

ДИСКУССИОННЫЕ ВОПРОСЫ ОЛЕДЕНЕНИЯ БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА

THE BARENTS-KARA SHELF GLACIATION: DEBATABLE QUESTIONS

Рыбалко Александр Евменьевич^{1,2,3}, Ахманов Григорий Георгиевич⁴, Токарев Михаил Юрьевич⁴, Соловьева Марина Андреевна⁴, Аксенов Алексей Олегович²,

¹*ФГБУ ВНИИОкеангеология, Санкт-Петербург*

²*Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург*

³*ООО “ЦМИ МГУ им М.В. Ломоносова”, Москва*

⁴*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва*

Rybalko Alexander Evmenievich^{1,2,3}, Akhmanov Grigorii Georgievich⁴, Tokarev Mikhail Yuryevich⁴, Solovyeva Marina Andreevna⁴, Aksenov Alexey Olegovich²

¹*FSBI VNIIOkeangeologiya, St. Petersburg*

²*Institute of Earth Sciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg*

³*LLC “LMSU Marine Research Center”, Moscow*

⁴*M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow*

Введение

Масштабы гигантских покровных кайнозойских ледниковых щитов в северном полушарии и само их существование – одни из самых острых и долго обсуждаемых вопросов в четвертичной геологии. Изучение и освоение огромных северных территорий СССР и наследовавшей ему Российской Федерации требовали особого пристального отношения к этой проблеме. Обсуждения и пока непримиримые споры получили новый импульс с началом интенсивного изучения шельфов арктических морей, прежде всего Западно-Арктического. Полный спектр мнений, включая диаметрально противоположные, существует по данному вопросу. От полного отрицания существования каких-либо ледниковых масс, налегавших на дно Баренцева и/или Карского морей [e.g. Крапивнер, 2018], через представления об ограниченном по интенсивности и пространственному развитию оледенении, развивавшемся, главным образом, на островных архипелагах и Скандинавии и спускавшемся с них для «оккупации» лишь части шельфа [e.g. Матишов, 1984], и до гипотез о Пан-Арктическом покровном леднике, занимавшем весь Арктический шельф России, наступавшем на сушу и контролировавшем развитие речной сети в центральных и даже южных районах России [e.g. Гросвальд, 1983].

Идея о присутствии ледниковых отложений на Баренцевоморском и, впоследствии, на Карском шельфах родилась уже с получением первых результатов морских геологических исследований в начале прошлого века, но наиболее четко оформилась в трудах Г.Г. Матишова [e.g. Матишов, 1984]. Именно Г.Г. Матишов сформулировал представления о перигляциальных накоплениях на континентальной окраине западно-арктических морей, описал крупные и более мелкие формы рельефа, созданные непосредственно ледником или тальми водами, возникшими при его таянии. В свою очередь, изучение широких прибрежных равнин Восточной Арктики, где были описаны протяженные горизонты валунносодержащих отложений, вызвало к жизни анти-гляциалисткую теорию (переосмысленный аналог древней

«дрифтовой» теории), согласно которой наличие валунов и гальки в донных осадках объяснялось лишь их вытаиванием из плавучих льдов. Свой взгляд в эти дискуссии внес М.Г. Гросвальд, поддержанный абсолютным большинством западных исследователей, предложивший гипотезу о Пан-Арктическом ледниковом покрове, который, в том числе, распространялся на весь Баренцевоморский шельф.

Научные «последствия» таких разных взглядов на оледенение наиболее остро сказываются на палеогеографических реконструкциях для позднего неоплейстоцена – голоцена. Вполне практическое значение этот вопрос имеет для поисков полезных ископаемых (напомним, что как золоторудные месторождения Финляндии, так и Талнахское месторождение на Таймыре были открыты геологами гляциалистского направления, использующих «гляциалистскую» теорию для практики поисков), а также для подходов к оценке развития опасных геологических процессов (ОГП) в Арктике и Субарктике. Целый ряд этих процессов определяется деятельностью ледникового покрова на шельфе и площадью его распространения, включая зависимое развитие и деградацию вечной мерзлоты, что необходимо учитывать при инженерном освоении шельфа.

В представленном обзоре обсуждаются гипотезы о существовании ледника на Баренцево-Карском шельфе, и его пространственном развитии, в свете новых данных, недавно полученных с применением комплекса новейших геофизических методов. Для этого послужили материалы, полученные в 2020-2022 гг. в трех экспедициях (TTR-19, TTR-20 и TTR-21) по программе “Training-through-Research (TTR) – Обучение-через-исследования”, организованных МГУ имени М.В. Ломоносова, а также некоторые результаты инженерно-геологических изысканий на рассматриваемых акваториях и анализ работ, посвященных этой проблеме, главным образом, уже в текущем столетии.

Данные и методы

Работы экспедиций TTR-19, TTR-20 и TTR-21 проходили на Северо-Баренцевоморском (2020 - 2021 гг.) и Северо-Карском (2022 г.) шельфах. Они включали многоканальное разночастотное сейсмоакустическое профилирование, гидролокацию бокового обзора и многолучевое эхолотирование. Последний, относительно недавно вошедший в практику морских океанографических и геологоразведочных работ, метод, позволил получить огромное количество информации о мезо-геоморфологии морского дна и дал широкую основу для генетических интерпретаций. Полученные геофизические данные уже в ходе экспедиций дополнялись стандартным геологическим пробоотбором с применением ударной грунтовой трубки, диаметром 110 мм, весом около 500 кг и длиной 3 - 4,5 м. Выполненные литологические, геохимические и инженерно-технические наботные и пост-экспедиционные лабораторные исследования также дали много дополнительной информации.

Большой объем геологической информации, важной для диагностики форм ледникового рельефа был почерпнут в материалах индустриальных инженерных изысканий на шельфе, выполненных в последние 15 лет, а также в опубликованных работах по рассматриваемой тематике.

Результаты обработки экспедиционных данных и анализ литературы

В настоящее время наибольшей геолого-геофизической изученностью характеризуется западная часть Баренцева моря. Для этого региона выполнены детальные реконструкции развития ледника в позднем неоплейстоцене-голоцене [e.g. Jakobsson et al., 2014]. По восточной (русской) части баренцевоморского шельфа данных значительно меньше [e.g. Тарасов, Костин, 2004]. При этом именно северо-восточная часть Баренцева моря является ключевой для полноценной реконструкции динамики оледенения [Dowdeswell et al., 2021]. В

связи с этим, летом 2020 года и осенью 2021 года были организованы международные мультидисциплинарные научные экспедиции Плавучего Университета ЮНЕСКО-МГУ (TTR-19 и TTR-20), в задачу которых входило исследование поверхности морского дна с целью реконструкции динамики развития ледникового покрова в этой части Баренцевоморского шельфа, в частности, между Землей Франца-Иосифа и Новой Землей и на поднятии Персея. В результате проведенных исследований, включавших непрерывное сейсмоакустическое профилирование, многолучевое эхолотирование и геолокацию с профилографом, была построена детальная цифровая модель рельефа дна на площадь около 8000 км². На ней было закартировано более 2000 мезоформ донного рельефа, большая часть которых была идентифицирована как гляциальные структуры: мегамасштабная ледниковая линейность (MSGLs), морены отступления (retreat moraine ridges), призмы отлегания (grounding-zone wedges), туннельные долины (tunnel valleys), озы (eskers), гляциотектонические структуры (hill-hole pairs) [Соловьева и др., 2021, Dowdeswell et al., 2021].

Полученные данные были использованы для реконструирования эволюции ледниковых щитов и направлений стока талых вод. Широко распространенной на этом участке Баренцевоморского шельфа формой гляциального рельефа, позволяющей определить направление течения ледниковых потоков, является мегамасштабная ледниковая линейность (mega-scale glacial lineation – MSGL). Она формируется под действием активно движущегося ледникового потока, который деформирует подстилающие мягкие осадочные породы, вследствие чего образуются протяжённые параллельные линейные гряды, разделенные ложбинами. Эти структуры указывают на направление движения ледника [King et al., 2009]. На направление дегляциации ледниковых потоков указывают так называемые морены отступления (retreat moraines), представляющие собой осадочные валы слабоизвилистой формы. Они возникают при кратковременных осцилляциях ледника на фоне его генерального отступления и ориентированы перпендикулярно направлению движения ледникового потока [Dowdeswell et al., 2007]. Особое место в диагностике ледниковых отложений имеют многочисленные палеодолины, широко развитые на дне Баренцева моря. Форма их русел, ундулирующая поверхность тальвега и его ступенчатый характер, не отвечающий направлению течения вод, обусловлен подледным генезисом палеодолин и напорным (негравитационным) перемещением водных масс в их пределах.

Важнейшим палеогеографическим выводом проведенных в рамках экспедиции TTR-19 исследований является доказательство отсутствия самостоятельного ледового купола между Землёй Франца Иосифа и Новой Землёй. По-видимому, в этом районе существовал ледниковый поток, который из желоба Седова перетекал через седловину Страхова в северо-восточном направлении и спускался в Восточно-Баренцевоморскую впадину, где, вероятно, соединялся с ледовым потоком, текущим на север вдоль жёлоба Святой Анны. Другим важным заключением, сделанным по результатам экспедиции TTR-20, стало детальное описание следов течения ледника в радиальных направлениях от юго-восточной части поднятия Персея. Это свидетельствует в пользу существования здесь в позднем неоплейстоцене самостоятельного ледникового купола. Это также подтверждается данными анализа мощностей ледниково-морских отложений. На месте предполагаемого развития остаточного ледникового купола в период дегляциала морские осадки не отлагались, а маломощный их покров развит по периферии поднятия Персея, и мощность этих накоплений увеличивается по мере удаления от поднятия [Соловьева и др., 2021].

Полученные в экспедициях TTR-19 и TTR-20 данные, в целом, не противоречат результатам геологического картирования района, которые были обобщены Г.А. Тарасовым и

Д.В. Костиным [Тарасов, Костин, 2004]. По мнению этих исследователей в позднем валдае существовали значительные по площади ледниковые массивы как в пределах шельфа, так и на архипелагах Шпицберген и Земля Франца-Иосифа, но ледник на Новой Земле хотя и был больше современного, не распространялся на большое расстояние от архипелага. В то же время, Г.А. Тарасов и Д.В. Костин настаивают на смыкании ледников Новой Земли и Земли Франца-Иосифа, как и на том, что в пределах желобов Франц-Виктория и Святой Анны ледники не касались морского дна (т.е. ледники были здесь, большей частью, шельфовыми). Мощность выделяемых Г.А. Тарасовым и Д.В. Костиным ледниково-морских отложений, которые на сейсмоакустических данных представлены акустически «прозрачной» сеймопачкой, достигает 60-70 м. Эти накопления частично сглаживают неровности постледникового рельефа, а мощность четвертичных отложений в этом районе преимущественно невелика, и к поверхности морского дна часто подходят коренные породы [Тарасов, Костин 2004].

Идею о распространении покровного оледенения на шельф из локальных центров, которыми служили как островные архипелаги, так и локальные поднятия на дне Баренцева моря, поддерживают и другие исследователи, занимающиеся геологическим картированием, в том числе и те, которых нельзя заподозрить в любви к гляциальной теории. Так, Е.А. Гусев и П.В. Рекант с участием ранее упомянутого Д.В. Костина тщательно проанализировали материалы геологического картирования российской части Баренцева моря и установили широкое распространение гряд, ассоциируемых с краевыми накоплениями ледников. Такие гряды опоясывают как архипелаги Новой Земли и Земли Франца-Иосифа, так и отдельные поднятия в пределах шельфа, такие как, например, Центрально-Баренцевоморское поднятие [Гусев и др., 2012]. Необходимо отметить также, что еще в 80-х годах прошлого века результаты исследований, выполненных ВСЕГЕИ в этом районе, показали, что краевые гряды вокруг западного побережья Новой Земли, возможно, маркируют зону, где континентальный ледник переходит в шельфовый [Рыбалко и др.1992].

Таким образом, практически все имеющиеся к настоящему моменту данные свидетельствуют о полицентричности ледникового покрова на шельфе Баренцева моря. Концепция единого ледникового щита в Баренцевом море предполагает, что в период максимального оледенения эти ледовые центры «расползались» и смыкались в Баренцевоморский ледовый покров. В конце эпохи оледенения постепенная деградация и распад такого единого щита привели к временному существованию разрозненных остаточных куполов (на архипелагах и внутренних поднятиях Баренцевоморского шельфа), оставивших после себя концентрически расположенные гряды и краевые морены разного типа. Приверженцы умеренно гляциальной концепции в возможность объединения разрозненных ледниковых куполов в единый покров пока не верят.

Анализ данных, полученных в ходе экспедиции ТТН-21, проведенной в 2022 г. в северной части Карского моря, в районе острова Уединения и Центрально-Карского желоба, показал, что геологическое строение четвертичных отложений на севере Баренцева и Карского морей существенно различно. Во-первых, в северной части Карского моря установлено площадное распространение четвертичных отложений, имеющих возраст от Каргинского горизонта до голоцена. При этом как в погребенных врезках, так и в зонах развития мощных толщ морских осадков можно встретить и более древние отложения раннего и среднего неоплейстоцена. Морские каргинские осадки установлены на поднятии о-ва Уединения, а также развиты в глубоководных частях Центрально-Карского желоба. При этом мощности этих осадков позволяют также предположить присутствие здесь и более древних морских образований.

Каргинские илы перекрывает комплекс латерально замещающих друг друга ледниковых, флювиогляциальных и ледниково-морских проксимальных отложений сартанского возраста. Собственно ледниковые отложения встречаются в погребенных долинах района Центрально-Карского желоба. Флювиогляциальные отложения слагают краевые формы водно-ледникового происхождения (озы, конуса выноса талых ледниковых вод), а также заполняют небольшие (до 30 м) погребенные врезы. С ледниково-морскими проксимальными ассоциируется так называемая "акустически прозрачная толща", которая как заполняет врезы, так и образует положительные "караваевидные" формы. На большей части подводной территории исследованного района верхняя часть четвертичного разреза представлена морскими и ледниково-морскими осадкам сартанского возраста. Венчают разрез четвертичных отложений голоценовые морские осадки, характерной чертой которых является спорадическое распространение. На большей площади они имеют незначительные мощности и зачастую отсутствуют в разрезе.

Рельеф участка можно разделить на 2 части: перигляциальную и ледниковую. Граница этих районов проходит приблизительно по южному борту Центрально-Карского желоба. В рельефе южной перигляциальной части выделяются следующие характерные формы рельефа: погребенные эрозионные долины, формы мерзлотного рельефа, а на мелководье - береговые формы. Крупные речные долины с глубиной врезания около 30 м характеризуются частичной заполненностью более молодыми осадками, причем вниз по течению долины становятся полностью открытыми. Также зафиксированы термокарстовые воронки, а также бугры пучения, вероятно, являющиеся реликтами полигонально-мерзлотной сети.

Северная часть является зоной краевого ледникового и ледниково-морского рельефообразования. В то время как в желобах располагаются ледниково-морские равнины, формировавшиеся у края ледника, на склонах и водоразделах Центрально-Карской возвышенности наблюдаются формы краевого водно-ледникового происхождения. При этом формы собственно ледникового генезиса здесь практически не встречаются. За исключением гряд высотой до 30 м, возникших в результате гляциодислокаций, большая часть аккумулятивного рельефа представлена небольшими конусами выноса талых ледниковых вод, озами, насыпными краевыми грядами. В целом особенностью ледникового рельефа на данном участке является небольшие размеры положительных форм (до 10 м). Все это указывает на незначительную рельефообразующую роль ледникового покрова. Признаков интенсивных экзарационных процессов также не наблюдается: встреченные погребенные и открытые долины имеют ориентировку, отличную от направления движения ледника, что говорит о более древнем возрасте долин и желобов относительно сартанского оледенения. Вероятно, экзарационная роль ледников сказывалась лишь в частичном препарировании склонов долин. Разительно отличается и характер поверхностного рельефа. Здесь практически полностью отсутствуют морены отступления, флютинг морены, ледниковая мегалинейность и прочие формы ледникового происхождения, столь характерные для Баренцева моря. Единственно, что объединяет эти площади – это активная айсберговая экзарация, существенно возрастающая на поднятиях.

Заключение

Результаты морских экспедиций 2020-2022 гг. вкуче с дополнительным анализом опубликованных материалов и данных индустриальных работ убедительно показали, что оледенение шельфа наиболее ярко проявлено в Баренцевом море, причем, скорее всего, зарождалось оно на окружающих берегах и уже далее охватывало поверхность шельфа.

Выявленные, во многом впервые, формы мезо-микрорельефа позволяют определять участки активного движения ледниковых потоков и оконтуривать более стабильные ледовые купола.

На севере Карского моря распространены как постоянно затопленные в течении позднего неоплейстоцена зоны морского осадконакопления, так и осушаемые в результате регрессии поверхности палеошельфа, где активно развиваются криогенные процессы. Следы оледенения фиксируются на южной периферии Северо-Карского поднятия, причем здесь представлены преимущественно формы, характерные для краевых зон оледенения.

Благодарности

Авторы признательны капитанам и экипажам НИС «Академик Николай Страхов» и НИС «Академик Борис Петров». Ключевую роль в успехе выполненных исследований сыграла поддержка Министерства науки и высшего образования программы «Обучение-через-исследования (Плавучий Университет)».

Список литературы

1. *Гросвальд М.Г.* Покровные ледники континентальных шельфов. - М.: Наука, 1983. - 216 с.
2. *Гусев Е.А., Костин Д.А., Рекант П.В.* Проблема генезиса четвертичных образований Баренцево-Карского шельфа (по материалам Государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1:1 000 000) // Отечественная геология. - 2012. - № 2. - С. 84-89.
3. *Крапивнер Р.Б.* Кризис ледниковой теории: аргументы и факты – М.: ГЕОС, 2018. – 320 с.
4. *Матишов Г.Г.* Дно океана в ледниковый период. - Л.: Наука, 1984. 176 с.
5. *Спиридонов М.А., Рыбалко А.Е., Поляк Л.В.* Стратиграфия верхнечетвертичных отложений Новоземельского шельфа и палеогеография восточной части Баренцева моря в позднем плейстоцене - голоцене // Осадочный покров гляциального шельфа северо-западных морей России. – 1992 СПб. - С 47-68
6. *Соловьева М.А., Ахманов Г.Г., Монтели А.И.* Новые свидетельства валдайского оледенения в северо-восточной части Баренцевоморского шельфа (материалы ТТР-19 и ТТР-20) // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. Материалы ежегодной конференции по результатам экспедиционных исследований. -2021- Выпуск 8.- С. 222-227.
7. *Тарасов Г.А., Костин Д.А.* Особенности формирования четвертичных отложений на шельфе севера Баренцева моря // Доклады РАН. - 2004. - Т. 397. № 2. - С. 235-238.
8. *Dowdeswell J., Montelli A., Akhmanov G. et al.* Weichselian ice-sheet flow directions in the Russian northern Barents Sea from high-resolution imagery of submarine glacial landforms // Geology. - 2021. - Vol. 49. - P. 1484-1488.
9. *Dowdeswell J.A., Ottesen D., Rise L. et al.* Identification and preservation of landforms diagnostic of past icesheet activity on continental shelves from three-dimensional seismic evidence // Geology. - 2007.- Vol. 35. Is. 4. - P. 359–362.
10. *Jakobsson M., Andreassen K., Bjarnardóttir L.R. et al.* Arctic ocean glacial history // Quaternary Science Reviews. - 2014. - Vol. 92. - P. 40-67.
11. *King E.C., Hindmarsh R.C., Stokes C.R.* Mega-scale glacial lineations beneath a West Antarctic ice stream // Nature Geoscience. - 2009. - Vol. 2. - P. 585-588.