

## ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭРОЗИОННО-АККУМУЛЯТИВНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ВОСТОЧНО-ПРИНОВОЗЕМЕЛЬСКОГО РАЙОНА КАРСКОГО МОРЯ

<sup>1</sup>Замотина З.С., <sup>1</sup>Терехина Я.Е., <sup>2</sup>Рыбалко А.Е., <sup>3</sup>Репкина Т.Ю., <sup>4</sup>Колюбакин А.А.

<sup>1</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup>Институт наук о Земле СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup>ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия

На основе совместного анализа данных 2D сейсморазведки стандартного (СР) и сверхвысокого разрешения (2D ССВР), акустического профилирования (АПр) и многолучевого эхолотирования (МЛЭ) получены новые сведения о строении четвертичных отложений и особенностях морфологии поверхности морского дна в пределах Восточно-Приновоземельского района (северная часть Карского моря). В пределах участка площадью около 940 км<sup>2</sup>, с глубинами воды от 27 м до 140 м, были выявлены палеоврезы, выраженные в современном рельефе дна, термокарстовые котловины, останцы дочетвертичных отложений, а также скопление (грядка) обломочного материала (предположительно ледового). Преимущественно континентальный генезис выявленных структур в совокупности с небольшой глубиной моря позволяет предположить, что в период сартанской эпохи исследуемая территория представляла собой сушу, где, вероятно, в суровых климатических условиях формировались многолетнемерзлые толщи. Последующее верхнеплейстоцен-голоценовое поднятие уровня моря привело к затоплению суши и субаэральный режим сменился морским. Мерзлые толщи, сформировавшиеся в субаэральных условиях, подвергались подводной денудации и протаиванию. Анализ данных МЛЭ и 2D СР в 10 км юго-западнее и в 25 км севернее участка работ позволил установить наличие комплекса ледниковых отложений. Можно предположить, что граница максимума последнего (поздневалдайского) оледенения находилась на некотором удалении от исследуемого участка, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Ключевые слова: *палеоврезы, термокарстовые котловины, Валдайское оледенение, мультиспектральная сейсморазведка, Восточно-Приновоземельский район, Карское море*

**Введение.** Регион Карского моря представляет собой один из крупнейших перспективных нефтегазоносных осадочных бассейнов на Арктическом шельфе. Наиболее интересным с точки зрения нефтегазового освоения является Восточно-Приновоземельский район, на территории которого активно проводятся геологоразведочные работы, направленные на поиск, разведку и эксплуатацию месторождений нефти и газа. Несмотря на повышенный интерес к указанному району, многие особенности его геологического строения остаются мало изученными. Наиболее дискуссионные проблемы четвертичной геологии региона касаются существования, границ и динамики последнего покровного оледенения. Задачи картирования ледниковых отложений, идентификации эрозионных объектов и аккумулятивных тел, определения их генезиса и пространственной локализации актуальны также с точки зрения оценки рисков нефтегазодобывающих компаний при проектировании сооружений нефтегазового комплекса.

В настоящей работе представлены новые данные о строении четвертичных отложений и особенностях морфологии поверхности морского дна Восточно-Приновоземельского района (северная часть Карского моря), в том числе сведения о распространении и предполагаемом генезисе эрозионно-аккумулятивных структур, сформировавшихся во время последнего оледенения. Выделение и картирование эрозионных объектов и аккумулятивных тел выполнено на основе совместного анализа данных 2D сейсморазведки сверхвысокого разрешения (2D ССВР), акустического профилирования (АПр) и многолучевого эхолотирования (МЛЭ), любезно

предоставленных ПАО «НК «Роснефть». Представленная реконструкция дополняет и расширяет представления о палеогеографии региона в позднечетвертичное время.

**Данные и методы.** В ходе исследования использованы данные 2D сейсморазведки сверхвысокого разрешения (ССВР), полученные с помощью многоканальной пьезокосы «Geo-Sense UltraHi-Res 48 Channel Streamer» (48 каналов с шагом 3,125 м), источника энергии «Geo-Spark 7 kJ» и излучателя «Geo-Sparker 400» (типа «Спаркер», 400 электродов). Частотный диапазон имеющихся данных находится в диапазоне от 100 Гц до 1200 Гц, центральная частота – 500 Гц, вертикальная разрешающая способность – 1-5 м.

В качестве оборудования для проведения АПр применялся профилограф «Innomar SES-2000» (центральная частота записи – 10 кГц, вертикальная разрешающая способность – 0.1 – 2 м). Площадная съемка рельефа морского дна выполнена с помощью многолучевого эхолота «Kongsberg EM 2040 C», частотный диапазон которого изменяется от 200 до 400 кГц. В результате обработки данных МЛЭ получена цифровая модель рельефа с ячейкой грида 2x2 м.

Дополнительно привлечены данные батиметрии GEBCO (General Bathymetric Chart of the Oceans) [Jakobsson & Martin; 2016], а также разрезы 2D стандартной сейсморазведки метода отраженных волн в модификации общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) после специализированной обработки, направленной на улучшение качества данных в верхней части разреза (ВЧР) [Терёхина и др., 2021].

**Результаты.** В пределах участка площадью около 940 км<sup>2</sup>, с глубинами воды от 27 м до 140 м, были выявлены эрозионные объекты и аккумулятивные тела различного генезиса.

На северо-востоке и юго-западе площади обнаружены палеоврезы, вытянутые в северном направлении. По батиметрическим данным установлено, что они хорошо выражены в современном рельефе и характеризуются плоскими днищами и относительно пологими бортами (около 2-7°). Максимальная протяженность этих структур составляет 17 км, ширина – 2 км, глубина – около 40 м. Минимальная протяженность – 14 км, ширина – 300 м, глубина – около 5 м. На сейсмических разрезах сверхвысокого разрешения они ограничены отчетливо прослеживающейся отражающей границей переменной амплитуды, имеющей неровную конфигурацию (рис. 1, В). Наличие фрагментов осей синфазности повышенной амплитуды и обратной полярности, экранирующих нижележащий интервал разреза, предположительно свидетельствует о присутствии газонасыщенных осадков в изучаемом разрезе. Это, вероятно, обусловлено деградацией островной мерзлоты, неоднократно встреченной на шельфе Карского моря [Рокос и др., 2009]. На сейсмической записи также прослеживаются особенности внутреннего выполнения врезов, в частности, наличие слоистости и залегание выполняющих отложений с облеканием подстилающего погребенного рельефа. Это предположительно является свидетельством спокойных условий осадконакопления (Рис. 1, В). По данным АПр обнаружена дополнительная особенность внутреннего строения таких структур, а именно наличие участков с явными признаками деформации отложений. Одним из возможных факторов формирования подобных палеопонижений является процесс термоэрозии, который связан с вытаяванием подземных льдов, сопровождающих его осадках грунта, а также эродирующим воздействием образованной талой воды на мерзлые породы и выносом рыхлого материала. Данное предположение справедливо, если допустить, что в холодные эпохи позднего плейстоцена на осушенном Приновоземельском шельфе формировались многолетнемерзлые породы. Их деградация была связана с потеплением климата и повышением уровня моря. Необходимо также отметить, что контуры выделенных отрицательных структур хорошо совпадают с пространственным положением затопленных сартанских речных палеодолин, обозначенных на карте четвертичных образований [Карта четвертичных образований..., лист S41-43], что также позволяет предположить речной генезис выявленных форм рельефа (Рис. 1, А).

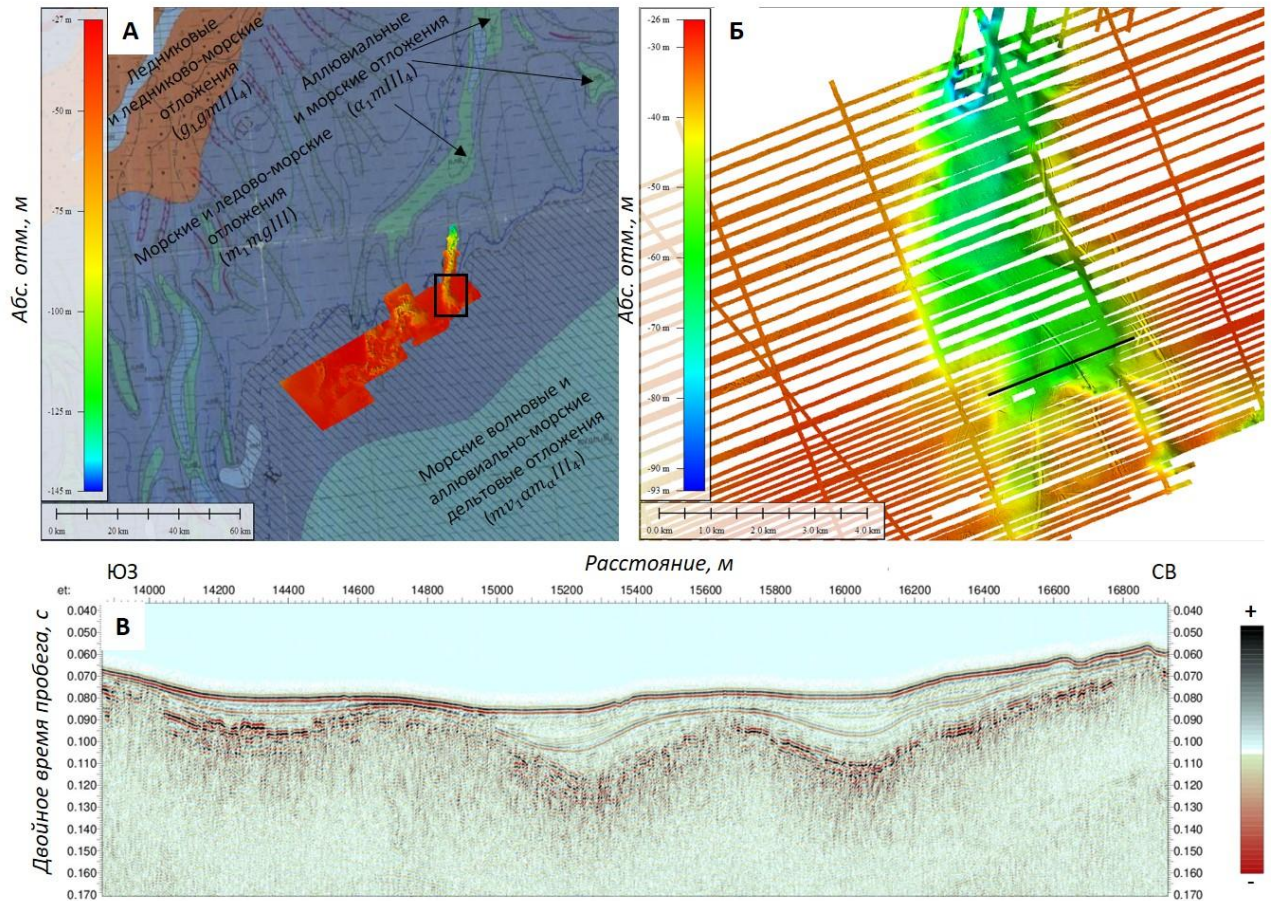


Рис. 1. Пример палеовреза в северо-восточной части исследуемого участка. А – цифровая модель рельефа дна (ячейка грида – 200x200 м), наложенная на карту четвертичных образований [Карта четвертичных образований..., лист S41-43], Б – цифровая модель рельефа (ячейка грида – 2x2 м), В – профиль 2D ССВР. Черной линией на рис. Б показано положение сейсмического профиля. Черный квадрат на рис. А соответствует увеличенному фрагменту батиметрии (рис. Б).

В центральной части площади проведено картирование множества палеопонижений разной формы, частично выраженных в современном рельефе, в частности, идентифицированы эрозионно-тектонические впадины.

Ещё одним типом отрицательных форм рельефа, выделенных на площади, являются округлые понижения диаметром от 50 м до 400 м и глубиной от 5 до 35 м, заполненные слоистыми осадками. Структурно-морфологические особенности этих структур в совокупности с предположением о распространении многолетнемерзлых пород в районе исследования указывают на их термокарстовый генезис. В юго-западной части площади по данным МЛЭ также зафиксировано изометричное понижение диаметром 40 м и глубиной 2 м с бортиком по краю. На разрезах АПр оно совпадает с областью осветления записи, что предположительно связано с миграцией газа на поверхность морского дна и образованием покмарки. На большей части участка наблюдаются борозды ледового выпаживания.

К положительным формам рельефа, выявленным на участке, относятся останцовые возвышенности, а также крупные формы неясной природы, для анализа которых необходимо привлечение данных с большей глубиной. Особый интерес представляет изометричное тело диаметром около 25 м, возвышающееся над современной поверхностью морского дна на 1 м. По данным АПр оно представлено вертикальной областью с акустически прозрачной записью, ниже которого прослеживается слоистость. Генезис данной структуры до конца не ясен, но возможно она представляет собой бугор пучения, образованный при деформации мёрзлых грунтов.

В результате картирования эрозионно-аккумулятивных объектов на территории исследуемого района была составлена схема, представленная на рисунке 2.

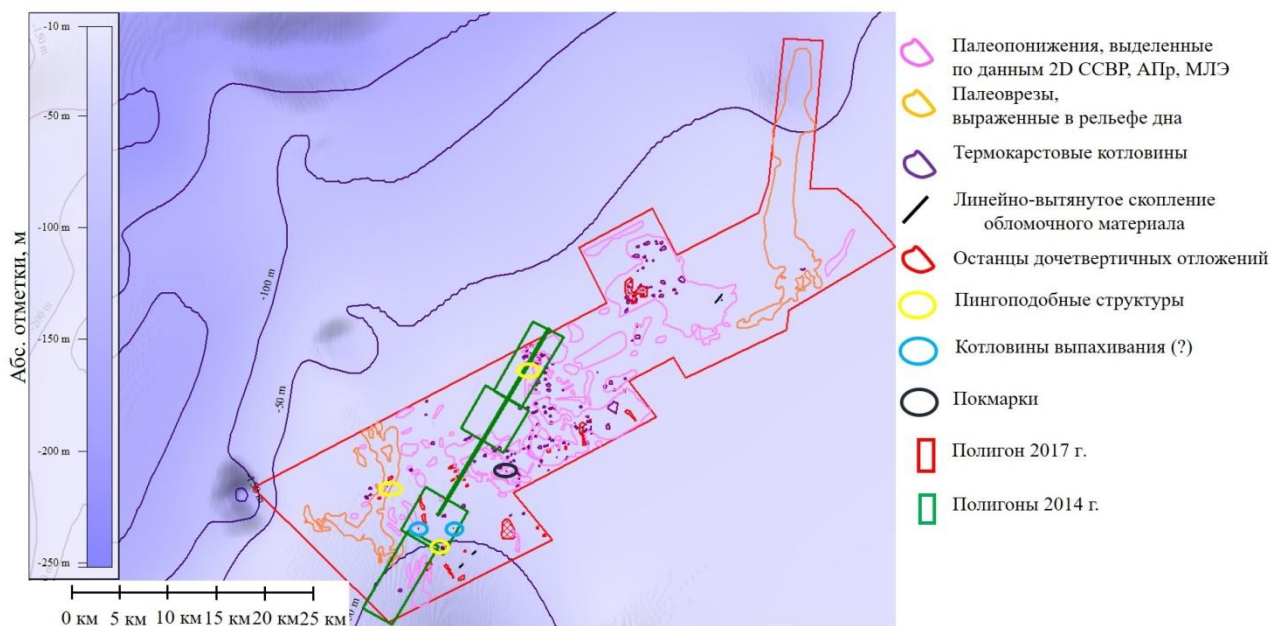


Рис. 2. Схема распространения эрозионно-аккумулятивных форм рельефа в северной части Восточно-Приновоземельского района Карского моря. Основа – батиметрия GEBCO [Jakobsson & Martin, 2016].

**Заключение.** По результатам совместного анализа данных 2D СВР, 2D ССВР, АПр и МЛЭ были выделены эрозионные формы и аккумулятивные тела преимущественно континентального генезиса. Вероятно, во время последнего оледенения (18-20 тыс. лет назад) исследуемая территория представляла собой сушу, где в суровых климатических условиях формировались толщи многолетнемерзлых пород. В пользу этого предположения также свидетельствует небольшая глубина моря. Последующее событие, а именно верхнеплейстоцен-голоценовое повышение уровня моря, привело к затоплению суши и субэвральный режим сменился морским. Мерзлые толщи, сформировавшиеся в субэвральном режиме, подвергались подводной денудации и протаиванию, что способствовало образованию понижений, наблюдаемых на участке исследования.

Необходимо отметить, что при анализе данных многолучевого эхолотирования, а также профилей 2D стандартной сейсморазведки в 10 км юго-западнее и в 25 км севернее участка работ были установлены ледниковые формы рельефа. При этом на площади исследований признаков оледенения не обнаружено. Это позволяет предположить, что граница максимума последнего (поздневалдайского) оледенения находилась на некотором удалении от исследуемого участка, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

## ЛИТЕРАТУРА

Карта четвертичных образований. Лист S41-43. Масштаб 1:1 000 000. ОАО «МАГЭ», ФГБУ «ВНИИОкеангеология». Авторы: Костин Д.А., Кузин И.Л., Лопатин В.Г.

Терёхина, Я. Е., Соловьева, М. А., Хлебникова, О. А., Токарев, М. Ю., Горбачев, С. В., Нурмухамедов, Т. В., Мятчин, О. М. Особенности интерпретации 2d/3d сейсмических данных для решения инженерно-геологических задач на мелководье Печорского моря // Гоевразия 2021. Современные методы изучения и освоения недр Евразии. Труды Международной геолого-геофизической конференции. 2021. Т. 1. С. 202-205.



Рокос С.И., Длугач А.Г., Костин Д.А., Куликов С.Н., Локтев А.С. Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания // Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 38-41.

Jakobsson & Martin (2016). International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO).URL: <https://www.gebco.net/>

## **EROSIVE-ACCUMULATIVE OBJECTS DISTRIBUTION LANDFORMS IN THE NORTHERN PART OF THE KARA SEA EAST-NOVAYA ZEMLYA AREA**

<sup>1</sup>Zamotina Z.S., <sup>1</sup>Terekhina Ya.E., <sup>2</sup>Rybalko A.E., <sup>3</sup>Repkina T.Yu., <sup>4</sup>Kolubakin A.A.

<sup>1</sup> Moscow State University M. V. Lomonosov, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geosciences, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup>Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup>LLC RN-Exploration, Moscow, Russia

Based on joint analysis of 2D convolution seismic (CS), 2D ultra-high resolution seismic (UHR), sub-bottom profiling (SBP) and multibeam echosounder (MBES) data, new information about Quaternary sediments structure and sea-bottom morphology features is acquired within Vostochno-Prinovozemelsky area (northern part of the Kara Sea). Paleovalleys expressed in the seafloor, thermokarst depressions, isolated hills of pre-Quaternary sediments, as well as accumulation of presumably ice rock debris, were identified in the site of 940 km<sup>2</sup>. Sea depth varied from 27 m to 140 m. Mainly, continental genesis of the revealed structures and shallow water depth suggest the site was the land, where permafrost formed in the Sartansk age. The Upper Neopleistocene – Holocen sea-level rise led to transgression and subaerial regime marine. Permafrost formed in subaerial conditions was subjected to underwater denudation and thawing. MBES and 2D CS data analysis allowed to identify glacial sediments 10 km southwest and 25 km north of the site. It can be assumed that the ice cover maximum extent boundary was at some distance from the site during the last glacial (Late Valdai) period, but this issue requires further study.

Keywords: *paleovalleys, thermokarst depressions, Valdai glaciation, multifrequency seismic, East – Novaya Zemlya area, Kara Sea*