

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Куликова Виктора Александровича «Электроразведочные технологии на этапах поиска и оценки рудных месторождений», представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа Куликова В.А. направлена на развитие и совершенствование комплекса наземных электроразведочных методов, применяемых при поисках, оценки и разведки рудных полезных ископаемых. Основное внимание в работе отведено различным модификациям магнитотеллурических методов, электротомографии и методам вызванной поляризации, основанным на фазовых измерениях в частотной области. Автором изложены вопросы методики измерений, обработки сигнала, геологической интерпретации результатов электроразведочных наблюдений.

Актуальность диссертационной работы Куликова В.А. обусловлена значительными изменениями и усовершенствованиями, произошедшими за последние десятилетия в методах рудной электроразведки. Эти изменения коснулись аппаратного комплекса, методики измерений, вопросов обработки сигнала и борьбы с помехами, количественной интерпретации электроразведочных данных.

Значительно выросло использование магнитотеллурических методов, применение которых при решении рудных задач повысило глубинность и мобильность электроразведки, расширило круг решаемых геологических задач. Объемы аудиоманнитотеллурических (АМТЗ) работ, при рудных поисках, исчисляются сегодня тысячами и десятками тысяч точек в год.

На первых этапах применения магнитотеллурических методов, измерения проводились по отдельным профилям, с шагом между пунктами зондирования в несколько километров. Основная задача, которая ставилась перед МТ-методами – изучение глубинного строения рудной провинции или рудной области на основе построения региональной геоэлектрической модели.

По мере увеличения объемов работ, произошел переход от профильных к площадным наблюдениям, с последующей интерпретацией данных АМТЗ в рамках трехмерных моделей, расширился круг решаемых геологических задач, обнаружения прямых и косвенных рудных признаков.

В диссертационной работе Куликова В.А. впервые проведена оценка чувствительности магнитотеллурических операторов к рудным телам на примере результатов трехмерного моделирования для месторождений Норильского типа, сформулированы и классифицированы общие геологические и поисковые задачи, которые решают МТ-методы для месторождений разного генезиса.

Метод вызванной поляризации (ВП) был и остается ведущим методом рудной электроразведки, и его значимость особенно возрастает при поисках вкрапленного оруденения, в отсутствие сплошных проводящих рудных тел. Разработка методики глубинной электротомографии в совокупности с фазовыми измерениями вызванной поляризации решает еще одну актуальную задачу рудной электроразведки – повышение глубинности исследований методом ВП. С помощью методик, использующих многоканальные измерители и многоэлектродные установки смешанного типа, разработанные автором и используемые в компании ООО «Северо-Запад», удастся строить поляризационные модели до глубин 400-500 м в горизонтально-неоднородных средах.

При поисках и изучении глубоко залегающих рудных тел возможности электроразведочных работ повышаются за счет использования скважин. Традиционным методом скважинно-наземной электроразведки, с 60-х г.г. прошлого столетия, был метод заряда. Различными производственными и научными организациями были разработаны и внедрены в практику производственных геофизических работ различные модификации метода заряда. С другой стороны, для изучения межскважинного пространства в СССР был разработан и успешно применялся метод межскважинного радиоволнового просвечивания.

Автором предложена технология межскважинной электротомографии, которая объединяет в себе эти два ведущих метода скважинно-наземной электроразведки. Преимущество предложенной методики измерений состоит, с одной стороны, в высокой чувствительности применяемых установок ко всем секторам разреза, а, с другой стороны, в возможности изучения неоднородных сред с привлечением двумерной инверсии по всей совокупности измерений.

Научная новизна исследований и полученных результатов заключается в том, что соискателем:

- усовершенствована технология синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований применительно к решению рудных задач;
- проведено внедрение синхронной методики МТ/МВ-зондирований и развитие методов интерпретации с акцентами на совместный анализ многокомпонентных данных, учет их трехмерности, а также тонкий учет априорных сведений;
- предложена методика совместного применения МТ-методов с другими геофизическими методами, при поисках определенных видов месторождений в специфических условиях конкретных рудных провинций. В первую очередь, это касается развития комплекса АМТЗ и ВП и, в частности, создания алгоритмов совместного и последовательного решения обратных задач этих методов;

- на основе фазово-частотных измерений электрического поля предложена и успешно применена на практике новая формула оценки временных параметров поля вызванной поляризации для разделения аномалий электрической поляризации разной природы;
- предложен и успешно экспериментально опробован метод межскважинной электротомографии, который позволяет повысить возможности геофизики при изучении глубокозалегающих объектов;
- разработаны принципы измерений, обработки сигнала и интерпретации для электрических зондирований с использованием комбинированных осевых установок для решения рудных задач. На основе двумерного математического моделирования проведено сравнение разрешающей способности, глубинности и чувствительности различных установок глубинной электротомографии.

Основные достижения автора сформулированы в виде четырех защищаемых положений, каждое из которых представляет собой достаточно существенное продвижение в развитие и совершенствование комплекса наземных электроразведочных методов.

1. Разработанная методика синхронных магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований, с оцениванием параметров импеданса, матрицы Визе-Паркинсона и горизонтального магнитного тензора, существенно повышает глубинность исследований в рудной геофизике и позволяет решать следующие геологические задачи: изучение глубинного строения рудной провинции, выявление и определение параметров тектонических нарушений, картирование интрузивных тел, оконтуривание зон гидротермально измененных пород, прямой поиск хорошо проводящих рудных тел.

В работе предложена схема развития комплекса магнитотеллурических и магнитовариационных зондирований на основе определения и анализа синхронных передаточных операторов связывающие, соответственно, горизонтальные компоненты электрического и магнитного поля, одновременно измеренные в двух точках. С помощью 3D моделирования показано, была проведена оценка эффективности таких операторов, при изучении месторождений НРЗ, на примере Талнахского и Масловского рудных узлов. Для оценки чувствительности различных компонент ЭМ-поля и МТ-операторов проводилось сравнение результатов, отвечающих реальной модели месторождения, содержащей рудоносную интрузию с рудным горизонтом, и модели, где эти аномальные объекты заменены вмещающим разрезом. Это позволило автору обосновать и на примерах показать повышенную глубинность исследований и в целом обосновать это защищаемое положение.

2. Анализ частотных характеристик дифференциального фазового параметра вызванной поляризации и предложенные автором приемы их обработки позволяют решить одну из важнейших задач рудной геофизики: отделить аномалии ВП, связанные с различными

ассоциациями сульфидных руд, от аномалий, создаваемых углефицированными и графитизированными, магнетитсодержащими породами, мерзлыми осадочными породами.

Использование дифференциального фазового параметра было предложено автором еще в 1978 г, и с тех пор ДФП успешно применялся на практике для обнаружения и изучения эффектов ВП.

В рассматриваемой работе на основе анализа параметров модели Cole-Cole В.А. Куликовым было показано, что оператор ДФП может быть успешно применен для дифференциации пород, различающихся по стандартным параметрам спектрального ВП. При этом, в силу большей контрастности, кривая ДФП может оказаться даже более информативной, чем непосредственно кривая фазы ВП. Предложен способ оценки временных характеристик вызванной поляризации на основе использования комбинации значений ДФП на разных частотах. Это позволило обосновать применение ДФП для разделения аномалий от углефицированных пород, характеризующихся большими значениями τ , и сульфидных руд, обладающих, как правило, быстрым спадом вызванной поляризации.

Эффективность подхода иллюстрируется серией полевых примеров. Это позволяет сделать вывод об обоснованности второго защищаемого положения.

3. Предложенная автором методика глубинной электротомографии, в сочетании с многочастотными фазовыми измерениями вызванной поляризации, позволяет решать следующие новые геологические задачи на этапе поиска рудных месторождений: определение границ интрузивных образований, зон сульфидной минерализации и областей окварцевания, определение границ водоносных горизонтов, определение мощности мерзлых пород и таликовых зон, картирование и изучение проводящих тектонических нарушений.

Для решения рудных задач автором с соавторами были усовершенствованы многоэлектродные системы электротомографии, не позволяющие исследовать разрез на глубины, превышающие 100-150 м. Им разработаны специальные несимметричные установки, и проведена оценка разрешающей способности и чувствительности разработанных установок на синтетических моделях, имитирующих рудные тела различного размера и характера залегания. Эффективность таких установок показана на примерах работ в пределах Кингашского рудного узла и на месторождении медистых песчаников Удокан.

Но наиболее интересной оказалось комплексирование этой методики с многочастотными измерениями ДФЗ. Это позволило фактически создать новое направление, объединяющее методики электротомографии и ИНФАЗ-ВП позволяющее строить поляризационные модели до глубин около 1000м, что открывает новые возможности для решения целого ряда геологических задач, указанных в защищаемом положении.

Таким образом, и третье защищаемое положение можно считать полностью обоснованным.

4. Для определения параметров проводящих и поляризующихся рудных тел в межскважинном и околоскважинном пространстве, на этапе разведки рудного месторождения, автором разработан универсальный комплекс измерений: «скважина – скважина», «скважина – земная поверхность»; его особенностью является использование в скважине одновременно не более трех электродов, что позволяет проводить измерения без специальных многожильных измерительных кос.

В своих исследованиях автор коснулся не только наземного варианта электротомографии, но и рассмотрел такой актуальный вопрос как методика МЭТ. Был предложен вариант установки и методики межскважинных измерений, который при относительно небольшом количестве положений питающих и приемных электродов, а, с другой стороны, позволяет получить данные, пригодные для использования аппарата двумерной инверсии.

Автором проведены расчеты, направленные на оценку чувствительности и разрешающей способности разработанного варианта МЭТ для решения типичных рудных задач, показывающие эффективность метода.

Методика апробирована работами на южном фланге интрузии Норильск-1, которые полностью подтвердили целесообразность использования нового варианта МЭТ в рудопоисковых задачах.

Таким образом, все защищаемые положения диссертации полностью обоснованы и доказаны.

Методы и технологии, разработанные автором, и изложенные в диссертационной работе, представляют большой **практический интерес** и активно используются при проведении геофизических поисковых и оценочных работ на рудные полезные ископаемые.

Представленная работа является самостоятельным научным трудом, **личный вклад** автора очевиден. Виктор Александрович был ответственным исполнителем при проведении изыскательских работ на многих рудных объектах в различных регионах России и за рубежом. Под его руководством на кафедре геофизики геологического факультета МГУ в период с 2005 г. по 2013 г. было выполнено несколько крупных тематических работ, направленных на совершенствование комплекса наземных и скважинно-наземных методов электроразведки в условиях Норильской рудной зоны. В рамках данных тематических работ были разработаны технологии проведения магнитовариационных зондирований и скважинного варианта вызванной поляризации, разработаны программные средства обработки скважинного и скважинно-наземного вариантов вызванной поляризации, предложена и проведена трехкомпонентная съемка магнитных компонент в поле заземленного диполя и т.д.

Большинство предложенных в работе методических и интерпретационных подходов для решения рудных задач реализовывалось под личным руководством автора в геофизической компании ООО «Северо-Запад» (г. Москва).

Научные выводы и рекомендации, изложенные в диссертационной работе, являются достаточно **обоснованными**, так как построены на известных фактах, и не противоречат опубликованным в литературе результатам других исследователей. При проведении численных расчетов автор использовал программные средства, построенные на фундаментальных работах известных советских, российских и зарубежных ученых в области электроразведочных методов геофизики – Бердичевского М.Н., Дмитриева В.И., Куликова А.В и других.

Материалы полевых работ, которые занимают важное место в диссертационной работе, являются **достоверными**, так как получены автором с помощью современной и высокоточной сертифицированной электроразведочной аппаратуры и специализированного программного обеспечения.

Основные положения работы были опубликованы в статьях, в том числе и в реферируемых журналах из списка ВАК, докладывались на различных научных Международных и Республиканских конференциях и семинарах. Труды соискателя известны научной общественности, как в России, так и за ее пределами.

Замечания по диссертационной работе.

1. В современном комплексе рудной геофизики одним из наиболее эффективных средств оценки сырьевого потенциала территории, являются аэрогеофизические методы, в том числе, аэроэлектромагнитные методы разведки. В своей работе автор совершенно не коснулся вопроса сочетания и взаимного дополнения наземных и аэрометодов, хотя название диссертации предполагает описание всех технологий электроразведки, применяемых на этапах поиска и разведки месторождений. Важно было разделить геологические задачи, успешно решаемые с помощью аэрогеофизики, и, задачи, требующие использования более дорогостоящих, но, в некоторых случаях, более информативных методов наземной съемки.

2. В работе не уделено внимание одному из основных методов рудной разведки – методу переходных процессов. В последние годы были разработаны элементы общей электродинамической теории и методики разделения процессов становления поля и вызванной поляризации, которые создают качественно новые предпосылки для решения поисковых задач, в том числе рудных.

3. В практических примерах, показывающих результаты магнитотеллурических работ на рудных объектах, слабо отражено использование параметров горизонтального магнитного поля, несмотря на то, что этот пункт заявлен в защищаемых положениях.

4. В разделе 2.2, посвященном описанию специфики рудных МТ-технологий, приведено описание только одного вида аппаратуры, станции MTU-5A канадской компании “Phoenix Geophysics”, тогда как существуют и другие инструменты для проведения

магнитотеллурических исследований, в том числе станции компании Metronix - ADU-07, станции российского производства – АКФ и другие. Особенности методики съемки при этом могут существенно отличаться от работ со станцией MTU-5A.

5. В таблице 2.1 приводятся физические свойства пород, которые использовались при создании трехмерной геоэлектрической модели Талнахского рудного узла. Однако, в таблице указаны, кроме того, плотностные и магнитные свойства, которые к решению данной задачи не имеют никакого отношения.

6. Раздел 2.3.3 посвящен построению и расчету прямой трехмерной задачи Масловского месторождения. В работе рассматриваются результаты, полученные поэтапно для нескольких промежуточных моделей с различными характеристиками рудного горизонта, но нет наглядных иллюстраций, демонстрирующих параметры данных моделей, есть только словесное их описание, что существенно затрудняет понимание результатов.

7. На рисунке 2.26 не читаются значения намагниченности блоков модели.

8. Некоторые иллюстрации отнесены далеко по тексту, плохо читаются и воспринимаются. В тексте диссертации имеются редакционные неточности.

9. Небольшое замечание можно сделать по тексту автореферата. В некоторых местах автор работы сбивается с традиционной формы подачи материала, ведет изложение от первого лица.

Эти замечания, однако, не влияют на общее благоприятное впечатление от работы, выполненной на хорошем научном уровне.

Заключение

Изложенный в диссертации материал представляет собой результаты законченного научного исследования с перспективно поставленной задачей совершенствования комплекса наземных электроразведочных методов, применяемых при поисках, оценки и разведки рудных полезных ископаемых. Защищаемые автором положения доказаны.

Диссертация аккуратно оформлена, написана хорошим литературным языком, содержит качественные и понятные иллюстрации.

Результаты выполненной работы освещены в национальных и международных изданиях, отражены в нескольких обзорных статьях и в более чем 20 полноформатных публикациях в рецензируемых журналах. Практическая значимость работы подтверждена использованием ее результатов в деятельности различных геофизических организаций и партий.

В целом, работа содержит научно обоснованные технические и методические решения, реализованные в конкретных методиках проведения полевых работ и способах интерпретации данных, совокупность которых вносит значительный вклад в развитие методов геофизических исследований при поисках и оценке рудных месторождений

Автореферат отражает содержание и выводы диссертации.

По новизне и актуальности полученных результатов, уровню их обсуждения и практической значимости, диссертация В.А. Куликова соответствует критериям,

предъявляемым к докторским диссертациям, установленным в п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842», а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 - геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Научный руководитель
геофизических исследований
Акционерного общества
«Сибирский научно-исследовательский институт
геологии, геофизики и минерального сырья»
(АО «СНИИГГиМС»),
доктор технических наук

Адрес организации:
АО СНИИГГиМС
630091, Новосибирск, Красный пр., 67
Тел./факс (383) 221-49-47
e-mail: geology@sniiggims.ru



Георгий Михайлович Тригубович

«14» сентября 2015 г.

ПОДПИСЬ
ЗАВЕРЯЮ
ЗАВ.КАНЦЕЛЯРИЕЙ
ГАНИНА Т.А.
ДАТА

Г.М. Тригубович
14.09.2015

