

О Т З Ы В

официального оппонента

на диссертацию Кочетова Михаила Владимировича
«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ВЫСОКОТОЧНЫХ
ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ГИДРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ
ПРИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЯХ НА ШЕЛЬФЕ
ЮЖНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата
технических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика»

Актуальность темы диссертации

Магниторазведка является одним из ведущих методов дистанционного изучения недр и широко используется в процессе подготовки геофизической основы для геологического картирования, при поисках и разведке месторождений рудных и нерудных полезных ископаемых, при решении инженерно-геологических, гидрологических, мерзлотно-гляциологических и экологических задач. Гидромагнитная съемка играет важную роль при исследовании строения и тектонической эволюции океанической литосферы, поисках месторождений углеводородов на шельфах окраинных морей, а также находит применение для обнаружения и локализации магнитоактивных неоднородностей геологического и техногенного происхождения в верхней части донных разрезов. В связи со значительным удалением участков исследуемых акваторий от береговых магнитовариационных станций обычно используется методика дифференциальных гидромагнитных измерений.

Диссертационная работа Кочетова М.В. посвящена совершенствованию этой методики и ее практическому применению в комплексе с сейсморазведкой и гравиметрией при инженерных изысканиях на перспективных участках Карского моря. *Актуальность темы* диссертации не вызывает сомнений, т.к. недропользователям необходимы высокоточные методы инженерно-геофизических исследований верхней части чехла арктического шельфа, позволяющие повысить эффективность разведки месторождений углеводородов и оптимизировать их добычу.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

В диссертационной работе Кочетова М.В. представлено к защите три положения. Первое из них связано с рационализацией методики проведения дифференциальных гидромагнитных измерений при инженерных изысканиях, второе – с детерминированной и

стохастической оценками разрешающей способности магнитной градиентометрии, третье характеризует возможности высокоточных гидромагнитных наблюдений в комплексе с данными набортной гравиметрии и сейсмоакустическими материалами для решения практических задач. Анализ содержания опубликованных работ, текста диссертации и автореферата свидетельствует, что все защищаемые положения раскрывают основные составляющие темы исследований, каждое из них является научно обоснованным и аргументированным с теоретических и практических позиций. Все доказательства представленных положений подробно рассмотрены в тексте диссертации и иллюстрируются картами, графиками, формулами, а также таблицей.

Первое защищаемое положение базируется на опыте диссертанта, полученном в результате камеральной обработки материалов гидромагнитных съемок, выполненной в период с 2017 г по 2024 г (объем инженерно-геологических исследований более 15 площадок, 5000 пог. км; объем региональных исследований – 20 000 пог. км) в сочетании с теоретическими оценками и экспериментальными исследованиями. С целью выделения локальных магнитовозмущающих объектов, залегающих на сравнительно небольших глубинах от донной поверхности, предлагается использовать регулярную сеть наблюдений, согласование длины базы наблюдений и шага расчета градиента. Дискретность отсчетов в пространстве не должна превышать 0.25 расстояния между датчиками измерений. Для подавления помех, обусловленных влиянием вертикального градиента магнитного поля, требуется стабилизация и удержание системы магнитометров на заданной глубине.

Выполнение этих условий позволяет минимизировать ошибку дифференциальной гидромагнитной съемки и повысить разрешающую способность метода. Можно полностью согласиться с мнением Кочетова М.В. о целесообразности определения основных элементов методики этой съёмки под конкретно поставленные задачи на стадии планирования работ. Совокупность предложенных действий позволяет существенно подавить влияние как систематических, так и случайных погрешностей и в благоприятных гидродинамических условиях достигнуть точности съемки порядка ± 1 нТл.

Второе защищаемое положение касается оценки разрешающей способности магнитной градиентометрии на основе решения задачи о выделении полезного сигнала от набора источников магнитного поля с одинаковыми размерами и намагниченностью, расположенными на фиксированной глубине и заданном расстоянии друг от друга. Диссертантом выполнялось имитационное моделирование дифференциальной гидромагнитной съёмки с использованием детерминированного и стохастического подходов. В роли источников поля выступали шары, величина намагниченности и пространственные координаты которых в последнем случае задавались случайными числами. Инструментом моделирования служила

система компьютерной математики MathCad15. Оценивалась возможность выделения аномального эффекта от отдельного интенсивно намагниченного объекта при «зашумлении» его влияния полем, создаваемым совокупным воздействием близко расположенных подобных тел.

Шаг расчета поля не превышал 1 м, для получения характеристики разрешающей способности градиентных магнитных наблюдений анализировалось изменение нормированной автокорреляционной функции при разных глубинах источников и изменяющемся шаге ΔX расчета градиента. В детерминированном варианте установлено соотношение $H \leq 1.23(\Delta X)$ между глубиной H залегания объектов и шагом ΔX . В стохастическом варианте это соотношение уменьшилось до $H \leq 0.85(\Delta X)$, что позволило сделать диссертанту научно обоснованный вывод о том, что измерительная база градиента магнитного поля при съемке не должна превышать указанного значения. Следует отметить, статистическую представительность данной оценки, полученной по 500 циклам вычислений. Полученные результаты разрешимости дифференциальной магнитной съемки могут успешно использоваться для проектирования полевых исследований на акваториях, а также применимы при определении достоверности локализации источников магнитных аномалий при решении обратной задачи магнитометрии.

Третье защищаемое положение сформулировано на основе анализа и обобщения информации, полученной в результате выполнения комплекса геофизических исследований на двух полигонах площадью по 25 кв. км. Комплекс геофизических методов включал в себя дифференциальные гидромагнитные исследования, сейсморазведку высокого разрешения и опытные набортные гравиметрические измерения с гравиметром «Чекан-АМ». Измерения выполнялись по сети ортогональных профилей: расстояние между меридиональными профилями составляло 100 м, между широтными – 200 м. Итоговые показатели качества: для гидромагнитной съемки – ± 1.1 нТл, для гравиметрической съемки – ± 0.1 мГал.

Высокая детальность полевых наблюдений, а также грамотно выполненная обработка и комплексная интерпретация позволили уверенно выделить ряд палеоврезов и зон разуплотнения горных пород в интервале глубин от 0 до 500 м от поверхности морского дна. Палеоврезы – это эрозионные врезы, выработанные палеореками, структуры проседания, образовавшиеся при развитии подрусловых таликов, крупные посткриогенные деформации и др. подобные объекты. Зоны разуплотнения горных пород диссертант отождествляет с возможной газонасыщенностью осадочной толщи. Представленные в работе материалы убедительно доказывают геологическую информативность выполненного комплекса геофизических исследований.

Оценка научной новизны, практической ценности и достоверности полученных результатов

Научная новизна представленных в диссертации результатов не вызывает сомнений, что обусловлено разработкой эффективной методики дифференциальных гидромагнитных исследований при инженерных изысканиях, включающей полевые измерения и камеральную обработку полученных материалов. Убедительно доказана необходимость стабилизации заглубленной измерительной системы для качественной регистрации полезного сигнала. Несомненный интерес представляют результаты имитационного моделирования, позволившие оценить разрешающую способность градиентометрических наблюдений, проведенного в двух вариантах, при детерминированном и стохастическом представлении изучаемых геомагнитных объектов. Доказана высокая эффективность комплекса геофизических методов, включающего в себя гидромагнитную съёмку, набортную гравиметрию и сейсмоакустические исследования при инженерных изысканиях. Следует отметить, что палеоврезы не всегда удается достоверно идентифицировать с использованием только сейсмических данных.

Практическая ценность результатов исследований диссертанта заключается в возможности использования предлагаемой методики и комплекса методов при дальнейшем проведении морских инженерно-геофизических работ. В частности, созданная Кочетовым М.В. методика ввода корректирующей поправки уже успешно применяется в АО «МАГЭ» при обработке результатов дифференциальных гидромагнитных измерений. Комплексирование измерений геопотенциальных полей и морской сейсморазведки является эффективным инструментом детального изучения шельфа арктических морей.

Все заключения и выводы Кочетова М.В. базируются на весьма обширном фактическом материале. *Достоверность результатов* диссертационной работы основывается на применении современной сертифицированной полевой геофизической аппаратуры (гравиметр Чекан АМ, магнитометры SeaSPY2); апробированного программно-алгоритмического обеспечения (Geosoft Oasis Montaj, Chekan_PP); использовании теоретически обоснованного научно-методического аппарата (в т.ч. имитационного моделирования); согласованием результатов интерпретации комплекса геофизических методов с имеющимися геологическими представлениями.

Несомненным достоинством диссертационной работы является тесная взаимосвязь между ее теоретическими и практическими аспектами. Материалы диссертации Кочетова М.В. могут быть использованы для подготовки специалистов-геофизиков при обучении в ВУЗах, а также вносят свой вклад в дальнейшее развитие методики морских геофизических исследований.

Основные замечания по диссертационной работе

1. Формулировка защищаемого положения №1 является слишком громоздкой и содержит стилистические погрешности.
2. Вызывает сомнение зависимость погрешности плановой привязки от ориентировки галса (стр. 15), т.к. при использовании средств спутниковой навигации выполняется определение координат каждой отдельной точки измерений.
3. Не указано, что представляет собой параметр $T_{12}(P)$ в формулах (1.3) и (1.4).
4. Формула (1.5) приведена без расшифровки входящих в нее параметров.
5. Не вполне точно приведены формулы (1.10), (5.2) для расчета среднеквадратической погрешности гидромагнитной съемки: в знаменателе дроби под корнем должно стоять $(2n-1)$, т.е. использоваться несмещенная оценка дисперсии.
6. Моделирование является необходимым инструментом не только при проектировании сети наблюдений (стр. 31), но и при выборе точности полевых измерений.
7. По мнению автора причиной отсутствия единственности решения обратной задачи геофизики является «неполнота и недостаточность априорных геофизических данных» (стр. 32). В первую очередь здесь следует указать на наличие множества допустимых решений, которое является следствием теоретической или практической эквивалентности.
8. В диссертации указано, что более сложная морфология магнитных аномалий по сравнению с гравитационными «определяется векторным характером намагничивания J среды» (стр. 33). В первую очередь следует учесть, что это различные (2-ая и 1-ая, соответственно) производные потенциала V , взаимосвязь между которыми определяется соотношением Пуассона.
9. При описании методики имитационного моделирования гидромагнитной съемки (стр. 37) не указаны использованные параметры нормального магнитного поля Земли T_0 и направление вектора намагниченности J .
10. Для сопоставления модельной аномалии магнитного поля и аномалии от обсадной колонны буровой скважины использовалась модель шара. Лучшее приближение можно было бы получить, используя модель вертикального тонкого стержня, для которой численное решение прямой задачи выполняется также просто, как для шара.
11. По мнению диссертанта «присутствие в съёмках погрешности, превышающей чувствительность самого измерительного датчика прибора, сегодня считается вполне допустимой» (стр. 46). Это широко известная оценка, теоретически и экспериментально обоснованная Г.С. Вахромеевым еще в 70-х годах прошлого века с использованием аппарата дисперсионного анализа (Вахромеев Г.С., Основы методологии комплексирования

- геофизических исследований при поисках рудных месторождений, 1973).
12. При рассмотрении возможностей комплексирования потенциальных методов в разделе 5.1. написано о необходимости выбора оптимального комплекса (стр. 82). Понятие оптимального комплекса подразумевает использование количественных критериев, в которые входит стоимость выполнения отдельных видов геофизических работ (Никитин А.А., Хмелевской В.К., Комплексирование геофизических методов, 2012 г). В данном случае правильнее было говорить о рациональном комплексе.

Заключение

Перечисленные выше замечания не умаляют достоинств диссертации Кочетова М.В. Она является законченной научно-квалификационной работой, обладающей внутренним единством, научной новизной и практической значимостью. В диссертации представлено самостоятельное решение актуальной научной задачи по созданию рациональной методики гидромагнитных исследований и ее реализации при инженерных исследованиях шельфа южной части Карского моря. Предложенные методические разработки являются универсальными и могут быть использованы при изучении шельфа арктических морей. Можно полностью согласиться с мнением диссертанта о дальнейшем совершенствовании дифференциального гидромагнитного метода путем стабилизации заглубленной измерительной системы градиентометра на малом базисе регистрации сигнала.

Работа базируется на большом объеме исходных геофизических данных, их анализе, интерпретации и визуализации, а также на результатах корректно выполненных вычислительных экспериментов. Все научные положения, выводы и рекомендации полностью обоснованы. Три сформулированные диссертантом защищаемые положения полностью раскрыты в тексте работы. Текст написан грамотным профессиональным языком, содержит все необходимые формулы и высококачественные цветные рисунки. Иллюстративный материал, формулы и таблица хорошо дополняют содержание разделов. Диссертационная работа в целом полностью отвечает пунктам 16, 18, 20 единого паспорта специальности 1.6.9 «Геофизика».

Автореферат и 20 опубликованных работ отражают основное содержание диссертационной работы. Из них 6 статей опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК. Результаты проведенных исследований неоднократно докладывались на научных конференциях разного уровня.

Диссертационная работа «Совершенствование методики высокоточных дифференциальных гидромагнитных измерений при инженерных изысканиях на шельфе южной части Карского моря », соответствует всем критериям, указанным в Постановлении

Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 "О порядке присуждения ученых степеней" (в действующей редакции), а ее автор – Кочетов Михаил Владимирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика».

Официальный оппонент,
доктор физико-математических наук,
профессор, главный научный сотрудник
«Горного института Уральского отделения
Российской академии наук» («ГИ УрО РАН»)

614007, Россия, г. Пермь,
ул. Сибирская, 78а, «ГИ УрО РАН»
тел. 8(342)2161008, +79222426122
e-mail: dolgal@mi-perm.ru
<http://www.mi-perm.ru/>



Долгаль Александр Сергеевич

«1» сентября 2025 г

Подпись Долгала Александра Сергеевича заверяю:

Главный специалист «ГИ УрО РАН» по кадрам



С.Г. Дерюженко