

ОТЗЫВ официального оппонента
на диссертацию на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук Шагаровой Натальи Максимовны
на тему: «Трёхмерная геоэлектрическая модель Ильменской аномалии коровой
электропроводности по результатам магнитотеллурических зондирований»
по специальности 1.6.9. Геофизика

Актуальность темы. Диссертация Н.М. Шагаровой «Трёхмерная геоэлектрическая модель Ильменской аномалии коровой электропроводности по результатам магнитотеллурических зондирований» посвящена изучению Ильменской аномалии электропроводности, входящей в категорию ярких природных геологических феноменов. Целью диссертационного исследования является изучение геоэлектрического строения верхней литосферы одного из участков северо-запада Русской платформы комплексом магнитотеллурических и магнитовариационных методов.

Предположение о наличии проводящих объектов внутри толщ в верхней литосфере целого ряда регионов возникло ещё в 60-х гг. прошлого века. Первоначально высказывались опасения, что данные аномалии электропроводности являются следствием латерального влияния мощных приповерхностных проводников. Однако, по мере накопления фактических данных такое предположение не подтверждалось, и к концу 70-х гг. существование проводящих объектов стало уже практически доказанным фактом. Однако, дискуссии относительно природы подобных аномалий не утихают до сих пор.

Несомненно, что «аппаратно-программная революция», случившаяся в электроразведке в начале XXI века, существенно повысила возможности магнитотеллурических методов благодаря широкому использованию цифровой высокоразрядной аппаратуры с автономной регистрацией компонент магнитотеллурического поля. Совершенствование технологий обработки и инверсии МТ-данных также сыграло огромную положительную роль в развитии

глубинных электромагнитных исследований и повышении их геологической эффективности. В этом смысле работа Н.М. Шагаровой находится на мировом уровне; многочисленные методические вопросы проработаны в работе досконально, что позволило получить уникальный по объёму и качеству материал в регионе, насыщенном многочисленными индустриальными помехами.

Научная новизна и практическая значимость исследований. В диссертации представлены результаты изучения одного из участков Русской платформы, где ранее проводились лишь единичные глубинные зондирования. В силу этого была неясна позиция Ильменской аномалии – является ли она самостоятельной тектонической единицей, какова её точная морфология и геологическая природа и т.п. Проведённые исследования позволили ответить на большинство вопросов подобного рода, что несомненно, подняло знания о глубинном строении данного региона на новый научный уровень.

Практическая значимость работы лежит в нескольких плоскостях. Прежде всего – это методика исследований. Автор совместно с коллегами уделила огромное внимание совершенствованию методики полевых работ, повышению качества магнитотеллурического материала в регионе, загрязнённом высоким уровнем промышленных электромагнитных помех. Значительное внимание уделено развитию методики интерпретации магнитотеллурических и магнитовариационных исследований. Автор последовательно повышает размерность инверсии, что приводит к получению всё более точной картины геоэлектрического строения региона. Не следует недооценивать и геологическую важность изучаемого объекта, поскольку локализованные корово-мантийные геоэлектрические неоднородности весьма часто имеют региональное рудоконтролирующее значение.

Обоснованность и достоверность научных положений и выводов. Электромагнитные зондирования являются одной из «высокоразвитых» областей геофизики, где успешно решены многие вопросы получения и анализа информации. В этом отношении научно-практический тандем Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова и компании «Северо-

Запад» долгие годы, уделяя огромное внимание развитию МТ-исследований, являлся инициатором и исполнителем многих разработок в области магнитотеллурики. Использование современных программно-аппаратных разработок, значительная часть которых реализована самими исследователями, позволяет проводить все этапы глубинных электромагнитных исследований с высокой степенью объективности. Этим обеспечивается надёжность как полевых материалов, отвечающих строгим отраслевым требованиям, так и результатов их интерпретации.

Результаты диссертационной работы достаточно хорошо освещены в научной печати, в том числе в публикациях списка ВАК, докладывались и обсуждались на многочисленных конференциях и научных семинарах.

Рекомендации по использованию результатов диссертации. В работе показана ценность использований методов прогноза солнечной активности для повышения качества полевых магнитотеллурических данных, что крайне полезно в целом для отрасли. Следует отметить также использованную Н.М. Шагаровой систему интерпретации магнитотеллурических и магнитовариационных материалов, многие элементы которой будут крайне полезны в других изучаемых регионах.

Краткая характеристика основного содержания диссертации. Диссертация состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы.

Во введении обосновывается актуальность диссертационного исследования; формулируется цель и основные задачи работы; описывается предлагаемый автором подход к решению поставленных задач; характеризуется степень новизны полученных результатов и их апробация. Кроме того, дается краткое изложение содержания диссертации.

В первой главе приводятся сведения о геологии и тектонике региона. Достаточно подробно рассматриваются тектонические аспекты территории, вопросы геодинамики в широком возрастном диапазоне.

Вторая глава посвящена тематике коровых проводящих неоднородностей. Достаточно лаконично описана возможная геологическая природа формирования

подобных геологических объектов, приводится карта их распространения на территории России по литературным источникам.

Третья глава отдана полевой методике. Приводятся характеристики использованной аппаратуры, собственно методики полевых работ. Показана зависимость качества магнитотеллурических исследований как от параметров источника и внешних помех, так и от методических решений по оптимизации регистрации электромагнитного поля Земли.

Методическая часть диссертации является наиболее мощной, так как методике анализа данных отданы 4 главы. Они посвящены, соответственно, качественному анализу данных и методике инверсии с последовательным повышением размерности инверсии. Отметим, что подобный подход является значительно более сложным по сравнению со стандартным подходом западных или китайских исследователей. Вместо простой загрузки данных в программный комплекс 3D-инверсии и получении относительно слабо разрешённых геоэлектрических моделей с существенной невязкой решения, автор последовательно уточняет физико-геологическую модель исследуемого объекта – Ильменской аномалии путём грамотного ограничения размерности модели и пространства невязок. Существенный вклад в повышение надёжности результатов анализа геоэлектрических данных внесло комплексирование с данными грави- и магнитометрии. Именно этим достигается геоэлектрическая и геологическая эффективность проведённых исследований.

Замечания по работе;

1. Глава 2 излишне лаконична. Геологические параметры геоэлектрического разреза являются финальным результатом электромагнитных исследований. За более чем 5 десятков лет с момента обнаружения коровых проводящих неоднородностей они перестали быть чисто научным природным феноменом. Во-первых, их правильнее называть **внутрилитосферными**, поскольку земная кора и верхняя мантия по электропроводности практически не различаются. Сами неоднородности находятся в диапазоне температур, заведомо недостаточных для частичного плавления кристаллических толщ. Во-вторых, они

практически всегда являются следствием наличия палеофлюидных систем – углеводородных, либо водно-метаморфических. В первом случае углеродная компонента флюидов восстанавливается до углисто-графитистого вещества, при этом обогащаясь частью ранее растворённых в пластовых водах компонент. Во втором ослабление термодинамических параметров региональной флюидной системы приводит к кристаллизации вещества, накопленного в надкритическом водном флюиде, приводя к выделению сульфидов, силикатов и т.п. В этом плане уделение внимания одному из важнейших вопросов геологии и геоэлектрики верхней литосферы путём нескольких ссылок (не всегда свежих) и трёх страниц текста представляется крайне малым. Раздел совершенно точно можно было усилить, в том числе за счёт сокращения первой главы.

2. В главе 3 основываются параметры регистрации естественного электромагнитного поля Земли. При этом частотный диапазон разделяется на несколько поддиапазонов, для каждого из которых исследуется корреляция напряжённости поля и параметров солнечной активности. Но в ЕЭМПЗ есть 2 класса источников – тропосферный с частотами от ~ 3 до ~ 3000 Гц и ионосферно-магнитосферный, с частотами ниже первых герц. Первый если и зависит от солнечной активности, то очень опосредованно, так что его непосредственная корреляция с её параметрами просто отсутствует. Кроме того, колебания амплитуды вариаций ЭМ-поля здесь не столь существенны, как для магнитотеллурического источника. В этом смысле в разделе явно не хватает иллюстраций, они были бы крайне полезны.

3. Здесь же довольно обстоятельно рассматриваются вопросы совершенствования методики полевых измерений на основе анализа соотношения полезных сигналов ЕЭМПЗ и внешних электромагнитных помех. Но не упомянута другая проблема – соотношение сигнала к помехе измерительного тракта, а именно, младшему кванту АЦП и собственным шумам усилителей. В этом смысле изменение длины электрических линий и усиления канала не меняет соотношение сигнала к внешней помехе. Но для станций с 24-разрядным каналом («МЭРИ-Про», MTU-2000 и т.п.) действительно имеет

большой смысл использовать разумно достаточно длинные линии для получения большего соотношения внешних сигналов к шумам АЦП (фактически, к младшему кванту). Для станций с 32-разрядным каналом («Nord», СМТ-32) ситуация совершенно другая. Младший квант здесь практически на 2 порядка меньше; соответственно, регистрацию можно вести и на линиях длиной в первые метры на единичном усилении.

4. В отличной в целом части работы, относящейся к методике интерпретации магнитотеллурического материала, присутствует одна «ложка дёгтя» — это раздел, посвящённый анализу импедансов по направлениям приёмных линий. Поскольку, с лёгкой руки «Феникса» неписанным стандартом ориентировки магнитотеллурической установки являются направления сторон света (по магнитному азимуту), мы невольно нарушаем пункт «Инструкции по электроразведке», где предписывается разматываться по осям геоэлектрической неоднородности среды. Таким образом, если природный 2D-объект ориентирован меридионально или широтно, то уровень импедансов напрямую зависит от амплитуды гальванического влияния, пропорционального отношению проводимости внутри и за пределами объекта. Но если объект ориентирован строго на северо-запад или северо-восток, отношение импедансов будет равно единице, и, отношение Z_{xy}/Z_{yx} ничего не говорит о контрасте неоднородности. Оппонент глубоко убеждён, что подобного рода анализ нужно проводить по кривым, развёрнутым на главные направления основного импеданса (Z_{max} , Z_{min}).

5. В главе 5 приводятся некоторые петрофизические аспекты, связанные с изучением водоносных горизонтов. В частности, со ссылкой на работу В.Н. Дахнова, даётся формула зависимости УЭС горных пород от прочих геологических параметров. Но данная формула — лишь начало истории. Дело в том, что ниже зеркала грунтовых вод и в отсутствии промышленного УВ-насыщения пласты-коллекторы полностью водонасыщены. Тогда $P_v = 1$. Для безглинистых горных пород P_r отсутствует. В модели Дахнова — Арчи сопротивление матрицы не зависит от температуры, так как оно — практическая

бесконечность. Тогда P_t просто входит в УЭС пластовой воды. То есть, приведённое уравнение упрощается до:

$$\rho_n = P_v \rho_{пв},$$

где ρ_n – УЭС породы, P_v – параметр объёмной пористости, $\rho_{пв}$ – УЭС пластовой воды в условиях залегания. Но, далее, согласно модели Арчи:

$$P_v = a K_n^{-b},$$

где a – коэффициент, (при линейной аппроксимации зависимости $\lg(P_v) = f[\lg(K_n)]$ $a = 1$), K_n – коэффициент пористости, b – коэффициент, связанный с извилистостью порового пространства.

Модель частично глинистого объекта сложнее, так как часть бывшего порового пространства заполнена глиной с УЭС 2–4 Ом·м. Но при некоторой критической доли глины поровое пространство ей попросту перекрывается и коллекторские свойства горизонта исчезают – он становится непроницаемым.

Обратим внимание: у приповерхностных горизонтов минерализация мала, УЭС воды многие единицы Ом·м, при пористости 10 % P_v составит многие десятки, соответственно УЭС водоносного горизонта может достигать 1000 Ом·м. Тогда глинистые покрышки будут крайне проводящими по сравнению с коллекторами. Для очень глубоких горизонтов УЭС воды понижается до сотых долей Ом·м, соответственно, УЭС коллекторов понижается до первых единиц Ом·м.

Но далее при анализе поведения реальных водоносных горизонтов автор работы никак не использует модель Арчи–Дахнова. Просто перечисляются водоносные горизонты, приводятся их геологические характеристики – глубина, мощность, минерализация. Это тем более странно, что именно прикладная геофизическая школа МГУ известна в детальном изучении геоэлектрических характеристик песчано-глинистых отложений – это работы В.А. Шевнина, И.Н. Модина, А.А. Бобачёва и мн. др.

Вместе с тем, указанные замечания не умаляют значимости диссертационного исследования. Диссертация отвечает требованиям,

установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.9. – Геофизика (по геолого-минералогическим наукам), а также критериям, определенным пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова». Диссертационное исследование оформлено согласно требованиям «Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

Таким образом, соискатель Шагарова Наталья Максимовна заслуживает присуждения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 1.6.9. Геофизика.

Официальный оппонент: доктор геолого-минералогических наук, профессор ведущий научный сотрудник молодежной лаборатории геологии Арктики федерального государственного бюджетного учреждения науки «Институт земной коры СО РАН»,
ПОСПЕЕВ Александр Валентинович

23 сентября 2026 г.

Контактные данные:

тел.: +7(), e-mail: avp@crust.irk.ru

Специальность, по которой официальным оппонентом защищена диссертация:

04.00.12 – «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Адрес места работы:

664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128.

ФГБУН Институт земной коры СО РАН,
молодежная лаборатория геологии Арктики
Тел.: 8(3952)427000; e-mail: log@crust.irk.ru

Подпись сотрудника Института земной коры СО РАН
А.В. Поспеева удостоверяю:

Подпись
Поспеева А.В. заверяю
Отдел управления кадрами и трудовыми
отношениями Федерального государственного

23 сентября 2026 г.