

**ОТЗЫВ**  
**официального оппонента**  
**на диссертацию на соискание учёной степени**  
**кандидата геолого-минералогических наук**  
**Елишкина Дмитрия Викторовича**  
**на тему: «Развитие методов обработки данных синхронных**  
**магнитотеллурических зондирований»**  
**по специальности**  
**25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы**  
**поисков полезных ископаемых»**

Магнитотеллурические методы имеют широчайшую географию применения при решении разнообразных геологических задач. Компактность и мобильность оборудования, отсутствие затрат на возбуждение ЭМ-поля, экономичность работ – всё это предопределило популярность магнитотеллурических методов как в России, так и за рубежом. В то же время, используемые источники естественного электромагнитного поля формируют поля достаточно сложного характера, которые в подавляющем большинстве случаев нагружены разнообразными помехами. Уже на заре становления магнитотеллурического зондирования, как промышленного метода геофизики, стало ясно, что проблема обработки полевых наблюдений значительно сложнее, чем в методах, использующих искусственные поля с известными параметрами возбуждения.

Следует отметить, что оптимизм исследователей, связанный с наступлением эры цифровой обработки данных МТЗ, несколько охладел при анализе результатов обработки полевых цифровых станций первого поколения. Оппонент, как специалист принимавший участие в обширных комплексных исследованиях в зоне строительства трассы БАМ в конце 70-х годов, должен отметить, что качество кривых станций ЦЭС-1 и МТЛ-72 в то время отличалось ненамного. Особенные трудности возникают при работе в урбанизированных территориях с высоким уровнем сетевой помехи, специфическим влиянием электрифицированных железных дорог и т. п.

Отмеченные ещё М.Н. Бердичевским в 1962 г. особенности применения метода наименьших квадратов, оказались труднопреодолимы при использовании простых средств. Реальным практическим выходом из этой ситуации стало использование методики синхронных наблюдений. В соответствии с одним из законов диалектического материализма, практически «вымерший» метод теллурических токов (ТТ) возродился в новой ипостаси, став зондированием, которое позволяло получать как импедансные решения, так и теллурические и магнитные параметры в широком диапазоне периодов.

Но именно использование удалённых полей, помехи которых не коррелированы с помехой на рядовой точке, позволило резко улучшить качество обработки данных при работе на территориях с высоким уровнем Кроне. Кроме того, синхронные наблюдения крайне необходимы при работах в высоких широтах, где начинают сказываться латеральные неоднородности ионосферных и магнитосферных источников.

Повышение точности кривых зондирований несколько не является самоцелью. Геологическая эффективность применения электроразведки непрерывно возрастает, в том числе, именно благодаря повышению точности исходных данных. Наиболее ярким примером этого является развитие нестационарных зондирований, точность получения кривых которых зачастую приближается к первым десятым долям процента. В этом смысле актуальность темы диссертации Д.П. Епишкина не вызывает сомнений.

Следует отметить логичность и рациональность построения работы. Она строится не вокруг защищаемых положений, а путём формирования теоретической основы процесса обработки магнитотеллурических данных, выявления основных помехообразующих факторов и анализе способов их минимизации. При этом демонстрируется высокий уровень знания проблемы; автор не только изучил методические подходы других исследователей, но и «попробовал» практически все полезные идеи, отобрав те из них, которые приносят практический результат.

Первое защищаемое положение формулирует полезность применения записей удалённых точек и углубление методики робастных оценок. Автором достаточно подробно излагается суть метода получения спектральных оценок передаточных функций магнитотеллурического поля. Отметим, что в этой области предложено большое количество различных решений, и диссертант вполне квалифицированно приводит их достоинства и недостатки. С задачей выделения наиболее эффективных приёмов повышения точности обработки он, безусловно, справляется. Конечно, обзор, приведённый в 1-й главе, не является полным.

Так, практически не рассматривается достаточно распространённый в практике обработки метод узкополосной фильтрации с применением оптимальных КИХ-фильтров. Есть небольшие неточности. Например, в список нормализующих окон не попали окна Кайзера, Чебышева, так, что дополнение «и другие» было бы не лишним. Неверной представляется и ссылка на Соколова, 2004, как автора алгоритма БПФ. Всем известно, что пионерской работой в этом отношении была работа Кули и Тьюки (1965). Несколько режет ухо термин «оконное БПФ». Поскольку реальные записи всегда конечны, БПФ всегда может выполняться только в окне. Представляется, что правильнее, вслед за Рабинером, Гоулдом, (1978) называть такой способ обработки «секционированным БПФ».

Ещё одно замечание касается методики децимации сигналов. Использование низкочастотного фильтра для исключения эффекта подмены частот является не единственным вариантом. Более простым и эффективным является использование рекурсивной фильтрации фильтрами Баттерворта. Они не менее полезны и для режекции сетевой помехи.

Что касается методики использования записей удалённых точек, то её эффективность показана практикой последних десятилетий, с тех пор, как она стала применяться при обработке. Представляется практически важным, что В.П. Епишкиным выполнен анализ применимости поля, зарегистрированного на удалённых точках в зависимости от расстояния между ними. На теоретическом

и практическом материале показаны минимальные и максимальные расстояния между точками, при которых использование «удалённой» базы не вызывает искажений обрабатываемых параметров.

Описание программного комплекса ЕПИ-КИТ даётся обстоятельно. Показан весь разработанный инструментарий, делающий работу с программой удобной. Немаловажным является при этом грамотное использование возможностей «железа» – распараллеливание вычислений на многоядерных процессорах, использование вычислительных возможностей видеокарт. В результате удалось значительно повысить скорость обработки – практически вдвое и больше.

Отдельная глава работы посвящена тестированию использованных алгоритмов на синтетических данных. Это позволяет смоделировать помехи различного характера, наложенные на разные каналы. Результаты моделирования полностью подтверждают правильность разработанной алгоритмической базы. Каждый из реализованных алгоритмов робастного оценивания и «ремоут-процессинга» работает при своих сочетаниях характера и уровня шумов на электрических и магнитных каналах, поэтому наиболее рациональным является использование тех из них, которые дают наибольший эффект. Финальным результатом реализации подобного подхода является адаптивный алгоритм. Примеры его использования на конкретных точках профиля 1-ДВ показывают существенное, примерно двухкратное повышение точности обработки.

Нисколько не умаляя достоинств автора в разработке эффективного программного комплекса обработки, следует отметить, что определённая часть проблем, с которыми вынуждены «сражаться» обработчики, связана с упущениями полевых технологий. Можно смело сказать, что солидной составляющей коммерческого успеха аппаратуры фирмы «Феникс» было «вылизывание» установки зондирования – использование малозумящих неполяризуемых электродов, заземления станции, техника укладки линий и магнитометров. Однако советские и российские геофизики довольно долго

использовали, например, свинцовые электроды, различные самоделки из старых батареек, в обилии нагружавших электрические каналы помехами типа ступень. При использовании таких электродов на каналах станции MTU-2000 поле осложняется не просто ступенями, а сериями экспонент, минимизация влияния которых является ещё более трудной задачей, чем компенсация ступеней.

Ещё одним из методических приёмов, позволяющих улучшить качество магнитотеллурических материалов, является отказ от ориентировки установки по направлениям сторон света. При узкой поляризации эллипса электрического поля точность оценки минимального основного импеданса будет тем хуже, чем больше величина помех и разница между ориентировкой установки и направлением большей оси эллипса поляризации. Подобное методическое требование было обосновано ещё в 60-е – 70-е годы, в том числе работами В.И. Поспеева и отражено в «Инструкции по электроразведке», 1980 г. С приходом аппаратуры «Феникс» на рынок России об этом полностью забыли, на взгляд оппонента, совершенно напрасно.

Ещё одно замечание касается внедрения «западных» координат в практику российской электроразведки. Так, вместо привычных для ЧЗ, МТЗ, ЗС  $\sqrt{t}$ ,  $\sqrt{T}$ ,  $\sqrt{2\pi t}$  ось абсцисс становится  $t$ ,  $T$ ,  $t$  без соблюдения необходимой пропорциональности между масштабом абсциссы и ординаты. Понятно, что в целом количество информации не меняется, но «на взгляд» уже трудно оценить глубины проводников и суммарную проводимость в соответствии с известными асимптотическими формулами.

Таким образом, результаты анализа первых четырёх глав диссертации показывают, что сформулированные первое и второе защищаемые положения являются полностью раскрытыми. Эффективные алгоритмы обработки полевых записей магнитотеллурического поля обоснованы теоретически, реализованы в виде программного кода, тестированы на модельных рачётах, а также опробованы на обширном фактическом материале. Обоснованы критерии их применения в зависимости от структуры магнитотеллурического поля и характера распределения помех.

Третье защищаемое положение связано с методикой магнитотеллурических исследований в мелководных акваториях. Автором предложено в этом случае отойти от полной импедансной схемы измерений, ограничившись регистрацией наряду с магнитными компонентами только продольной берегу компоненты электрического поля. На модельных примерах показано, что для широкого класса неоднородностей такая модификация позволяет получать необходимую геологическую информацию при существенном снижении стоимости работ. Поскольку при проведении морских работ значительно возрастает роль магнитных компонент, за этот счёт удаётся компенсировать некоторое падение информативности исследований из-за отсутствия поперечной берегу электрической компоненты.

Следует отметить, что предложенная технология «не висит в воздухе». Проведён достаточный объём опытных работ, необходимым образом модифицирована методика обработки. Решены задачи уточнения реальной геометрии установки и синхронизации станций в условиях отсутствия GPS-сигнала.

Предложенные и реализованные методические приёмы достаточно эффективно раскрываются в завершающей главе диссертации. Однако третье защищаемое положение сформулировано несколько узко. Из него не следует, что обработка модифицирована для конкретной методики полевых наблюдений.

Резюмируя вышесказанное отметим, что на сегодняшний день, разработанная и реализованная Дмитрием Викторовичем Епишкиным методика обработки магнитотеллурических данных является ведущей по качеству не только среди российских, но и зарубежных программ. Это является следствием неутомимых личных усилий автора, глубоко владеющим столь сложной темой.

Материалы диссертации хорошо отражены в публикациях диссертанта и его коллег. Содержание автореферата полностью соответствует содержанию диссертации. Она отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 25.00.10

– «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» (по геологическим наукам), а также критериям, определённым пп. 2.1–2.5 «Положения о присуждении учёных степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова», а также оформлена, согласно приложениям № 5, 6 «Положения о диссертационном совете Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова».

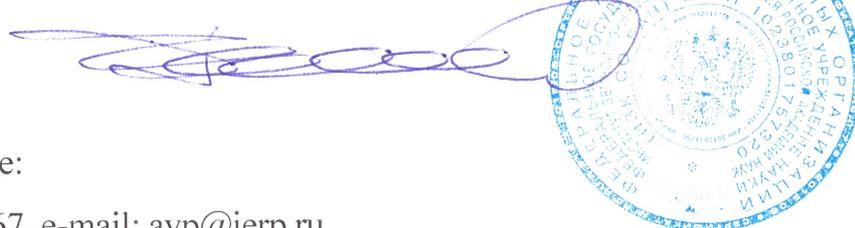
Таким образом, соискатель Епишкин Дмитрия Викторовича заслуживает присуждения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Официальный оппонент:

доктор геолого-минералогических наук,  
ведущий научный сотрудник

ПОСПЕЕВ Александр Валентинович

15 апреля 2018 г.



Контактные данные:

тел.: +7(902)5131767, e-mail: [avp@ierp.ru](mailto:avp@ierp.ru)

Специальность, по которой официальным оппонентом

защищена диссертация: 25.00.10

Наименование специальности:

«Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»

Адрес места работы:

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

ФГБУН Институт земной коры СО РАН,

лаборатории геологии нефти и газа

Тел.: 8-902-513-17-67; [avp@ierp.ru](mailto:avp@ierp.ru)

