

УДК 550.834.05

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2023-63-2-117-127

ПАЛЕОДОЛИНЫ И ПАЛЕОДЕПРЕССИИ ВОСТОЧНО-ПРИНОВОЗЕМЕЛЬСКОГО РАЙОНА КАРСКОГО МОРЯ

Злата Сергеевна Замотина¹, Анатолий Васильевич Старовойтов²,
Михаил Юрьевич Токарев³, Яна Евгеньевна Терёхина⁴,
Андрей Анатольевич Колубакин⁵, Александра Михайловна Гончарова⁶

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; zлата_zamotina@mail.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; starovoytov_msu@mail.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; tokarev@decogeo.com

⁴ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; yana.msu@gmail.com

⁵ ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; andrey.kolyubakin@gmail.com

⁶ ООО «РН-Эксплорейшн», Москва, Россия; A_Goncharova@rn-anc.ru

Аннотация. По мультимастотным сейсмическим данным, полученным в пределах трех участков на территории Восточно-Приновоземельского района, выявлены U-образные, V-образные в поперечном сечении палеодолины, а также палеодепрессии в верхней части осадочной толщи (включая верхний мел). На первой площади исследования выделены предположительно позднемеловые и четвертичные долины разного генезиса. По характерным морфологическим признакам палеодолины позднемелового возраста имеют V-образный и U-образный (корытообразный) поперечные профили и, согласно палеогеографическим условиям позднемелового времени, вероятно, образовались в результате эрозионной деятельности рек. Погребенные долины, выполненные предположительно четвертичными ледниковыми отложениями, имеют сходство с U-образными палеодолинами, и, вероятно, они были выработаны ледниковой экзарацией в эпоху позднечетвертичного оледенения. На второй площади обнаружены предположительно туннельные (подледниковые) долины четвертичного возраста, образованные под воздействием ледникового покрова, существовавшего восточнее арх. Новая Земля в позднечетвертичное время. На третьей площади, в отличие от первых двух, выявлены изометричные депрессии четвертичного возраста, генезис которых дискуссионный, его определение требует дальнейших исследований. Направление выделенных палеодолин в некоторых случаях совпадает с направлением подводных долин, показанных на карте подводных долин северных морей СССР [Ласточкин, 1977] и геоморфологической карте Карского моря [Мирошников и др., 2021].

Ключевые слова: палеодолины; палеодепрессии; Валдайское оледенение; мультимастотная сейсморазведка; Восточно-Приновоземельский район; Карское море

Для цитирования: Замотина З.С., Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терёхина Я.Е., Колубакин А.А., Гончарова А.М. Палеодолины и палеодепрессии Восточно-Приновоземельского района Карского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2023. № 2. С. 117–127.

PALEOVALLEYS AND PALEODEPRESSIONS OF THE KARA SEA VOSTOCHNO-PRINOVOZEMELSKY AREA

Zlata S. Zamotina¹, Anatoly V. Starovoytov², Mikhail Yu. Tokarev³,
Yana E. Terekhina⁴, Andrey A. Kolubakin⁵, Alexandra M. Goncharova⁶

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; zлата_zamotina@mail.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; starovoytov_msu@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; tokarev@decogeo.com

⁴ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; yana.msu@gmail.com

⁵ LLC «RN-Exploration», Moscow, Russia; andrey.kolyubakin@gmail.com

⁶ LLC «RN-Exploration», Moscow, Russia; A_Goncharova@rn-anc.ru

Abstract. U-shaped and V-shaped paleovalleys and paleodepressions are identified on multifrequency seismic data in near-surface section (NSS) within three study areas in Vostochno-Prinovozeemelsky area. Valleys of the Late Cretaceous and Quaternary ages and of different genesis are found in the first area of study. The paleovalleys of the Late Cretaceous age are V-shaped and U-shaped by its characteristic morphological properties and are likely formed as a result of the rivers erosional activity. Buried valleys filled with Quaternary glacial sediments are similar to U-shaped paleovalleys, genesis of which is usually connected to glacial plucking in the Late Quaternary glaciation. The tunnel valleys of Quaternary age result from impact of ice sheet existing to the east of the Novaya Zemlya archipelago in the Late Quaternary were revealed in the second study area. In contrast to the first two sites, isometric depressions of Quaternary age and controversial genesis were revealed in the third one. The direction of the identified paleovalleys in some cases coincides with the submarine valleys indicated on the USSR Northern Seas submarine valleys map [Lastochkin, 1977] and the Kara Sea geomorphological map [Miroshnikov et al., 2021].

Keywords: paleovalleys; paleodepressions; Valdai glaciation; multifrequency seismic; Vostochno-Prinovoze-melsky area; Kara Sea

For citation: Zamotina Z.S., Starovoytov A.V., Tokarev M.Yu., Terekhina Ya.E., Kolubakin A.A., Goncharova A.M. Paleovalleys and paleodepressions of the Kara Sea Vostochno-Prinovoze-melsky area. *Moscow University Geol. Bull.* 2023; 2: 117–127. (In Russ.).

Введение. В настоящее время интерес к изучению геологического строения Карского моря значительно вырос, что связано с высоким нефтегазовым потенциалом и малой изученностью его территории. Для минимизации возможных рисков при производственной деятельности на шельфе проводятся геолого-геофизические работы, позволяющие детально исследовать интервал разреза примерно до 1000 м ниже уровня дна. К областям, представляющим опасность при бурении, относятся области распространения газонасыщенных осадков, разрывные нарушения, многолетнемерзлые породы, системы палеодолин и палеодепрессий [Росляков и др., 2018]. Выделение опасных геологических процессов и явлений (ОГПиЯ) на территории изучаемого района способствует не только минимизации рисков при проведении производственных работ, но имеет важное научное значение. Один из вопросов связан с выявлением особенностей строения, происхождения и развития погребенных долин и депрессий на территории Восточно-Приновоземельского района Карского моря для восстановления его палеогеографии. Вопросом изучения палеопонижений различного генезиса на территории окраинных северных морей, в том числе региона Карского моря, занимались А.Н. Ласточкин [Ласточкин, 1977], Е.Е. Мусатов [Мусатов, 1987], Н.Н. Дунаев [Дунаев и др., 1995], Д.А. Костин [Костин, 1998], С.И. Рокос [Рокос, 2009] и др.

В настоящее время наиболее широко раскрыта проблема выделения палеоврезов и палеодепрессий по сейсмическим данным в зарубежных публикациях, особенно тех, где рассматривается регион Северного моря [Livingstone, Clark, 2016]. Одной из первых отечественных работ была статья А.Н. Ласточкина [Ласточкин, 1977], в которой представлена схема подводных долин, охватывающая весь регион Карского моря. Схема подводных долин была построена Ласточкиным А.Н. на основе анализа навигационных карт (не аналогичных топографическим).

Возможность проведения впервые в Карском море современных геофизических исследований, включая мультимастотную сейсморазведку, во многом определяет актуальность нашей работы. В рамках исследования были детально проанализированы сейсмические данные, что позволило выделить системы палеодолин и палеодепрессий, уточнить их генезис и выявить структурно-морфологические признаки в верхней части разреза (до глубины 200 м ниже уровня моря (н. у. м.)) Восточно-Приновоземельского района Карского моря.

В ходе выполнения работы были также рассмотрены публикации [Дунаев и др., 1995; Лаврушин,

Эпштейн, 2001; Рыбалко и др., 2020], в которых изложены сведения о строении четвертичных отложений Баренцево-Карского региона. Это позволило сделать предположения о возрасте и генезисе отложений, выполняющих и перекрывающих выделенные погребенные отрицательные формы рельефа.

По результатам исследований российских и зарубежных авторов на гляциальных шельфах выделяются следующие отрицательные формы рельефа: 1) палеодолины U-образные в поперечном сечении (троговые, корытообразные), 2) палеодолины V-образные в поперечном сечении, 3) палеодепрессии различного генезиса. Первый тип подводных долин характеризуется четко выраженным U-образным поперечным сечением с крутыми, параллельными бортами и почти плоским дном. Некоторые авторы [Bell et al., 2016] предположительно связывают формирование U-образных (троговых) долин с выпахающей деятельностью ледников. Согласно [Геоморфологический..., 2002] корытообразные долины могут иметь речное происхождение, в частности, когда донная эрозия сменяется боковой при достижении более устойчивого к эрозии слоя.

К рассматриваемому типу палеодолин также относят туннельные долины, образование которых предположительно связано с эродирующей деятельностью талых вод, накапливающихся в нижних слоях ледника при его отступании. Согласно исследованиям, проведенным в Северном море [Livingstone, Clark, 2016], эти структуры характеризуются резким изменением глубины залегания тальвега, вытянутой, слегка извилистой формой в плане. Они также могут резко начинаться и заканчиваться на площади исследования. Глубина залегания тальвега туннельных (подледниковых) долин изменяется в диапазоне от нескольких десятков до нескольких сотен метров, протяженность — около нескольких десятков километров, средняя ширина — от нескольких сотен метров до нескольких километров. Некоторые исследователи [Andersen et al., 2015] выделяют три типа туннельных долин: U-образные, V-образные и плоскодонные в поперечном сечении, при этом отмечают, что природа последнего типа до конца не ясна.

V-образные долины, по сравнению с первым типом подводных долин, имеют поперечный профиль с крутыми бортами и узким днищем. Согласно работе [Bell et al., 2016] образование подобных палеодолин связывают с эрозионной деятельностью рек. Третий тип отрицательных форм рельефа представлен палеодепрессиями, которые в плане имеют изометричную форму. Происхождение этих структур неоднозначно, поскольку они могут быть фрагментами

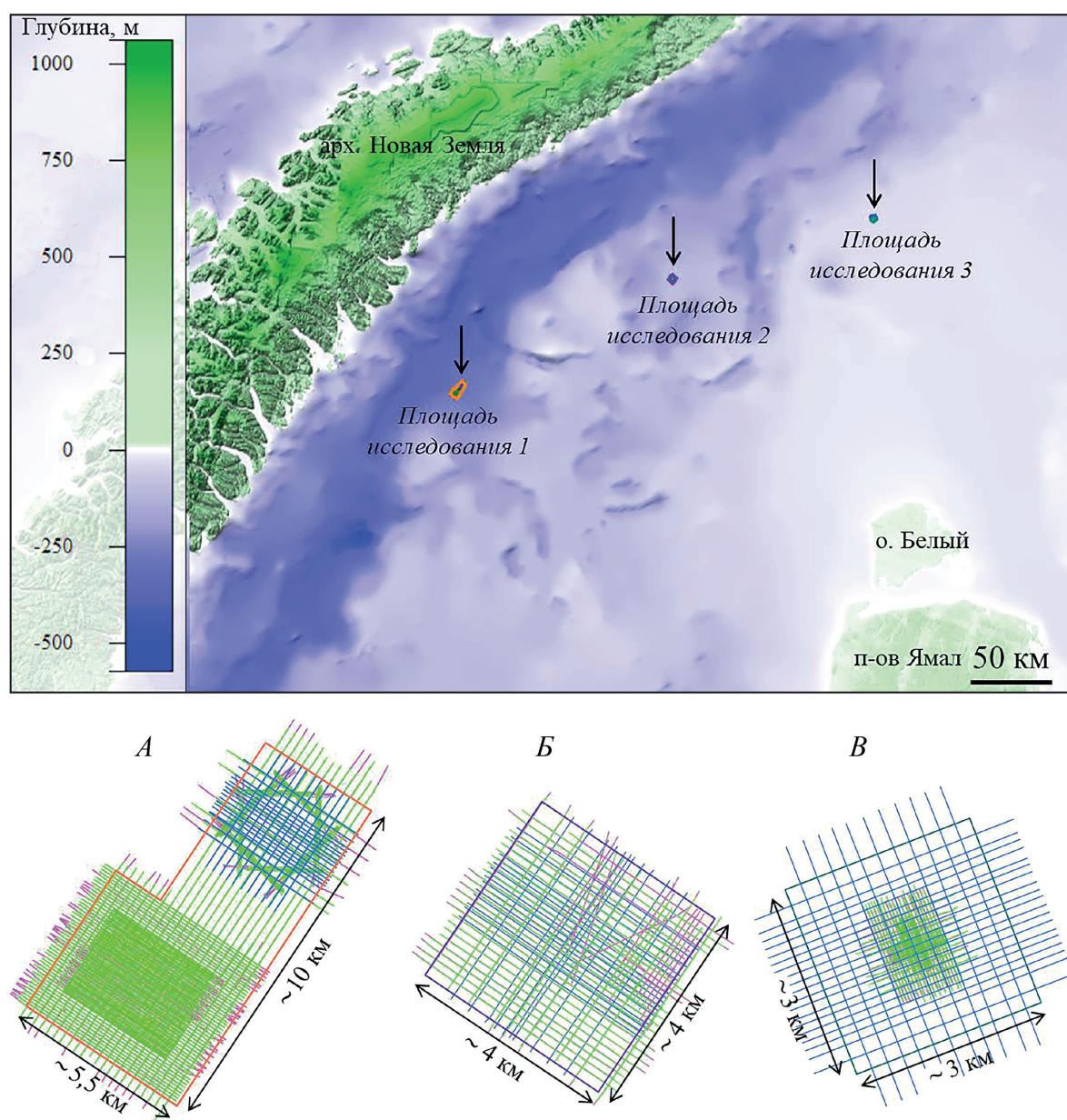


Рис. 1. Обзорная схема района исследования (вверху). Цветными полигонами со стрелками показаны площади исследования 1–3, в пределах которых получены данные 2D СВР, 2D ССВР и АПр; и схемы расположения профилей на площадях исследования: А — площадь 1, Б — площадь 2, В — площадь 3; синими линиями показаны профили 2D СВР, зелеными — 2D ССВР, розовыми — АПр

размытых ранее образованных ледниковых или речных погребенных долин, а также их формирование может быть обусловлено другими геологическими процессами (например, термокарстом).

Материалы и методы исследований. Рассмотрены сейсмические данные, полученные компанией АМИГЭ на территории трех участков Восточно-Приновоземельского района в 2019 г. Участки исследования расположены в различных геоморфологических зонах. Первый участок находится на борту Восточно-Новоземельского жолоба, глубина воды в его пределах изменяется от 243 до 283 м. Второй участок расположен в пределах локального поднятия морского дна на глубине от 85 до 170 м. Третий участок исследования занимает малоглубинную часть плоской равнины, и он относительно мелководный,

глубина воды в его пределах составляет 30–32 м (рис. 1).

Сейсмические исследования включали в себя сейсморазведку высокого (2D СВР), и сверхвысокого (2D ССВР) разрешения, акустическое профилирование (АПр) (рис. 1). Сейсморазведка высокого и сверхвысокого разрешения выполнена с использованием двух типов источников — пневмоисточника и спаркера. Приемная система состояла из сейсмических кос со 192 и 48 приемными каналами для низкочастотной (2D СВР) и более высокочастотной (2D ССВР) модификаций сейсмической съемки соответственно. Частотный диапазон 2D СВР изменялся от нескольких десятков до нескольких сотен герц. Вертикальная разрешающая способность данных 2D СВР составляла несколь-

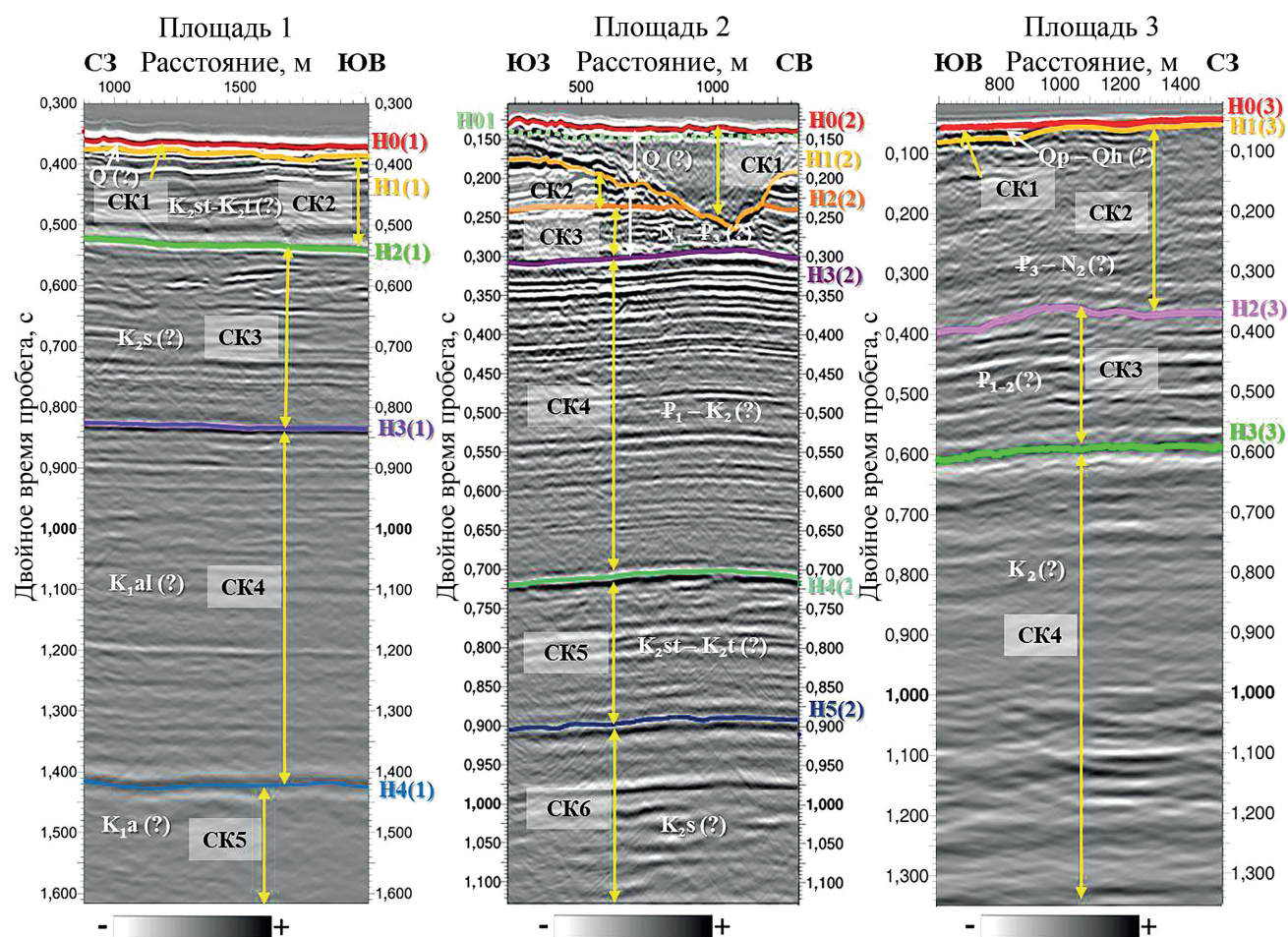


Рис. 2. Пример волновой картины по данным 2D СВР с выделением основных сейсмокомплексов (СК) и разделяющих их отражающих горизонтов (показаны цветными линиями) в пределах площадей исследования 1-3. Белые надписи – предположительный возраст СК

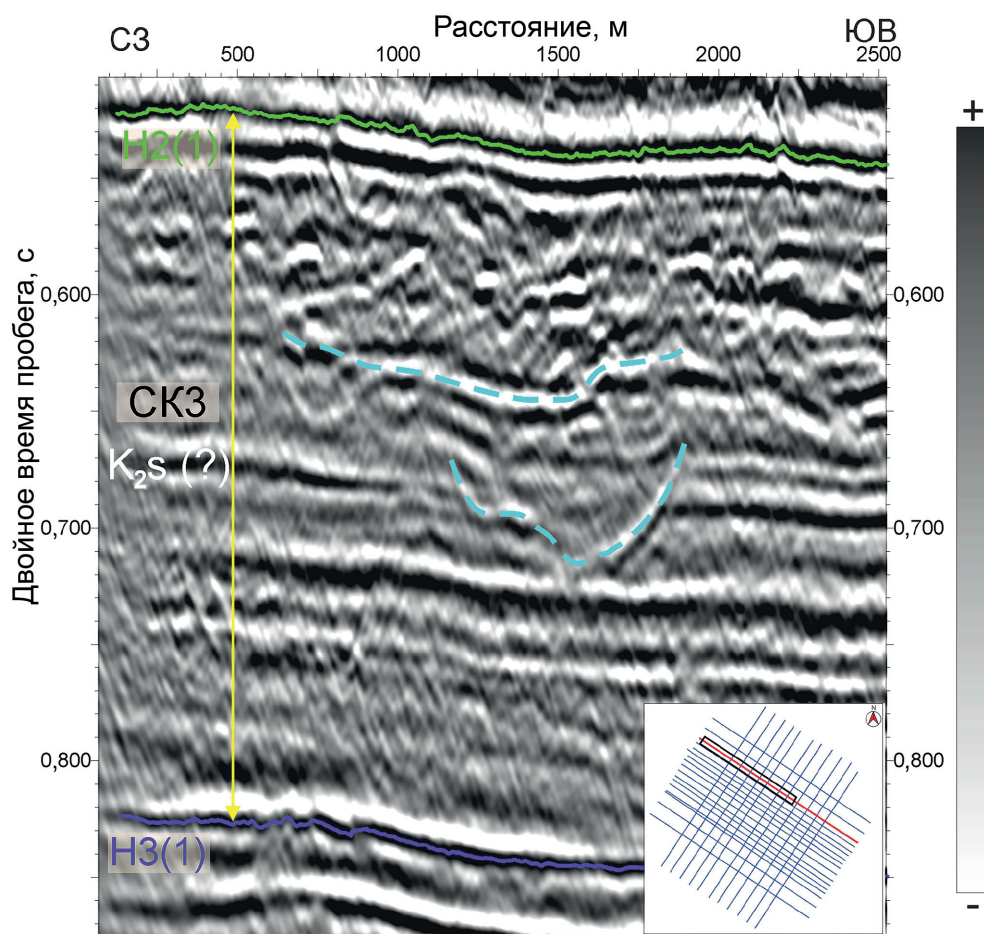
ко метров, глубинность — до 1000 м. Данные 2D ССВР характеризовались частотным диапазоном от нескольких сотен до 1500 Гц, вертикальной разрешающей способностью 0,5–3 м и глубинностью до 200 м. Для изучения первых десятков метров геологического разреза использованы данные профилографа, характеризующиеся вертикальной разрешающей способностью от 0,1 до 0,5 м и частотным диапазоном от 1500 до 16 000 Гц.

Результаты исследований и их обсуждение. На первом этапе исследований для площадей 1–3 выполнен сеймостратиграфический анализ данных 2D СВР, ССВР, в результате чего изучаемый разрез был расчленен на сейсмические комплексы и проведена стратиграфическая привязка (рис. 2). На площади 1 выделено 5 сейсмокомплексов (СК1–СК5), разделенных отражающими горизонтами (ОГ): Н0(1)–Н4(1). На площадях 2 и 3 были идентифицированы СК1–СК6 и СК1–СК4 и ОГ Н0(2)–Н5(2) и ОГ Н0(3)–ОГ Н3(3). Подробное описание каждого сейсмокомплекса со стратиграфической привязкой, выполненной на основе сопоставления сейсмических данных с разрезами морских скважин Ленинградская-1, 2, Русановская-1, 2, а также с учетом всех имеющихся

фондовых данных о геологии и сеймостратиграфии района [Шипилов, Шкарубо, 2010], приведено в работе [Zamotina et al., 2021].

Вещественный состав отложений выделенных сейсмокомплексов определить не представляется возможным из-за отсутствия данных глубокого бурения на участках исследования. В результате анализа сейсмических данных выявлено, что строение верхней части разреза изменяется при удалении от Восточно-Новоземельского жёлоба, в пределах которого расположена площадь 1. В пределах этого участка наблюдается отсутствие палеогеновых отложений, которые перекрывают верхнемеловые комплексы на площадях 2 и 3. Необходимо отметить, что подробный анализ изменения геологического разреза в изучаемом регионе, в том числе наличие или отсутствие седиментационных комплексов, — отдельный предмет исследования, который не входит в круг рассматриваемых нами вопросов. Главный интерес представляет изучение структурно-морфологических признаков, пространственного положения и истории развития погребенных долин и депрессий в Восточно-Приновоземельском районе Карского моря.

Рис. 3. Пример разреза 2D СВР с выделенными корытообразной и V-образной палеодолинами предположительно речного генезиса (показаны бирюзовым пунктиром) в сеноманском сейсмокомплексе (ограничен цветными линиями и стрелкой) на площади исследования 1. На врезке показано положение профиля. Белый шрифт – предположительный возраст СК3



По результатам совместного анализа данных, полученных разными методиками, выявлены палеодолины и палеодепрессии, врезанные в отложения предположительного сеноманского (СК3) и турон-сантонского (СК2) возраста на площади 1, а также предположительно палеоген-неогенового возраста (СК2, СК3) и (СК2) на площадях 2 и 3 соответственно (рис. 2). Ниже приведено подробное описание выделенных погребенных форм рельефа.

Площадь исследования 1. Фрагменты наиболее древних палеодолин, осложняющих строение предположительно сеноманского сейсмокомплекса (СК3) в пределах этой площади, залегают в интервале глубины от 180 до 550 м н. у. д. (принимая, что скорость распространения продольных волн (V_p) в этом интервале составляет 2300 м/с). На рис. 3 приведен пример проявления подобных погребенных долин на данных сейсморазведки высокого разрешения (2D СВР). Наблюдаемые отрицательные формы рельефа выделяются по несогласию типа эрозионного среза в их основании и бортах, а также хаотической волновой картине, характерной для отложений, выполняющих эти структуры. Долины с глубиной залегания тальвега около 400 м н. у. д. ($V_p = 2300$ м/с) характеризуются углами наклона бортов около 4° (северо-западный борт) и 8° (юго-восточный борт), а также преимущественно узким днищем. Мощность отложений, выполняющих эти структуры, составля-

ет около 40 м. Выше по разрезу наблюдаются долины с глубиной залегания тальвега около 320 м н. у. д., которые обладают относительно пологими бортами (углы наклона составляют несколько градусов) и меньшей мощностью слагающих их отложений (около 20 м). При анализе поперечного сечения отмечается схожесть наиболее глубоко залегающей долины с V-образными структурами. Палеодолина, расположенная выше по разрезу, имеет корытообразный поперечный профиль. Для определения возможного генезиса выделенных палеодолин были проанализированы условия осадконакопления в сеноманский период. Согласно палеогеографической реконструкции, представленной в работе А.Э. Конторовича с соавторами [Конторович и др., 2014], сеноман был временем умеренно-теплого и влажного климата, начавшейся в позднем альбе. Согласно материалам, представленным в указанной работе, в пределах площади исследования 1, где предположительно наблюдаются позднемеловые долины (вблизи арх. Новая Земля), в сеномане проходила граница между областью переходного осадконакопления (равнина прибрежная, временами заливавшаяся морем, осадки пойменные, озерно-болотные, русловые, дельтовые и др.) и мелким морем (глубина менее 25 м). На основе этой реконструкции сделано предположение, что выделенные палеодолины формировались при

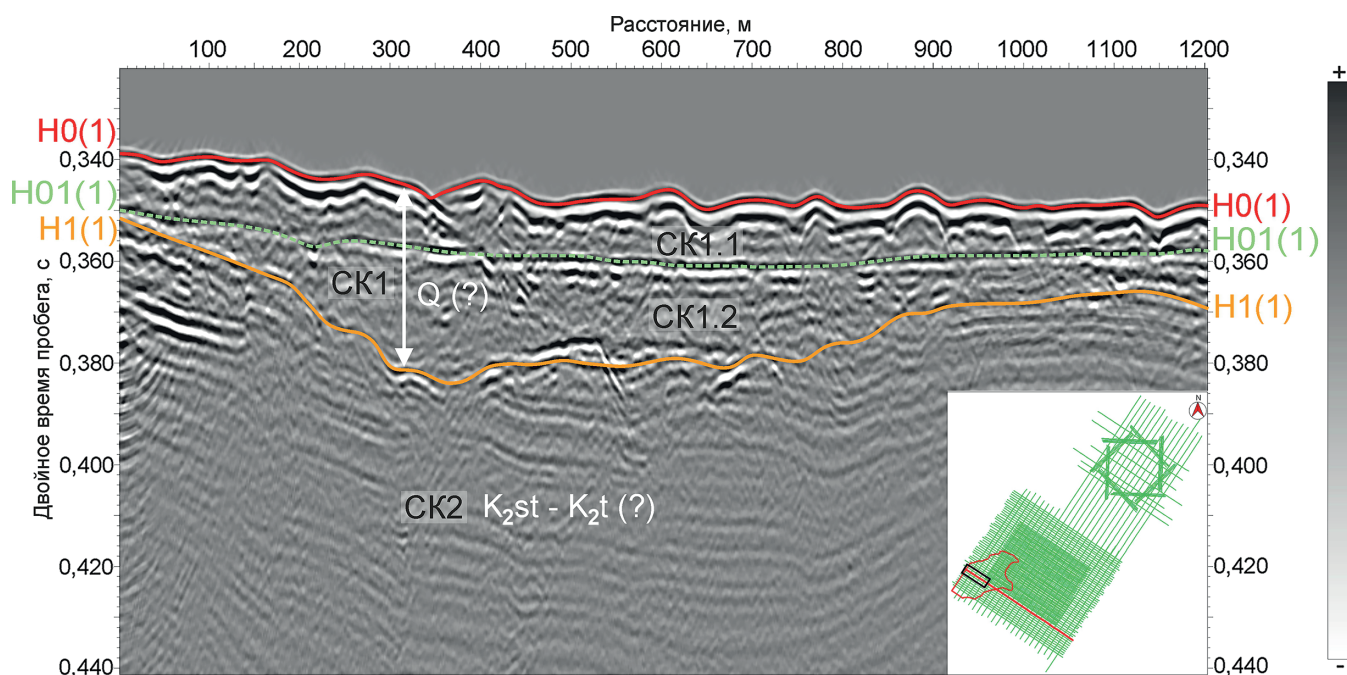


Рис. 4. Пример выделения предположительно троговой палеодолины четвертичного возраста (оранжевая линия) по данным 2D ССВР на площади 1. На врезке показано положение профиля (красная линия) и контур палеодолины (красный полигон). Белый шрифт – предположительный возраст CK1 и CK2

размыве территории древними речными потоками, а на этапе затопления морем они перекрывались более молодыми отложениями.

В приповерхностной части разреза, в интервале глубин от поверхности морского дна до 40 м ниже уровня дна ($V_p = 2000$ м/с) выделены наиболее молодые палеодолины, врезанные в турон-сантонский сейсмокомплекс (СК2) и заполненные предположительно четвертичными отложениями (рис. 2). На рис. 4 приведен фрагмент профиля 2D ССВР, на котором отчетливо прослеживаются структурно-морфологические особенности выделенных погребенных долин. На сейсмическом разрезе они характеризуются признаками эрозионного среза отражающих границ в их основании и бортах. Внутри комплекса (СК1), выполняющего и перекрывающего данные структуры, выделены два подкомплекса (СК1.2 и СК1.1), разделенные протяженным, ярко-выраженным отражающим горизонтом Н01(1) (рис. 4). СК1.1 характеризуется неровной, холмистой поверхностью кровли, наличием дифракционных объектов и отсутствием какой-либо слоистости. Все перечисленные особенности волновой картины — картировочные признаки ледниковых отложений, характерных для Западно-Арктического бассейна [Старовойтов и др., 2018]. СК1.2, выполняющий палеопонижение в кровле коренных пород, характеризуется акустически прозрачной волновой картиной с отдельными фрагментами осей синфазности и представлен предположительно ледниково-морскими отложениями. Анализ четвертичных отложений в исследуемом регионе показал, что рельефообразующая морена была образована в эпоху оледенения в

осташковское (поздневалдайское) время [Лаврушин, Эпштейн, 2001; Дунаев, 1995; Рыбалко и др., 2020].

По данным 2D ССВР выделяются следующие морфологические признаки погребенных долин: пологое и широкое днище, а также «изрезанные» борта, залегающие с углами наклона не более 8° . Мощность выполняющих отложений достигает около 40 м ($V_p = 2000$ м/с) (рис. 4). При рассмотрении этих структур в плане видно, что они имеют преимущественно изометричную форму. В южной и северо-восточной частях площади наблюдаются палеодолины с горизонтальными размерами $1 \times 0,5$ км и 970×640 м. При этом самый крупный фрагмент палеодолины в юго-западной части исследуемой площади характеризуется длиной около 3 км и шириной около 1,4 км (рис. 4, врезка). Палеодолина вытянута в северо-восточном направлении. Необходимо также отметить, что палеодолины расположены в угловых частях площади, что не позволяет провести полноценный анализ их формы в плане.

История развития региона исследования в позднечетвертичное время, а именно чередование холодных эпох плейстоцена с формированием крупного ледникового щита [Hughes et al., 2015], в результате которых сформировались комплексы ледниковых и ледниково-морских отложений, выполняющих и перекрывающих выделенные палеодолины, позволяет связать их происхождение с экзарационно-аккумулятивной деятельностью ледников.

Площадь исследования 2. На этой площади обнаружена система палеодолин в верхней части разреза (до 205 м н. у. м., $V_p = 1600$ м/с). На рис. 5 показаны сейсмические профили, проходящие через наиболее

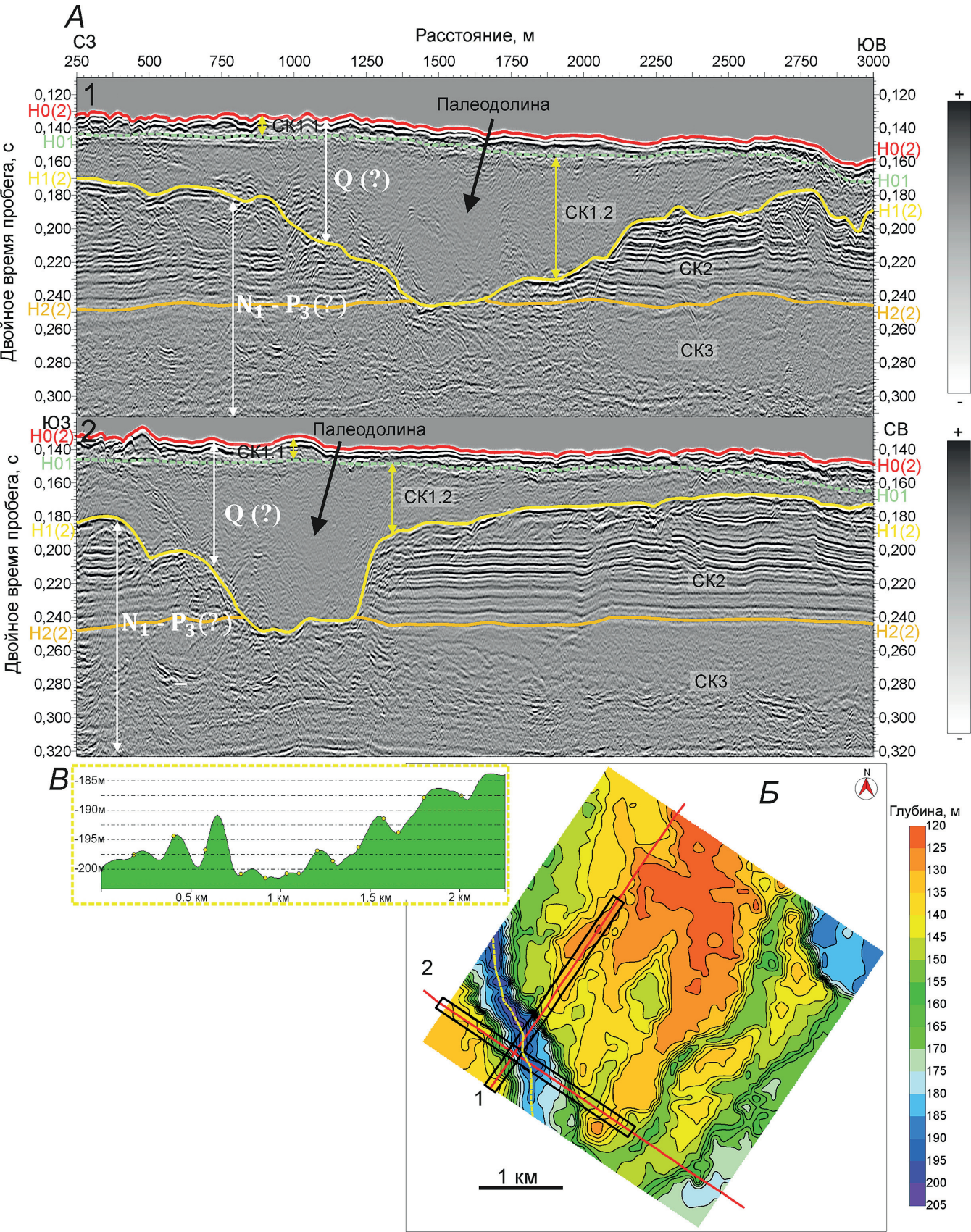


Рис. 5. Пример выделения погребенной, предположительно туннельной (подледниковой) долины четвертичного возраста по данным 2D ССВР на площади 2: А — 2D профили, пересекающие наиболее крупную палеодолину (желтая сплошная линия и черная стрелка); Б — структурная карта поверхности отражающего горизонта N1(2); В — профиль изменения глубины залегания тальвега палеодолины (желтая пунктирная линия на Б). Белый шрифт – предположительный возраст сейсмокомплексов

крупную (горизонтальные размеры 2,25 км×730 м, мощность выполняющих отложений около 100 м) палеодолину в двух направлениях. Второй профиль (рис. 5, А), пересекающий ее по нормали, показывает основные особенности строения палеодолины, в частности, наличие крутых бортов (до 25°) и относительно плоского дна, что позволяет отнести ее к U-образным в поперечном сечении долинам. Волновая картина отложений внутри погребенной долины, соответствующая подкомплексу СК1.2, акустически прозрачная. Кроме того, выше по разрезу наблюдается ярко выраженное, высокоамплитудное, субгоризонтальное отражение, разделяющее СК1.2, который выполняет долину, и СК1.1. Подкомплекс СК1.1 характеризуется неровной кровлей и хаотической волновой картиной. Эти структурно-морфологические признаки и четвертичный возраст СК1 [Шипилов, Шкарубо, 2010] свидетельствуют о наличии ледниковых и ледниково-морских отложений, слагающих СК1.1 и СК1.2 соответственно.

Погребенные долины, обнаруженные на площади исследования, хорошо выделяются в рельефе структурной поверхности отражающего горизонта (ОГ) Н1(2) (рис. 5, Б), что позволяет проследить их форму в плане. На приведенной карте видно, что наиболее крупная палеодолина (длина и ширина в плане 2,25 км и 730 м соответственно, мощность выполняющих отложений около 85 м, $V_p = 1600$ м/с), наблюдаемая в юго-западной части площади, протягивается с юго-востока на северо-запад. На юго-востоке и востоке площади выделяются погребенные долины, для которых характерна субмеридиональная направленность. Горизонтальные размеры этих долин составляют 4,2 км×280 м, мощность выполняющих отложений около 36 м ($V_p = 1600$ м/с). В северо-восточном углу площади выделяется крупная изометричная отрицательная форма рельефа, имеющая размеры около 900 м по длинной оси и около 700 м в поперечном сечении. По структурно-морфологическим признакам палеодолина аналогична отрицательным формам рельефа на изучаемой площади.

Также к особенностям палеодолин относится резкое изменение глубины залегания тальвегов (перепад глубины находится в пределах 3–5 м), что показано на рис. 5, В.

Учитывая палеогеографию района исследования в позднечетвертичное время, в частности предполагаемое существование ледникового покрова на территории исследования [Hughes et al., 2015], а также морфологические особенности строения и ориентацию выделенных палеодолин, мы высказали предположение о их ледниковом генезисе. Такие признаки палеодолин, как резкое изменение глубины залегания тальвега, вытянутая, слегка извилистая форма в плане и горизонтальное залегание отложений, в которые они врезаны, указывают на существование погребенных туннельных (подледниковых) долин на площади исследования. Если учесть

сложную форму бортов выделенных палеодолин, можно предположить существование значительной эрозии, созданной большим количеством талой воды, которая образуется в нижних слоях ледников в процессе их деградации [Livingstone, Clark, 2016].

Площадь исследования 3. По имеющимся данным здесь тоже выделены отрицательные формы рельефа в придонной части разреза (до 16 м н. у. д., $V_p = 1600$ м/с). По особенностям залегания они представлены пологими депрессиями с мощностью выполняющих отложений 10–16 м ($V_p = 1600$ м/с). Согласно работе [Шипилов, Шкарубо, 2010], палеодепрессии осложняют внутреннее строение олигоцен-плиоценового сейсмокомплекса и предположительно заполнены четвертичными отложениями. На рис. 6 приведен пример выделения депрессии по данным 2D СВР, 2D ССВР и АПр. На разрезах 2D СВР и 2D ССВР хорошо видно, что эти структуры ограничены высокоамплитудным, отчетливо выраженным, протяженным рефлексом. Волновая картина в их пределах преимущественно акустически прозрачная, местами прослеживается параллельно-слоистый тип сейсмической записи. По данным АПр выделяется высокоамплитудный рефлекс в придонной части палеодепрессий, что может быть связано с наличием грубообломочного материала или газонасыщенных отложений.

На схеме, приведенной на рис. 6, врезка, видно, что палеодепрессии характеризуются изометричной или округлой формой в плане. Они имеют различные горизонтальные размеры. Минимальные длина и ширина составляют 70 и 60 м, а максимальные — 1,4 км и 500 м. Генезис этих палеодепрессий вследствие ограниченной области исследования не ясен, но, возможно, их образование связано с термокарстовыми процессами, сущность которых заключается в вытаивании подземных льдов и сопровождающих его осадках грунта. Согласно данным [Мельников, Спесивцев, 1995], толщи многолетнемерзлых пород формировались в эпоху сурового климата позднечетвертичного времени на осушенной шельфовой территории, не покрытой ледниковым покровом. Процессы формирования термокарстовых котловин происходили при потеплении климата в послеледниковой период.

Необходимо отметить, что предположение о термокарстовом генезисе выделенных депрессий справедливо при условии, что площадь 3 находилась во внеледниковой области в позднечетвертичное время. В противном случае, возможно, что палеодепрессии были сформированы в результате вытаивания отколовшихся от кромки ледника и севших на мель глыб «мертвого» льда, однако этот вопрос требует дальнейшего изучения.

Анализ пространственного расположения выделенных палеодолин и палеодепрессий. По полученным данным выполнено картирование палеодолин разного возраста и генезиса в пределах трех изучаемых площадей, что позволило про-

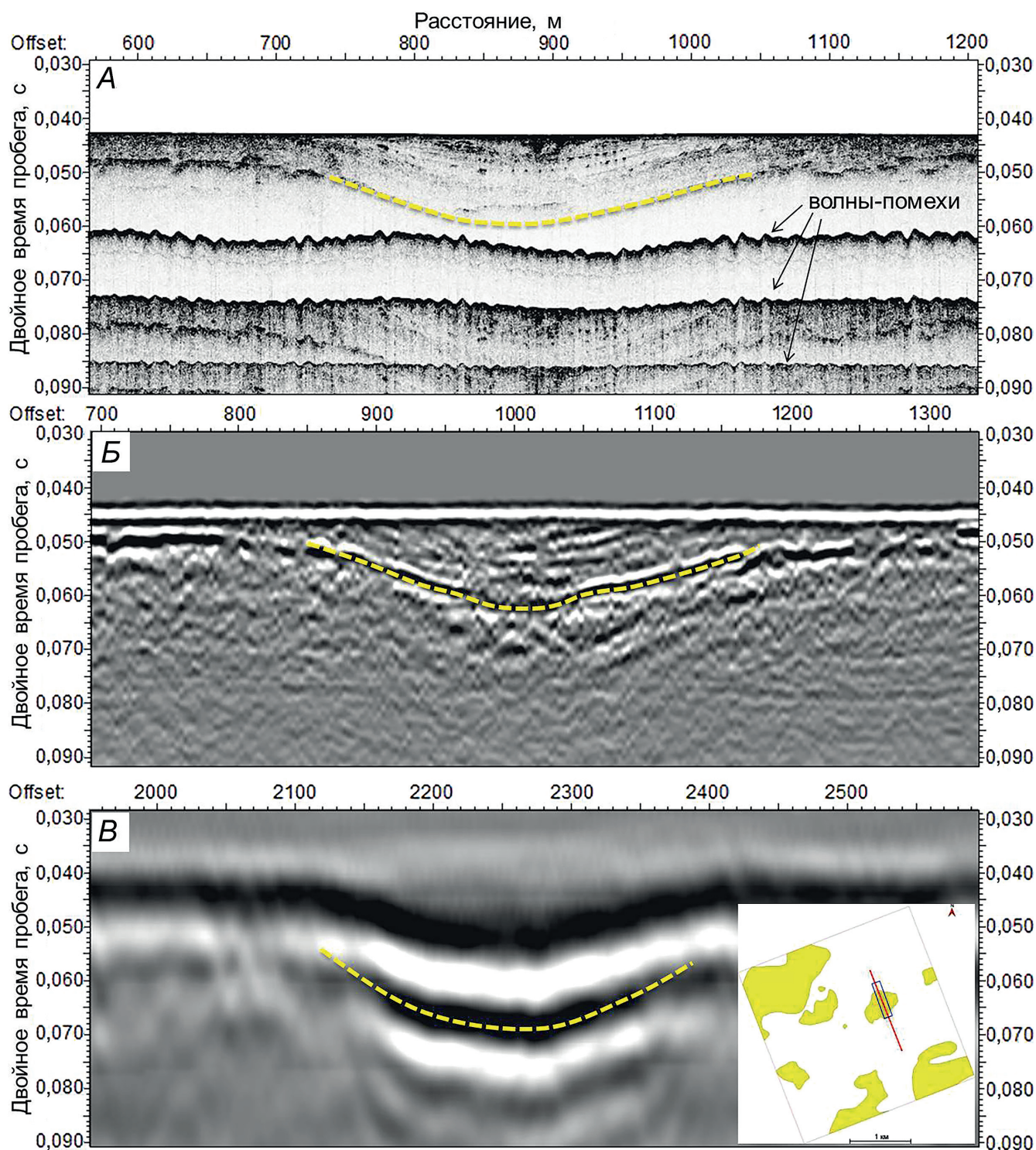


Рис. 6. Пример выделения палеодепрессии по данным АПр (А), 2D ССВР (Б), 2D СВР (В) на площади исследования 3. На врезке показано положение профиля (красная линия) и контуры палеодепрессий (желтые полигоны)

следить закономерности их пространственного расположения. Погребенные долины, врезанные в отложения предположительно поздне мелового возраста, обнаруженные в северо-восточной части площади исследования 1, имеют линейную форму и вытянуты по длинной оси с юга на север. Более молодые погребенные отрицательные формы рельефа занимают юго-западную часть площади. Наиболее крупная долина ориентирована с юго-запада на

северо-восток. В восточном направлении от нее прослеживаются небольшие фрагменты долин, которые предположительно имеют такой же возраст. Из-за того, что они расположены в краевой части изучаемой площади, провести полноценный анализ их формы и ориентации затруднительно.

В рамках анализа пространственного положения выделенных палеопонижений было проведено их сопоставление с картой подводных долин север-

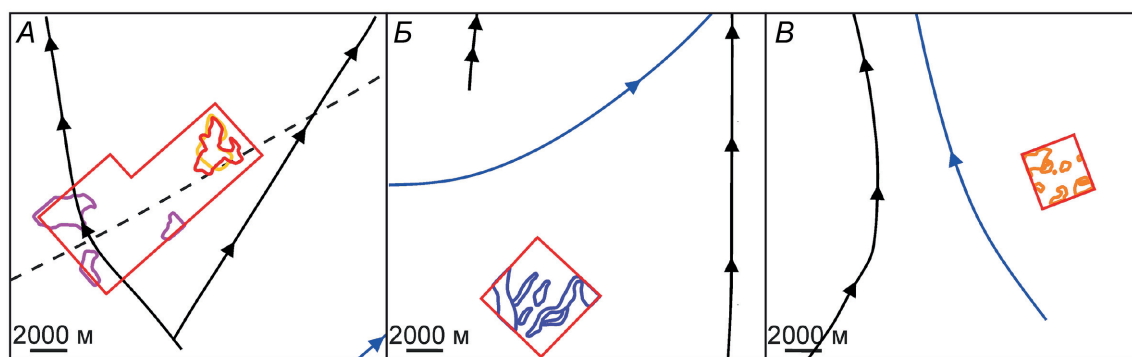


Рис. 7. Схемы расположения палеодолин и палеодепрессий, выделенных по мультиспектральным данным, с нанесенными предполагаемыми тальвегами подводных долин согласно [Мирошников и др., 2021] (черные стрелки) и [Ласточкин, 1977] (синие стрелки). Красные полигоны соответствуют площадкам исследования (А – 1, Б – 2, В – 3). На А красные и оранжевый контуры соответствуют более древней и более молодой долинам, врезанным в отложения сеноманского комплекса, розовый — долинам, врезанным в отложения турон-сантонского комплекса, на Б, В фиолетовым и оранжевым контуром обозначены палеодолины и палеодепрессии четвертичного возраста. Пунктирной линией показана граница юго-восточного борта Восточно-Новоземельского желоба

ных морей СССР, составленной А.Н. Ласточкиным [Ласточкин, 1977], и с геоморфологической картой Карского моря [Мирошников и др., 2021]. На рис. 7, А видно, что долины, врезанные в отложения сеноманского комплекса, близко расположены к нанесенным на схемы тальвегам подводных речных долин и вытянуты в одном направлении с ними (с юга на север). Палеодолины четвертичного возраста, в отличие от этих структур, менее согласуются с направлением подводных долин, выделенных авторами работ [Ласточкин, 1977; Мирошников и др., 2021] (рис. 7, А). Наиболее крупная из них вытянута в северо-восточном направлении, что совпадает с предположительным направлением движения Новоземельского ледника [Zamotina et al., 2021], о существовании которого в осташковское время свидетельствуют конечно-моренные образования, обнаруженные на некоторых террасовых уровнях восточного склона Восточно-Новоземельского желоба и на отдельных останцах вершинной поверхности у западного склона желоба [Дунаев и др., 1995; Лаврушин, Эпштейн, 2001; Рыбалко и др., 2020].

В том же направлении, что и крупная погребенная долина на площади исследования 1, ориентирована большая часть палеопонижений на площади 2 (рис. 7, Б). Отметим, что направление, в котором они вытянуты, приблизительно соответствует тальвегам подводных долин, выделенных А.Н. Ласточкиным (рис. 7, Б). Наиболее крупная долина, наблюдаемая в юго-западной части площади, протягивается с юго-востока на северо-запад, что примерно соответствует направлению, в котором вытянуты подво-

дные долины, обозначенные на геоморфологической карте [Мирошников и др., 2021] (рис. 7, Б).

На площади исследования 3 палеодепрессии имеют преимущественно изометричную форму (рис. 7, В).

Заключение. Рассмотрены предположительно позднемеловые (сеноман) речного генезиса и четвертичные (поздний неоплейстоцен) ледникового генезиса палеодолины. Анализ пространственного положения палеодолин и палеодепрессий, выделенных по мультиспектральным данным в пределах Восточно-Приновоземельского района, показал, что они не совсем согласуются с подводными долинами, обозначенными на карте подводных долин северных морей СССР [Ласточкин, 1977] и геоморфологической карте Карского моря [Мирошников и др., 2021], и только в некоторых случаях совпадают с ними по направлению. Вероятно, это связано с тем, что указанные карты были составлены исключительно на основе материалов о рельефе морского дна, полученных в результате эхолотных промеров глубин, геологического опробования, но без использования результатов детальных сейсмических исследований. Привлечение новых данных мультиспектральной сейсморазведки позволило установить пространственное положение и охарактеризовать палеодолины и палеодепрессии, не выраженные в современном рельефе морского дна. Результаты, представленные в статье, — первый шаг на пути к крупномасштабному исследованию сети палеодолин в Карском море.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Геоморфологический словарь-справочник / Сост. Л.М. Ахромеев; под ред. П.Г. Шевченко. Брянск: Изд-во Брянского гос. ун-та, 2002. 320 с.
- 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.

- Контарович А.Э., Ершов С.В., Казаненков В.А. и др. Палеогеография Западно-Сибирского осадочного бассейна // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 5–6. С. 745–776.
- Костин Д.А. Миоценовая дельта Южно-Карского шельфа // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1998. Т. 73, вып. 5. С. 65–68.

Лаврушин Ю.А., Эпштейн О.Г. Геологические события плейстоцена на севере Восточной Европы и в южной части Баренцева моря (по материалам изучения естественных опорных разрезов) // Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода. 2001. № 64. С. 35–60.

Ласточкин А.Н. Подводные долины северного шельфа Евразии // Изв. ВГО. 1977. Т. 109, № 5. С. 412–417.

Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск: Наука, Сиб. изд. фирма. РАН, 1995. 198 с.

Мирошников А.Ю., Бадюков Д.Д., Флинт М.В. и др. Рельеф дна Карского моря и сорбционные свойства осадков как факторы аккумуляции загрязнений // Океанология. 2021. Т. 61, № 5. С. 809–821.

Мусатов Е.Е. Классификация речных палеодолин Баренцево-Карского шельфа в новейшее время // Тез. докл. 2-й Всесоюзной конф. «Проблемы четвертичной палеоэкологии и палеогеографии северных морей». Апатиты, 1987. С. 79–80.

Рокос С.И. Газонасыщенные отложения верхней части разреза Баренцево-Карского шельфа: Автореф. канд. дисс. Мурманск, 2009. 42 с.

Росляков А.Г., Терехина Я.Е., Иванова А.А. и др. Выявление геологических опасностей в Карском море по сейсмическим данным // Тр. Междунар. геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии». Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2018. С. 760–766.

Рыбалко А.Е., Миронюк С.Г., Росляков А.Г. и др. Новые признаки покровного оледенения в Карском море: масштабная ледниковая линейность в Восточно-Новоземельском желобе // Рельеф и четвертичные образования

Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. СПб., 2020. Вып. 7. С. 1–7.

Старовойтов А.В., Токарев М.Ю., Терехина Я.Е. Атлас по интерпретации геофизических данных для морской практики на Белом море: Учебн. пособие. М.: КДУ, Университетская книга, 2018. 110 с.

Шипилов Э.В., Шкарубо С.И. Современные проблемы геологии и тектоники осадочных бассейнов Евразийско-Арктической континентальной окраины, Т. 1. Литолого- и сейсмостратиграфические комплексы осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа // Отв. ред. Г.Г. Матишов. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. 266 с.

Andersen T.R., Huuse M., Jorgensen F., Christensen S. Seismic investigations of buried tunnel valleys on- and offshore Denmark // Glaciogenic reservoirs and Hydrocarbon Systems. 2012. Vol. 368. P. 129–144.

Bell T., Cooper A.K., Solheim A. et al. Glossary of glaciated continental margins and related geoscience methods / Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient // Geol. Soc. Mem. Lond. 2016. Vol. 46. P. 555–574.

Hughes A.L.C., Gyllencreutz R., Lohne O.S. et al. The last Eurasian ice sheets — a chronological database and time-slice reconstruction, DATED-1 // BOREAS. 2015. Vol. 45, N 1. P. 1–45.

Livingstone S. J., Clark C.D. Morphological properties of tunnel valleys of the southern sector of the Laurentide Ice Sheet and implications for their formation // Earth Surface Dynamics. 2016. Vol. 4. P. 567–589.

Zamotina Z.S., Starovoytov A.V., Tokarev M.Yu. et al. Geological features of the near-surface in Vostochno-Prinovozemelsky area in the Kara Sea // Engineering and Mining Geophysics 2021. Netherlands: European Assoc. of Geoscientists and Engineers. 2021. P. 1–9.

Статья поступила в редакцию 01.10.2022,
одобрена после рецензирования 02.11.2023,
принята к публикации 22.05.2023