

ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Кошурникова Андрея Викторовича «Многолетнемерзлые толщи шельфа морей Российской Арктики (по данным геофизических исследований)», представленной на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, 1.6.9 – геофизика

Актуальность избранной темы

В настоящее время, и в ближайшем будущем, арктический шельф будет одной из наиболее важных природных систем на нашей планете, так как он не только оказывает влияние на климат опосредованно через деградацию мерзлоты, изменяющийся цикл пресной воды (опосредованно через рост стока арктических рек, термохалинный конвейер) и углеродный цикл (опосредованно через региональный дисбаланс в цикле углерода и атмосферную эмиссию основных парниковых газов, двуокись углерода-СО₂, и метан-СН₄), но и сам является наиболее чувствительной частью климатической системы. Для понимания причинно-следственных положительных и отрицательных обратных связей в арктической климатической системе требует сбалансированного рассмотрения ключевых процессов в системе суша – шельф – атмосфера, которые включают малоисследованную роль геологического фактора – изменения состояния подводной мерзлоты (ПМ), которая ассоциирована с гигантским запасом СН₄ в форме и гидратов и свободной форме. Становится очевидным, что одной из наиболее актуальных и фундаментальных тем в современных Науках о Земле является выявление биогеохимических, экологических, и климатических последствий деградации ПМ.

В прикладном аспекте, крайне важным направлением исследований является выявление и изучение природных опасностей (георисков) связанных с быстрой деградацией ПМ, особенно в прибрежных районах, где проводятся работы по созданию инфраструктуры обеспечения Северного морского пути и нефтегазового добывающего комплекса.

Особо важной задачей являются исследования залежей газовых гидратов на побережье и шельфе, которые могут внести важный вклад в прирост минерально-сырьевой базы России. Однако сегодня, в связи с деградацией многолетнемерзлых пород, разложение газовых гидратов является угрозой для безопасности инженерных сооружений и людей, работающих в этих районах. В этом контексте, крайне важно получить достоверную информацию по динамике кровли и подошвы ПМ, характерных особенностях структуры ПМ.

Работа Кошурникова А.В. посвящена определению границ распространения и строения криолитозоны, а также температурного режима, свойств, условий формирования и динамики многолетнемерзлых пород на шельфе морей Российской Арктики. Для достижения этой цели были поставлены и решены следующие задачи:

- выполнить анализ и обобщение данных о геокриологических условиях арктического шельфа;

- разработать методику комплексных геокриолого-геофизических исследований для изучения многолетнемерзлых толщ на шельфе;
- изучить строение и свойства многолетнемерзлых пород шельфа морей Российской Арктики;
- разработать математические модели теплового режима горных пород на шельфе;
- установить границы распространения многолетнемерзлых толщ шельфа;
- определить условия формирования и динамику многолетнемерзлых толщ на арктическом шельфе;
- выполнить типизацию многолетнемерзлых пород арктического шельфа и составить схему их распространения.

Новизна и достоверность результатов

Новизна и репрезентативность результатов определяется авторской разработкой и реализацией нового принцип комплексного анализа геолого-геофизических данных для изучения многолетнемерзлых пород на арктическом шельфе. Его суть заключается в комплексном подходе к реализации пяти видов исследований: а) электромагнитные зондирования методом зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) для акватории шельфа, электромагнитные зондирования методом ЗСБ и методом частотных зондирований (ЧЗ) для транзитной (переходной) зоны суша-шельф, интерпретация геофизических данных при минимальном числе слоев (режим толстослоистых моделей); б) лабораторные испытания грунтов для закрепления удельных электрических сопротивлений (УЭС) при моделировании электромагнитных полей; в) буровые работы для тестирования (проверки) положения кровли высокоомного слоя на геоэлектрических разрезах, построенных по результатам моделирования электромагнитных полей; г) термометрия на шельфе для получения данных о температуре многолетнемерзлых пород; д) моделирование тепловых полей для проверки подошвы высокоомного слоя на геоэлектрических разрезах, построенных по результатам моделирования электромагнитных полей.

Теоретическую основу исследований по теме диссертации составляют современные геолого-геофизические представления о формировании, строении и свойствах многолетнемерзлых толщ арктического шельфа. Особенностью предлагаемого подхода является комплексность исследований, включающих бурение скважин, геофизические и лабораторные исследования с применением различных методов, а также моделирование теплового режима горных пород.

Работа А.В. Кошурникова уникальна в плане географического охвата всех морей Российской Арктики, включая моря Восточной Арктики, которые представляют самый широкий и мелководный шельф Мирового океана, в котором сосредоточено около 80% всей ПМ и гигантские запасы гидратов и газообразного СН₄. Все моря исследовались одним и тем же комплексом геофизических и геологических методов, поименованных выше. Это, наряду с тестированием (валидацией) положения кровли ПМ научным бурением, позволило впервые получить реалистичную картину заглупления кровли ПМ на характерных разрезах (трансектах) во всех морях Восточного и Западного сектора Российской Арктики. Более того, была исследована структура толщи ПМ в различных ключевых районах арктического шельфа России, которые представляют большой интерес с

точки зрения оценки георисков, при проведении инфраструктурных изысканий, разведочном бурении, прокладке трубопроводов и т.д..

Степень обоснованности положений, выносимых на защиту, научных выводов и рекомендаций

Степень обоснованности положений выносимых на защиту, научных выводов и рекомендаций определяется комплексной методологией работ, реализованных на в ключевых районах арктического шельфа России. Методика работ включает лабораторные испытания пород шельфа, электромагнитные исследования, подтверждение геофизических результатов бурением, термометрию в пробуренных на шельфе скважинах и тепловое моделирование на шельфе арктических морей (Основы..., 2020). Детальный анализ результатов полученных на ключевых (опорных) участках является основой выполненной работы.

Особенностью предлагаемого подхода является представительность опорных участков. Использовались 7 участков на арктическом шельфе России: на шельфе моря Лаптевых в районе залива губы Буор-Хая (опорный разрез 1, Тикси), в районе Хатангского залива (опорный разрез 2, Хатанга), в районе пролива Вилькицкого (опорный разрез 3). На шельфе Карского моря моделировалось тепловое поле в районе о-ва Диксон (опорный разрез 4), в районе о-ва Белый (опорный разрез 5, о-в Белый), в районе залива Байдарацкой губы (опорный разрез 6, Байдарацкая губа), на шельфе Печорского моря тепловое поле моделировалось в районе от Карских ворот до о-ва Колгуев (опорный разрез 7, Печорское море). Участки были выбраны с учетом их представительности и наличия фактических материалов по буровым работам и лабораторным испытаниям пород на шельфе как полученных автором в период 2006–2018 гг., так и имеющихся в Росгеолфонде.

Исходя из сложившейся мировой практики в области исследований арктических морей, которая базируется на математическом моделировании, при огромном количестве неопределенностей, становится очевидным, что работа выполненная А.В. Кошурниковым с коллегами, является пионерской работой, раскрывающей новый этап в понимании динамике ПМ арктических морей. С моей точки зрения, для успешной защиты докторской диссертации было бы достаточно результатов приведенных во 2 главе, которые иллюстрируются Рис. 2-5 из автореферата.

Автором было впервые показано, что кровля и подошва многолетнемерзлых пород имеют большое количество погруженных участков или сквозных таликов во всех арктических морях России, что крайне важно для понимания механизма формирования газывыводящих каналов для разгрузки метана из геологических источников в водную толщу-атмосферу, а также для выявления и понимания мест разгрузки подмерзлотного грунтового стока.

Ниже приведены основные научно-обоснованные результаты работы А.В. Кошурникова, которые являются основой для нового этапа исследования роли геологического фактора- особенностей деградации ПМ на арктическом шельфе России:

1. Разработана методика и программно-технические средства для комплексных геокриолого-геофизических исследований при изучении субмаринных многолетнемерзлых и гидратных толщ на траверсах и полигонах шельфа Печорского, Карского, Лаптевых, Восточно-Сибирского, Чукотского морей. Предложена новая структура комплексного геокриолого-геофизического

анализа, включающего электроразведку методом зондирований становлением поля для изучения многолетнемерзлых пород на шельфе, электроразведку методом частотных зондирований для изучения многолетнемерзлых пород в транзитной зоне суша-шельф, инверсию геофизических данных в режиме фиксированных модельных УЭС по лабораторным испытаниям грунтов, буровые работы, моделирование тепловых полей, лабораторные испытания грунтов и термометрию в выстоявшихся скважинах.

2. На основании полевых и лабораторных исследований многолетнемерзлых пород шельфа морей Российской Арктики создана база данных физических свойств пород арктического шельфа. Выполнена обработка полученных геофизических данных и построены региональные 2D геокриологические модели через шельфы Печорского, Карского, Лаптевых морей. Построены детальные 3D геокриологические модели на шельфе Карского, Лаптевых, Чукотского морей.
3. Проанализированы и определены возможные условия формирования многолетнемерзлых толщ и построены 42 модели теплового режима горных пород на шельфе арктических морей.
4. Выполнено сравнение результатов численного теплового моделирования с данными бурения и геофизических исследований, определены границы распространения многолетнемерзлой и гидратной толщ на арктическом шельфе.
5. На шельфе морей Российской Арктики обнаружен горизонт высокого сопротивления (высокоомный слой), подтвержденный буровыми работами и термометрическими наблюдениями, кровля которого связана на шельфе с многолетнемерзлыми породами Печорского моря (простирающегося от побережья в сторону моря на расстояние до 90 км и до глубин моря 150 м), Карского моря (приямальский участок, простирающегося от побережья в сторону моря на расстояние 50 км и до глубин моря 100 м), моря Лаптевых (залив губы Буор-Хая, Хатангский залив, простирающегося от побережья в сторону моря на расстояние до 100 км и до глубин моря 10 м), Восточно-Сибирского моря (пролив Дмитрия Лаптева, простирающегося от побережья в сторону моря на расстояние 40 км и до глубин моря 20 м), Чукотского моря (Чаунская губа, простирающегося от побережья в сторону моря на расстояние 20 км и до глубин моря 10 м).
6. Установлено, что кровля многолетнемерзлых пород на шельфе Печорского моря располагается на глубинах от 24 до 150 м, на шельфе Карского моря – от 1,7 до 160 м; на шельфе моря Лаптевых – от 2 до 90 м, на шельфе Восточно-Сибирского моря – от 1,5 до 70 м, на шельфе Чукотского моря – от 10 до 120 м от кровли донных отложений.
7. Установлено, что подошва многолетнемерзлых пород на шельфе Печорского моря располагается на глубинах 320–350 м, на шельфе Карского моря – в пределах 320–350 м, на шельфе моря Лаптевых – в пределах 300–660 м, на шельфе Восточно-Сибирского моря – в пределах 520–640 м, на шельфе Чукотского моря – в пределах 220–630 м от кровли донных отложений.
8. Многолетнемерзлые толщи в транзитной (переходной) зоне суша-шельф имеют двухслойное строение, что связано с условиями их формирования и

- промерзанием в условиях мелководья. Мощность современных «kozyрьков» многолетнемерзлых пород составляет не более 10 м, а их простирание до 180–220 м.
9. Прослежена непрерывность многолетнемерзлых пород на различных участках арктического шельфа. Для западной части Печорского моря острова многолетнемерзлых пород имеют простирание 1–5 км, для Восточной – 10–50 км. На шельфе Карского моря зоны деградации многолетнемерзлых пород имеют простирание простирание 10–20 км, на шельфе моря Лаптевых – 5–10 км, на шельфе Восточно-Сибирского моря – 2–10 км, на шельфе Чукотского моря – 10–20 км.
 10. В многолетнемерзлых толщах на арктическом шельфе обнаружены зоны высокотемпературных многолетнемерзлых пород, по-видимому, газонасыщенных, имеющих простирание на шельфе Карского моря 10–50 км, на шельфе моря Лаптевых – 10–110 км, на шельфе Восточно-Сибирского моря – 20–130 км, на шельфе Чукотского моря – 10–70 км.
 11. Изучены мощности многолетнемерзлых толщ на различных участках арктического шельфа по результатам теплового моделирования. Их корреляция с мощностями высокоомного слоя указывает на присутствие газогидратной толщи мощностью — от 20 до 110 м в интервале глубин 270–380 м от кровли донных отложений на шельфе морей западного сектора Российской Арктики (Печорское, Карское моря). На шельфе морей восточного сектора Российской Арктики в интервале глубин 660–1170 м присутствуют газогидратные толщи значительной мощности – от 120 до 540 м на шельфе моря Лаптевых, от 140 до 570 м на шельфе Восточно-Сибирского моря, от 90 до 480 м от кровли донных отложений на шельфе Чукотского моря. Распространение газогидратных толщ коррелируется с известными газогидратными областями Северного Ледовитого океана.
 12. Предложена типизация многолетнемерзлых пород арктического шельфа РФ.
 13. Составлена схема криогенногидратных толщ на шельфе морей Российской Арктики, отличающаяся распространением, состоянием, строением криолитозоны, с изменением глубин залегания кровли, подошвы многолетнемерзлых и гидратных толщ, а также выделением зон современной деградации многолетнемерзлых толщ от известных ранее геокриологических карт.
 14. Получены новые данные о динамике многолетнемерзлых толщ на арктическом шельфе в последние десятилетия. Деградация субмаринных многолетнемерзлых толщ по глубине составляет 14–18 см/год, по простиранию – 10–16 см/год.

Поддерживаю выводы и рекомендации А.В. Кошурникова в части использования полученных результатов для более детального картирования криогенногидратных толщ, многолетнемерзлых толщ и составления карты гидратных толщ на шельфе морей Российской Арктики. Для достижения этой цели необходимо продолжить экспедиционные исследования по авторской методике, дополняя схему распространения криогенногидратных толщ новыми данными, а также продолжить лабораторные исследования свойств субмаринной

криолитозоны для выбора новых информативных геофизических методов, позволяющих разделить толщу многолетнемерзлых пород и газогидратную толщу.

У рецензента нет существенных замечаний по работе. В качестве рекомендации, предлагается в ближайшее время опубликовать ряд наиболее ярких результатов в ведущих мировых изданиях в области морской геологии и геофизики, и климатологии.

Исходя из вышеизложенного, диссертация отвечает требованиям, установленным Московским государственным университетом имени М.В.Ломоносова к работам подобного рода. Содержание диссертации соответствует специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, 1.6.9 – геофизика, а также критериям, определенным пп. 2.1-2.5 Положения о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а также оформлена согласно требованиям Положения о совете по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова.

Таким образом, соискатель Кошурников Андрей Викторович заслуживает присуждения ученой степени доктора геолого-минералогических наук по специальности 1.6.7. Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение, 1.6.9 – геофизика

Контактные данные:

тел.: 7(

m

Специальность, по которой рецензентом защищена диссертация: 25.00.28– океанология
член-корр. РАН, доктор географических наук,
заведующий лабораторией арктических исследований
Отдела геохимии и экологии океана
ФГБУН Тихоокеанский океанологический
институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Адрес места работы:

690041, (Приморский край) г. Владивосток, ул. Балтийская, д. 43,

ФГБУН Тихоокеанский океанологический
институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН

Тел. (рабочий): +7 4232 312342; e-mail (институтский): ipsemiletov@poi.dvo.ru

Подпись сотрудника

 И.П. Семилетов

18 мая 2023 г.

Собственноручную подпись


Семилетова И.П.