

НОВЫЕ ПРИЗНАКИ ПОКРОВНОГО ОЛЕДЕНЕНИЯ В КАРСКОМ МОРЕ: МЕГАМАСШТАБНАЯ ЛЕДНИКОВАЯ ЛИНЕЙНОСТЬ В ВОСТОЧНО- НОВОЗЕМЕЛЬСКОМ ЖЕЛОБЕ

¹Рыбалко А.Е., ²Миронюк С.Г., ³Росляков А.Г., ⁴Колюбакин А.А., ³Соловьева М.Е.,
³Терехина Я.Е., ³Токарев М.Ю.

¹Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

²Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М. В. Ломоносова, Россия

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Россия

⁴ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия

Изложены результаты изучения положения границы оледенения в восточной приновоземельской части Карского моря. Использование комплекса методов (сейсморазведки сверхвысокого разрешения, высокочастотного непрерывного сейсмоакустического профилирования, многолучевого эхолотирования и др.) подтвердило ранее сделанный вывод о том, что шельфовый ледник о. Северный в поздневалдайское время в виде ледового моста перекрывал Восточно-Новоземельский желоб и оставил на противоположной его стороне моренный материал. Прямым доказательством этого события является впервые обнаруженные на приновоземельском шельфе Карского моря мегамасштабная ледниковая линейность (т. н. «гигантские гляциальные борозды»). К зоне краевых ледниковых форм следует отнести также описанные в работе образования мертвого льда - термокарстовые западины.

Ключевые слова: *Карское море, шельф, краевые ледниковые формы, мегамасштабная ледниковая линейность, ледниковые отложения, термокарстовые западины.*

Реконструкция древних ледниковых покровов относится к главнейшим вопросам палеогеографии плейстоцена [Матвишов, 2008]. Для решения этой проблемы применяется широкий комплекс методов палеогеографических реконструкций. Среди них особое место занимают разнообразные методы геоморфологического анализа, в т.ч. палеогеоморфологический метод [Рычагов, 2016]. Опыт восстановления палеогеографических событий в неоплейстоцене и голоцене показал, что палеогеоморфологический метод, наряду с собственно палеогляциологическим, являются одним из основных при исследованиях палеогеографического развития шельфа и морских побережий, особенно при решении вопроса о пространственных рубежах последнего оледенения. Используя палеогеоморфологический метод и, в частности, морфоскульптурный анализ форм рельефа эту границу с достаточной степенью точности проводят с учетом расположения краевых ледниковых форм: краевых морен, камов, озов, зандровых равнин и т. д. [Кригер и др., 1983; Флинт, 1963].

Среди актуальных вопросов палеогеографии акватории Карского моря – характер и граница последнего неоплейстоценового ледникового покрова (эпохи МИС 2). Именно закономерности распространения краевых морен Карского моря, выявленные с помощью непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) и донного опробования [Гайнанов и др., 2005; Дибнер, 1968; Polyak et al., 2000; Polyak et al., 2002; Svendsen et al., 1999] послужили основой для обозначения предполагаемой границы последнего ледникового максимума вдоль восточного борта Восточно-Новоземельского желоба [Svendsen et al., 2004], в т. ч. на Карте четвертичных образований территории Российской Федерации [Карта четвертичных ..., 2014].

Исследования на НИС «Профессор Штокман» в западной части Карского моря, включающие НСАП, эхолотирование и пробоотбор, показали, что последнее оледенение на шельфе Карского моря носило сравнительно ограниченный характер. Главным центром оледенения арх. Новая Земли был о. Северный. Конечно-моренные образования (поздний вюрм) были обнаружены на западной окраине Западно-Карского поднятия, на некоторых

террасовых уровнях восточного склона Восточно-Новоземельского желоба и на отдельных останцах вершинной поверхности у западного склона желоба. Средние отметки распространения морен составляют 250-260, 140-150, 80-100 м ниже современного уровня моря [Бирюков и др., 1989; Дунаев и др., 1995]. Следует заметить, что по мнению ряда авторов последнее оледенение распространялось лишь на части Северного острова Новой Земли [Рекант и др., 2017].

Исследования последних лет с использованием данных сейсморазведки сверхвысокого разрешения (ССВР) и высокочастотного непрерывного сейсмоакустического профилирования (ВЧ НСАП) подтвердили наличие моренных образований в рассматриваемом районе (Рис. 1).



Рис. 1. Обзорная карта района исследований. Максимальная глубина участка – 336 м, минимальная – 229 м. Расположен в 70 км к юго-востоку от арх. Новая Земля. Изученный участок расположен в устье обширной долинообразной депрессии, открытой в сторону Восточно-Новоземельского желоба.

В результате анализа волновой картины в приповерхностной части разреза по данным ВЧ НСАП выделяется две сеймопачки (СП1а и СП1б) (Рис. 2), границей между которыми является протяженный отражающий горизонт Н01, отчётливо коррелируемый на всей площади исследований по смене амплитуды волновой картины.

СП1а распространена по всей площади изысканий и представлена преимущественно акустически прозрачной записью. Её мощность хорошо выдержана по площади и в среднем составляет около 4-5 м, уменьшаясь лишь на локальных участках практически до нулевых значений (Рис.2). На некоторых участках мощность рассматриваемых отложений достигает 8 м.

Отложения СП1а облекают неровности и заполняют низменности в кровле нижележащей пачки, сглаживая ее рельеф. Совместный анализ данных инженерно-геологического бурения и ВЧ НСАП позволяет сделать заключение, что отложения сеймопачки 1а представлены морскими верхненеоплейстоцен-голоценовыми глинистыми илами.

СП 1б характеризуется хаотическим типом записи, высоким уровнем амплитуд. Подошва сеймопачки 1б указанным геофизическим методом не прослеживается. Такие признаки, как неровная, холмистая поверхность кровли, высокие амплитуды, отсутствие какой-либо слоистости позволяют интерпретировать СП 1б как моренные отложения. По

данным бурения в верхней части отложения представлены суглинками текучепластичной консистенции, а в нижней – глинами от текучепластичной до тугопластичной консистенции.

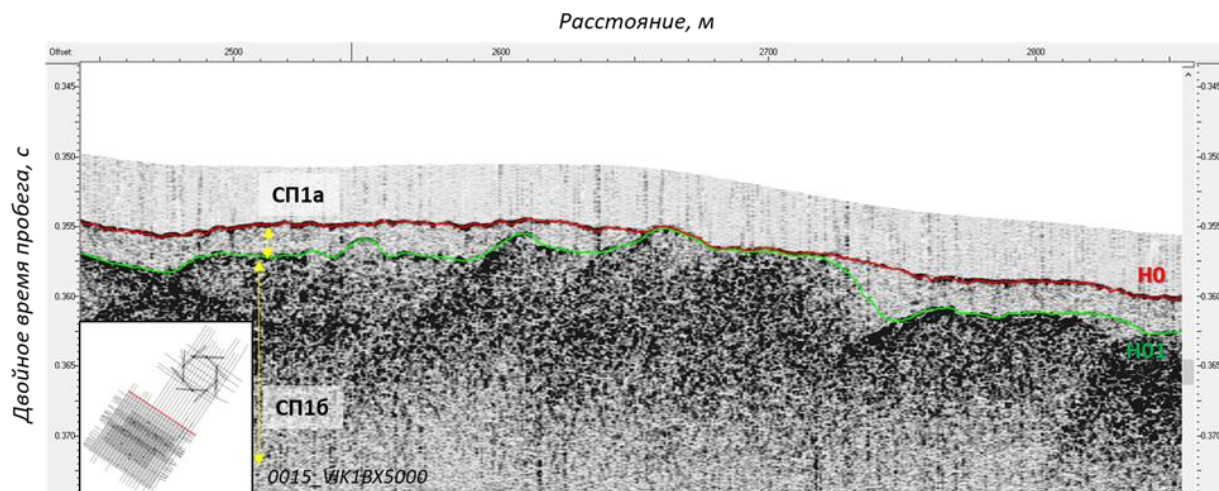


Рис. 2 Выделение двух сеймопачек по данным ВЧ НСАП. СП1а соответствует морским верхнеплейстоцен-голоценовым осадкам, СП1б – ледниковым отложениям.

По данным ССВР в верхней части разреза выделяется две пачки предположительно ледниковых отложений, разделенных четкой субгоризонтальной эрозионной поверхностью, имеющий характерный выровненный рельеф (Рис.3). Очевидно, нижняя часть верхней пачки соответствует сеймопачке 1б, выделенной по данным ВЧ НСАП.

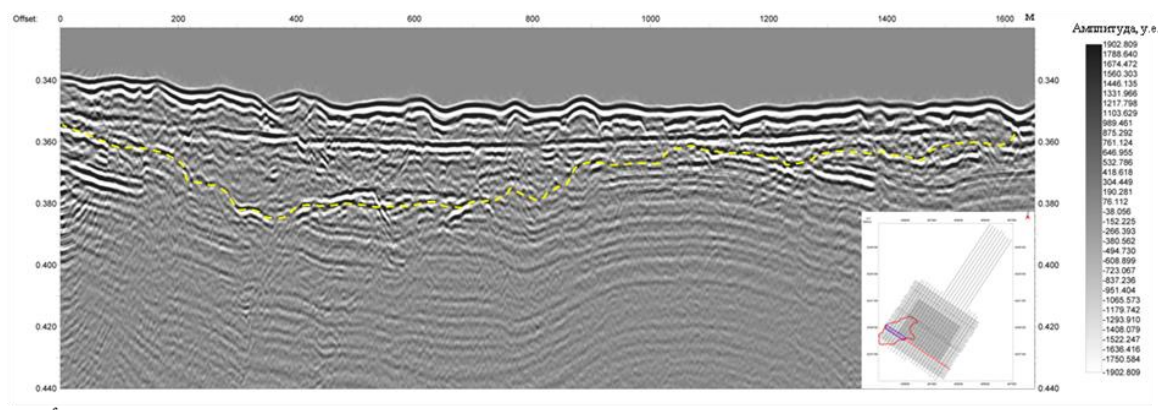


Рис. 3. Две пачки разновозрастных ледниковых (моренных) отложений, разделенные субгоризонтальной поверхностью. Желтый пунктир – граница, предположительно эрозионной ледниковой долины, выработанной в коренных породах (турон-сантонские аргиллиты).

Надежными индикаторами гляциальных эпох, позволяющими определить направление движение древних ледниковых потоков является друмлины, друмлиноиды, гигантские гляциальные борозды, гигантский флютинг (т. н. ледниковые формы второго рода). Их подробное описание на суше (арх. Новая Земля, о. Вайгач) в рассматриваемом регионе приведено в работе М.Г. Гросвальда [Гросвальд, 2009].

Мегамасштабная ледниковая линейность (mega-scale glacial lineation) (в данной работе мы употребляем указанный термин в качестве замены термина «гигантские гляциальные борозды») представляет собой систему сопряженных, непрерывных, линейно вытянутых параллельных гряд, разделенных бороздами и ориентированных в направлении движения ледника. Следующие показатели характеризуют мегамасштабную ледниковую линейность (ММЛЛ): длина <1–180 км, ширина 39–5000 м, высота 1–100 м [Spagnolo et

al., 2014]. Площади развития ММЛЛ достигают нескольких тысяч км² и более [Clark et al., 1993; Dowdeswell et al., 2004]. Несмотря на некоторое морфологическое сходство (серия параллельных борозд может быть следствием воздействия на дно многокилевых айсбергов, ледяной плотины и др.) генезис этих образований различен. Предполагается, что, как и в случае флютинг-морен [Лаврушин, 1976], формирование ММЛЛ происходило в обстановке локальных и региональных деформаций рыхлых подледниковых отложений под активным, быстротекущим ледником. Такие формы экзарационного рельефа наблюдались под современным Рутфордским ледниковым потоком в Западной Антарктике [King et al., 2009]. Наличие ММЛЛ на дне арктических морей имеет большое значение для палеогеографических реконструкций.

Изученный в ходе батиметрической съемки в 2012 г. и детально изученный в 2018-2019 гг. участок морского дна в верхней части восточного борта Восточно-Новоземельского желоба (Рис. 1) несет на своей поверхности явные следы ММЛЛ (Рис.4). Длина гляциальных борозд колеблется от 0,4 км до 1,6 км, ширина -50-150 м, средняя глубина -2 м, крутизна стенок - до 5°, ориентировка-ЮЗ-СВ (65-70°).

ММЛЛ является прямым доказательством существования ледникового покрова в восточной части Карского моря в верхнелепестовое время. Аналогичные формы ранее были обнаружены в различных районах Баренцева моря [Dowdeswell et al., 2016].

К ансамблю краевых ледниковых форм следует, видимо, отнести также выявленные небольшие западины и их скопления - термокарстовые понижения (kettles, kettleholes) (Рис. 5). Они, как правило, имеют изометричную форму, глубина варьируется от 5 м до 12 м. Диаметр впадин составляет 70-180 м. Уклон стенок 12-17°.

В общей схеме классификации краевых ледниковых образований такие формы относят к группе «Краевых образований мертвого льда» [Гуделис, 1963].

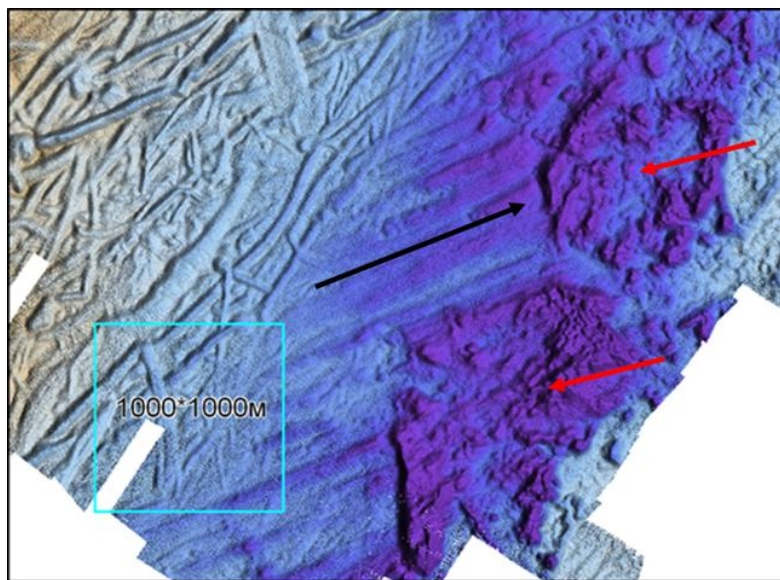


Рис. 4. Мегамасштабная гляциальная линейность в юго-западной части участка исследований. В верхнем левом углу рисунка - разнонаправленные реликтовые борозды ледникового выпаживания (плугмарки). Черная стрелка- направление движения ледникового потока, красными стрелками показаны западины, предположительно сформированные в результате таяния крупных глыб мертвого (погребенного) льда у конца ледника.

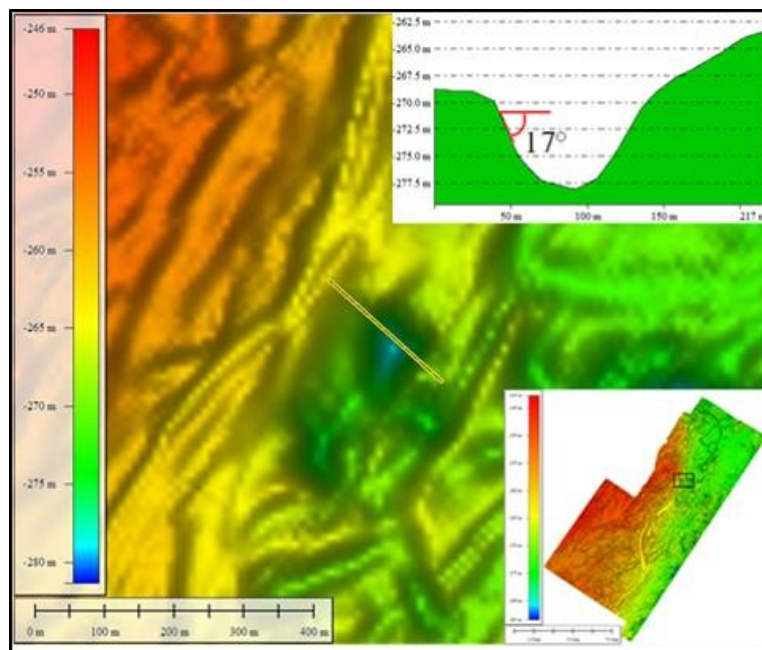


Рис. 5. Пример, предположительно, термокарстовой западины. На врезках – профиль понижения (вверху) и его положение в пределах участка (внизу).

Выявленные на участке плугмарки относятся к более поздней стадии деградации ледника, которая сопровождалась трансгрессией моря. Они прослеживаются в диапазоне глубин -130-340 м. Преобладают U-образные плугмарки. Такое сечения борозд обусловлено заполнением первоначально V-образных плугмарок осадочным материалом, эрозионной переработкой склонов борозд, выполаживанием их склоновыми процессами. Образование U-образных борозд возможно связано также с воздействием на донные осадки килей столообразных айсбергов (Рис. 6). Плугмарки характеризуются следующими морфометрическими параметрами: длина 0,1-4 км, ширина до 300 м, глубина до 8 м. Преобладающая глубина борозд 0,3- 0,9 м. Уклоны бортов борозд достигают 20°.

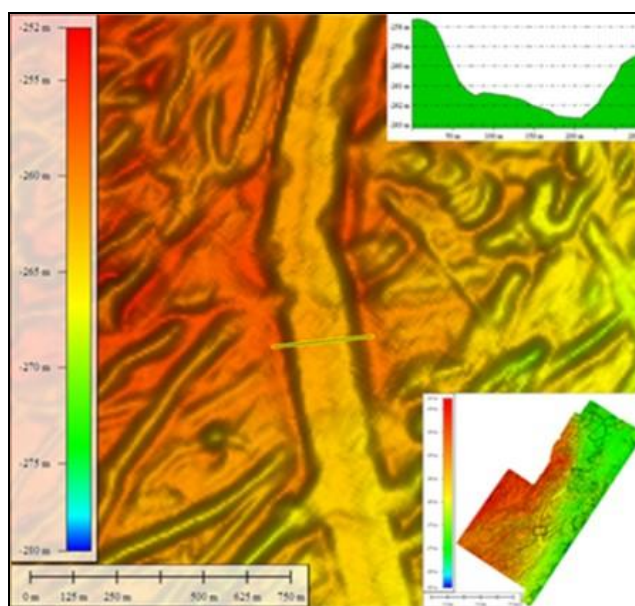


Рис. 6. Пример широкой (до 300 м) борозды на батиметрической карте. На врезках - батиметрический профиль, проходящий через борозду (вверху) и ее положение на карте (внизу). Предположительно выработана крупным столообразным айсбергом. Фиксируется только на приподнятом участке дна (красные тона).

Выполненные исследования показали, что геоморфологический анализ цифровых моделей донного рельефа в комплексе с ССВР и ВЧ НСАП являются надежными методами для реконструкции древних ледниковых покровов и, в частности, изучения их краевых форм. В результате рассмотрения материалов, полученных с помощью указанных методов, а также буровых работ, подтвердились палеогеографические реконструкции эпохи последнего ледникового максимума (LGM) свидетельствующие о том, что Баренцево-Карский щит в стадию своего роста (сартанское время) полностью перекрывал Восточно-Новоземельский желоб.

ЛИТЕРАТУРА:

Бирюков В.Ю., Дунаев Н.Н., Павлидис Ю.А. Осадочный чехол и развитие Западно-Карского шельфа в кайнозое // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 1989. № 3. С. 53-59.

Гайнанов В.Г., Поляк Л.В., Гатауллин В.Н., Зверев А.С. Сейсмоакустические исследования следов покровных оледенений в Карском море // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2005. № 1. С. 38-44.

Гросвальд М.Г. Оледенение Русского Севера и Северо-Востока в эпоху последнего великого похолодания // Материалы гляциологических исследований. 2009. Вып. 106.

Гуделис В.К. К вопросу о терминологии и классификации краевых ледниковых образований материкового оледенения // Труды комиссии по изучению четвертичного периода. 1963. № 21. С. 84–91.

Дибнер В.Д. «Древние глины» и рельеф Баренцево-Карского шельфа – прямые доказательства его покровного оледенения в плейстоцене // Труды ААНИИ. 1968. Том 285. С. 118-122.

Дунаев Н.Н., Левченко О.В., Мерклин Л.Р., Павлидис Ю.А. Приновоземельский шельф в позднечетвертичное время // Океанология. 1995. Т. 35. № 3. С. 440-450.

Карта четвертичных образований территории Российской Федерации. Масштаб: 1:2500000. 2014. (Минприроды России, Роснедра, ФГУП «ВСЕГЕИ», ФГУП «ВНИИОкеангеология»).

Кригер Н.И., Долодаренко С.А., Миронюк С.Г. Гляциотектоника и конечные морены западной части Русской равнины (геологический и инженерный аспекты). М.: Наука. 1983. 111 с.

Лаврушин Ю.А. Строение и формирование основных морен материковых оледенений. М.: Наука. 1976. 245 с.

Матишов Г.Г. Современные проблемы геоморфологии и палеогеографии северных и южных морей // Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН Санкт-Петербург «Отечественная геоморфология: прошлое, настоящее, будущее». СПбГУ, 15-20 сентября 2008 года. СПб., 2008. С. 23-24.

Рекант П.В., Гусев Е.А., Артемьева Д.Е., Зархидзе Д.В., Шкарубо С.И. Подводные границы Новоземельского оледенения по сейсмоакустическим данным // Фундаментальные проблемы квартара: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований. Материалы X Всероссийского совещания по изучению четвертичного периода. Москва 25–29 сентября 2017 г. М.: ГЕОС, 2017. С. 332-334.

Рычагов Г.И. К методике палеогеографических реконструкций // Материалы Всероссийской научной конференции посвященной памяти профессора А.А. Величко. 2016 «Пути эволюционной географии», Москва, 23-25 ноября 2016 г. С. 273-277.

Флинт Р.Ф. Ледники и палеогеография плейстоцена. М.: Иностр. лит., 1963. 575 с.

Clark C.D. Mega-scale glacial lineations and cross-cutting ice flow landforms // Earth Surface Processes and Landforms. 1993. V. 18. P. 1-29. <https://doi.org/10.1002/esp.3290180102>

Dowdeswell J.A., Canals M., Jakobsson M., Todd B.J., Dowdeswell E. K., Hogan K.A. (eds) Atlas of Submarine Glacial landforms: Modern, Quaternary and Ancient // Geological Society Memoirs. 2016. Vol. 46, <http://doi.org/10.1144/M46>

Dowdeswell J.A., Ó'Cofaigh C., Pudsey C. Thickness and extent of the subglacial till layer beneath an Antarctic paleo-ice stream // *Geology*. 2004. V. 32. P. 13–16. <https://doi.org/10.1130/G19864.1>

King, E.C., Hindmarsh, R.C. and Stokes, C.R. Formation of Mega-scale glacial lineations beneath a West Antarctic ice stream // *Nature Geoscience*. 2009. Vol. 2. P. 585–588. <http://dx.doi.org/10.1038/ngeo581>

Polyak L., Levitan M., Gainanov V. et al. The impact of glaciation, river-discharge and sea-level change on Late Quaternary environments in the southwestern Kara Sea // *Int. J. Earth Science*. 2000. Vol. 89. P. 550–562. <https://doi.org/10.1007/s005310000119>

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. <https://doi.org/10.1029/2002EO000361>

Spagnolo M., Clark Chris D., Jeremy C. et al. Size, shape and spatial arrangement of mega-scale glacial lineations from a large and diverse dataset // *Earth Surf. Process. Landforms*. 2014. Vol. 39. Is. 11. P. 1432–1448. <https://doi.org/10.1002/esp.3532>

Svendsen J. I., Astakhov, V. I., Bolshiyakov, D.Yu. et al. Maximum extent of the Eurasian ice sheet in the Barents and Kara Sea region during the Weichselian // *Boreas*. 1999. Vol. 28. P. 234–242. <https://doi.org/10.1111/j.1502-3885.1999.tb00217.x>

Svendsen J.I., Alexanderson H., Astakhov V.I. et al. Late Quaternary ice sheet history of northern Eurasia // *Quaternary Science Reviews*. 2004. Vol. 23. P. 1229–1271. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.12.008>

NEW SIGNS OF GLACIATION IN THE KARA SEA: MEGA-SCALE GLACIAL LINEATION IN THE EAST-NOVOZEMELSKY TRENCH

¹Rybalko A.E., ²Mironyuk S.G., ³Roslyakov A.G., ⁴Kolyubakin A.A., ³Solovieva M.E., ³Terekhina Ya. E., ³Tokarev M. Yu.

¹Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

²Moscow State University Seismic Data Analysis Center, Moscow, Russia

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

⁴RN-Exploration LLC, Moscow, Russia

The results of studying the position of the glaciation boundary in the eastern part of the Kara Sea near Novaya Zemlya are presented. The use of a set of methods (ultra-high resolution seismic exploration, high-frequency continuous seismoacoustic profiling, multi-beam echo sounding, etc.) confirmed the earlier conclusion that the glacier shelf on in the Late Valdai time, the North Island in the form of an glacier bridge blocked the East-Novozemelsky trench. He deposited moraine material on the opposite (eastern) side of the trench. Direct evidence of this event is the mega-scale glacial lineation (the so-called «giant glacial grooves») discovered for the first time on the shelf of the Kara Sea. The formation of «dead ice» - thermokarst pit described in the work should also be attributed to the zone of marginal glacial forms.

Key words: Kara Sea, shelf, marginal glacial forms, mega-scale glacial lineation, glacial deposits, thermokarst pit