внизу).

но изменчивыми в плане моренными и аллювиальными четвертичными (Q) отложениями. Ниже залегает высокоомный, преимущественно карбонатный верхнедевонско-нижнекаменноугольный (D_3-C_1) комплекс. Далее в разрезе присутствует проводящий терригенный комплекс, сложенный породами возраста с венда по средний девон ($V-D_2$), подстилаемый высокоомным кристаллическим фундаментом.

Сводные кривые ЭМЗ, полученные на окраинах Московской синеклизы (район д. Александровка) и Воронежской антеклизы (район с. Барятино) приведены на рис. 2.

В районе д. Александровка кривые ДЭЗ и МТЗ в области максимума, связанного с высокоомными породами верхнего девона, различаются на порядок. Это говорит о сильной макроанизотропии этой толщи. В ее продольное сопротивление основной вклад вносят проводящие глинистые прослои, а в поперечное — высокоомные прослои гипсов и ангидритов. Последние, хотя и составляют малую долю общей мощности комплекса, в силу очень высокого сопротивления дают огромный вклад в суммарное поперечное сопротивление толщи (T), оцененное при количественной интерпретации в 2.5×10^6 Ом м².

В районе с. Барятино различия между кривыми ДЭЗ и МТЗ невелики. Прежде всего, это объясняется меньшим значением (0.6×10^6 Ом м²) поперечного сопротивления. Кроме того, в этом районе выклинивается нижняя, наиболее хорошо проводящая часть терригенного комплекса, слагающего основание осадочного чехла. Поэтому кривая МТЗ не опускается ниже 10 Ом м.

Выявление макроанизотропии возможно также при измерении электрической и магнитной компонент поля в методе ЧЗ с гальваническим возбуждением поля [Куликов и др., 1999]. В районе д. Александровка кривая ЧЗ, построенная по компоненте H_z , дает качественно верное представление о сопротивлении нижней части чехла и имеет короткую восходящую ветвь, отвечающую фундаменту (после этого кривая выходит на неинформативную нисходящую асимптоту ближней зоны). В то же время кривая, построенная по компоненте E_x , быстро выходит на горизонтальную асимптоту ближней зоны и становится малоинформативной. В районе с. Барятино кривые ЧЗ по разным компонентам близки по информативности. Они практически совпадают до $\sqrt{T} = 0.5$ с^{1/2}, а затем выходят на асимптоты ближней зоны.

ЭТАЛОННЫЕ КРИВЫЕ МТЗ

Начиная с 2003 г., в период проведения в районе исследований МТЗ, вблизи геофизической базы

МГУ устанавливается базовая 5-компонентная станция (с аппаратурой Phoenix MTU-5), обеспечивающая синхронную схему площадных МТ/МВ зондирований. Записи двухмесячной длительности, выполненные базовой станцией ALX летом 2009 г., были обработаны для получения эталонных кривых МТЗ и МВЗ (рис. 3). Представленный вариант обработки данных получен с использованием системы PRC_MTMV, разработанной в ЦГЭМИ ИФЗ РАН [Варенцов и др., 2003; Варенцов, 2005]. При обработке для подавления локальных и региональных промышленных шумов использовались многоточечные схемы оценивания импеданса и типпера с опорой на синхронные записи МВ полей в обсерватории KIV под Киевом и в полевых пунктах наблюдения, расположенных на сотни километров южнее в окрестностях Жиздры и Суземки. Большой объем данных и углубленный граф их обработки позволил получить кондиционные результаты для периодов порядка 3 часов.

Полученные МТ кривые и индукционные векторы приведены в направлениях измерения, поскольку они отвечают падению и простиранию геологических структур (поверхность фундамента плавно погружается с севера на юг). Это подтверждается ориентацией действительных индукционных векторов, указывающих, что область максимальной проводимости располагается на севере (в центральной части Московской синеклизы). Аномалия типпера, обусловленная контрастом проводимости на северном борту данной синеклизы на периодах 400 с достигает значения 0.5. Горизонтальный МВ отклик (относительно обсерватории KIV) также содержит яркую аномалию в северной главной амплитудной компоненте на периодах десятков и сотен секунд, отражающую эффект концентрации субширотных токов в прибортовой зоне Московской синеклизы.

В то же время, полученные кривые МТЗ имеют вид, достаточно типичный для горизонтально однородных сред. Фазовые кривые и кривые кажущегося сопротивления, построенные по основным компонентам тензора импеданса, близки друг к другу, а модули основных импедансов (Z_{xy} и Z_{yx}) примерно на порядок больше модулей дополнительных компонент (Z_{xx} и Z_{yy}).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ МТЗ

Данные МТЗ, полученные в 1997–2008 годах в ходе учебно-производственных практик, а также в 1991 году в ходе работ в районе Смоленской АЭС (рис. 1), были собраны и систематизированы. Оценено качество их обработки, часть данных обрабо-

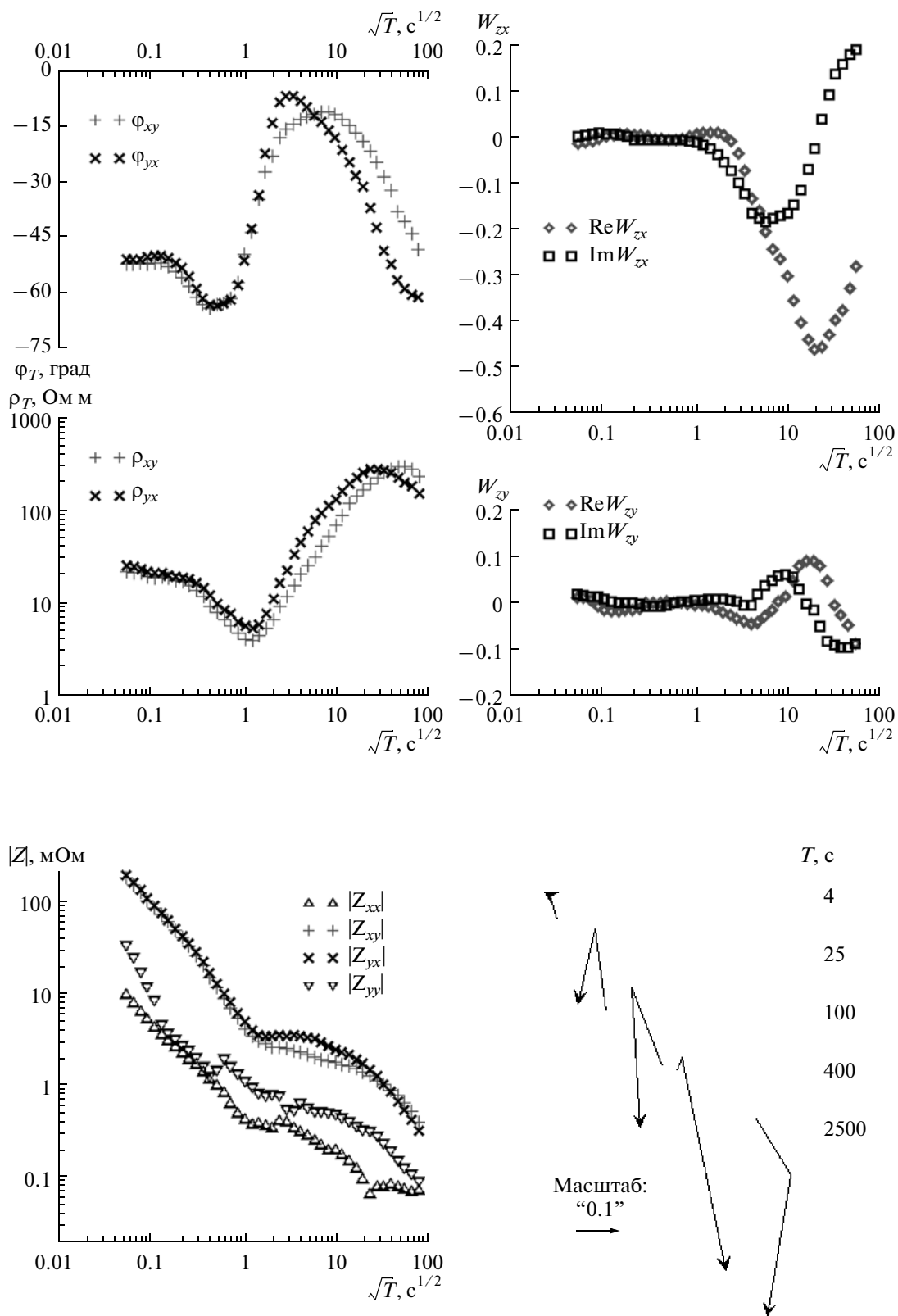


Рис. 3. Данные МТЗ и МВЗ, полученные на Базе геофизических практик МГУ в д. Александровка (стационарный пункт ALX). Слева – кривые МТЗ: фазы основных компонент тензора импеданса, кажущиеся сопротивления, модули компонент тензора импеданса. Справа – данные МВЗ: вещественные и мнимые части компонент матрицы типпера и индукционные стрелки на нескольких периодах.

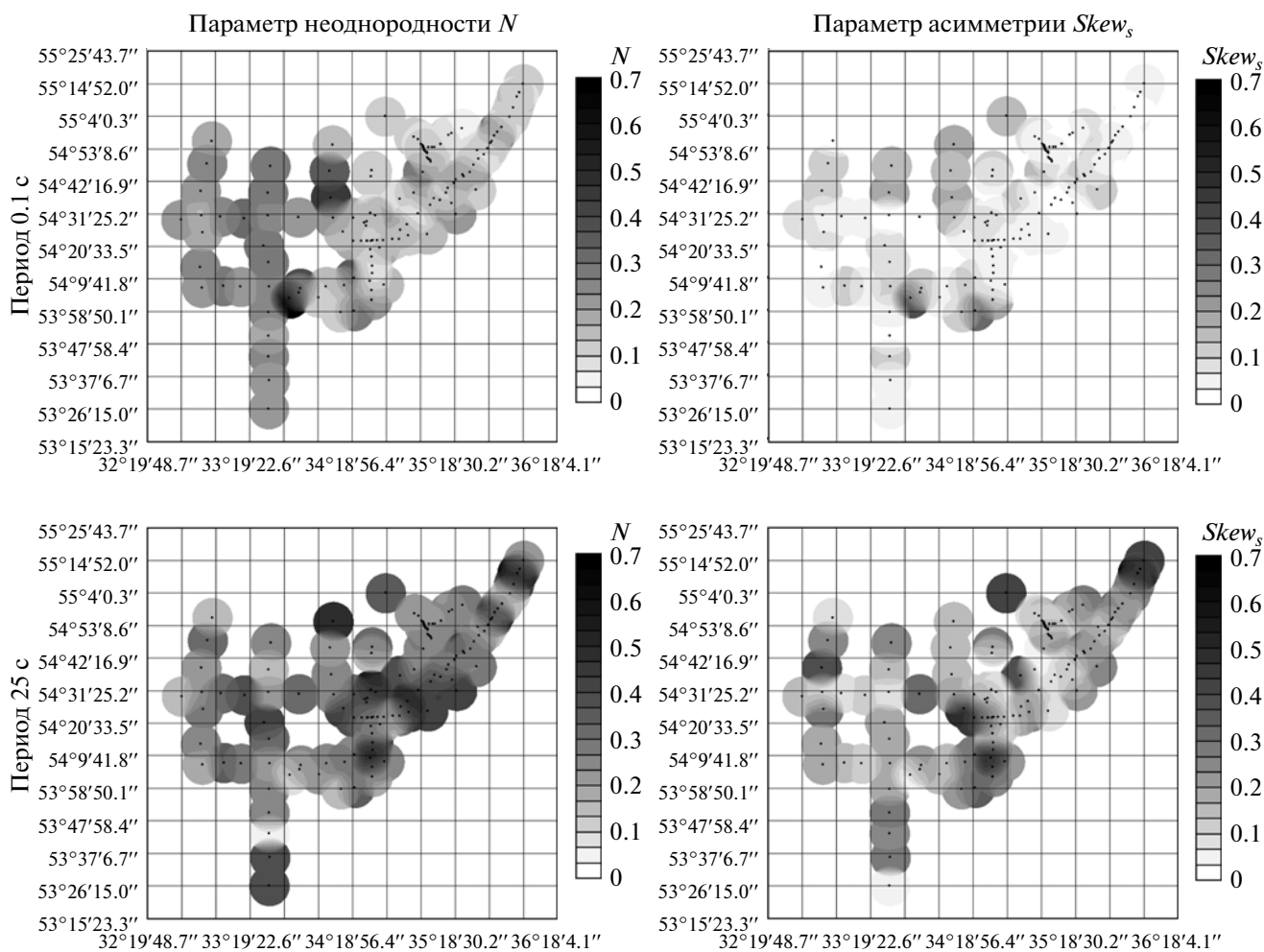


Рис. 4. Карты параметров неоднородности N и асимметрии $Skew_s$ на периодах 0.1 и 25 с.

тана заново. Затем был выполнен их структурный анализ, являющийся необходимой основой для последующего построения геоэлектрической модели региона. В частности, рассмотрены карты параметров неоднородности и асимметрии среды N и $Skew_s$ [Бердичевский и Дмитриев, 2009]. Небольшие значения параметра N на высоких частотах, и повышенные значения N и $Skew_s$ на низких частотах свидетельствуют о квазиодномерном строении осадочного чехла и более сложном, горизонтально неоднородном, строении метаморфического фундамента (рис. 4).

Далее была проведена одномерная интерактивная интерпретация эффективных кривых кажущегося сопротивления и фазы импеданса (рис. 5). Особое внимание при этом уделялось не только минимизации невязок, но и обеспечению плавности изменений сопротивлений и мощностей слоев от точки к точке, что отвечает особенностям геологи-

ческого строения осадочного чехла. В юго-западной части района на кривых МТЗ отчетливо проявляется глубинная проводящая аномалия. Использованный подход к интерпретации позволил получить сглаженное, осредненное представление об этой аномалии.

По результатам интерпретации построены карты глубин залегания нескольких горизонтов, а также суммарных продольных проводимостей верхней части разреза, осадочного чехла и корового проводника. На карте глубины до фундамента отмечается его погружение на северо-восток (рис. 6а), а на карте суммарной проводимости осадочного чехла ее наиболее низкие значения (менее 50 См) наблюдаются в юго-восточной части (рис. 6б). Только здесь уверенно выделяется глубинная коровая проводящая зона на глубине порядка 15 км (рис. 6в) с продольной проводимостью до 100 См (рис. 6г).

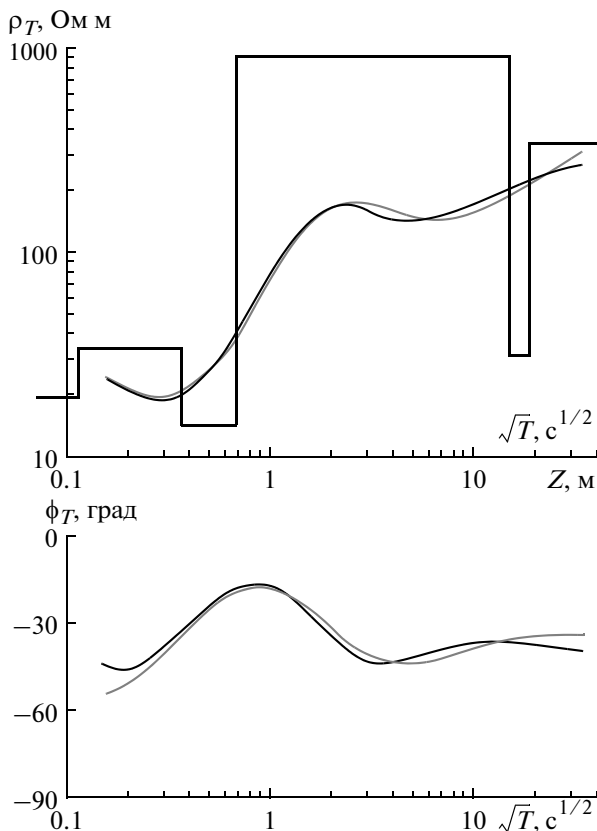


Рис. 5. Пример одномерного подбора эффективных кривых МТЗ: кажущегося сопротивления (вверху) и фазы импеданса (внизу). Светлые линии – наблюдаемые данные, темные – модельные. На верхнем бланке также показан результат интерпретации в виде “псевдокаротажной кривой” – зависимости сопротивления от глубины.

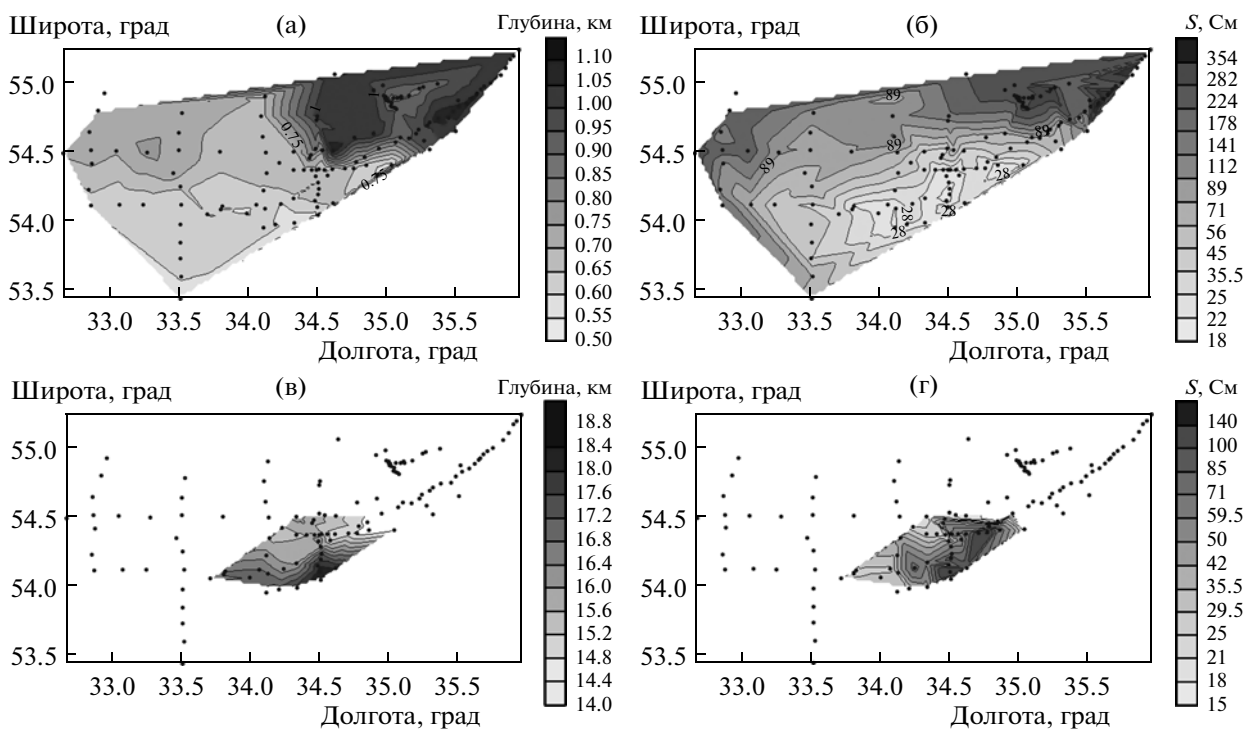


Рис. 6. Карты, построенные в результате интерпретации МТ-данных: (а) глубины до кристаллического фундамента; (б) суммарной продольной проводимости осадочного чехла; (в) глубины до коровой аномалии электропроводности; (г) суммарной продольной проводимости коровой аномалии.

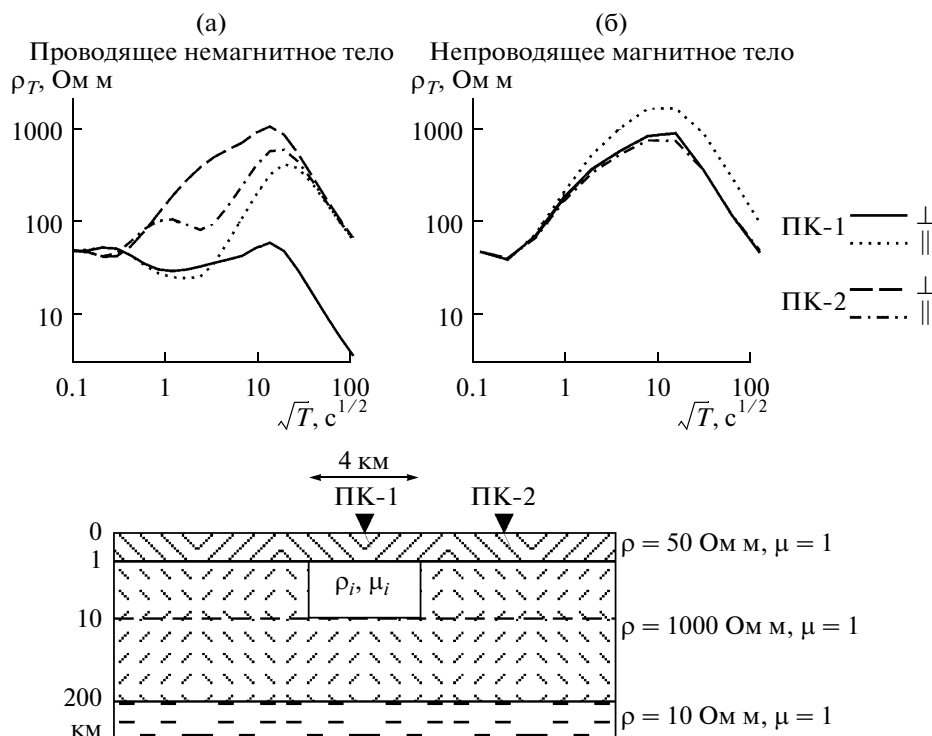


Рис. 7. Результаты двумерного моделирования влияния аномалий электропроводности и магнитной проницаемости на кривые МТЗ: внизу – геоэлектрическая модель, вверху – результаты расчетов для двух вариантов: (а) $\rho_i = 10$ Ом м, $\mu_i = 1$; (б) $\rho_i = 1000$ Ом м, $\mu_i = 3$. Справа указано, к каким точкам наблюдения (ПК-1 или ПК-2) и направлениям (вкрест или вдоль аномалии) относятся кривые.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных исследований были изучены основные особенности геоэлектрического строения осадочного чехла региона. В зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе при изменении мощности осадочного чехла примерно в 2 раза суммарное поперечное сопротивление T средней (высокоомной) его части и его суммарная продольная проводимость S (обусловленная, главным образом, нижележащей толщей) убывают примерно в 5 раз. Так, в районе д. Александровка значения T и S составляют порядка 2.5×10^6 Ом м² и 200 См, а в районе с. Барятино – 0.6×10^6 Ом м² и 40 См.

Проводящая аномалия в средней части земной коры устойчиво выделена лишь в той части региона, где проводимость осадочного чехла составляет 50 См и меньше. Для того, чтобы ответить на вопрос, имеет ли она продолжение под Московской синеклизой, необходимы высокоточные наблюдения (что проблематично из-за высокого уровня помех), переход к более сложным моделям среды и тщательный учет априорной информации.

Еще одним вопросом, требующим изучения в связи со спецификой геоэлектрического строения региона, является влияние магнитной проницаемо-

сти на результаты ЭМ зондирований. Относительная магнитная проницаемость $\mu_{\text{отн}}$ железистых кварцитов, создающих Барятинскую магнитную аномалию, достигает значений 2–3. Выполненное предварительное 2D математическое моделирование показало (рис. 7), что влияние аномалии $\mu_{\text{отн}}$ в верхней части фундамента слабо сказывается на продольных и поперечных импедансах. Приведенный пример демонстрирует лишь небольшое завышение значений продольного импеданса непосредственно над аномалией. Аномалия электропроводности дает гораздо более сильный эффект, чем аномалия магнитной проницаемости. Влияние аномалий $\mu_{\text{отн}}$ на типпер и магнитный тензор необходимо исследовать дополнительно.

С 2007 г. региональная программа ЭМ зондирований получила новый импульс развития – при поддержке РФФИ (гранты 07-05-00437а, 08-05-00327а и 09-05-00466а) начались систематические исследования ученых МГУ, ЦГЭМИ ИФЗ РАН и ИО РАН на западном склоне Воронежской антеклизы от геофизической базы МГУ до украинской границы. Эти исследования ведутся по новым синхронным методикам, обеспечивающим устойчивое получение МТ и МВ откликов вопреки высокому уровню промышленных ЭМ помех. Синхронные наблюдения осуществляются с опорой на стацио-

нарный МВ пункт ALX на геофизической базе МГУ и геомагнитную обсерваторию KIV под Киевом.

Первые результаты синхронных зондирований [Варенцов и др., 2009] указывают на связь Барятинской коровой аномалии электропроводности с более яркой Кировоградской коровой аномалией, хорошо изученной на Украинском щите и продолжающейся на север вглубь России вдоль меридианов 34°–35° в.д. В кооперации с учеными Института геофизики НАНУ в рамках гранта РФФИ-УКР_Ф 09-05-90439а началось комплексное геофизическое изучение Кировоградской аномалии на севере Украины и юго-западе России.

Другим импульсом для новых направлений геоэлектрических исследований района послужило создание в рамках Инновационной образовательной программы МГУ павильона для долговременных геофизических наблюдений и параметрической скважины. Павильон оборудован магнитовариационными, теллурической и сейсмической станциями, что позволит активизировать исследования глубинного строения и геодинамических процессов. Скважина глубиной 300 м, пробуренная с полным отбором керна и предназначенная для проведения учебной практики по каротажу, обеспечила достоверную и детальную информацию, необходимую для интерпретации ЭМЗ верхней части осадочного чехла.

Авторы хотели бы выразить свою благодарность преподавателям, аспирантам и студентам МГУ, РГГРУ и университета “Дубна”, а также сотрудникам ООО “Северо-Запад”, принимавшим участие в проведении учебно-производственных практик, в ходе которых были получены рассмотренные в статье данные. Современное техническое обеспечение практик стало возможным благодаря финансовой поддержке со стороны Минобразования, Минприроды и Минэнерго России и ООО “Северо-Запад”. Наша работа поддержана грантами РФФИ 08-05-00327а, 07-05-00437а и РФФИ-УКР_Ф 09-05-90439а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексанова Е.Д., Куликов В.А., Пушкарев П.Ю., Тихомиров О.А., Шустов Н.Л., Яковлев А.Г.* Магнитотеллурические зондирования в зоне перехода от Московской синеклизы к Воронежской антеклизе. Материалы докладов VII международной конференции “Новые идеи в науках о Земле”. М.: МГГРУ. 2005. С. 249.
- Алексанова Е.Д., Куликов В.А., Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г.* Использование полей электрифицированных железных дорог при проведении электромагнитных зондирований // Известия вузов (Геология и разведка). 2003. № 4. С. 60–64.
- Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И.* Интерпретационные модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
- Бродовой В.В., Булатов Б.С., Новиков П.В., Иванов А.А.* Новые железорудные объекты в Северо-Калужском районе по результатам магнитных исследований // Известия вузов (Геология и разведка). 2001. № 4. С. 77–84.
- Бродовой В.В., Новиков П.В.* Новые данные магнитных исследований о строении и рудоносности Калужского региона // Известия вузов (Геология и разведка). 2000. № 5. С. 74–80.
- Ваньян Л.Л.* Основы электромагнитных зондирований. М.: Недра. 1965. 109 с.
- Варенцов Ив.М.* Массивы синхронных электромагнитных зондирований: методы построения и анализа. Электромагнитные исследования земных недр / Ред. Спичак В.В. М.: Научный мир. 2005. С. 143–156.
- Варенцов Ив.М., Баглаенко Н.В., Соколова Е.Ю., Куликов В.А., Шустов Н.Л., Яковлев А.Г.* Структура продолжения Кировоградской аномалии электропроводности на ЮЗ России: профиль Почеп–Навля–Орел. IV Всероссийская школа-семинар по ЭМ зондированиям Земли (Тез. докл.). М: ИФЗ РАН. 2009. С. 49.
- Варенцов Ив.М., Соколова Е.Ю., Мартанус Е.Р., Наливайко К.В., Рабочая группа BEAR.* Методика построения передаточных операторов ЭМ поля для массива синхронных зондирований BEAR // Физика Земли. 2003. № 2. С. 30–61.
- Куликов В.А., Пушкарев П.Ю., Яковлев А.Г., Яковлев А.Д.* Опыт частотных электромагнитных зондирований на Русской плите // Известия вузов (Геология и разведка). 1999. № 3. С. 106–114.
- Хмелевской В.К., Яковлев А.Г., Модин И.Н., Пушкарев П.Ю., Казурова Н.Р.* Комплексные электромагнитные исследования в Калужской области при проведении учебно-производственных геофизических практик // Вестник Московского университета. Сер. 4 (Геология). 1999. № 5. С. 64–68.
- Шейнкман А.Л., Нарский Н.В., Липилин А.В.* Карта суммарной продольной проводимости осадочного чехла Европейской части территории России масштаба 1:2500000. Международная геофизическая конференция “Геофизика XXI века – прорыв в будущее” (Тез. докл.). М. 2003.
- Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / Ред. Хмелевской В.К., Модин И.Н., Яковлев А.Г. М.: ГЕРС. 2005. 311 с.