

## СЕВЕРО-КАРСКИЙ ШЕЛЬФ: ПЕРЕХОДНАЯ ЗОНА ЧЕТВЕРТИЧНОГО ЛИТОМОРФОГЕНЕЗА МЕЖДУ ЗАПАДНО-АРКТИЧЕСКИМ И ВОСТОЧНО-АРКТИЧЕСКИМ ШЕЛЬФАМИ

**Рыбалко Александр Евменьевич<sup>1,2,3</sup>, Токарев Михаил Юрьевич<sup>4</sup>, Ахманов Григорий Георгиевич<sup>4</sup>, Терехина Яна Евгеньевна<sup>4</sup>, Соловьева Марина Андреевна<sup>4</sup>, Аксенов Алексей Олегович<sup>1</sup>, Хлебникова Оксана Александровна<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>СПбГУ, Санкт-Петербург

<sup>2</sup>ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург

<sup>3</sup>ООО ЦАСД МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

<sup>4</sup>МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Результаты геологических исследований последних лет на Арктической окраине РФ показали коренные отличия в геологическом развитии и строении четвертичного покрова на Западно-Арктическом и Восточно-Арктическом шельфах. Особое место занимает район Карского моря и его четвертичный покров, которому характерны черты строения как западной, так и восточной части арктического шельфа.

Геологическое строение рыхлого покрова Западно-Арктического шельфа (Баренцево море) типично для гляциального шельфа. Разрез преимущественно представлен отложениями последнего гляциального цикла, в основании которого залегает морена валдайского оледенения, перекрытая относительно маломощными чехлом осадков ледниково-морского и морского генезиса [Эпштейн и др., 2014]. При этом, Северо-Баренцевоморский шельф большей частью представляет денудационную равнину (и даже структурно-денудационную равнину около островов Земли Франца-Иосифа), на поверхности которой вскрываются ледниково-морские и ледниковые отложения верхнего неоплейстоцена. Последние представлены как донной (основной) мореной, так и слагают гряды, которые отражают положение краевых частей полицентрического ледника. Моренные гряды локализуются как вокруг архипелага Земля Франца-Иосифа, так и вокруг северной части Новой Земли [Карта..., 2013., Васильев и др., 2013, Доречкина и др., 2012]. Даже в желобе Франца-Виктории по данным геологической съемки [Карта..., 2013] практически отсутствует накопление нефелоидных осадков, и весь обломочный материал транзитом проходит далее на континентальный склон и подножье.

Западная и северная части Карского шельфа, а также большая часть Баренцевоморского шельфа, на которые распространялось прямое воздействие последнего (вислинского, валдайского) покровного ледника, имеют сходное строение. Это отражается, прежде всего, в распространении на морском дне моренных гряд и на значительной площади морского дна, где практически отсутствуют современные морские осадки. Тем не менее, как демонстрируют результаты экспедиции ГТТ-21 (Карское море, 2022 г.), за внешним сходством строения четвертичного покрова в северных частях Баренцева и Карского морей, скрыто резкое отличие в наборе фациальных обстановок, в которых проходило накопление отложений в позднем неоплейстоцене – голоцене.

Морфологический облик Северо-Карского шельфа несколько отличается от Северо-Баренцевоморского. Он представлен чередованием крупных форм рельефа субмеридионального простирания: желоба Святой Анны и Воронина, разделенных Центрально-Карской возвышенностью с островами Визе и Ушакова, которая пространственно совпадает с Центрально-Карским сводовым поднятием [Васильев и др., 2013]. Эта область восточнее замыкается поднятием архипелага Северная Земля с его крутым склоном, рассеченным депрессиями, морфологическим продолжением которых являются проливы, разделяющие острова архипелага. Южнее располагается мелкорасчлененная Притаймырская мелководная равнина с глубинами менее 50 м и многочисленными островами: Арктического института, Известий ВЦИК, Норденшельда и др. Наиболее

северным из них является о-в Уединения, в окрестностях которого происходила значительная часть исследований экспедиции ТТР-21. Характерной геоморфологической чертой этого района является разветвленная сеть долин, протягивающаяся в сторону пролива Вилькицкого и в желоб Воронина. Наличие многочисленных палеоврезов, генезис которых до сих пор дискусионен, является характерной особенностью всего Карского шельфа [Карта..., 2013], что делает его схожим с обширными пространствами Восточно-Арктического шельфа.

Существенные различия двух описываемых областей Арктического шельфа отмечаются и в характеристиках средних и мелких форм донного рельефа.

На Северо-Баренцевском шельфе основные геоморфологические элементы и сами отложения отражают развитие и деградацию покровных ледников с несколькими ледовыми куполами (центрами оледенения). Работы экспедиций ТТР-19 (2020 г.) и ТТР-20 (2021 г.) показали разнообразие форм донного рельефа, сформированных как на контакте подошвы ледника с морским дном, так и на краях отступающего ледника в стадию его деградации (рис.1). Так во многих местах по данным съемки с помощью многолучевого эхолота были выявлены линейные ледниковые мега-борозды (mega-scale glacial lineation – MSGL), которые возникали при деформировании осадков под воздействием активного и быстро движущегося ледника. Ориентировка этих борозд совпадает с направлением движения ледника [Соловьева и др., 2021, King et al., 2009]. Не менее распространены на Северо-Баренцевоморском шельфе и, так называемые, морены отступления (retreat moraines), которые представлены грядами скученных отложений, возникающими у края ледника при его кратковременных остановках в ходе общей дегляциации. Эти гряды ориентированы перпендикулярно линии отступления ледникового покрова и маркируют границы сокращающегося оледенения. [Соловьева и др., 2021, Dowdeswell et al., 2007]. Другими формами рельефа, указывающими на деятельность ледника, являются поля друмлинов, подледниковые долины стока и др. Характерно, что указанные геоморфологические образования имеют площадное распространение на Северо-Баренцевоморском шельфе, что доказали работы МГУ последних лет [Dowdeswell et al., 2021; Montelli et al., 2023].

Северо-Карский шельф отличается широким набором генетических типов отложений и разнообразием крупных форм рельефа. Наряду с типичными гляцигенными формами рельефа, развитыми на Северо-Карской возвышенности и на склонах желоба Воронина, отмечаются обширные площади бассейновых (морских) отложений с мощностью слоистых толщ до 20 и более метров, а также участки морского дна, осушенные во время последней гляциоэвстатической регрессии и характеризующиеся многочисленными криогенными и посткриогенными формами рельефа. Особенно это характерно для Притаймырской мелководной равнины. В целом, строение четвертичных отложений на таких участках очень близко к строению Восточно-Арктического шельфа, который в значительной мере был осушен в стадию МИС-2 и характеризуется площадным и островным развитием многолетних мерзлых пород. Особый интерес представляет анализ донного рельефа по данным многолучевого профилирования в пределах Центрально-Карского поднятия. Наличие на нем грядообразных форм рельефа, которые были установлены еще по данным геологической съемки шельфа на листе Т-48-50 [Качурина и др., 2013], позволяет со всей определенностью предполагать их ледниковую природу, тем более, что это совпадает и с данными одного из немногочисленных исследователей этого района - Л.В. Поляка [Polyak et al. 2002]. Работы экспедиции ТТР-21 подтвердили наличие гряд, генезис которых связан как с прямым распространением ледника, так и с всплыванием шельфового ледника (так называемые, призмы зоны отлегания (ПЗО) или морены всплывания) [Спиридонов и др., 1992]. В целом, холмисто-грядовой рельеф с пересеченным характером поверхности морского дна и является наиболее распространенным в ледниковой области на Северо-Карском шельфе (рис.2).

д.

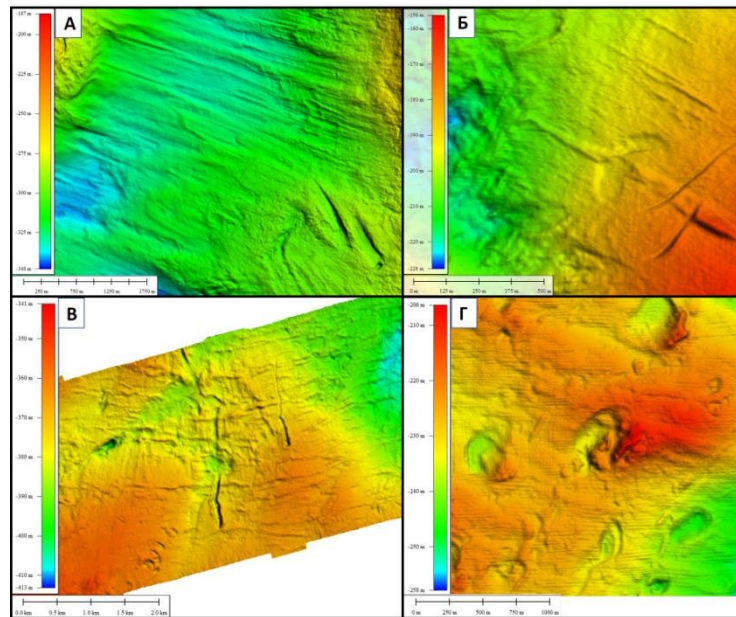


Рисунок 1. А - Пример мегамасштабной ледниковой линейности; Б - Пример поля друмлинов; В - Пример морен Де Гира; Г - Пример структур типа «hill-hole pairs». Северо-западная часть Баренцева моря

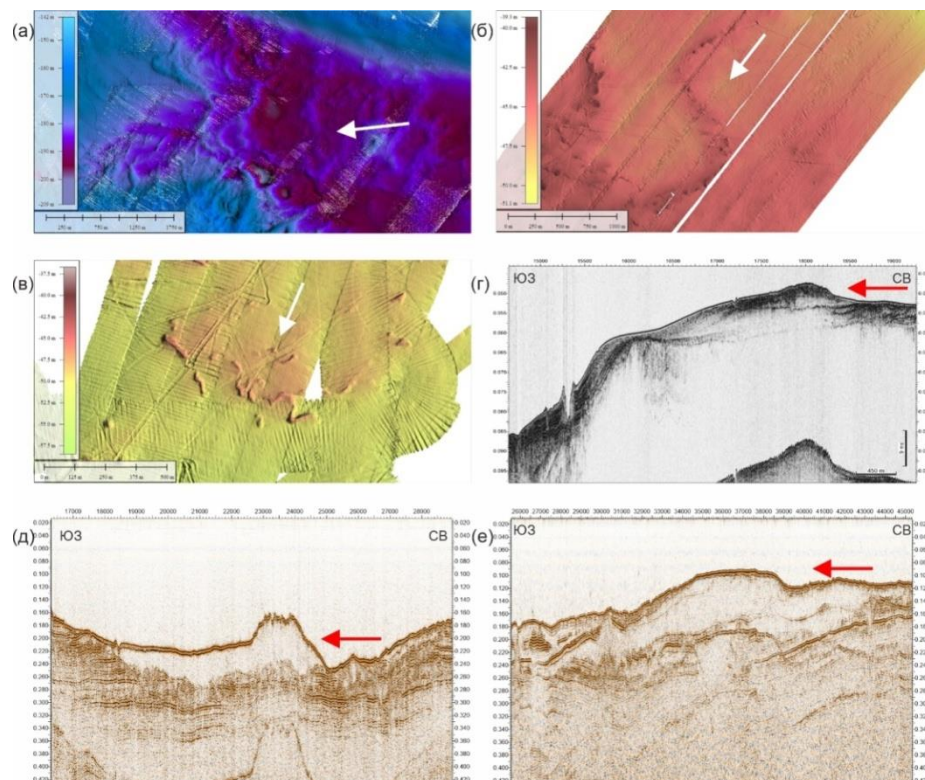


Рисунок 2. Характерные формы мезо-микрорельефа на Центрально-Карской возвышенности. (а) – ледниковые гряды отступления; (б) – озовая гряда; (в) – напорная ледниковая гряда; (г) – флювиогляциальный конус выноса; (д) – ледниковая гряда, образованная в результате деформирования нижележащих морских морен (акустически прозрачная толща); (е) – призма зоны отлегания. Стрелочками показано направление движения ледника.

Наиболее интересным фактом является установление краевых гряд на западном склоне Североземельского поднятия (восточном склоне желоба Воронина), что заставляет



предполагать движение ледника со стороны островов архипелага Северная Земля. Это предположение не согласуется с данными предыдущих исследователей, предполагавших, что в стадию МИС-2 сам архипелаг был свободен от ледников в это время [Качурина и др., 2013]. Новые данные могут принципиально изменить представление о развитии покровного ледника в северном полушарии, но уже сейчас ясно, что сам характер рельефообразующих процессов в северной части Карского моря существенно отличался от северной части Баренцева моря. Это подтверждается как уже упомянутыми пространствами, занятыми бассейновыми (морскими) отложениями с мощностью слоистых толщ до 20 и более метров, так и обширными участками современного морского дна, где в настоящее время развиты многочисленные криогенные и посткриогенные формы рельефа [Буланова и др., 2022]. Схожие особенности присущи рельефу дна морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Еще одной чертой, объединяющей Карский и Восточно-Арктический шельфы, является широкое развитие палеодолин. На последнем они связаны, в основном, с подводным продолжением палеорусел великих сибирских рек: Яны, Лены, Индигирки, Колымы и других. Крупнейшие реки, впадающие в Карское море, - Обь и Енисей - характеризуются обширными эстуариями, но не имеют ярко выраженных продолжений на шельфе до бровки континентального шельфа. При этом, на Северо-Карском шельфе имеется прекрасно выраженная затопленная эрозионная сеть, имеющая смешанное заложение, пережившая длительный этап аллювиального развития и открывающаяся в желоб Воронина и в проливы, разделяющие острова архипелага Северная Земля и в пролив Вилькицкого. В центральной части Карского моря также существует разветвленная сеть палеоврезов, часто имеющих локальное распространение и сближенных между собой. Генезис их до сих пор служит предметом дискуссии.

Таким образом, в строении четвертичного покрова Северо-Карского шельфа мы можем наблюдать черты обеих частей континентальной окраины Арктики, что связано с особенностями его развития в квартере. Это обусловлено как частичным распространением покровного ледника на Карский шельф, так и наличием в позднем неоплейстоцене, на ранних стадиях гляциоэвстатической трансгрессии, обширных площадей осущенного шельфа, испытавшего глубокое промерзание. Сочетание трех факторов: (1) ледникового покрова, (2) морских бассейнов и (3) приподнятых равнинных участков суши, испытавших промерзание, где формировалась речная сеть, использующая частично и подледниковые врезы интерстадиальных потоков и направленная в сторону отступившей береговой линии придает столь своеобразные черты процессу рельефо- и осакообразования на дне Карского моря в позднем неоплейстоцене-голоцене.

Особые условия седиментации - в пределах архипелагов Земля Франца-Иосифа и Северная Земля. Здесь развиты узкие и глубокие фиордовые проливы с крутыми бортами и мозаичным распределением аккумулятивных и денудационных фаций. Условия формирования осадков весьма схожи, и оба эти архипелага представляют важный элемент в модели седиментогенеза на Северо-Баренцевоморском и Северо-Карском шельфах. Это и источник обломочного материала, поступающего с ледником в пределы акватории, это и седиментационные ловушки для тонких осадков в заливах-фиордах и развитие гравитационных процессов. А сама архитектура рельефа островов не оставляет сомнения в существенном влиянии на их формирование неотектонических процессов и избирательной денудации по ослабленным тектоническим зонам.

### Список литературы

1. Буланова И.А., Шиндина Н.Е., Уголькова Е.А., Томасенко С.В. и др. Особенности геологического строения верхней части разреза участка исследований в северной части Обь-Енисейской ступени. предварительные результаты экспедиции TTR-21 //Труды XI Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU)-2022» Том IV (IV). Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2022, С.273-276;

2. Васильев В. В., Вискунова К. Г., Кийко О. А., Козлов С. А. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист Т-41–44 – мыс Желания. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 200 с.;
3. Доречкина Д.Е., Рекант П.В., Коршунов Д.А. и др. Характер распределения позднечетвертичных ледниково-морских отложений в северной части приноземельского шельфа // Записки Горного института. 2012, т.195. с. 33-36;
4. Карта четвертичных образований масштаба 1:2 500 000 территории Российской Федерации. Пояснительная записка. Главные редакторы: О.В. Петров, А.Ф. Морозов. СПб: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2013. 220 с.;
5. Качурина Н. В., Макарьев А. А., Макарьева Е. М. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серии Северо-Карско-Баренцевоморская и Таймырско-Североземельская. Лист Т-45–48 – м. Челюскин. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2013, 568 с.;
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. Мат-лы ежегодной конференции по результатам экспедиционных исследований. Выпуск 8. Санкт-Петербург. 2021. С. 222-227.;
7. 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. СПб., 1992, С. 47-68.;
8. Эпштейн О.Г., Длугач А.Г., Старовойтов А.В. Сейсмостратиграфия осадочного покрова как основа прогноза инженерно-геологических условий Баренцевоморского шельфа // Инженерная геология, 2014, №5, С. 30-41;
9. Dowdeswell, J., Montelli, A., Akhmanov, G., Solovyeva, M., Terekhina, Y., Mironyuk, S., Tokarev, M. Late Weichselian ice-sheet flow directions in the Russian northern Barents Sea from high-resolution imagery of submarine glacial landforms // *Geology*, v. 49. 2021. P. 1484-1488
10. Dowdeswell J.A., Ottesen D., Rise L., Craig J. Identification and preservation of landforms diagnostic of past ice sheet activity on continental shelves from threedimensional seismic evidence // *Geology*. 2007. Vol. 35. Is. 4. P. 359–362; 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;
11. Montelli A., Solovyeva M., Akhmanov G., Mazzini A., Piatilova A., Bakay E., Dowdeswell J.A. 2023. The geomorphic record of marine-based ice dome decay: Final collapse of the Barents Sea ice sheet. *Quaternary Science Reviews*, Elsevier BV (Netherlands), том 303, P. 107973. DOI 10.1016/j.quascirev.2023.107973
12. Polyak L., Gataullin V., V. Gainanov et al. Kara Sea expedition yields insight into LGM ice sheet extent // *Eos*. 2002. Vol. 83. № 46. P. 525-529.