

## **Отзыв официального оппонента**

на диссертацию Черепанова Артема Олеговича

### **"ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД ВБЛИЗИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СКВАЖИН НА НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ",**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

В течение нескольких последних лет во всем мире и у нас в стране происходит резкое увеличение объемов электромониторинговых измерений на различных объектах с целью выявления изменений в протекании опасных инженерно-геологических процессов, таких как температурные изменения в условиях распространения многолетнемерзлых пород, движение и распространение загрязненных и природных флюидов, карст, оползни, суффозия, вариации влажности и т.п. В настоящий момент геоэлектрический мониторинг во многих странах мира стал самостоятельной отраслью инженерной геофизики. Электромагнитный мониторинг имеет своеобразную методику полевых наблюдений и сбора данных, специфическую аппаратуру и свой набор средств интерпретации с целью детального исследования верхней части геологического разреза с помощью инженерно-геологических скважин на глубину от поверхности земли до нескольких десятков метров. Геоэлектрический мониторинг является не только высокочувствительным, но и самым высокотехнологическим и наиболее точным методом геофизического мониторинга. В настоящее время добыча нефти и газа вместе с инфраструктурой дорог, кустовых площадок, мест временного хранения нефти и газа, линий трубопроводов, насосных станций, жилых и административных зданий все дальше уходит на Север. В этих условиях детальное изучение верхней части разреза на предмет развития процессов таяния мерзлоты и предсказания устойчивости нефтяных и газовых скважин

на кустовых площадках, на которых устанавливается сразу несколько скважин, является чрезвычайно важной проблемой. Поэтому не вызывает сомнений, что тема диссертации является актуальной и находится на острие современного научного развития инженерной геофизики.

Работа посвящена применению скважинных технологий для геоэлектрического мониторинга. Традиционно большинство электромониторинговых наблюдений производится с поверхности земли. Но объективности ради следует отметить, что точности таких измерений в ряде случаев совершенно недостаточно. Особенно, когда необходимо проводить исследования на особо важных объектах. Технология радиопросвечивания уже давно зарекомендовала себя как один из наиболее точных методов исследования сложно построенных сред. Основы этого метода были заложены в послевоенные годы во МГРИ и ЦНИГРИ Петровским А.Д. и Тарховым А.Д. В настоящее время такие разработки продолжаются в научно-производственной фирме "Радионда" под руководством кандидата технических наук Истратова В.А. На протяжении последних лет в этой фирме ведутся аппаратурно-конструкторские и научные разработки, в которых принял участие соискатель Черепанов А.О. Поэтому логичным итогом этих разработок стала тема использования арсенала технологий радиопросвечивания при изучении многолетнемерзлых пород (ММП), которые, обладая относительно высоким сопротивлением, создают в целом благоприятную среду для распространения электромагнитных волн.

В диссертации последовательно рассматриваются теория, электромагнитные свойства мерзлых горных пород, устройство аппаратуры, разработка методики сбора данных, обработка полученной информации и практическая реализация активного электрического мониторинга опасных инженерно-геологических процессов типа растепления мерзлых грунтов. В этом смысле представленная работа является абсолютно замкнутым исследованием, в котором на современном научном уровне рассматриваются все составные части одного геофизического метода. Учитывая, что многие аспекты, изложенные в диссертационной работе, являются новыми, необходимо признать большой научный вклад автора в эту проблему.

**1. Научная новизна работы и защищаемые положения.** Самым главным научным достижением автора работы, по мнению оппонента, является доказанная необходимость учета частотной дисперсии электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости, которая возникает в результате структурной поляризации и известна как эффект Максвелла-Вагнера. Такой учет осуществляется при количественной оценке электромагнитных свойств ММП в диапазоне низких радиочастот в интервале от 0.625 до 50 МГц, которые применяются в радиопросвечивании. Если до сих пор об эффекте Максвелла-Вагнера на ММП было известно по отдельным публикациям, то теперь после выхода в свет этой диссертационной работы, можно с уверенностью говорить о новом, значительном шаге в электрической разведке: эффект Максвелла-Вагнера приводит в области субмегагерцовых частот к заметному изменению удельного электрического сопротивления и, соответственно, диэлектрической проницаемости. При этом Черепанов А.О. на основе проведенного анализа опубликованных данных лабораторных исследований сумел разработать эмпирические формулы, которые затем обрели форму алгоритма расчета эффективных параметров удельного электрического сопротивления  $\rho$  и диэлектрической проницаемости  $\varepsilon$  с учетом их частотной дисперсии и затем были подтверждены результатами многочастотных измерений в односкважинном и межскважинном вариантах. Теоретические исследования привели к необходимости модернизировать полевую аппаратуру, и впервые для оценки тало-мерзлого состояния пород в естественном залегании на нескольких участках с различными условиями были выполнены скважинные электромагнитные измерения в диапазоне от 1 до 50 МГц с шагом 1 МГц.

Автором диссертационной работы в период 2011 - 2013 г.г. на действующей кустовой площадке месторождения «Русское» проведен геоэлектрический мониторинг процесса оттаивания ММП вблизи нагнетательной скважины и зафиксированы изменения свойств

многолетнемерзлых пород под воздействием внешнего теплового источника. Получены объемные карты фактического развития процесса оттаивания в трехмерном пространстве и времени, которые доказывают повышенную чувствительность электрических характеристик пород к изменению их фазового состояния и, соответственно, физико-механических свойств по сравнению с температурой. Разработанная автором технология 4D геоэлектрического мониторинга состояния геологической среды в основании кустовых площадок размещения добывающих скважин, основанная на использовании многочастотных радиоволновых измерений, позволяет эффективно контролировать развитие процесса оттаивания ММП и обеспечивает своевременное принятие инженерных решений и выполнение мероприятий, направленных на предотвращение аварий и остановок добычи нефти и газа. Для визуализации результатов 4D геоэлектрического мониторинга автором диссертационной работы разработан алгоритм обработки многочастотных межскважинных измерений РВГИ и построена объемная (3D) карта распределения эффективных значений удельного электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости. Набор двух параметров  $\rho$  и  $\varepsilon$  позволяет практически однозначно интерпретировать результаты радиопросвечивания с точки зрения литологии грунтов и их таломерзлого состояния. Например, талые суглинки обладают сравнительно небольшим сопротивлением и повышенной диэлектрической проницаемостью. Мерзлые суглинки обладают также сравнительно небольшим сопротивлением, но малой диэлектрической проницаемостью. Талые пески имеют повышенное сопротивление и малые значения диэлектрической проницаемости. Мерзлые пески имеют высокие сопротивления и повышенные значения диэлектрической проницаемости. С помощью режимных измерений автору работы удастся проследить изменения криогенной ситуации во времени.

**2. Практическая ценность** работы неоспорима. Все результаты выполненных исследований получены на проектируемых или действующих

объектах российского газо-нефтяного комплекса и направлены на решение конкретных производственных задач. Все результаты, полученные Черепановым А.О., внедрены и используются при эксплуатации добывающих скважин и кустовых площадок. В отличие от других геофизических методов, разработанные технологии дают практически однозначный ответ при классификации состояния ММП: данный объект находится в талом или мерзлом состоянии или состоянии оттаивания. Подход, разработанный автором, может быть применен на других объектах в сходных инженерно-геологических и геокриологических условиях.

### **3. Замечания оппонента.**

В первой главе "Физические основы радиоволнового метода" формально приведены общеизвестные формулы и соотношения для распространения радиосигналов в однородном пространстве, в котором параметры удельного сопротивления и диэлектрической проницаемости не меняются. Рассматриваются коэффициенты затухания и зоны Френеля, которые в первом приближении определяют величину сигнала, приходящего на приемный диполь. Вопросы скорости распространения, дифракции электромагнитных волн, отражения и рассеяния не рассматриваются вовсе. Ясно, что при той технологии наблюдений, в которой используются только амплитуда поля, все эти перечисленные параметры не работают, но в дальнейшем это приводит к сильным упрощениям представлений и заставляет всё изложение материала и сущности метода крутиться только возле одной проблемы - как из ограниченных данных выделить больше информации.

Во второй главе "Физические основы явления частотной дисперсии электрических свойств..." описаны зависимости электрических свойств талых и мерзлых грунтов от частоты электромагнитного поля. В целом, глава 2, по мнению оппонента, является главной во всей работе, потому что здесь изложены и обобщены наиболее фундаментальные данные по структурной поляризации, и эта глава своей обстоятельностью производит крайне благоприятное впечатление. Но, тем не менее, сделаю одно небольшое замечание. При изображении экспериментальных и расчетных кривых зависимостей  $\rho$  от частоты автор пользуется логарифмическим масштабом.

При этом все зависимости носят практически линейный характер. При изображении экспериментальных и расчетных кривых зависимостей  $\varepsilon$  от частоты автор пользуется линейным масштабом для вертикальной оси (рис.8-10). При этом линейность зависимостей заметно нарушается, что связано с неправильным изображением данных.

В третьей главе "Аппаратура..." должны быть изложены принципы работы приборов. Однако читатель не сможет толком понять, как работает прибор и что он измеряет. В этой части чисто формально на уровне инструкции изложены данные по аппаратуре, методике и технологии обработки материалов. Остается непонятным, что и как излучает генераторный диполь. Какие амплитуды сигналов принимаются в регистрирующем диполе? Существует ли какая-то синхронизация между приемником и источником? Сколько времени идет излучение и что регистрирует приемное устройство? Все вопросы остаются нерешенными.

В четвертой главе достаточно подробно рассмотрены геологические и технологические условия на участках исследований. Достаточно подробно описаны температурные изменения вокруг устья скважин и дан прогноз на будущее. На взгляд оппонента рис.42 является избыточным и напрямую не относится к теме диссертационной работы.

В пятой главе изложены результаты натурных экспериментов. Глава насыщена разнообразной результирующей графикой и в целом является хорошо оформленной. Вызывает только сожаление, что так и остается неясным вопрос, а как строятся все эти чудесные и красивые карты. Каким образом происходит превращение данных в объемные картинки, которые к тому же еще и меняются во времени. В рамках решения обратной задачи для электромагнитного поля не рассчитывается прямая задача. А среда довольно сложная. Она разбивается на ячейки. Значит, сама задача ставится для трехмерной или двумерной среды. С какой точностью происходят построения карт? Это сложный вопрос. Но нужно было оговорить достоинства и недостатки такой обработки и визуализации.

Достоверность результатов представленной работы очевидна. Черепанов А.О. полностью сделал свою диссертацию доказательной. Автор работы сам участвовал в полевых измерениях, лично производил наладку

аппаратуры и выполнял расчеты, а также готовил материалы к сдаче отчетов, что вызывает уважение у читателя. Весь процесс исследования показан полностью.

В целом, диссертационная работа А.О. Черепанова полно освещает защищаемую проблему, она носит законченный характер и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Содержание диссертации соответствует научной специальности 25.00.10 - *геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых* и полностью отражено в автореферате и в 3 публикациях в реферируемых журналах, рекомендуемых ВАК. Кроме этого, результаты исследований доложены на конференциях и опубликованы в виде 5 печатных работ в различных изданиях. Несмотря на сделанные замечания, Артем Олегович Черепанов, безусловно, заслуживает присуждения ему искомой степени кандидата технических наук.

Доктор технических наук,  
Профессор кафедры геофизических методов  
исследования земной коры  
Геологического факультета МГУ

И.Н. Модин  
31.03.2018 г.

