

## **Отзыв**

официального оппонента на диссертационную работу Кошурникова Андрея Викторовича «Многолетнемерзлые толщи шельфа морей Российской Арктики (по данным геофизических исследований)» представленную на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальностям 1.6.7 - инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение и 1.6.9 – геофизика

### **1. Актуальность темы исследований.**

Шельф морей Российской Арктики обладает значительными запасами полезных ископаемых, является одной из основной транспортной артерии для судоходства арктической зоны. С оценкой состояния криогенных и многолетнемерзлых толщ, прогнозом их развития тесно связана экологическая безопасность, эффективность разведки и добычи полезных, разработки проектных решений и обеспечение устойчивости инженерных сооружений в арктической зоне.

Сегодня нет единого понимания о состоянии, строении, границах и параметрах распространения субмаринной криолитозоны. Автор, на основании имеющихся фондовых и литературных данных, вновь полученных им материалов геофизических исследований и моделирования, охарактеризовал особенности залегания криогенных и многолетнемерзлых толщ в шельфовой зоне морей Российской Арктики. Выполненные автором исследования и полученные результаты определяют актуальность диссертационной работы.

### **2. Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Целью настоящей работы является определение состояния криогенных толщ, параметров их распространения, особенностей залегания, а также условий формирования и динамики на шельфе морей Российской Арктики. Для достижения поставленной цели автором применен разработанный им комплексный анализ геолого-геофизических данных, суть которого заключается в комплексировании 5 видов исследований, включающих полевые и лабораторные работы, математическое

моделирование.

1. Автором и при его участии получен большой массив данных о физических полях горных пород шельфовой зоны, которые позволили по-новому взглянуть на особенности распространения и историю формирования криогенных толщ региона.

2. Разработаны и усовершенствованы методы и оборудование для проведения геофизических исследований субмаринной криолитозоны.

3. Предложен подход по выявлению особенностей залегания и распространения криогенных толщ в различных секторах шельфовой зоны российской Арктики. Такая детальность, на основании анализа геофизических исследований и заверкой бурением выполнена впервые.

4. Сделана попытка интерпретации геофизических полей с выделением зоны высокотемпературных многолетнемерзлых пород, по мнению автора - газонасыщенных. Хорошая корреляция этих толщ с мощностью высокоомного слоя, установленного методом зондирования становлением поля, позволили автору сделать вывод, о присутствии газогидратных залежей в толщах многолетнемерзлых пород, подтвердив ранее высказанные гипотезы.

5. Впервые построены серии геокриологических разрезов, карт, 3-х мерных блок диаграмм, дающие представления об особенностях залегания криогенных толщ по всем секторам региона исследований.

Достоверность полученных результатов обосновывается комплексированием методов, подтверждением результатов геофизических исследований буровыми работами, термометрией в скважинах, лабораторными анализами и испытаниями, применением аттестованного оборудования и поверенных средств измерения, сопоставительными испытаниями различными методами и техническими средствами на эталонных образцах грунтов. Кроме того, достоверность результатов автора подтвердили независимые буровые работы, проводимые ПАО «Газпром» на шельфе Карского моря (2009–2018 гг) и моря Лаптевых (2012 г).

### **3. Оценка содержания диссертации, ее завершенность**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы (том 1, объемом 294 страницы) и приложений (том 2, объемом 100 страниц). Общий объем работы – 394 страницы. Она содержит 162 рисунка и 10 таблиц. Список литературы включает 180 наименований. Приложения включают модели тепловых расчетов для различных участков арктического шельфа, свидетельства и сертификаты новой аппаратурной базы, разработанной автором, и акты выполненных работ по предложенной методике автора на шельфе арктических морей.

В работе отражены ссылки на исследования, выполненные другими авторами, приведено достаточное количество иллюстративного материала: рисунков, таблиц, графиков.

**В первой** главе рассмотрено современное состояние исследований криолитозоны арктического шельфа и применение геофизических методов. Анализ опубликованных данных о криолитозоне арктического шельфа показал, что имеющийся материал, в основном в силу его ограниченности, не дает возможность сформировать обоснованные представления о глубинах залегания и мощности многолетнемерзлых толщ на арктическом шельфе. Существуют противоречивые фрагментарные представления о границах распространения и строении субмаринной криолитозоны.

Эффективность геофизических методов для решения геокриологических задач на шельфе определяется контрастностью физических свойств талых и мерзлых толщ. Лабораторные исследования, выполненные коллегами, автором и при его участии в талых, мерзлых, засоленных и газонасыщенных породах показали, что наиболее информативными для изучения строения криолитозоны являются электрические и акустические свойства пород шельфа.

**Во второй** главе изложена методика проводимых исследований, которая включает лабораторные испытания пород шельфа, электромагнитные исследования, подтверждение геофизических результатов бурением, термометрию в пробуренных на шельфе скважинах и тепловое моделирование на шельфе арктических морей. Детально рассмотрены методы лабораторных

исследований, в том числе акустических и теплофизических свойств пород, отобранных на шельфе арктических морей, методы электроразведки, сейсморазведки и сейсмоакустики, исследования теплового состояния донных отложений.

Особенность, применяющейся автором методики интерпретации данных геофизики, заключается в использовании для стартовых геоэлектрических моделей значений УЭС, полученных при лабораторных испытаниях грунтов на опорных участках. Такой подход к решению неустойчивой обратной задачи геофизики позволил получить ее устойчивое решение применительно к опорным участкам арктического шельфа.

Автором выполнен сравнительный анализ информативности различных технологий электроразведки. Теоретические и экспериментальные исследования показали, что наиболее информативным методом для дистанционного изучения фазового состояния пород шельфа являются измерения электрических свойств пород.

Изучение теплофизических свойств пород арктического шельфа, позволило объяснить причины изменения геофизических полей и сформулировать критерии выделения мерзлых пород на геоэлектрических и сейсмических разрезах. Предложена новая структура комплексного мерзлотно-геофизического анализа.

Для осуществления работ по разработанной методике под руководством автора созданы: новый аппаратный комплекс частотных зондирований «HF-EM»; аппаратный телеметрический комплекс «ТЕЛСС-3-Э»; измеритель «APL-02»; аппаратно-методический комплекс КЦТ для установки термокос с судна и дистанционной передачи термометрических данных.

**В третьей главе** представлено моделирование теплового режима и распространения мерзлых пород на шельфе.

Для задания палеосценариев на шельфе автором рассматриваются современные представления о трансгрессиях и регрессиях арктического океана.

При моделировании теплового режима на опорных участках был использован каталог теплового потока Арктики (Pollack et al., 1991), Национальный атлас Арктики (Роскартография, 2017) и результаты собственных исследований по проекту SWERUS-C3, а также программное обеспечение «Тундра» и «QFrost» разработанное на кафедре геокриологии МГУ.

В результате выполненных тепловых расчетов дана оценка залегания кровли и подошвы ММТ в морях АЗР. Отличительной особенностью постановки тепловой задачи на арктическом шельфе является ее решение для представительных опорных участков, где автором были изучены свойства верхней части разреза и эти данные были использованы при решении тепловой задачи.

**В четвертой** главе рассмотрены результаты и интерпретация полученных исследований по секторам и отдельным участкам проводимых исследований в регионе.

Анализ меридиональной геоэлектрической модели восточного сектора Российской Арктики (моря Лаптевых, Восточно-Сибирское, Чукотское) позволил установить существование на шельфе сплошного высокоомного слоя с характерными сопротивлениями (5–20 Ом·м).

Анализ геолого-геофизических и тепловых моделей для шельфа северных морей показал, что мощности многолетнемерзлых толщ не превышают 600–700 м, тогда как мощности высокоомных слоев достигают 1000 м и более на шельфе моря Лаптевых. Эти данные позволили сделать предположение (вывод), что подошва высокоомного слоя в геоэлектрических моделях не всегда связана с подошвой многолетнемерзлых пород на арктическом шельфе. Одним из возможных объяснений продолжения высокоомного слоя вглубь является существование под многолетнемерзлыми породами толщ газогидратов, известных на канадском арктическом шельфе по данным сейсморазведки по эффекту «двойного дна». Автором эта толща названа криогенногидратной, она нередко включает участки протяженностью до 100 км и более. На этих участках зафиксированы аномально высокие

содержания метана.

**Пятая глава** работы посвящена районированию многолетнемерзлых толщ на арктическом шельфе. Выполненная типизация многолетнемерзлых пород шельфа позволила выделить 11 характерных особенностей для различных районов шельфа, полученных как экспериментальными, так и расчетными методами.

Установлены региональные особенности распространения, кровли залегания и мощности ММТ которые изменяются от островного (в западной части Печорского моря), где кровля мерзлоты залегает на глубинах от 24 до 150 м, а подошва – на глубинах от 320 до 350 м, до прерывистого (море Лаптевых) с зонами их отсутствия протяженностью до 10 км, с залегание кровли на глубинах от 2 до 90 м, подошвы – в пределах 300–660 м.

Дана региональная оценка возможного залегания криогенногидратной толщи. Составлена схема типов криогенногидратных толщ и их распространения на шельфе морей Российской Арктики.

#### **4. Замечания по диссертационной работе**

При ознакомлении с работой у рецензента есть следующие замечания:

1. Автором сформулирована цель работы (стр.8.) — определение границ распространения и строения криолитозоны, а также температурного режима, свойств, условий формирования и динамики многолетнемерзлых пород на шельфе морей Российской Арктики. В работе, рецензент не увидел данных температурного режима или автор рассматривает это в рамках выполненного моделирования?

2. Защищаемые положения 2 и 3 содержат трудно воспринимаемую численную информацию, которая могла быть заменена оборотом «...выявлены региональные особенности распространения и залегания многолетнемерзлых и криогенных толщ ...» с некоторыми уточнениями), было бы понятно, что же установлено автором, а конкретные параметры достаточно приведены в работе.

3. В научной новизне работы (п.1-3) следовало бы отразить геокриологические особенности по секторам арктического шельфа....., а не излагать по расстоянию простираения ММТ от береговой линии, глубины

залегания кровли, глубины залегания подошвы.....

4. В последние годы появилось большое количество работ по уточнению границ тектонических структур в работах российских ученых в т.ч. СО РАН (В.А. Верниковский, Н.Л. Добрецов и др.), однако автор в своей работе и анализе (стр. 41 и др.) применяет схемы 50-ти летней (Шепард, 1976) и ничего не говорит о более поздних работах.

5. История геологического развития шельфа: трансгрессии и регрессии моря (пор.3.1.) написан не как представление автора об истории геологического развития, а как набор выводов некоторых авторов, к тому же не совсем понятно принимает ли автор эту точку зрения.

6. Раздел 3.2. имеет название «Геотермический поток на арктическом шельфе и низменностях». Вероятно, речь идет о внутриземном тепловом потоке? Из текста раздела и табл. 3.2. совершенно непонятно, откуда взяты или получены при зондировании данные о тепловом потоке по участкам?

7. В разделе 2.1. Методы лабораторных исследований «Электрические свойства» (стр.80) – нет ссылок на публикации применяемой методики и аппаратуры.

8. В тексте и на рисунках автор вольно использует термин мощность многолетнемерзлых пород – рассматривая при этом сочетание в этом интервале различных по составу пород. Правильнее было бы в большинстве случаев употреблять термин многолетнемерзлые толщи (ММТ).

9. В тексте часто встречается «мощность криолитозоны» – не совсем правильный оборот, так как термин «криолитозона» применяется больше для характеристики площадного распространения. Кроме того, С.М. Фотиевым были предложены и обоснованы для применения понятия криогенная толща, многолетнемерзлая толща, применение в работе которых во многом бы улучшило её восприятие и понимание и позволило бы четко обозначить объект исследований.

10. Автор довольно вольно относится к понятиям, так на стр. 20 автореферата и в тексте диссертации «... особенностью предлагаемой методики является измерение температурного поля в скважинах на опорных

участках с регистрацией температурного поля на льду и на акватории...». Вероятно, измерялась температура, а температурное поле – это совокупность значений температуры во всех точках рассматриваемого объема в каждый фиксированный момент времени. Оно (температурное поле) в последствие строится.

11. В тексте излагается ряд утверждений, например, (стр.50, 61, 94 и др.): «... Шельф Карского моря можно разделить на две части – южную и северную как по возрасту пород фундамента, так и по мощности осадочного чехла...» (стр.50). Непонятно, это утверждение автора или принятая точка зрения других исследователей?

12. Страница 75 «...Температуры на глубине нулевых годовых колебаний были установлены следующие: на коренном берегу губы  $-25^{\circ}\text{C}$  при глубине 17 м...». Такой температуры на глубине годовых теплооборотов в этих регионах не наблюдается и конечно же использовать эти данные для моделирования не нужно.

13. На рис. 4.35, 4.36 и др. применяется терминология Мерзлые ММП, деградирующие ММП и талые осадки. Непонятно, что вкладывает автор в эти понятия где-то осадки, где-то породы.

14. В тексте работы встречаются некоторые орфографические ошибки (стр. 31,61,68, 89,107,256 и др.) связанные в большей степени с неправильным склонением и пропуском слов «...пересчете интенсивности измеренных полей в математическую модель распределения физические свойства объекта исследований.», «... по мнению которого мерзлые породы быть встречены в тех районах шельфа...»).

15. Встречаются не корректные обращения по тексту (стр.42,57,58 и др.) к авторам: «... По мнению Крапивнера (Крапивнер, 2006) ...», нужно Р.Б. Крапивнера (стр.42);

16. В ряде случаев (рис. 1.27, рис. 1.34, рис. 4.27 и др.) приведены неполные условные обозначения на рисунках, что затрудняет их чтение и понимание выводов автора.



17. По тексту можно отметить излишнее выделение красных строк, что приводит к разделению целостности мысли автора и затрудняет понимание при прочтении работы (стр. 72. и др.).

18. В тексте диссертации имеют место повторения. Так на стр. стр. 8 и 78 повторяются задачи соискателя и др.

#### **5. Публикации по теме диссертационной работы**

Основные положения и выводы диссертационного исследования в полной мере изложены 34 научных работах и 2 патентах на изобретение, включая 20 публикаций в рецензируемых научных изданиях, определенных п. 2.3 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, доложены на более чем 40 конференциях различного ранга.

#### **6. Соответствие содержания автореферата основным идеям и выводам диссертации**

Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы. Основные идеи, положения, выводы работы отражены в автореферате. Оформление диссертации и автореферата выполнено в соответствии с требованиями МГУ им. М.В. Ломоносова, текст написан литературным языком с корректным использованием научно-технической терминологии.

#### **7. Заключение по диссертационной работе**

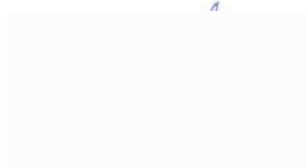
Несмотря на высказанные оппонентом замечания, в целом диссертационная работа Кошурникова Андрея Викторович на тему «Многолетнемерзлые толщи шельфа морей Российской Арктики (по данным геофизических исследований)» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу, в которой предложен новый методический подход, получены новые знания о физических полях разрезов и геокриологических условиях шельфа морей Российской Арктики, что имеет большое значение для освоения этой территории. Диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В. Ломоносова к работам подобного рода. Содержание её соответствует специальностям 1.6.7 - инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение и 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. Работа оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кошурников А.В. заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по совокупности специальностей 1.6.7 - инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение и 1.6.9 – геофизика

Официальный оппонент:

Доктор геолого-минералогических наук по специальности 25.00.08 – инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, член- корр. РАН, директор Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН



«15» мая 2023 г.  
Михаил Николаевич Железняк

тел.: (4112)33-43-02

E-mail: \_\_\_\_\_

Россия, 677010, г. Якутск, Мерзлотная, 36

Я, Железняк Михаил Николаевич, автор отзыва, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.



«15» мая 2023г.  
Михаил Николаевич Железняк

Подписи заверяю:

Учёный секретарь  
Института мерзлотоведения  
им. П.И Мельникова СО РАН



А.А. Куть  
15 мая 2023 г.

677010, Российская Федерация,

г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И Мельникова СО РАН

телефон: 8 (4112) 33-43-02

Факс: 8 (4112) 33-44-76

<https://mpi.ysn.ru>, E-mail: [mpi@ysn.ru](mailto:mpi@ysn.ru)