

ШИРОКОМАСШТАБНОЕ ОТСУТСТВИЕ РЕЛИКТОВЫХ МЕРЗЛЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ГАЗОВЫХ ГИДРАТОВ НА ШЕЛЬФЕ ЧУКОТСКОГО МОРЯ

В. И. Богоявленский, А. В. Кишанков

Институт проблем нефти и газа РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 17 февраля 2026 г.

Для цитирования

Богоявленский В. И., Кишанков А. В. Широкомасштабное отсутствие реликтовых мерзлых отложений и газовых гидратов на шельфе Чукотского моря // Арктика: экология и экономика. — 2026. — Т. 16, № 2. — С. 168—180. — DOI: 10.25283/2223-4594-2026-2-168-180.

Впервые для мелководной (до 120 м) площади 290 тыс. км² российского сектора Чукотского моря проведены обработка и комплексный анализ большого объема записей преломленных волн, содержащихся в первых вступлениях сейсмограмм общего пункта взрыва по 15 сейсмопрофилям метода общей глубинной точки (МОГТ) АО «Дальморнефтегеофизика» и АО «Севморнефтегеофизика» общей протяженностью около 2,73 тыс. км (включая 800 км в восточной части Восточно-Сибирского моря). Обосновано, что практически на всей исследованной площади деградация субаквальных реликтовых многолетнемерзлых пород (ММП), сцементированных льдом, в основном завершилась, при этом произошла и диссоциация сопутствующих криогенных газогидратов. Возможно сохранение твердомерзлых пород в прибрежной полосе, требующей дополнительных исследований, а также редкоостровных участков ММП в завершающейся стадии деградации. С учетом отрицательных результатов исследований существования реликтовых ММП в американском секторе Чукотского моря, выполненных учеными Германии и США на основе обработки записей отраженных волн, можно прогнозировать и широкомасштабное отсутствие реликтовых мерзлых отложений и газогидратов на шельфе Чукотского моря на площади 480 тыс. км². Полученные результаты согласуются с данными бурения ряда скважин, при этом они кардинально отличаются от результатов других исследований, в основном базирующихся на данных математического моделирования.

Ключевые слова: Арктика, Чукотское море, сейсморазведка МОГТ, преломленные волны, многолетнемерзлые породы (ММП), редкоостровная мерзлота, газогидраты.

Введение

Потепление климата в постгляциальный период (около 12 тыс. лет) оказывает наиболее сильное влияние в Арктике, в которой в голоцене происходит деградация многолетнемерзлых пород (ММП), приводящая к снижению или потере экранирующих свойств ранее мерзлых отложений, что усиливает эмиссию парниковых газов (в первую очередь углекислого газа и метана) в гидросферу и атмосферу [1—7]. Современная мелководная зона шельфа

Арктики (примерно до изобаты 120 м) в последний гляциальный период (плейстоцен) была низменной частью суши, на которой в субаэральных условиях также сформировались ММП. Затопление этой зоны в процессе постгляциальной трансгрессии ограничило поступление холода и привело к постепенной деградации субаквальных реликтовых ММП и диссоциации криогенных газогидратов. При этом долгое время мировое научное сообщество считало, что большая часть субаквальных реликтовых ММП сохранилась на акваториях всех морей Арктики, что отражено во многих публикациях и на сайте Меж-



Рис. 1. Схема расположения использованных материалов сейсморазведки МОГТ АО «Дальморнефтегеофизика» и АО «Севморнефтегеофизика» и бурения скважин в Чукотском море. Обозначения: 1 – сейсмопрофили; 2 – примеры сейсмограмм ОПВ на рис. 3; 3 – месторождения; 4 – лицензионные участки ПАО «НК «Роснефть» (SCh, NW1, NW2); 5 – скважины ПАО «НК «Роснефть» R1, ..., R11 [28], геологосъемочных работ 2006 г. L1, L2 [29], экспедиции SWERUS 2014 г. S2, S4 [30]; 6 – нефтегазопроисковые скважины США [31; 32]; 7 – места обнаружения газогидратов C2, C3 [33]; 8 – изобаты в метрах (построены авторами на основе данных GEBSCO); 9 – граница Чукотского моря; 10 – морская граница между Россией и США

Fig. 1. Layout of JSC “Dalmorneftegeofizika” and JSC “Sevmorneftegeofizika” common depth point (CDP) seismic and well drilling data in the Chukchi Sea. Legend: 1 – seismic lines; 2 – examples of common shot gathers (CSGs) in Fig. 3; 3 – fields; 4 – license areas of PJSC NK Rosneft (SCh, NW1, NW2) [28]; 5 – wells of PJSC NK Rosneft R1, ..., R11 [28], geological surveys of 2006 L1, L2 [29], SWERUS expedition of 2014 S2, S4 [30]; 6 – oil and gas exploration wells of the USA [31, 32]; 7 – locations of gas hydrate discoveries C2, C3 [33]; 8 – isobaths in meters (created by the authors based on GEBSCO data); 9 – boundary of the Chukchi Sea; 10 – the Russia–USA maritime boundary

дународной ассоциации мерзлотоведов (ИПА) [3; 4; 6–14]. Опираясь на мнение авторитетных ученых, до 2020 г. такого же мнения вынужденно придерживались и авторы данной статьи [15; 16].

В 2020–2025 гг. при анализе около 43 тыс. км полевых записей преломленных волн, полученных

при проведении стандартной нефтегазопроисковой сейсморазведки методом общей глубинной точки (МОГТ) АО «Морская арктическая геологоразведочная экспедиция» (МАГЭ), авторы впервые выполнили прогноз распространения ММП с потенциальными криогенными газогидратами на шельфе

Восточной Сибири (моря Лаптевых и Восточно-Сибирское) и Карского моря на общей площади около 1,9 млн км² [17—23]. Впервые установлено, что на большей части шельфа Восточной Сибири (около 58%) твердомерзлые породы деградировали, что также сократило площадь существования газогидратов [22]. В наибольшей степени (около 77%) мерзлота деградировала на шельфе Восточно-Сибирского моря. В Карском море в южной и центральной частях в основном сохранилась редкоостровная мерзлота, которая была выявлена на 174 обособленных участках сеймопрофилей [23]. В Северной части Карского моря (без прибрежных зон) получена принципиально новая информация о полном отсутствии реликтовых твердомерзлых пород. Таким образом, для всех исследованных акваторий Арктики была получена новая информация [17—23], кардинально отличающаяся от данных других авторов, включая IPA [3; 4; 6—14], что вызвало удивление и/или даже сомнение у некоторых мерзлотоведов [7].

Понятие «многолетнемерзлые породы» в работах авторов [17—23] определено согласно ГОСТ 25100—2011, регламентирующему различные состояния грунтов, к которым относятся «любые горные породы, почвы, осадки и техногенные образования... как часть геологической среды» (п. 3.8) [24]. Мерзлым считается грунт, «...имеющий отрицательную или нулевую температуру, содержащий в своем составе видимые ледяные включения и (или) лед-цемент и характеризующийся криогенными структурными связями. Многолетнемерзлый грунт — грунт, находящийся в мерзлом состоянии постоянно в течение трех и более лет» [24, п. 3.19]. Также отметим, что твердомерзлым считается «дисперсный грунт, прочно сцементированный льдом, характеризуемый относительно хрупким разрушением, практически несжимаемый под внешней нагрузкой» [24, п. 3.41].

Результаты Института проблем нефти и газа (ИПНГ) РАН по картированию распространения мерзлых и талых пород на шельфе Арктики по записям преломленных волн подтверждены данными бурения многочисленных скважин АО «Арктические морские инженерно-геологические экспедиции» (АМИГЭ) в Карском море [23], ПАО «НК «Роснефть», Федерального агентства по недропользованию (Роснедра) и др. в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском [22; 25—27]. В 2020—2023 гг. ПАО «НК «Роснефть» по программе стратиграфического бурения на российском шельфе Арктики RoSDAr (Rosneft Stratigraphic Drilling in Arctic) с бурового судна «Бавенит» АМИГЭ на арктическом шельфе было пробурено 26 скважин с глубиной от 100 до 453 м [25—27]. Кроме того, в 2022 г. по инициативе Роснедра в северо-западной части Восточно-Сибирского моря была пробурена еще одна скважина DL-1 с забоем 472 м от поверхности дна [26].

В рамках программы RoSDAr в 2022 и 2023 гг. в Чукотском море было пробурено 7 скважин глубиной от 176 до 453 м (рис. 1), при этом были вскрыты нижнемеловые отложения [28], но подтверждений обнаружения ММП не получено.

Не обнаружили ММП также две мелкие скважины L1 и L2 (см. рис. 1) с забоями 5,5 и 12,0 м, пробуренные в проливе Лонга (юго-западная часть Чукотского моря) на глубинах воды 37 и 39 м в рамках геологосъемочных работ 27—31 августа 2006 г. с морского буксира «Шуя» буровой установкой УМБ-130М [29]. При этом они вскрыли «плиоцен-эоплейстоценовые слабодислоцированные песчаные толщи, перекрытые плащом глинисто-алевритовых голоценовых морских осадков» [29]. Кроме того, севернее острова Врангеля во время международной экспедиции SWERUS в 2014 г. с судна «Oden» поршневым пробоотборником были взяты образцы кернов длиной 8,2 и 6,1 м на глубинах моря 75 и 120 м на участках 2-PC1 и 4-PC1 (см. рис. 1, S2, S4) [30].

Основной целью исследований в настоящей работе является развитие ранее начатых исследований распространения субаквальных реликтовых ММП и сопутствующих им криогенных газогидратов [17—23] для российской части шельфа Чукотского моря на основе доступных архивных данных сейсмозаведки МОГТ.

Методы и материалы исследований

При отсутствии данных бурения скважин на шельфе наиболее достоверная информация о существовании или отсутствии ММП, а также сопутствующих им криогенных газогидратов может быть получена на основе сейсмических записей преломленных волн, регистрируемых в первых вступлениях сейсмограмм общего пункта взрыва (ОПВ — общий пункт возбуждения упругих колебаний пневмоисточником) [17—23; 34]. При традиционном графе обработки записей отраженных волн МОГТ преломленные волны являются помехами, при этом они удаляются (обнуляются) из графа стандартной обработки. Характерные примеры регистрации преломленных волн от ММП в море Лаптевых и в западной части Восточно-Сибирского моря приведены на рис. 2 (скорости 2,3 и 3,1 км/с) [22]. Опыт работы на шельфе Восточной Сибири и в Карском море показал, что целевые преломленные волны от ММП обычно прослеживаются на ограниченных удалениях от источника возбуждения колебаний (X) — до 1,5—2,2 км, что в разы меньше, чем преломленные волны от геологических горизонтов. Также отметим, что преломленные волны от ММП регистрируются не только на скоростях 2,3—4,3 км/с [34], но и в диапазоне 1,8—2,3 км/с, в котором ММП, видимо, находятся в стадии сильной деградации [22; 23]. Более подробно специфика работы с записями преломленных волн от ММП отражена в работах авторов [17—23].

Исследования в Чукотском море базируются на обработке и анализе архивных записей преломлен-

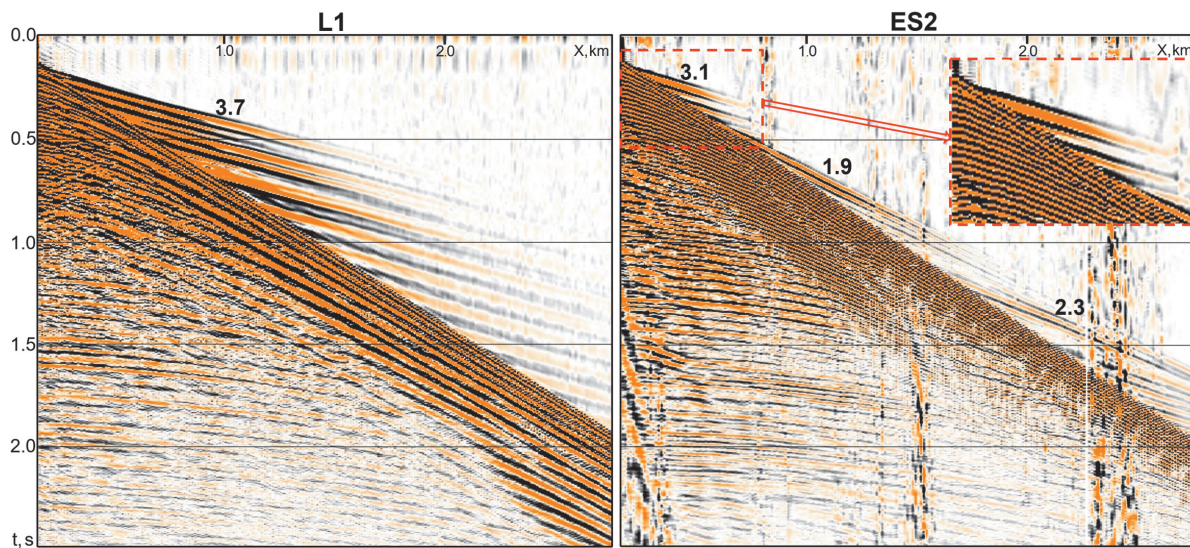


Рис. 2. Фрагменты сейсмограмм ОПВ с преломленными волнами от ММП в морях Лаптевых (L1) и Восточно-Сибирском (ES2) [22]
 Fig. 2. Fragments of CSGs with refracted waves from permafrost (PF) in the Laptev (L1) and East Siberian (ES2) Seas

ных волн, полученных при проведении сейсморазведки МОГТ предприятиями геологоразведочного холдинга АО «Росгеология» — АО «Севморнефтегеофизика» (СМНГ) и АО «Дальморнефтегеофизика» (ДМНГ). Полевые материалы были предоставлены ИПНГ РАН в 2025 г. Морским филиалом ФГБУ «Росгеолфонд» Роснедра.

Для анализа скоростей распространения преломленных волн в верхней части разреза (ВЧР) были отобраны данные сейсморазведки МОГТ по 15 сеймопрофилям общей протяженностью 2,73 тыс. км, включая непосредственно по шельфу Чукотского моря 1,93 тыс. км и по прилегающей восточной части Восточно-Сибирского моря 800 км, полученные в 2010—2013 гг. ДМНГ и СМНГ (см. рис. 1). Все сеймопрофили находятся в пределах шельфа до изобаты 120 м. Сейсмические материалы характеризуются высоким качеством, количество каналов регистрации при съемке составляло 400 (2013 г.), 408 (2011 г.) и 636 (2010 г.), а расстояние между каналами — в основном 25 м. При этом длины активных частей сейсмокос составляли от 7,95 до 10,2 км.

Расчет скоростей распространения преломленных волн по сейсмограммам ОПВ проведен в программном обеспечении (ПО) SeisPro (компания «Деко-геофизика», Россия). Картографические построения выполнены в ПО ArcGIS (компания ESRI, США). Расчеты площадей прогнозного распространения талых и мерзлых пород выполнены на основе Общей батиметрической карты океанов GEBCO (<https://www.gebco.net/>).

Краткий геолого-географический очерк

Чукотское море на западе граничит с Восточно-Сибирским морем преимущественно по меридиану 180°, пересекающему остров Врангеля, а на вос-

токе — с морем Бофорта в районе мыса Барроу на Аляске [31; 32; 35]. Дно моря преимущественно пологое и неглубокое (до 50—70 м), но в северо-западной части его глубина увеличивается примерно до 1250 м (см. рис. 1). За счет сообщения Чукотского моря через Берингов пролив с Беринговым морем в него заходит Тихоокеанское течение, приносящее до 30 тыс. км³/год относительно теплой воды и повышающее температуру поверхностной части воды на юге моря от $-1,8^{\circ}\text{C}$ до $+2,0$ — $7,0^{\circ}\text{C}$. Температуры воды вблизи дна зимой на большей части моря меняются в основном от $-1,0^{\circ}\text{C}$ до $-1,8^{\circ}\text{C}$, а летом в его южной и восточной частях достигают $+5,0$ — $8,0^{\circ}\text{C}$ [15, с. 48; 16]. Придонные воды Чукотского моря имеют повышенную соленость до 31,0—33,5‰ [13, с. 44; 35, с. 10]. Зимой море полностью покрывается льдом, а летом около четырех месяцев (июль-октябрь) в разной степени свободно ото льда. Разграничение моря на сектора России и США исторически проходит по меридиану 169° з. д. (см. рис. 1).

В геологическом плане российский сектор Чукотского моря изучен хуже, чем другие арктические акватории. По состоянию на 2018 г. здесь было отработано около 44,5 тыс. км сейсмических профилей МОГТ (средняя плотность наблюдений — 0,13 км/км²) [32]. Кроме того, значительный объем сейсморазведки МОГТ был проведен ПАО «НК «Роснефть» в пределах выданных 31 января 2013 г. трех лицензионных участков: Южно-Чукотского (SCh), Северо-Врангелевских 1 и 2 (NW1, NW2) (см. рис. 1).

По данным сейсморазведки МОГТ, в российском секторе Чукотского моря выделяются два потенциально нефтегазоносных бассейна — Северо-Чукотский с мощностью палеозой-кайнозойских отложений до 18—24 км и менее перспективный

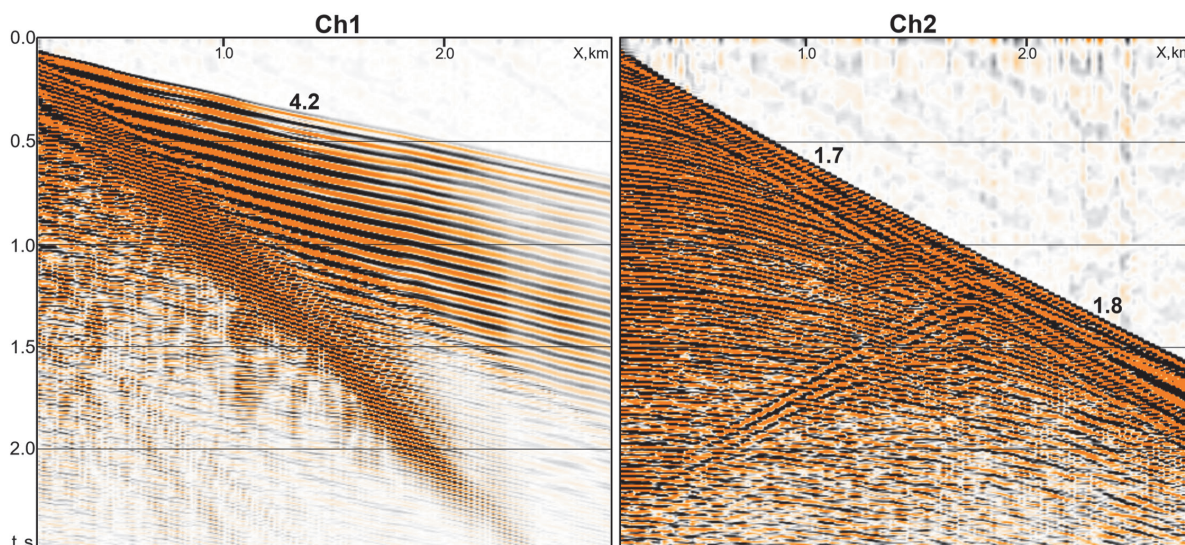


Рис. 3. Фрагменты сейсмограмм ОПВ с преломленными волнами от ММП в Чукотском море в южных частях сейсмопрофилей RU34250P01018 (Ch1) и RU34150P03029 (Ch2) ДМНГ. Положение сейсмограмм показано на рис. 1
 Fig. 3. Fragments of CSGs with refracted waves from PF in the Chukchi Sea in southern parts of JSC “Dalmorneftegeofizika” seismic lines RU34250P01018 (Ch1) and RU34150P03029 (Ch2). The position of the CSGs is shown in Fig. 1

Южно-Чукотский с мощностью мел-кайнозойских отложений до 2—6 км [31; 32, с. 134]. Верхняя часть разреза (глубины до 500—900 м) сложена кайнозойскими отложениями терригенного состава переменной мощности, несогласно залегающими на нижнемеловом комплексе [28]. В региональном плане разновозрастные (докембрий-палеозой) складчато-метаморфизованные породы фундамента обнажаются и/или подходят близко ко дну Чукотского моря протяженной полосой Врангелевско-Геральдского поднятия, захватывающей острова Врангеля и Геральда и доходящей до полуострова Лисберн (Северная Аляска) [32]. Фундамент также обнажается на континентальной суше Чукотки и Аляски. На острове Врангеля в Центральных горах обнажается широкий комплекс в разной степени метаморфизованных пород верхнего протерозоя — кайнозоя, включая эвапориты (гипс) нижнекаменноугольного возраста [36, с. 23; 85].

На континентальном юго-западном склоне Чукотского плато в ходе южнокорейских экспедиций на научном судне — ледоколе «Агаоп» в 2016 и 2018 гг. в кернах двух гравитационных трубок (см. рис. 1, C2, C3) были обнаружены фильтрогенные газогидраты, сформировавшиеся из газа термогенного генезиса [33]. Других фактических примеров взятия образцов газогидратов в российском секторе Северного Ледовитого океана нет.

В российском секторе Чукотского моря не пробурено ни одной нефтегазопоисковой скважины. В американском секторе пробурено 6 таких скважин с забоями от 2056 до 3660 м (см. рис. 1): Klondike-1 (K1), Popcorn-1 (P1), Crackerjack-1 (C1), Burger-1 и Burger-J (B1, B2) компании «Shell», а также Diamond-1 (D1) компании «Chevron». При этом

открыто одно крупное газоконденсатное месторождение Burger в нижнемеловых песчаниках на глубинах 610 и 1695 м (см. рис. 1) [30]. В 2020 г. по архивным данным сейсморазведки МОГТ Геологической службы США (USGS) авторами была доказана высокая газонасыщенность ВЧР [31], что было также подтверждено в 2025 г. [37].

Результаты исследований

На рис. 3 приведены фрагменты характерных сейсмограмм ОПВ ДМНГ, зарегистрированных в разных частях российского шельфа Чукотского моря. На сейсмограмме южной части профиля RU34250P01018 вблизи острова Врангеля (см. рис. 3, Ch1) в первых вступлениях наблюдаются преломленные волны со скоростями около 4,2 км/с, прослеживаемые до удалений 10 км и соответствующие консолидированным отложениям (вероятно, докайнозойского возраста [28, с. 26]) вблизи дна (100—150 м). Отметим, что в 80 км северо-западнее острова Врангеля на профиле 5-AR были зарегистрированы преломленные волны со скоростями 4,0 км/с, видимо, от тех же отложений, но залегающих на глубине около 300 м [22].

На сейсмограмме южной части профиля RU34150P03029 ДМНГ (см. рис. 3, Ch2), зарегистрированной в 90 км от побережья Чукотки в пределах Южно-Чукотского бассейна, в первых вступлениях наблюдаются интерферирующие преломленные волны со скоростями около 1,7 и 1,8 км/с, соответствующие геологическим горизонтам вблизи дна (50—150 м). На удалениях от источника колебаний 6,26-10,11 км (за пределами показанного фрагмента сейсмограммы ОПВ на рис. 3, Ch2) в первых вступлениях выходят преломленные волны со ско-

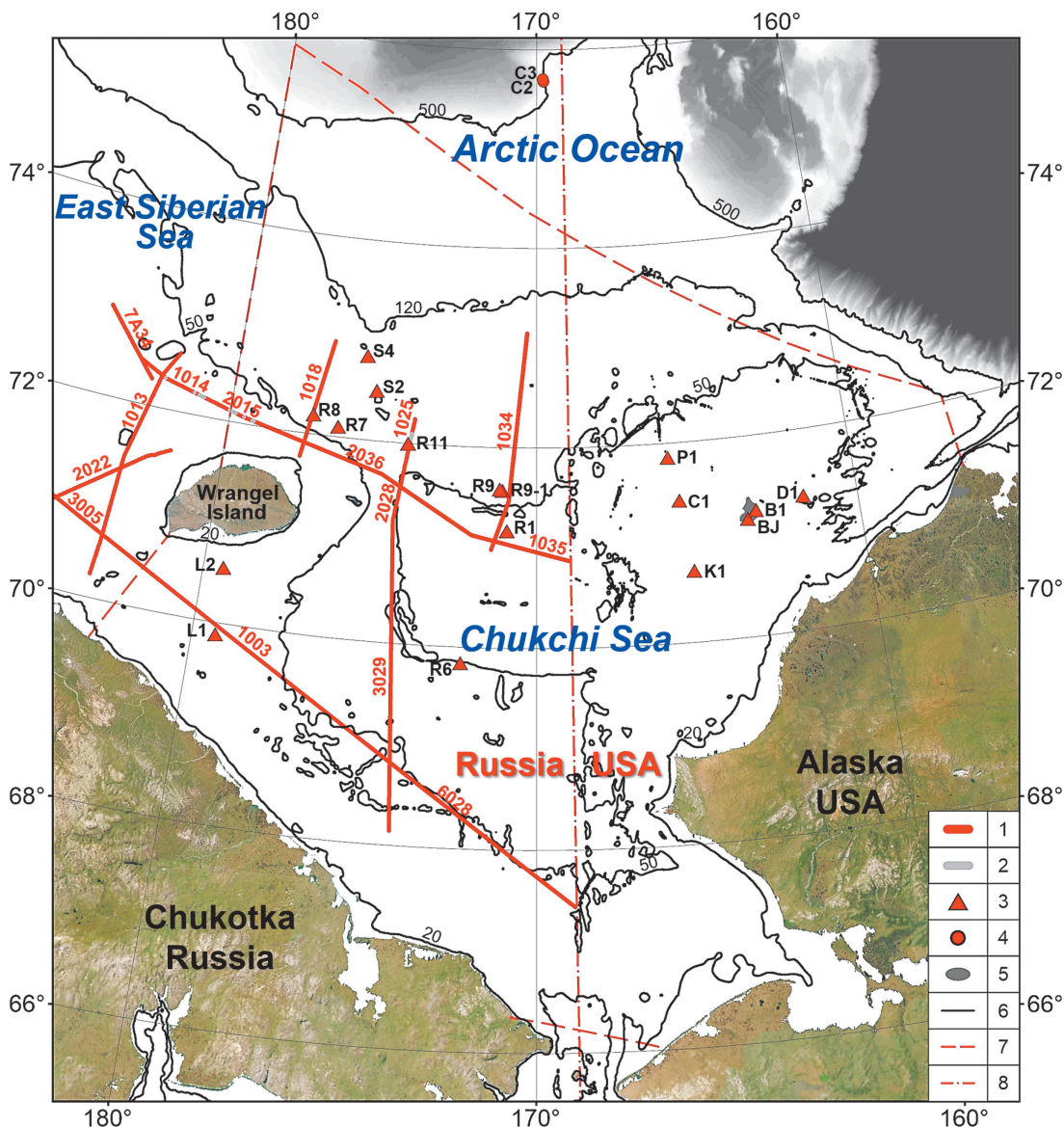


Рис. 4. Результаты анализа физического состояния придонных отложений в российском секторе Чукотского моря. Обозначения: 1 – отсутствие преломленных волн в придонных отложениях от ММП; 2 – преломленные волны неоднозначного генезиса со скоростями 1,7–2,0 км/с; 3 – скважины, не подтвердившие наличие ММП ПАО «НК «Роснефть» [28], геологосъемочных работ 2006 г. [29], экспедиции SWERUS 2014 г. [30] и нефтегазописковых работ в США [31; 32]; 4 – места обнаружения газогидратов [33]; 5 – месторождения; 6 – изобаты в метрах; 7 – граница Чукотского моря; 8 – морская граница между Россией и США

Fig. 4. Results of analysis of the physical state of near-bottom sediments in the Russian sector of the Chukchi Sea. Legend: 1 – no refracted waves from permafrost in near-bottom sediments; 2 – refracted waves of ambiguous genesis with velocities of 1.7-2.0 km/s; 3 – wells that did not confirm the permafrost presence by the Rosneft Oil Company [28], geological surveys of 2006 [29], SWERUS expedition of 2014 [30] and the US oil and gas exploration [31, 32]; 4 – locations of gas hydrate discovery [33]; 5 – fields; 6 – isobaths in meters; 7 – the Chukchi Sea border; 8 – the Russia–USA maritime boundary

ростями 4,3 км/с, которые в данном случае, видимо, соответствуют акустическому фундаменту. По характеру записей первых вступлений подобные сейсмограммы ОПВ зарегистрированы и во многих других частях Южно-Чукотского и Северо-Чукотского бассейнов.

В итоге комплексного анализа сейсмограмм ОПВ по 15 профилям ДМНГ и СМНГ было установлено, что ни на одном участке не были зафиксированы преломленные волны, однозначно соответствующие

ММП. Однако на 7 небольших участках (протяженностью до 8,2 км) в первых вступлениях были обнаружены низкоскоростные (от 1,7 до 2,0 км/с) преломленные волны, генезис которых неоднозначен и анализируется ниже. Эти участки на итоговой картографической схеме результатов анализа состояния придонных отложений в российском секторе Чукотского моря и в приграничной зоне Восточно-Сибирского моря показаны серым цветом (рис. 4).

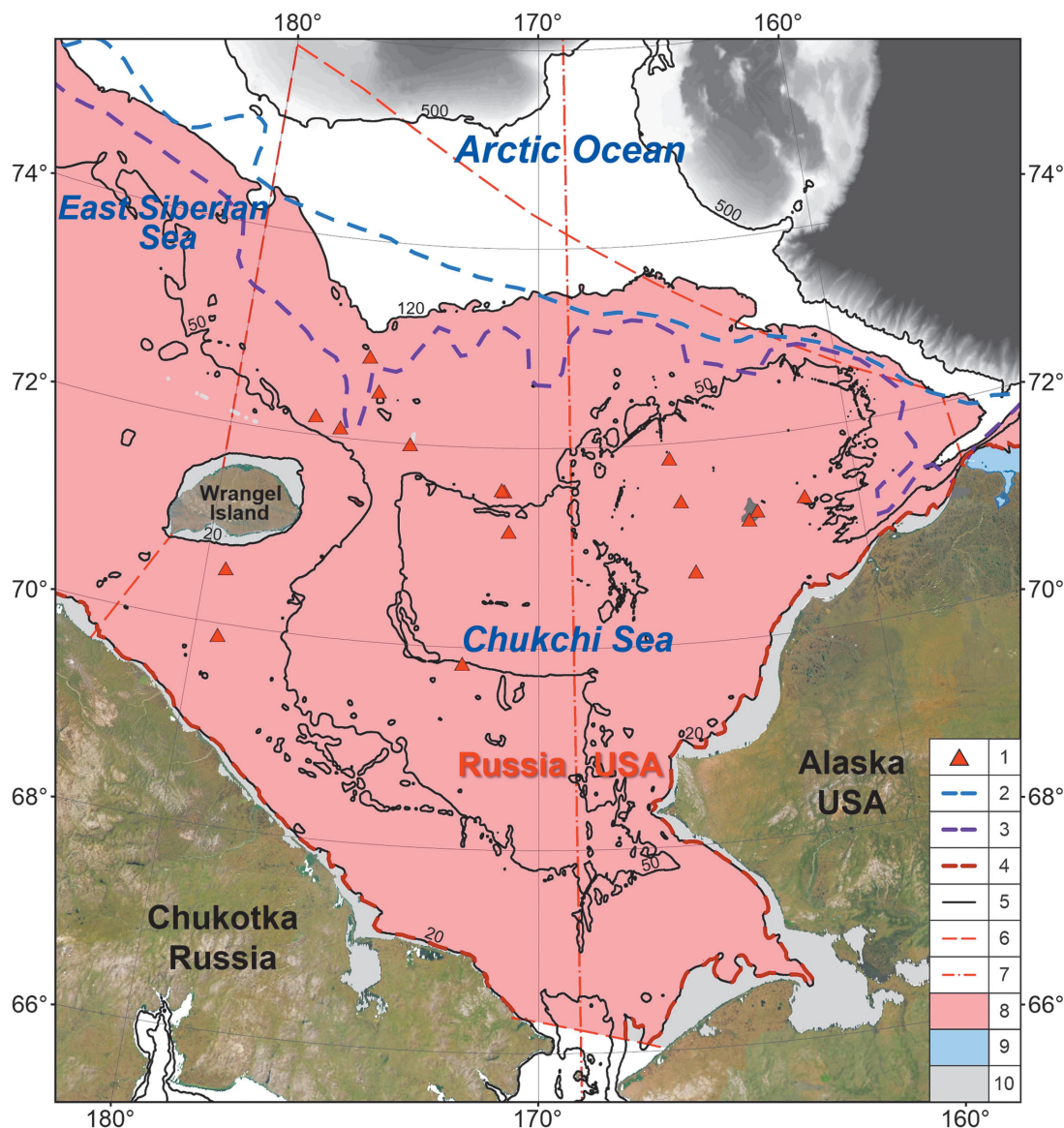


Рис. 5. Распространение зон талых и мерзлых пород на шельфе Чукотского моря. Обозначения: 1 – скважины, не подтвердившие наличие ММП; 2–4 – границы талых и мерзлых пород по данным: 2 – IPA/Brown et al. [14], 3 – P. Overduin et al. [9], 4 – авторов статьи; 5 – изобаты в метрах; 6 – граница Чукотского моря; 7 – морская граница между Россией и США; 8 – зона отсутствия реликтовых ММП (талые породы); 9 – зона наличия ММП в прибрежной зоне моря Бофорта [34]; 10 – «серая зона» (недостаток информации)

Fig. 5. Distribution of thawed and frozen ground on the Chukchi Sea shelf. Legend: 1 – wells which did not approve PF existence; 2–4 – boundaries of thawed and frozen ground according to the data of: 2 – IPA/Brown et al. [14], 3 – P. Overduin et al. [9], 4 – authors of the article; 5 – isobaths in meters; 6 – boundary of the Chukchi Sea; 7 – the Russia–USA maritime boundary; 8 – zone with absence of relic PF (thawed ground); 9 – zone with existence of PF in coastal strip of the Beaufort Sea [34]; 10 – “grey zone” (lack of data)

На основе картографической схемы результатов анализа физического состояния придонных отложений по скоростям распространения целевых преломленных волн (см. рис. 4) составлена итоговая картографическая схема распространения талых и мерзлых пород в пределах российской части шельфа Чукотского моря, приведенная на рис. 5. При этом не изученная прибрежная зона до изобаты 20 м отмечена серым цветом, что пояснено ниже.

Обсуждение

На современном уровне изученности всего Циркумарктического мегарегиона наибольшая мощность ММП (до 600–700 м) вскрыта бурением нефтегазопроисковых скважин и закартирована на основе данных сейсморазведки преломленными и отраженными волнами в канадском секторе южной части моря Бофорта вблизи полуострова Туктояктук [38; 39]. В этих же работах доказано существование подмерзлотных газогидратов. В рабо-

те [40] неоднородный характер развития ММП на шельфе канадского сектора моря Бофорта установлен методом томографии рефрагированными волнами (diving wave tomography): на внутреннем шельфе прерывистые ММП, сцементированные льдом, на внешнем — ММП с низким содержанием льда.

При анализе результатов обработки записей отраженных волн по сейсмопрофилям МОГТ в восточной части Чукотского моря (сектор США) было отмечено отсутствие «высоких сейсмических скоростей и сильных отражающих горизонтов», при этом «сейсмические интервальные скорости соответствуют осадочным породам, что свидетельствует об отсутствии широкого распространения субаквальной вечной мерзлоты» [37]. Эти результаты подтверждают ранее сделанные выводы [41].

Ни в одной из публикаций с анализом результатов бурения в Чукотском море не отмечается вскрытие ММП [27—31]. Однако отметим, что пробуренные в проливе Лонга две мелкие скважины L1 и L2 (см. рис. 1) [29], а также скважины экспедиции SWERUS 2-PC1 и 4-PC1 (см. рис. 1, S2, S4) [30] не могут однозначно свидетельствовать об отсутствии ММП на больших глубинах.

Полученные на основе анализа записей преломленных волн новые результаты однозначно свидетельствуют об отсутствии широкого распространения ММП на российском шельфе Чукотского моря, что полностью согласуется с результатами анализа данных сейсморазведки на шельфе Восточно-Сибирского моря [22]. В комплексе с данными работ зарубежных авторов по американскому сектору Чукотского моря [37; 41] полученные результаты позволяют прогнозировать широкомасштабное отсутствие ММП практически на всем шельфе Чукотского моря. По аналогии с результатами комплексного анализа преломленных волн по материалам сейсморазведки МОГТ в море Бофорта [34] можно предполагать частичное существование ММП в Чукотском море на глубинах до 20 м. В связи с этим на итоговой картографической схеме (см. рис. 5) прибрежная полоса шельфа до изобаты 20 м отмечена как «серая зона», требующая дополнительных исследований. Доля площади «серой зоны» от площади Чукотского моря до изобаты 120 м составляет 7,3%. При этом мы считаем, что в результате дальнейших исследований будет обосновано, что зона ММП существует значительно ближе к берегу, чем изобата 20 м, и доля площади распространения ММП в реальности будет намного ниже указанного значения.

Как отмечено выше, на 7 участках сейсмопрофилей 31200P01014, 34150P01025, 31200P02015, 34150P02028 (см. рис. 4, 1014, 1025, 2015, 2028) на сейсмограммах ОПВ в первых вступлениях выделяются преломленные волны со скоростями 1,7—2,0 км/с (см. рис. 4, серый цвет), которые можно было бы отнести к редкоостровным ММП в конечной стадии их дегградации (пластично мерзлые породы). Однако наиболее вероятно, что они относятся

к локальным зонам расположения литологически более плотных пород в ВЧР, при этом все они выявлены к северу от острова Врангеля.

Необходимо отметить, что севернее острова Врангеля на ряде сейсмограмм профиля 4150P01018 (см. рис. 4, 1018) наблюдаются высокоскоростные (от 4,1 до 4,5 км/с) преломленные волны от границ на локальных участках протяженностью до 6,2 км в ВЧР (на глубинах примерно от 350 до 700 м). Мы их не относим к ММП в связи с тем, что они имеют экстремально высокую скорость (даже в крайних частях) и сформировались на большой глубине (в абсолютном большинстве ранее исследованных случаев кровля ММП не была глубже 100—150 м). Одним из возможных объяснений существования таких высокоскоростных блоков в ВЧР может служить локальное изменение литологического состава пород. В частности, эти блоки могут сформироваться эвапоритовыми отложениями, имеющими высокие скорости распространения продольных волн (соль — 4,0—5,5 км/с, гипс — 4,5—6,5 км/с), что согласуется со сложившимися представлениями о геологическом строении региона. На ряде сейсмопрофилей в северной части американского сектора Чукотского моря соляные диапиры уверенно прогнозируются в нижнемеловой толще (нижнебрукский комплекс), при этом купола некоторых из них поднимаются близко ко дну (около 300—400 м) [42, с. 72, 122]. В частности, один из диапиров выявлен в 20 км юго-западнее скважины Rorsogn-1 (P1) [35, приложение 19]. В российском секторе на лицензионном участке Северо-Врангелевский-1 ПАО «НК «Роснефть» выделено пять диапиров (наиболее вероятно, солевых), уходящих корнями в нижнекаменноугольные отложения, где прогнозируется наличие эвапоритов [43]. Профиль 4150P01018 расположен к северо-востоку от острова Врангель вблизи от Врангелевско-Геральдского поднятия, в связи с чем эвапоритовые отложения нижнего карбона в южной части профиля могут залегать в ВЧР [36].

Широкомасштабной дегградации реликтовых ММП в Чукотском море в разной степени способствовали повышенная теплопроводность консолидированных осадочных отложений и близость фундамента на значительной части акватории, а также повышенные соленость и температуры придонных вод за счет привноса теплых тихоокеанских вод [15; 16; 35].

Полученные авторами результаты кардинально отличаются практически от всех результатов прогноза на основе математического моделирования, что отражено на рис. 5, на котором приведены обобщающие данные P. Overduin с соавторами [9] и Международной ассоциации мерзлотоведов IPA [14]. Из всех известных результатов математического моделирования распространения ММП на шельфе Чукотского моря ([7—11; 14] и др.) лишь в новейшей публикации ВНИИОкеангеологии 2024 г. осторожно отмечается: «с высокой долей вероятности можно констатировать...», что ММП

Научные исследования в Арктике

в Чукотском море «...носят редкоостровной характер или отсутствуют в принципе» [13, с. 53]. Однако в других частях этой работы говорится, что в Чукотском море «в основном прогнозируется слабо развитая, близкая к полной деградации реликтовая подводная мерзлота», а в его центральной части прогнозируется слабое развитие ММП «до 100—200 м» [13, с. 38, 53]. При этом отметим, что в данной работе уже были учтены результаты наших предшествующих исследований, включая основополагающую работу [19].

Отсутствие ММП на шельфе Чукотского моря делает маловероятным наличие и газогидратов. Как показано в численном моделировании глубины возможных гидратов метана для безмерзлотной зоны моря Лаптевых [21], даже при отрицательных температурах придонных вод для теоретического существования зоны стабильности гидратов метана в осадочном чехле необходим низкий геотермический градиент — для придонных температур $-1,5^{\circ}\text{C}$ он должен быть ниже $21,1^{\circ}\text{C}/\text{км}$. По данным [35; 44], геотермический градиент в Чукотском море может составлять $28\text{—}35^{\circ}\text{C}/\text{км}$, что существенно превышает указанное граничное значение. Однако отметим, что для гидратов гомологов метана максимальный геотермический градиент может быть выше $21,1^{\circ}\text{C}/\text{км}$.

Заключение

Впервые для мелководной (до 120 м) площади 290 тыс. км² российского сектора Чукотского моря проведены обработка и комплексный анализ большого объема записей преломленных волн, содержащихся в первых вступлениях сейсмограмм общего пункта взрыва 15 сеймопрофилей МОГТ ДМНГ И СМНГ общей протяженностью 2,73 тыс. км (включая 800 км в восточной части Восточно-Сибирского моря).

Обосновано, что практически на всей исследованной площади деградация реликтовых субаквальных ММП в основном завершилась, при этом произошла и диссоциация сопутствующих криогенных газогидратов. Весьма вероятно, что редкоостровные ММП сохранились в районах мелководных (до 1—2 м) банок. На больших глубинах возможно сохранение редкоостровных участков ММП в завершающейся стадии деградации (пластичномерзлые породы). По аналогии с шельфом моря Бофорта [34] прогнозируется частичное сохранение реликтовых ММП в прибрежной зоне в пределах изобаты 20 м. При этом весьма вероятно сохранение твердомерзлых пород лишь в узкой полосе в несколько сотен метров у береговой черты островов и континентальной суши. Эти зоны требуют дополнительного изучения и картирования.

С учетом исследований возможного существования реликтовых ММП в американском секторе Чукотского моря, выполненных учеными Германии и США на основе обработки записей отраженных

волн [37; 40], не выявивших аномалий повышенной скорости распространения сейсмических волн, результаты изучения российского сектора могут быть распространены на всю мелководную часть Чукотского моря на площади 480 тыс. км².

Полученные результаты исследований субаквальных ММП в Чукотском море, как и на акваториях морей Восточной Сибири и Карского моря, согласуются с данными бурения ряда скважин, включая ПАО «НК «Роснефть» [25—28]. При этом они кардинально отличаются от других результатов исследований [6—12; 14], в основном базирующихся на данных математического моделирования.

Финансирование

Работа выполнена в рамках государственного задания Института проблем нефти и газа РАН по теме «Повышение эффективности и экологической безопасности освоения ресурсов углеводородов шельфа и сопредельной суши арктических и субарктических регионов России в условиях меняющегося климата» (№ 125020501403-7).

Благодарность

Авторы признательны руководству ФГБУ «Росгеолфонд» Федерального агентства по недропользованию за предоставленную возможность использования архивных материалов сейсморазведки МОГТ 2D ДМНГ и СМНГ по акватории Чукотского моря.

Литература/References

1. Biskaborn B. K., Smith S. L., Noetzli J., Matthes H. et al. Permafrost is warming at a global scale. *Nature Communication*, 2019, 10, 264. DOI: 10.1038/s41467-018-08240-4.
2. Saunio M., Martinez A., Poulter B., Zhang Z. et al. The Global Methane Budget 2000—2020. *Earth Syst. Sci. Data*, 2025, 17, pp. 1873—1958. Available at: <https://doi.org/10.5194/essd-17-1873-2025>.
3. Сергиенко В. И., Лобковский Л. И., Семилетов И. П. и др. Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: Некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // Докл. Акад. наук. — 2012. — Т. 446, № 3. — С. 330—335.
Sergiyenko V. I., Lobkovskiy L. I., Semiletov I. P. et al. Subaqueous permafrost degradation and gas hydrates destruction on the shelves of Eastern Arctic seas as a probable reason of “Methane Catastrophe”: Some results of complex studies in 2011. *Dokl. Earth Sci.*, 2012, vol. 446, pp. 330—335.
4. Schuur E. A. G., Abbott B. W., Commane R., Ernakovich J. et al. Permafrost and climate change: carbon cycle feedbacks from the warming Arctic. *Annual Review of Environment and Resources*, 2022, 47, pp. 343—371. Available at: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-012220-011847>.

5. Брушков А. В. Глобальные изменения окружающей среды, реакция криолитозоны и устойчивость инженерных сооружений // Инженер. изыскания. — 2015. — № 14. — С. 14—26.
Brushkov A. V. Global changes of the environment, reaction of cryolithozone and stability of engineering facilities. *Inzhenernye izyskaniya*, 2015, no. 14, pp. 14—26. (In Russian).
6. Westerveld L., Kurvits T., Schoolmeester T. et al. Arctic Permafrost Atlas. NUNATARYUK consortium, 2023, GRID-Arendal., 176 p. DOI: 10.61523/KPJI4549.
7. Vasiliev A. A., Oblogov G. E., Belova N. G. Submarine permafrost maps of the Russian Arctic. A Review. *Geography, Environment, Sustainability*, 2025, 3 (18), pp. 107—117. Available at: <https://doi.org/10.24057/2071-9388-2025-3966>.
8. Соловьёв В. А., Тепленев Е. В. Арктические моря России. Карта 3-10. Субмаринная криолитозона. Прогноз распространения // Геология и полезные ископаемые шельфов России: Атлас / Под. ред. М. Н. Алексеева. — М.: Науч. мир, 2004.
Soloviev V. A., Telepnev E. V. Arctic seas of Russia. Map 3-10. Submarine cryolithozone. Distribution forecast. *Geology and useful minerals of the shelves of Russia: Atlas*. Ed. by M. N. Alekseev. Moscow, Scientific World, 2004. (In Russian).
9. Overduin P. P., Schneider von Deimling T., Miesner F., Grigoriev M. N. et al. Submarine permafrost map in the Arctic modeled using 1-D transient heat flux (SuPerMAP). *J. of Geophysical Research: Oceans*, 2019, 124, pp. 3490—3507. Available at: <https://doi.org/10.1029/2018JC014675>.
10. Overduin P. P., Portnov A., Ruppel C. D. Permafrost Beneath Arctic Ocean Margins. NOAA Technical Report OAR ARC, 2023, 23-10, pp. 76—83. DOI: 10.25923/fzwe-6432.
11. Malakhova V. V. The response of the Arctic Ocean gas hydrate associated with subsea permafrost to natural and anthropogenic climate changes. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, 2020, 606, 012035. DOI: 10.1088/1755-1315/606/1/012035.
12. Bukhanov B., Chuvilin E., Zhmaev M., Shakhova N. et al. In situ bottom sediment temperatures in the Siberian Arctic seas: Current state of subsea permafrost in the Kara Sea vs Laptev and East Siberian seas. *Marine Petroleum Geology*, 2023, vol. 157, 106467, pp. 1—11. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2023.106467>.
13. Смирнов Ю. Ю., Матвеева Т. В., Щур Н. А. и др. Численное моделирование субаквальной многолетнемерзлых пород на евразийском шельфе Арктики с учетом зональности современного климата // Криосфера Земли. — 2024. — Т. 28, № 5. — С. 38—59.
Smirnov Yu. Yu., Matveeva T. V., Shchur N. A. et al. Numerical modeling of subaqueous permafrost on the Eurasian Arctic shelf taking into account the zonality of the modern climate. *Earth's Cryosphere*, 2024, vol. 28, no. 5, pp. 38—59. DOI: 10.15372/kz20240504. (In Russian).
14. Circum-Arctic map of permafrost and ground-ice conditions. Brown J., Ferrians O. J. Jr., Heginbottom J. A., Melnikov E. S., eds. Washington, DC., U.S., Geological Survey in Cooperation with the Circum-Pacific Council for Energy and Mineral Resources, 1997. Circum-Pacific Map Series CP-45, scale 1:10,000,000. Available at: <https://www.permafrost.org/data/>.
15. Богоявленский В. И., Янчевская А. С., Богоявленский И. В., Кишанков А. В. Газовые гидраты на акваториях Циркумарктического региона // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 3 (31). — С. 42—55.
Bogoyavlensky V. I., Yanchevskaya A. S., Bogoyavlensky I. V., Kishankov A. V. Gas hydrates in the Circum-Arctic Region aquatories. *Arctic: Ecology and Economy*, 2018, no. 3 (31), pp. 42—55. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-3-42-55. (In Russian).
16. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Yanchevskaya A., Bogoyavlensky I. Forecast of Gas Hydrates Distribution Zones in the Arctic Ocean and Adjacent Offshore Areas. *Geosciences*, 2018, 8, 453, 17 p. DOI: 10.3390/geosciences8120453.
17. Богоявленский В. И., Кишанков А. В., Казанин А. Г. Мерзлота, газогидраты и сипы газа в центральной части моря Лаптевых // Докл. Акад. наук. — 2021. — Т. 500, № 1. — С. 83—89. — DOI: 10.31857/S2686739721090048.
Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Permafrost, Gas Hydrates and Gas Seeps in the Central Part of the Laptev Sea. *Doklady Earth Sciences*, 2021, vol. 500, no. 1, pp. 766—771. Pleiades Publ. DOI: 10.1134/S1028334X21090048.
18. Богоявленский В. И., Кишанков А. В., Казанин А. Г. Мерзлота и газогидраты на Арктическом шельфе Восточной Сибири // Докл. Акад. наук. — 2022. — Т. 507, № 1. — С. 110—117. — DOI: 10.31857/S268673972260134X.
Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Permafrost and Gas Hydrates on the East Siberian Arctic Shelf. *Doklady Earth Sciences*, 2022, vol. 507, no. 1, pp. 946—951. Pleiades Publishing. DOI: 10.1134/S1028334X22600578.
19. Богоявленский В. И., Кишанков А. В., Казанин А. Г. Распространение субаквальной мерзлоты в море Лаптевых по данным сейсморазведки методом преломленных волн // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 4. — С. 501—515.
Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V., Kazanin A. G. Distribution of subsea permafrost (frozen ground) in the Laptev Sea based on seismic refraction data. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 4, pp. 501—515. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-4-501-515. (In Russian).
20. Богоявленский В. И., Богоявленский И. В., Кишанков А. В. Геофизические методы обеспечения технологического суверенитета и национальной безопасности России в Арктике // Вестн. РАН. — 2024. — Т. 94, № 10. — С. 896—914.
Bogoyavlensky V. I., Bogoyavlensky I. V., Kishankov A. V. Geophysical methods of ensuring technological sov-

- ereignty and national security of Russia in the Arctic. Herald of the Russian Academy of Sciences, 2024, vol. 94, no. 10, pp. 32—46. DOI: 10.31857/S0869587324100055.
21. Bogoyavlensky V., Kishankov A., Kazanin A. Evidence of wide-scale absence of frozen ground and gas hydrates in the northern part of the East Siberian Arctic Shelf (Laptev and East Siberian seas). Marine and Petroleum Geology, 2023, vol. 148, 106050. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2022.106050>.
22. Бозоявленский В. И., Кишанков А. В., Казанин А. Г. Новая информация о субаквальной мерзлоте в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском по данным сейсморазведки // Докл. РАН. Науки о Земле. — 2025. — Т. 521, № 2. — С. 196—206. — URL: <https://doi.org/10.31857/S2686739725040046>.
- Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V., Kazanin A. G. New information on subsea frozen ground in the Laptev and East Siberian seas based on seismic data. Doklady Earth Sciences, 2025, vol. 521, p. 11. Pleiades Publ. DOI: 10.1134/S1028334X24605583.
23. Бозоявленский В. И., Кишанков А. В., Казанин А. Г., Рокос С. И. Новая информация о субаквальной мерзлоте в Карском море по данным сейсморазведки методом преломленных волн // Арктика: экология и экономика. — 2025. — Т. 15, № 4. — С. 480—494. Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V., Kazanin A. G., Rokos S. I. New information on subsea permafrost in the Kara Sea based on seismic refraction data. Arctic: Ecology and Economy, 2025, vol. 15, no. 4, pp. 480—494. DOI: 10.25283/2223-4594-2025-4-480-494. (In Russian).
24. ГОСТ 25100—2011. Грунты. Классификация. Межгосударственный стандарт. — М.: Стандартинформ, 2018. — 42 с.
GOST 25100—2011. Soils. Classification. Moscow, Standartinform, 2018, 42 p. (In Russian).
25. Колюбакин А. А., Терёхина Я. Е., Токарев М. Ю. и др. Проявление субаквальных мерзлых пород на шельфе моря Лаптевых // Рельеф и четвертич. образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2023. — Вып. 10. — С. 134—141. Kolyubakin A. A., Terekhova Ya. E., Tokarev M. Yu. et al. Manifestation of subaqueous permafrost on the shelf of the Laptev Sea. Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and Northwest Russia, 2023, iss. 10, pp. 134—141. DOI: 10.24412/2687-1092-2023-10-134-141. (In Russian).
26. Петров О. В., Никишин А. М., Петров Е. И. и др. Результаты стратиграфического бурения в Восточно-Сибирском море с целью геологического изучения зоны сочленения структур континентального шельфа и глубоководных акваторий Северного Ледовитого океана // ДАН. — 2023. — Т. 512 (2). — С. 261—271. — DOI: 10.31857/S268673972360100X. Petrov O. V., Nikishin A. M., Petrov E. I. et al. First Results of Stratigraphic Drilling in the East Siberian Sea Focused on Geological Studies of the Suture Zone of the Continental Shelf's Marginal Structures and Deep-Water Areas of the Arctic Ocean. Doklady Earth Sciences, 2023, vol. 512 (2), pp. 1014—1023. DOI: 10.1134/S1028334X23601256.
27. Kolyubakin A. A., Roslyakov A. G., Verzhbitskii V. E. et al. Detection of Subsea Permafrost on the Laptev Sea Shelf (Based on Geotechnical Drilling Data). Doklady Earth Sciences, 2026, vol. 527, 12. DOI: 10.1134/S1028334X2560940X.
28. Малышев Н. А., Вержицкий В. Е., Колюбакин А. А. и др. Технологические аспекты и опыт стратиграфического бурения в морях российской Арктики // Геология нефти и газа. — 2024. — № 3. — С. 19—30. — DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30. Malyshev N. A., Verzhbitskii V. E., Kolyubakin A. A. et al. Technological aspects and experience of stratigraphic drilling in the seas of the Russian Arctic. Geologiya nefiti i gaza, 2024, no. 3, pp. 19—30. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-3-19-30. (In Russian).
29. Gusev E. A., Andreeva I. A., Bondarenko S. A. et al. Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western Chukchi sea: new results from shallow drilling and seismic-reflection profiling. Global and Planetary Change, 2009, vol. 68, no. 1-2, pp. 115—131. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.025>.
30. Martens J., Wild B., Pearce C. et al. Remobilization of old permafrost carbon to Chukchi Sea sediments during the end of the last deglaciation. Global Biogeochemical Cycles, 2019, 33, pp. 2—14. Available at: <https://doi.org/10.1029/2018GB005969>.
31. Бозоявленский В. И., Кишанков А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 45—58. Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V. Dangerous gas saturated objects in the World Ocean: the Chukchi Sea (Russia and the USA). Arctic: Ecology and Economy, 2020, no. 2 (38), pp. 45—58. (In Russian).
32. Сенин Б. В., Керимов В. Ю., Бозоявленский В. И. и др. Нефтегазоносные провинции морей России и сопредельных акваторий. — Кн. 3: Нефтегазоносные провинции морей Восточной Арктики и Дальнего Востока. — М.: МГРИ, 2022. — 339 с. Senin B. V., Kerimov V. Yu., Bogoyavlensky V. I. et al. Oil and gas provinces of the seas of Russia and adjacent waters. B. 3. Oil and gas provinces of the seas of the Eastern Arctic and the Far East. Moscow, MGRI, 2022, 339 p. (In English).
33. Kim Y.-G., Kim S., Lee D.-H., Lee Y. M. et al. Occurrence of active gas hydrate mounds in the southwestern slope of the Chukchi Plateau, Arctic Ocean. Episodes, 2020, vol. 43, no. 2, pp. 811—823. Available at: <https://doi.org/10.18814/epiugs/2020/020053>.
34. Brothers L. L., Hart P. E., Ruppel C. D. Minimum distribution of subsea ice-bearing permafrost on the US Beaufort Sea continental shelf. Geophysical research letters, 2012, vol. 39, no. 15, L15501, pp. 1—6. DOI: 10.1029/2012GL052222.

35. Атлас нефтяной геологии российского сектора Чукотского моря / ФГУП «Дальморнефтегеофизика». — Южно-Сахалинск, 2002. — 160 с.
Atlas of petroleum geology of the Russian sector of the Chukchi Sea. FSUE Dalmorneftegeofizika. Yuzhno-Sakhalinsk, 2002, 160 p. (In Russian).
36. Остров Врангеля: геологическое строение, минерагения, геоэкология / Под ред. М. К. Коско, В. И. Ушакова. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2003. — 137 с.
Wrangel Island: geological structure, минерагения, geoecology. Ed. by M. K. Kosko, V. I. Ushakov. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 2003, 137 p. (In Russian).
37. Lehmann C., Jokat W., Coakley B. Seismic evidence for fluid migration on the outer Chukchi Shelf, Arctic Ocean. *Geo-Marine Letters*, 2025, 45, 3. Available at: <https://doi.org/10.1007/s00367-024-00789-y>.
38. Pullan S., MacAulay H. A., Hunter J. A. M. et al. Permafrost distribution determined from seismic refraction. *Marine Science Atlas of the Beaufort Sea: Geology and Geophysics*, 1987, 40, 37. Available at: <https://doi.org/10.4095/126967>.
39. Grob H., Riedel M., Duchesne M. J., Krastel S. et al. Revealing the extent of submarine permafrost and gas hydrates in the Canadian Arctic Beaufort Sea using seismic reflection indicators. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 2023, 24, p. e2023GC010884. Available at: <https://doi.org/10.1029/2023GC010884>.
40. Grob H., Klaeschen D., Riedel M. et al. Investigation of submarine permafrost conditions in the Canadian Beaufort Sea using diving wave tomography. *J. of Geophysical Research: Solid Earth*, 2025, 130, 4, p. e2024JB029955.
41. Homza T. X., Bergman S. C. A geologic interpretation of the Chukchi Sea petroleum Province: Offshore Alaska, USA. *Am. Ass. Petrol. Geol.*, 2019, vol. 119, 334 p. Available at: <https://doi.org/10.1306/AAPG119>.
42. Thurston D. K., Theiss L. A. Geologic report for the Chukchi Sea planning area, Alaska. *Outer Continental Shelf Report*. United States Department of the Interior, Minerals Management Service, Alaska OCS Region. Anchorage, 1987, 193 p.
43. Скарятин М. В., Баталова А. А., Воргачева Е. Ю. и др. Соляная тектоника и перспективы нефтегазности российского сектора Чукотского моря // Нефтяное хоз-во. — 2020. — № 2. — С. 12—17.
Skaryatin M. V., Batalova A. A., Vorgacheva E. Yu. et al. Salt tectonics and oil and gas potential of the Russian sector of the Chukchi Sea. *Oil industry*, 2020, no. 2, pp. 12—17. Available at: <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2020-2-12-17>. (In Russian).
44. Матвеева Т. В., Семёнова А. А., Щур А. А. и др. Перспективы газогидратности Чукотского моря // Зап. Гор. ин-та. — 2017. — Т. 226. — С. 387—396.
Matveeva T. V., Semenova A. A., Shchur N. A. et al. Prospects of Gas Hydrate Presence in the Chukchi Sea. *J. of Mining Institute*, 2017, vol. 226, pp. 387—396. DOI: 10.25515/PMI.2017.4.387. (In Russian).

Информация об авторах

Богоявленский Василий Игоревич, доктор технических наук, член-корреспондент РАН, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией «Шельф», главный научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: geo.ecology17@gmail.com.

Кишанков Алексей Владимирович, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН (119333, Россия, Москва, ул. Губкина, д. 3), e-mail: alexey137k@yandex.ru.

LARGE-SCALE ABSENCE OF RELIC PERMAFROST AND GAS HYDRATES ON THE CHUKCHI SEA SHELF

Bogoyavlensky, V. I., Kishankov, A. V.

Oil and Gas Research Institute of the Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on February 17, 2026

For citing

Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V. Large-scale absence of relic permafrost and gas hydrates on the Chukchi Sea shelf. *Arctic: Ecology and Economy*, 2026, vol. 16, no. 2, pp. 168—180. DOI: 10.25283/2223-4594-2026-2-168-180.

Abstract

For the first time, a large volume of refracted wave records in the first arrivals of common shot gathers along 15 common depth point (CDP) seismic lines of JSC Dalmorneftegeofizika and JSC Sevmorneftegeofizika with a total length of approximately 2,730 km (including 800 km in the eastern part of the East Siberian Sea) has been processed and comprehensively analyzed for a shallow-water (up to 120 m) area of 290 thousand km² in the Russian sector of the Chukchi Sea. It has been demonstrated that the degradation of subsea relic permafrost (PF) cemented by ice has mainly completed almost in the entire studied area, also dissociation of associated cryogenic gas hydrates has occurred. The preservation of hard-frozen ground in the coastal strip, which requires additional research, as well as sparse patchy PF (frozen ground) in the final stages of degradation, is possible. Given the negative results of studies conducted by German and American scientists on the existence of relic PF in the American sector of the Chukchi Sea based on the processing of reflection wave records, it is possible to predict a large-scale absence of relic PF and gas hydrates on the Chukchi Sea shelf over an area of 480 thousand km². The results are consistent with data from drilling of a number of wells, and they differ significantly from the results of other studies, primarily based on mathematical modeling.

Key words: *Arctic, Chukchi Sea, CDP seismic exploration, refracted waves, permafrost (PF), patchy PF, gas hydrates.*

Funding

The research was carried out according to the state assignment of the Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences on the topic “Increasing the efficiency and ecological safety of development of hydrocarbon resources of the shelf and adjacent land of the Russian Arctic and Subarctic regions in conditions of changing climate” (no. 125020501403-7).

Acknowledgements

The authors are grateful to the management of the Federal State Budgetary Institution “Rosgeolfond” of the Federal Agency for Mineral Resources for the provided opportunity to use archival materials of the 2D CDP seismic exploration by JSC “Dalmorneftegeofizika” and JSC “Sevmorneftegeofizika” in the Chukchi Sea.

Information about the authors

Bogoyavlensky, Vasily Igorevich, Doctor of Engineering Science, Corresponding member of RAS, Deputy Director for Science, Head of “Shelf” Laboratory, Chief Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: geo.ecology17@gmail.com.

Kishankov, Aleksei Vladimirovich, PhD of Geological and Mineralogical Science, Senior Researcher, Oil and Gas Research Institute of RAS (3, Gubkina St., Moscow, Russia, 119333), e-mail: alexey137k@yandex.ru.

© Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V., 2026