

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ И ГЕНЕЗИСА ПОДВОДНЫХ ГРЯД ШЕЛЬФОВОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ (ОБРАМЛЕНИЕ О. НОВАЯ СИБИРЬ)

Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Ковалева О.А., Рябчук Д.В., Неевин И.А.

ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия

При проведении полевых геолого-геофизических работ на шельфе Восточно-Сибирского моря Отделом Региональной геоэкологии и морской геологии ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2020 г. были впервые получены полные сейсмоакустические разрезы всех генераций подводных гряд, развитых вокруг о. Новая Сибирь. Полученные данные позволяют предположить не только аккумулятивный, но и эрозионный характер образования подводных грядовых форм рельефа. Также был установлен характер границы подошвы гряд с подстилающими образованиями и определен их гранулометрический состав.

Ключевые слова: *подводные валы, сейсмоакустическое профилирование, голоцен, прибрежно-морские отложения, рельеф морского дна, гранулометрия.*

Восточно-Сибирское море является окраинным шельфовым морем, характеризующимся небольшими глубинами и слабым уклоном поверхности дна. Между материковой сушей и островами Жохова и Вилькицкого на морском дне развита обширная аккумулятивная равнина. Рельеф равнины расчленяется проливами Санникова, Этерикан и Дмитрия Лаптева, а также осложнен широкой депрессией субмеридионального направления, связанной с палеодолиной р. Индигирки.

Подводный береговой склон островных поднятий архипелага Новосибирских островов характеризуется пологонаклонным рельефом, осложненным системами большого количества ярко выраженных в рельефе подводных валов. В литературе они описаны как узкие, аккумулятивные гряды, развитые до глубин 30 м и имеющие относительные превышения от 5 до 10 м [Никифоров, 1984]. Указанные гряды, осложняющие выровненный рельеф верхней части шельфа, отделяются друг от друга депрессиями и располагаются главным образом вдоль побережий островов Новая Сибирь и Фаддеевский. Серии гряд имеют две генерации. Бары первой генерации расположены на расстоянии 5–8 км от береговой линии, имеют длину порядка 3–5 км, ширину 1–3 км и относительную высоту 5–8 м. Гряды второй генерации примыкают с востока непосредственно к первой генерации и расположены на расстоянии от 50 до 100 км от береговой линии. Они отличаются значительно большими размерами по сравнению с грядами предыдущей генерации. Некоторые гряды имеют здесь не явно вытянутую, а более изометричную форму. Длина баров этой генерации достигает 85–135 км (до 150 км), ширина – от 5–10 км до 35 км, относительная высота – 8–10 м (Виноградов В.А. и др. Отчет по теме 510 «Составить и подготовить к изданию листы S-55, 56; S-57, 58; S-59, 60; S-1,2 Госгеолкарты м-ба 1:1000 000» Книга 1 листы S-56; 56 и S-57, 58. Объяснительная записка. ВНИИОкеангеология, СПб, 2002 г.). Глубже 18 м и далее 85–105 км от берега о. Новая Сибирь бары не встречаются.

С.Л. Никифоровым [1984] рассматриваются различные гипотезы возможного генезиса этих форм рельефа: а) реликтовые древние бары; б) «облекающие» осадочные накопления; в) донные образования, связанные с придонными течениями; г) донные прибрежные валы. В результате, основываясь на особенностях морфологии, ритмичности, связи с очертаниями берегов, отсутствием следов примыкания к суши С.Л. Никифоровым был сделан вывод о том, что указанные аккумулятивные образования созданы при поперечном перемещении наносов и являются формами типа баров.

Выполненные комплексные геофизические исследования и геологическое опробование позволило установить, что среди грядовых форм рельефа на морском дне к

востоку от о. Новая Сибирь, выделяются принципиально различные по геологическому строению и морфологии образования, что, вероятно, свидетельствует об их полигенетичности.

Методика работ. Работы выполнялись с борта арендованного НИС «Капитан Воронин» в сентябре 2020 г. Одной из задач полевых работ было изучение четвертичных образований и геоморфологических особенностей рельефа морского дна путем выполнения комплексных геофизических исследований и донного опробования. Малый размер судна и небольшая осадка позволила провести работы на глубинах от 10 м.

Отбор донных осадков. Отбор проб донных отложений проводился для определения гранулометрического и минералогического анализа и других видов аналитических исследований, а также заверки и интерпретации данных ГЛБО и НСАП с применением ковшей-дночерпателей, бокс-кореров и гравитационных прямооточных грунтовых трубок.

Геофизическое профилирование. Одновременно (за один проход судна) выполнялось 3 различных вида геофизических и гидрографических методов, а именно: батиметрическая съемка многолучевым эхолотом (МЛЭ); гидролокация бокового обзора (ГЛБО); непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП).

Лабораторные работы. Анализ проб грунта донных отложений выполнен в лаборатории ВСЕГЕИ с использованием анализатора размера частиц Microtrac BLUEWAVE.

Методика комплексного геофизического профилирования

На акватории Восточно-Сибирского моря в сентябре 2020 года в рамках реализации проекта по государственному геологическому картированию листов S-55–56 выполнялось комплексное геофизическое профилирование по региональной сети профилей. Работы выполнялись по прямолинейным профилям большой протяженности на скорости 4.5–5.5 узла.

НСАП выполнялся в многочастотной конфигурации, с применением трех приборно-аппаратурных комплексов: многоканальные сейсмоакустические программно-аппаратные комплексы XZone® Bottom Fish (ООО «Си Технолоджи», Россия) и SplitMultiSeis (НК «СПЛИТ» Россия), а также Параметрический профилограф SES 2000-Light (Innomar Technologie GmbH, Германия).

В многоканальных комплексах использовались два типа источников излучения – высокочастотный электроискровой источник (спаркер) с центральной частотой зондирующего сигнала 530 Гц и низкочастотный спаркер с центральной частотой 270 Гц. Съемка высокочастотным параметрическим профилографом велась в многочастотном режиме (на частотах 6, 10 и 100 кГц одновременно). Шаг дискретизации составлял 6.25 мкс и 250 мкс, а длина записи 450 мс и 1 с для высокочастотного и низкочастотного излучателя соответственно. Частота дискретизации профилографа составляла 20кГц, а длина записи подбиралась такая, чтобы глубинность поддонного разреза составляла 25 м. Время между возбуждением упругих колебаний составляло 2 с для спаркеров и не менее 0.05с для профилографа.

Для буксировки спаркеров использовались специальные катамараны. Для обеспечения согласования глубин источников и приемников многоканальные сейсмокоды жестко крепились к катамаранам излучателей, а оснащались концевыми буями. Профилограф был жестко закреплен к борту судна – установлен на штанге. Спаркер и сейсмокода буксировались за кормой судна с выносом в сторону от кильватерной струи на 2 м на согласованной глубине: 70 см для высокочастотного и 150 см для низкочастотного источника. Инструментальная разрешающая способность при скорости распространения упругих колебаний в воде равной 1460 м/сек составляет 0.05–1.5 м в зависимости от используемого источника.

Съемка рельефа морского дна вдоль линии проектных профилей выполнена с помощью комплекта судового (НИС «Капитан Воронин») гидрографического

оборудования и многолучевого эхолота SeaBat 7125-SV2 (Teledyne RESON A/S, Дания). Приёмно-излучающие антенны эхолота были установлены на штанге, съёмка производилась параллельно со всеми остальными методами. Все гидрографические данные, включая координаты судна, крен, дифферент, параметры скорости звука в воде и данные о глубине, регистрировались в проект QINSy (Quality Positioning Services B.V., Нидерланды).

При съёмке методом ГЛБО применялся аппаратный комплекс 4200 SIDE SCAN SONAR SYSTEM («EdgeTech», США). В работе использовалась рабочая частота 228 КГц (НЧ), дальность обзора при этом составляла (с каждого борта) 100–150 м. Запись данных производилась в специализированном программном пакете EdgeTech Discover на жесткий диск компьютера. Расчет положения буксируемой антенны ГЛБО производился ЭГИС QINSy в реальном времени. Первичная обработка и контроль качества осуществлялся в программном пакете HYDRACK (Xylem, США).

Для создания наиболее актуальной точной и подробной схемы изолиний рельефа дна были использованы морские навигационные карты «Управление навигации и океанографии министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург» масштаба 1:500 000 и 1:200 000 с регулярной сетью промеров глубин. В ГИС были оцифрованы отметки глубин общим количеством – 31940 точек и изобаты, общей протяженностью 21775 км (Рис. 1). Так же с карт были снята информация о характере грунта, для использования ее при составлении литологических карт поверхности дна. Для построения цифровой модели рельефа дна использовался модуль ArcGIS «Spatial analyst» через который была выполнена интерполяция данных о глубине методом «Toro to raster». Используя инструменты ГИС была рассчитана схема батиметрического индекса позиции (Bathymetric position index (BPI) мезорельефа дна (Рис. 2).

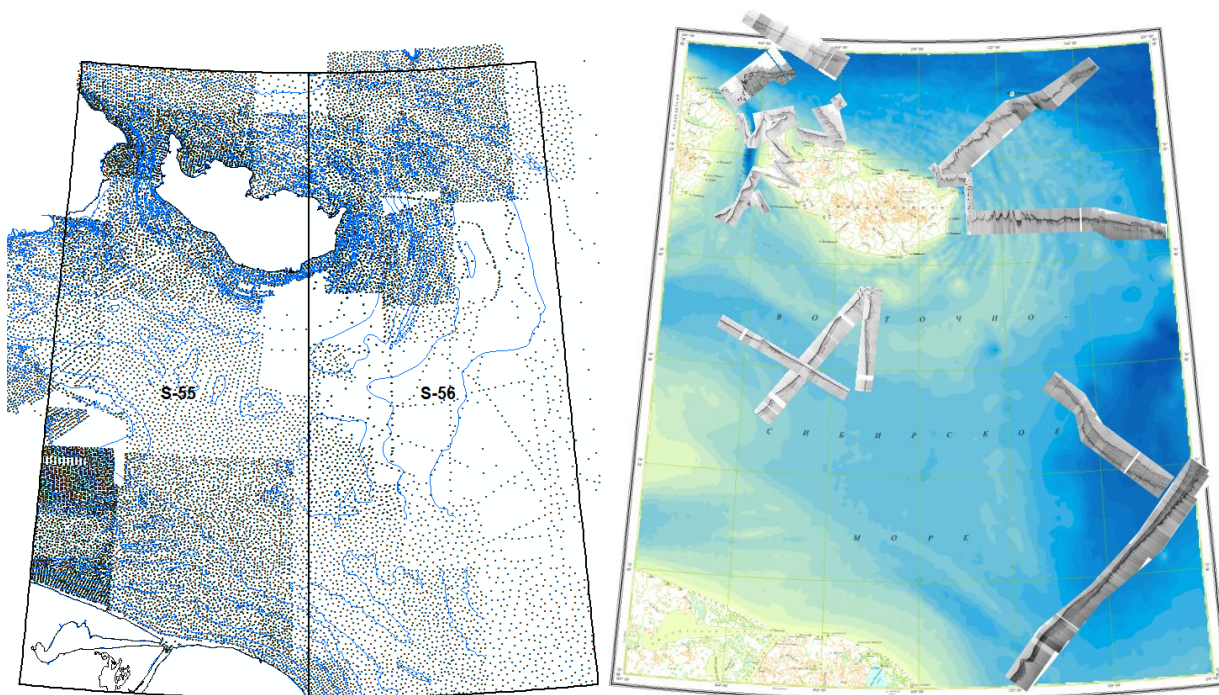


Рис. 1. А – Оцифрованные с навигационных карт точки глубин и линии изобат. Б – Цифровая модель рельефа дна с нанесенными профилями высокочастотного НСАП.

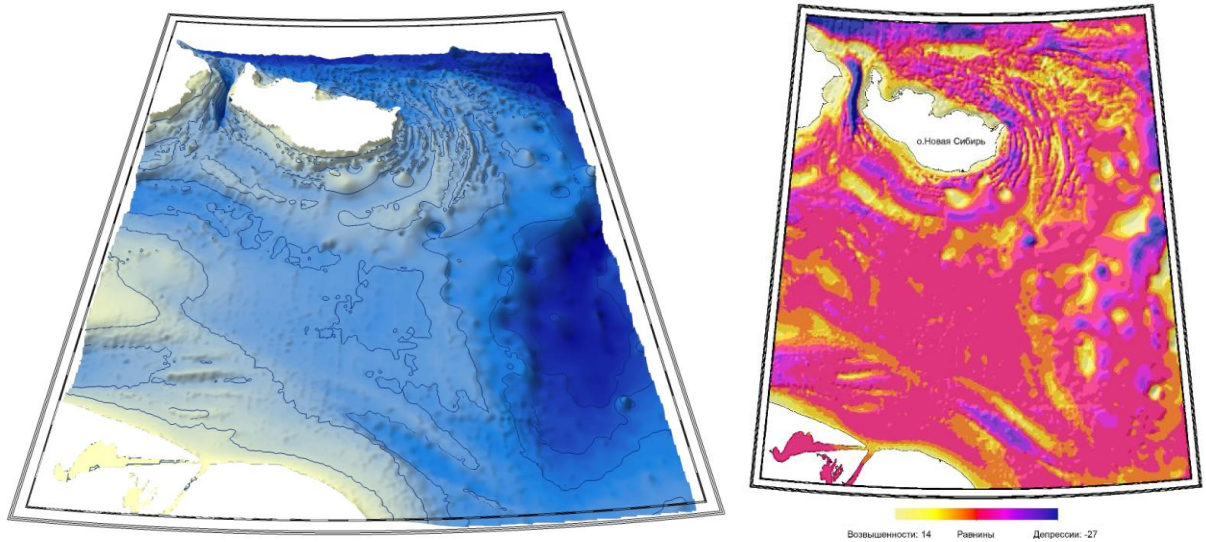


Рис. 2. А – Трехмерная модель рельефа морского дна. Б – схема батиметрического индекса позиции (Bathymetric position index (BPI) мезорельефа дна.

Результаты. Результаты профилирования через серию подводных гряд показаны на рис. 3, 4. Предварительная интерпретация данных позволяет выделить два принципиально различных типа сейсмозаписи, обусловленных различием в вещественно-структурных особенностях отложений, обнажающихся на поверхности морского дна.

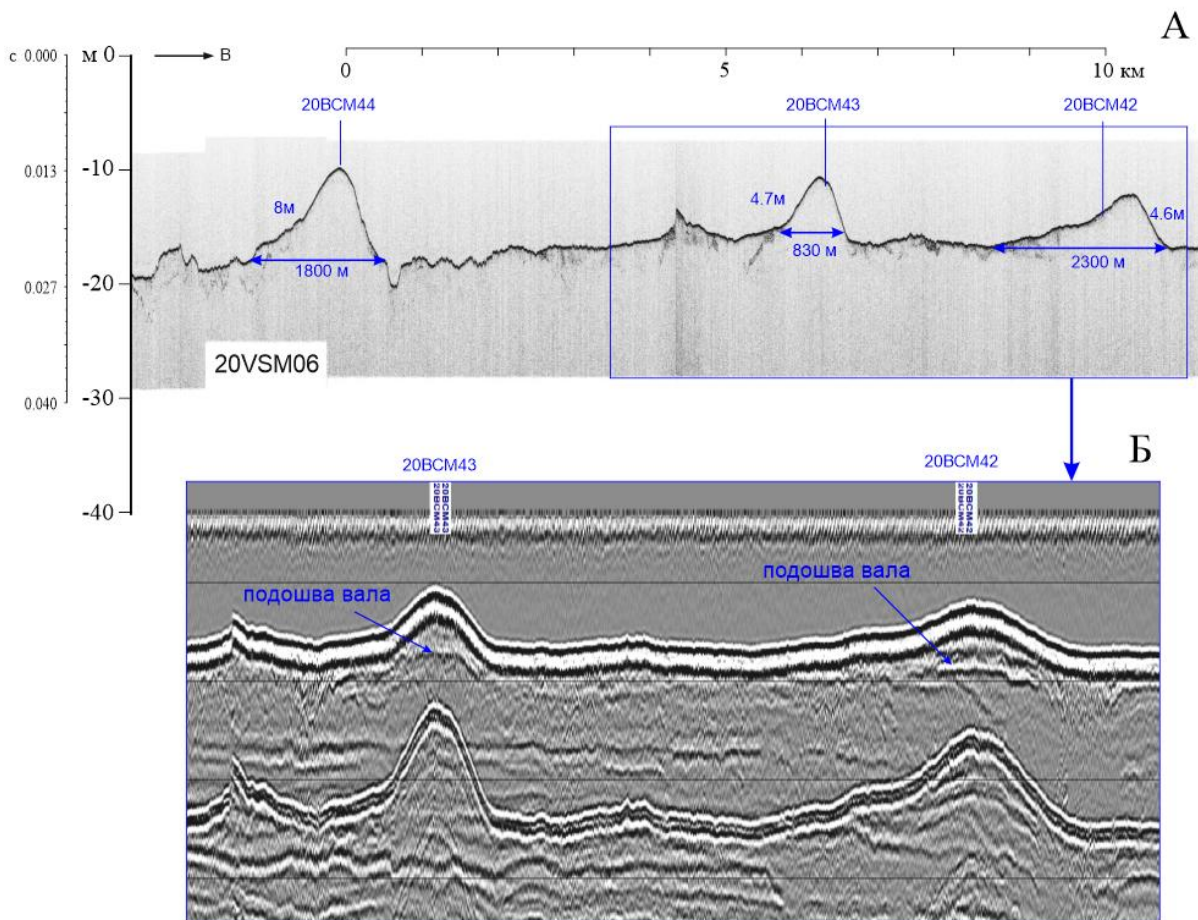


Рис. 3. Профиль НСАП вкрест простирания прибрежных подводных гряд на траверсе м. Толбей (о. Новая Сибирь), сложенных песчаными отложениями: А – высокочастотный НСАП (профилограф); Б – низкочастотный НСАП (спаркер 500Гц).

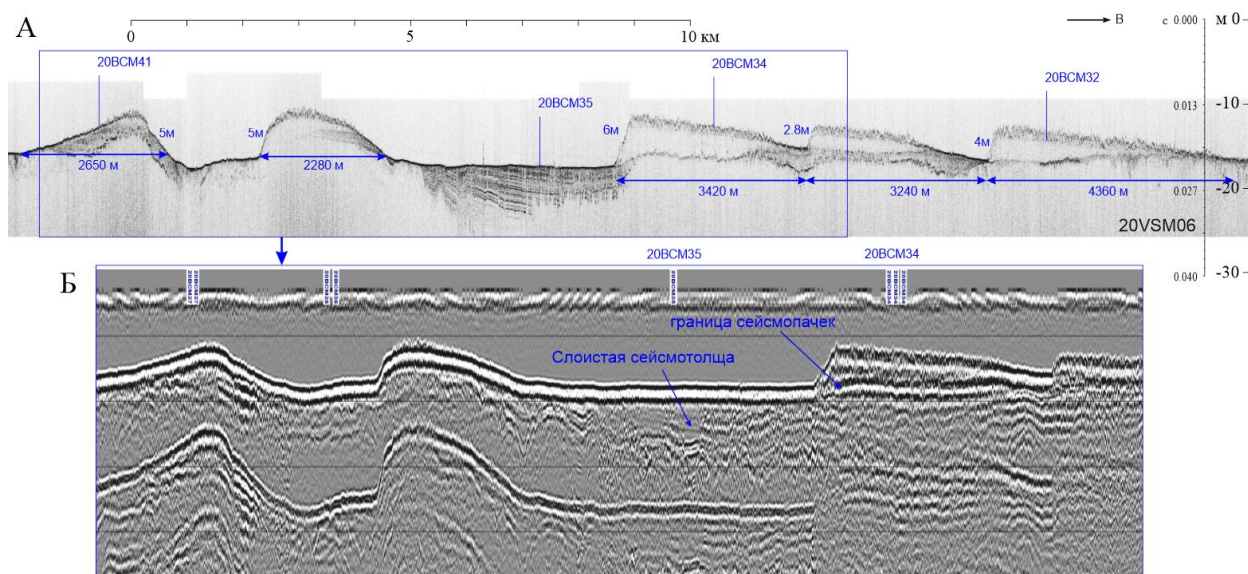


Рис. 4. Профиль НСАП вкрест простирания подводных мористых гряд на траверзе м. Толбей (о. Новая Сибирь), сложенных глинистыми отложениями: А – высокочастотный НСАП (профилограф); Б – низкочастотный НСАП (спаркер 500Гц).

Временные разрезы профилей НСАП в районе острова Новая Сибирь (на участках к югу и востоку от острова с глубинами моря до 25 м) можно условно разделить на две характерных сейсмоакустических пачки. В основании разрезов выделена нижняя пачка с интенсивным отражением от кровли. Запись высокочастотного профилографа внутри пачки чаще всего представлена серией взаимопараллельных отражающих горизонтов сложной геометрии, реже хаотичными отражениями без протяженных осей синфазности. При этом на разрезах, полученных с использованием электроискровых источников, видно, что на участках со вторым типом отображения также фиксируются параллельные протяженные отражающие площадки с крутым (стремящимся к вертикальному) углом падения. Такая запись по результатам донного опробования соответствует плотным глинам, по-видимому, существенно дислоцированным. Кровля сеймопачки выровнена и полого поднимается по мере приближения к островам, что, учитывая сложную внутреннюю структуру пачки, приводит к возникновению угловых несогласий на верхней границе пачки. Видимая мощность комплекса достигает 30 м, однако зачастую подошва комплекса не фиксируется или неотличима от зарегистрированных волн-помех.

Выше по разрезу выделяется вторая акустическая пачка, которая характеризуется отсутствием протяженных осей синфазности на записи и практически полной акустической прозрачностью (интенсивность отражений внутри пачки значительно ниже, по сравнению с нижележащей), к основанию пачки иногда прослеживаются зоны мощностью около 1 м с серией синфазных субгоризонтальных отражений, формируя более интенсивные (темные) участки записи. Вся верхняя пачка формирует положительные формы рельефа по периметру острова, перепад высот, как и мощность комплекса, варьирует в пределах от 8 до 2.5 м. Кровля комплекса имеет «игольчатый» характер, обусловленный результатом ледовой экзарации. Такая кровля приводит к значительному рассеиванию зондирующего сигнала и не формирует контрастного отражения от дна, понижает пенетрацию высокочастотных упругих колебаний, уменьшая глубинность высокочастотных методов, и минимизирует интенсивность реверберации (кратные отражения), позволяя существенно повысить соотношение сигнал-помеха на глубоких отражениях для низкочастотных. Подошва пачки представлена субгоизонтальным отражением, которое по мере приближения к берегам острова становится менее выраженной на записях, полученных с использованием профилографа. При этом на разрезах, полученных с использованием спаркера, изменений в интенсивности отражений от подошвы практически не фиксируется. Такую особенность

этой границы можно объяснить постепенным увеличением акустической жесткости отложений, формирующих пачки на величину достаточную для практически полного рассеивания высокочастотных упругих колебаний, но незначительную для низкочастотных.

Таким образом, сочетание разночастотных методов при НСАП позволило с высокой уверенностью разделить разные по своим акустическим свойствам пачки отложений, формирующие грядовый рельеф вокруг острова.

Опробование поверхности дна было проведено на характерных элементах рельефа: грядах и межгрядовых ложбинах, а также на разных типах гряд, имеющих отличный друг от друга акустический разрез (Рис. 5).



А



Б



В



Г

Рис. 5. Фото образцов донных отложений: А – из забоя керна (глубина опробования 50-60 см) на станции 20-ВСМ-32; Б – из ковша на станции 20-ВСМ-34; В – из ковша на станции 20-ВСМ-42; Г – из ковша на станции 20-ВСМ-43.

Было установлено, что отложения акустически прозрачных гряд, наиболее удаленных от берега, до глубины 60 см (образец керна из забоя грунтовой трубки) представлены полутвердыми сизыми глинами (Ст. 20-ВСМ-32), на другой станции (Ст. 20-ВСМ-34) отложения имели темно-серые (5Y 4/1) цвет, тугопластичную до полутвердой консистенцию и также представлены однородными глинами. Гранулометрический анализ описанных образцов выявил очень высокое содержание пелитовой фракции (0-5 мкм) до 99.9%.

Опробование нижней сеймопачки слоистых отложений показало, что они представлены глинами – твердыми, темно-серого до черного цвета, с неявной горизонтальной цветовой слоистостью (Ст. 20-ВСМ-35). Из забоя грунтовой трубки, отобранной на подводных обнажениях этой пачки (глубина опробования 20 см), также

наблюдаются полутвердые глины (Ст. 20-ВСМ-37). Содержание пелитовой фракции в данных образцах также составило 99–99.8%.

Опробование системы прибрежных валов показало принципиально иной состав отложений. В ковше присутствовал песок коричневый хорошо отмытый и сортированный (Ст. 20-ВСМ-42, -43, -44), по данным гранулометрического анализа соответствующий мелкозернистым пескам (Рис. 6). Пески имеют хорошую сортированность, в образце 20-ВСМ-43 преобладающая мелкозернистая фракция (250-100 мкм) составляет более 80%, в образце 20-ВСМ-44 – более 70%, в образце 20-ВСМ-42 содержание двух соседних фракций (средне- и мелкозернистой) составляет 99.9%.

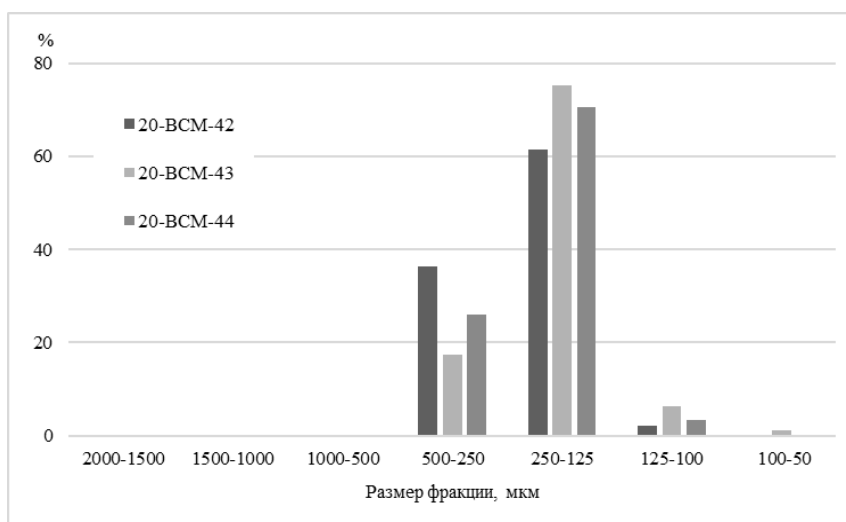


Рис. 6. Гранулометрические распределения образцов поверхностных отложений 20-ВСМ-42, 43, 44)

Указанные особенности позволяют предположить, что генетически формирование системы мористых гряд далее 30 км от берега связано с денудационными процессами рельефообразования. За счет размыва вдольбереговыми течениями комплекса древних (предположительно плейстоценовых) глинистых отложений происходит образование останцового грядового и холмисто-грядового рельефа. В верхней части разрез сложен плотными глинистыми отложениями, акустически прозрачными и имеющими четкую границу подошвы с нижележащими образованиями. Нижняя сеймопачка отложений, местами формирующая цоколь денудационной гряды, обнажающаяся в межгрядовых ложбинах, представлена яснослоистыми, часто деформированными в складки, полутвердыми чистыми глинами. Морфологической особенностью гряд, полностью сложенных верхней акустически прозрачной сеймопачкой, является их ассиметричное строение с пологим уклоном склона гряды со стороны моря и более крутым склоном со стороны берега. Гряды, которые сложены преимущественно отложениями слоистой сеймопачки, характеризуются обратной ассиметрией склонов: с более пологим склоном со стороны берега и более крутым со стороны моря.

Система гряд, расположенных ближе 30 км от берега, имеет иной сейсмоакустический разрез и вещественный состав, позволяющий предположить их аккумулятивную природу образований. Отложения этих гряд представлены мелкозернистыми хорошо сортированными песками, акустически не прозрачными для высокочастотного профилирования. При более низкой частоте НСАП удалось установить подстилающую границу песчаных образований, идущую практически по подошве аккумулятивной формы. Для гряд прибрежной генерации свойственна ассиметрия склонов: с более пологим склоном со стороны берега и более крутым со стороны моря.

Обсуждение полученных результатов. Выполненный предварительный анализ собранных в полевой сезон 2020 года геологических и геофизических данных позволил разделить систему валов, оконтуривающих подводный береговой склон о. Новая Сибирь,

на две различные по своему генезису генерации. Прибрежные валы, развитые к востоку от о. Новая Сибирь, имеют аккумулятивный характер и образованы в результате разгрузки потока наносов при конвергенции преобладающих здесь западных течений, сходящихся как раз на восточном подводном береговом склоне. Действие течений, или, возможно, палеотечений, производит денудационную работу по препарации предполагаемых плейстоценовых отложений и выработыванию грядового рельефа. К сожалению, информации об интенсивности придонных течений, действующих вокруг о. Новая Сибирь нет, а по данным ГУНИО МО РФ недостаточно [Руководство..., 1995]. По данным из объяснительной записки к Госгеолкарте (Виноградов и др., 2001), постоянные поверхностные течения слабы и имеют в общем циклонический характер. Течения, поступающие в акваторию через проливы Благовещенский, Санникова и Дмитрия Лаптева, движутся со скоростью 0.05–0.1 м/с на восток и юго-восток вдоль материкового берега. Далее часть этого потока поворачивает на север и включается в берингоморские воды, идущие в северо-западном направлении к островам Де-Лонга со скоростью 0.1–0.12 м/с.

Известно, что аккумулятивные формы, как бары, образуются при регрессии моря, и каждая серия подобных аккумулятивных образований может свидетельствовать о временной фиксации уровня моря на определенных отметках, возможно что при этом происходила перестройка гидрологического режима и производилась первичная выработка эрозионных вольбереговых ложбин, по которым в настоящее время проходят придонные течения.

Вопрос о времени формирования описываемых форм рельефа остается открытым. Возможно, на него удастся найти ответ по результатам детального изучения и датирования колонок донных отложений, отобранных в ходе экспедиции 2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

Руководство для сквозного плавания судов по Северному морскому пути. СПб: Изд. ГУНИО МО РФ, 1995, 415 с.

Никифоров С.Л. Геоморфология дна западной части Восточно-Сибирского моря // Океанология. 1984. Т. XXIV, вып. 6, с. 948-953.

CHARACTERISTICS OF THE GEOLOGICAL STRUCTURE AND GENESIS OF UNDERWATER RIDGES OF THE EAST SIBERIAN SEA SHELF ZONE (FRAMING OF NEW SIBERIA ISLAND)

Sergeev A.Yu., Budanov L.M., Kovaleva O.A., Ryabchuk D.V., Neevin I.A.

A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, Russia

The first time obtained complete sub-bottom profiling sections of all generations of underwater bars developed around the is. New Siberian during geological and geophysical fieldworks on the East Siberian Sea shelf, the Department of Regional Environmental and Marine Geology of "VSEGEI" in 2020. The data obtained allow us to assume not only accumulative, but also erosional nature of the formation of underwater ridge relief forms. The acoustic boundary of the base of the ridges with the underlying formations was established and their grain-size composition was determined.

Keywords: *underwater bars, sub-bottom profiling, Holocene, marine deposits, submarine bottom relief, grain-size analysis.*