УДК 550.834:5517+551.8(258.55)

**Л. М. БУДАНОВ, А. Ю. СЕРГЕЕВ, В. А. ЖАМОЙДА,
Д. В. РЯБЧУК, И. А. НЕЕВИН, Е. С. НОСЕВИЧ, З. В. ПУШИНА,
А. Г. ГРИГОРЬЕВ, Д. В. ПРИЩЕПЕНКО, О. В. ПЕТРОВ (ВСЕГЕИ)
Л. Д. БАШИРОВА, Е. В. ПОНОМАРЕНКО (ИО РАН, БФУ)**

Новые данные по сейсмостратиграфии и палеогеографическому развитию Восточно-Сибирского моря

На основе комплексного анализа геолого-геофизических данных, полученных в ходе экспедиционных работ 2018 г., выполненных специалистами ФГБУ «ВСЕГЕИ» в рамках ГК-1000/3 (акваториальная часть листов R-57–60), литературных и фондовых данных и корреляции с материалами по прилегающей суше, выделено пять сейсмостратиграфических толщ (ССТ), соотносимых с разными этапами развития территории в плиоцен-четвертичное время, и прослежено их распространение на картируемой площади. Эти материалы позволили существенно уточнить палеоклиматические и палеогеографические реконструкции природных условий неоплейстоцена–голоцена в пределах прибрежного шельфа Восточно-Сибирского моря. На акваторию составлена новая карта четвертичных образований масштаба 1 : 1 000 000.

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, сейсмостратиграфия, непрерывное сейсмоакустическое профилирование, неоплейстоцен–голоцен.

**L. M. BUDANOV, A. YU. SERGEEV, V. A. ZHAMOIDA,
D. V. RYABCHUK, I. A. NEEVIN, E. S. NOSEVICH, Z. V. PUSHINA,
A. G. GRIGOR'EV, D. V. PRISHCHEPENKO, O. V. PETROV (VSEGEI),
L. D. BASHIROVA, E. V. PONOMARENKO (IO RAS, BFU)**

New data on seismic stratigraphy and palaeogeography of the East-Siberian Sea

Five seismostratigraphic strata (SSS), which can be correlated with different stages of the evolution of the area during the Pliocene – Quaternary, were identified, and their distribution in the mapped area was traced based on a comprehensive analysis of geological and geophysical data obtained during the expedition-2018, carried out by VSEGEI experts for the state map 1000/3 (water area of sheets R-57–60), literary and fund data and correlation with materials on the adjacent land. These data allowed significant refinement of paleoclimatic and paleogeographic reconstructions of natural setting in the Neopleistocene–Holocene within the coastal shelf of the East Siberian Sea. The new map of Quaternary formations at a scale of 1 : 1,000,000 was compiled for the water area.

Keywords: the East Siberian Sea, seismic stratigraphy, continuous seismoacoustic profiling, Neopleistocene–Holocene.

Для цитирования: Буданов Л. М. Новые данные по сейсмостратиграфии и палеогеографическому развитию Восточно-Сибирского моря / Л. М. Буданов, А. Ю. Сергеев, В. А. Жамойда, Д. В. Рябчук, И. А. Неевин, Е. С. Носевич, З. В. Пушина, А. Г. Григорьев, Д. В. Прищепенко, О. В. Петров, Л. Д. Баширова, Е. В. Пономаренко // Региональная геология и металлогения. – 2022. – № 92. – С. 5–27. DOI: 10.52349/0869-7892_2022_92_5-27

Введение. Восточно-Сибирское море относится к окраинным морям Российской Арктики и характеризуется самыми суровыми ледовыми и климатическими условиями. Район исследования простирается от о. Врангеля и прол. Лонга на востоке до Колымского залива и арх. Медвежьи Острова на западе. Глубины моря в пределах района исследований не превышают 50 м. Рельеф морского дна – равнинный, со слабым наклоном с юго-запада на северо-восток осложнен сетью древних речных долин и пологих плато (рис. 1). Наиболее отчетливо прослеживается подводное продолжение долины р. Колыма. В прибрежной части до глубины 7–8 м эта долина заполнена современными отложениями. Севернее она прослеживается в виде трога шириной 16–25 км, протянувшегося вдоль побережья до о. Айон и далее на север.

В пределах подводного берегового склона широко распространены аллювиально-морские

**© Буданов Л. М., Сергеев А. Ю., Жамойда В. А.,
Рябчук Д. В., Неевин И. А., Носевич Е. С., Пушина З. В.,
Григорьев А. Г., Прищепенко Д. В., Петров О. В.,
Баширова Л. Д., Пономаренко Е. В., 2022**

DOI: 10.52349/0869-7892_2022_92_5-27

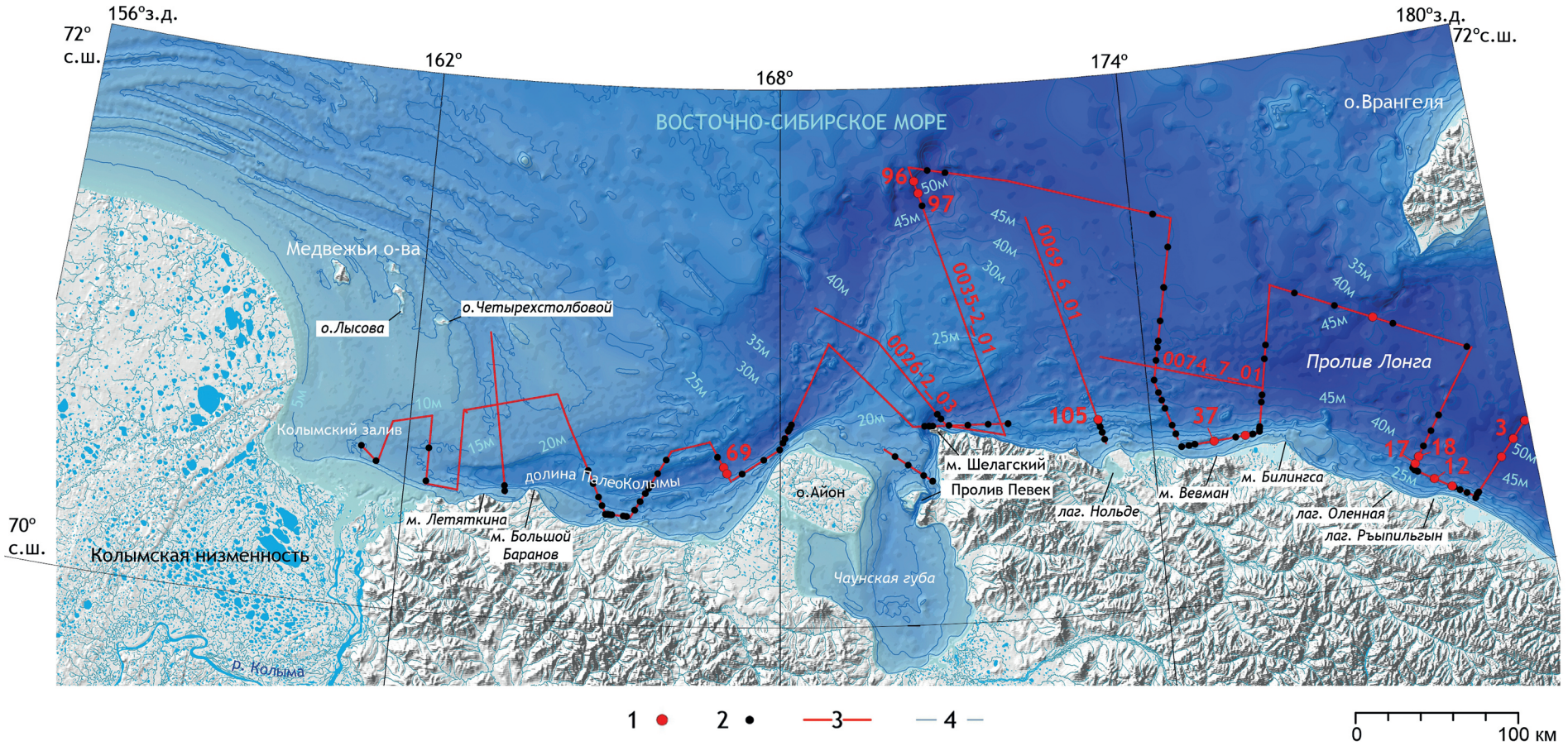

Рис. 1. Схема фактического материала геолого-геофизических работ 2018 г. на акваториальной части листов R-57–60

1 – станции отбора кернов с применением ударной прямоточной трубки; *2* – станции поверхностного пробоотбора и подводной видеосъемки; *3* – профили непрерывного сейсмоакустического профилирования (НСАП) и гидролокации бокового обзора (ГЛБО); *4* – изобаты (м). Модель рельефа дна основана на оцифрованных навигационных картах масштабов 1 : 500 000 и 1 : 200 000 (ГУНиО)

террасы, основание которых сложено кайнозойскими породами. На западе исследуемой площади (район Колымского залива) параллельно берегу протягиваются гряды (валы), частично повторяющие его очертания. Ширина этих гряд (валов) достигает 4–8 км при относительной высоте 3–5 м и длине 10 км и более. Расположенный в 100–120 км к северу от устья р. Колыма арх. Медвежьи Острова вытянут цепью в широтном направлении на 80 км.

Дочетвертичные породы в прибрежной зоне представлены в основном терригенными отложениями неогена (алеврит, глина, песок). На суше породы, подстилающие четвертичные отложения, более разнообразны. Преобладают терригенные породы мезозоя, наряду с этим широко распространены вулканогенные (андезиты, дациты, туфы, лавы) и интрузивные породы мелового возраста [5]. Прибрежная суша сложена плиоценовыми и четвертичными морскими и континентальными, преимущественно аллювиальными, озерными и болотными отложениями. На дневной поверхности обнажаются в основном отложения верхнего неоплейстоцена и голоцена, более древние породы редко выходят на поверхность или вскрываются скважинами. Кроме того, на суше широко распространены алевритистые образования ледового комплекса (или так называемой «едомы»), которые накапливались в условиях регионально значимого похолодания климата во время неоплейстоцена и содержат сингенетические ледяные жилы [27; 29].

Акваториальная часть листов R-57–60 до проведения работ по геологическому картированию характеризовалась достаточно слабой геолого-геофизической изученностью. Материалы, положенные в основу карты четвертичных отложений комплекта ГК-1000/2 (новая серия) по листам R-(55)–57 – Нижнеколымск в пределах акваториальной части, были получены в основном в 1960–1988 гг. При предварительном анализе карты обращало на себя внимание определенное несоответствие выделяемых и картируемых подразделений четвертичных отложений сложной и контрастной картине распределения морфогенетических форм донного рельефа, установленной в процессе создания современной батиметрической основы. В комплект карт R-58(60) акваториальная часть не входила.

Единственной глубокой скважиной в пределах изучаемой площади является скважина глубиной 671 м, пробуренная и детально исследованная в 1978–1979 гг. Чаунской комплексной геологоразведочной экспедицией (КГРЭ) в западной части о. Айон (район пос. Айон) [28].

Общая протяженность сейсмических профилей (МОВ ОГТ) в пределах акваториальной части картируемых листов составляет 7278,6 км. Профилирование методом НСАП на акватории листов не выполнялось за исключением профиля 5-АР [25], участка опытно-методических геолого-геофизических работ в Колымском заливе и на площади листа R-57-XVIII (676 км НСАП), результаты интерпретации которых содержатся в неопубликованных отчетах В. А. Калиничева (1987, 1988 гг.). Ограниченная информация о строении приповерхностного геологического разреза (результаты бурения, поверхностного пробоотбора, аналитических исследований и т. д.) содержится также в ряде неопубликованных отчетов, составленных в 1971–1988 гг. (Ю. П. Безродных, В. А. Калиничев, В. В. Васильев, В. А. Воробьев, Э. Ф. Гринталь, Г. А. Громатович, В. К. Дорофеев, И. М. Зайцев, Ю. С. Маслов, В. А. Лаштабег, Е. К. Серов), однако эти исследования были направлены почти исключительно на поиск россыпей олова и золота и редко затрагивали районы открытого шельфа.

Одной из важных геологических задач, поставленных в ходе работ по составлению ГК-1000/3, было сейсмостратиграфическое расчленение разреза четвертичных отложений. Продолжение начатых исследований на основе дополнительных аналитических работ с отложениями отобранных кернов было выполнено в рамках гранта РНФ «Реконструкция палеогеографического развития прибрежных районов шельфа Восточно-Сибирского моря в неоплейстоцене–голоцене». При интерпретации полученных геолого-геофизических данных мы опирались на результаты исследований, проведенных в ходе Государственного геологического картирования прилегающих территорий Чукотского моря [9; 10; 33], а также многочисленные публикации по внешнему шельфу Восточно-Сибирского моря и морю Лаптевых [17; 26; 30; 36]. Полученным результатам посвящена настоящая статья.

Материалы и методы исследования. На предварительном этапе исследований наряду с комплексным анализом материалов предшественников была выполнена работа по созданию модели рельефа дна. Для создания точной и детальной батиметрической карты были использованы морские навигационные карты масштаба 1 : 500 000 с регулярной сетью промеров глубин (организация-составитель карт – управление навигации и океанографии Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург. Система координат – Пулково 1942). Прибрежная часть акватории обеспечена картами масштаба 1 : 200 000, для наиболее глубоководных частей листов оцифровка рельефа проводилась с использованием карт масштаба 1 : 500 000, на которых показаны разреженные изобаты и отметки глубин с шагом около 20 км. В программе ArcGIS оцифрованы 28 558 точек промеров глубин (7451 точка для карт масштаба 1 : 500 000 и 21 107 точек для карт масштаба 1 : 200 000) и изобаты, на основе которых создана база данных для дальнейшей работы с рельефом морского дна.

Далее для создания батиметрической карты с помощью модуля ArcGIS «Spatial analyst» выполнена интерполяция методом «Topo to raster». Итоговая цифровая модель рельефа (ЦМР) была использована при построении геоморфологической схемы и карты четвертичных образований.

Для определения региональных морфологических элементов поверхности дна (впадин, равнин, возвышенностей) был применен метод вычисления так называемого батиметрического индекса позиции – Bathymetric position index (BPI) [41] (рис. 2). Его особенностью является анализ поверхности дна по заданным критериям, зависящим от детальности цифровой модели рельефа, и выделения (подсветки) неровностей с их условной классификацией.

Использование метода BPI для ЦМР поверхности морского дна позволило подчеркнуть орографические элементы, исключив их батиметрическую приуроченность. С использованием различных радиусов поиска соседних ячеек грида при анализе рельефа были составлены две схемы, отражающие орографию макро- и мезорельефа. Для вычисления BPI макрорельефа был использован внутренний радиус – 25 и внешний – 250; для мезорельефа был задан внутренний радиус, равный 3, внешний, равным 25. Схемы показывают, что строение дна изучаемой площади, несмотря на небольшие колебания глубин, достаточно сложное и разнообразное.

Применение методов компьютерной обработки рельефа позволило наиболее полно подчеркнуть все особенности морфологии поверхности дна и создать базовую основу для расчленения рельефа на основные морфологические элементы.

Экспедиционные геолого-геофизические работы, выполненные специалистами ФГБУ «ВСЕГЕИ» совместно с АО «Ромона» в 2018 г.

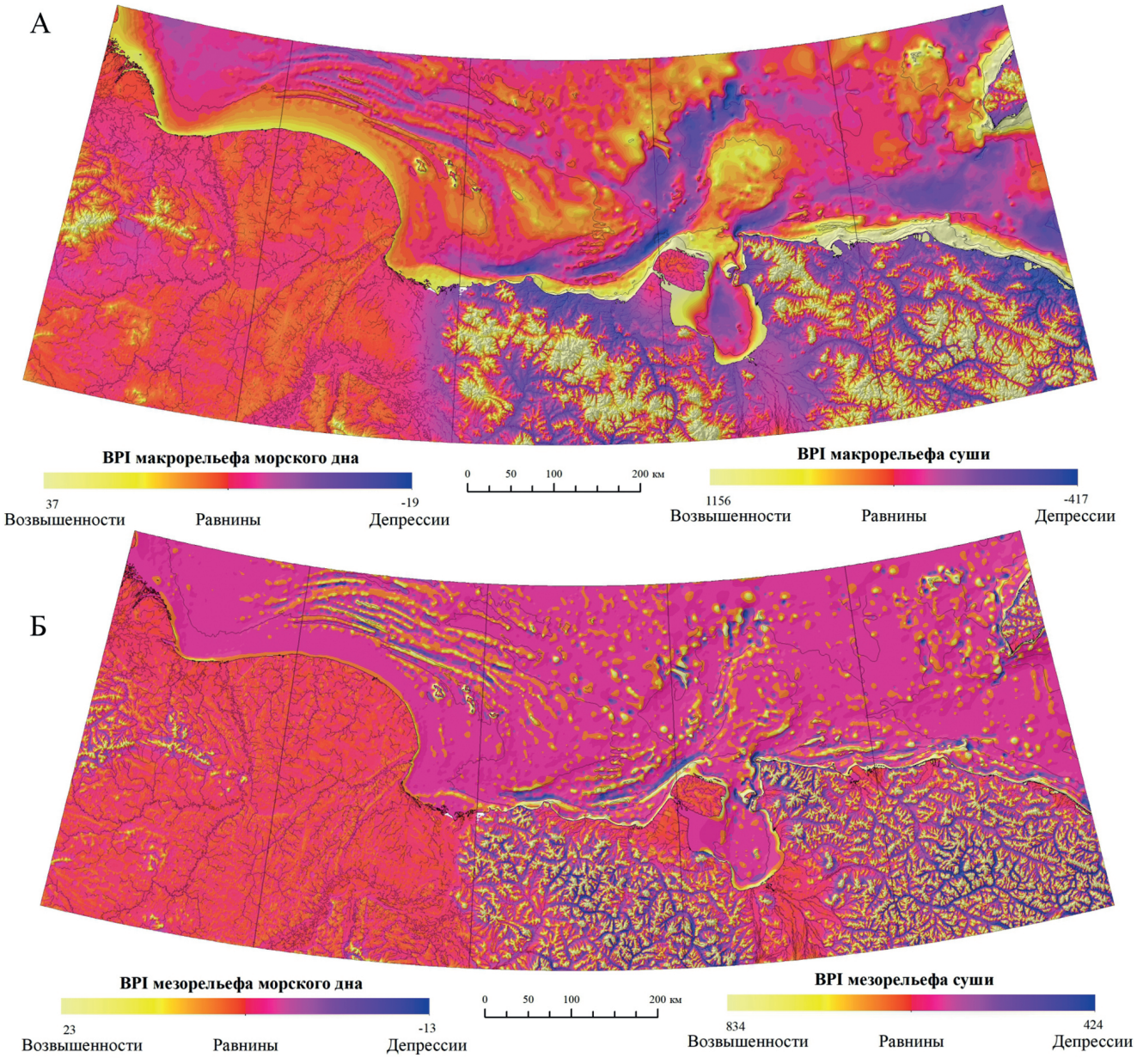

Рис. 2. *А* – Схема батиметрического индекса позиции (Bathymetric position index (BPI)) макрорельефа изучаемой площади дна и суши; *Б* – схема BPI мезорельефа изучаемой площади дна и суши

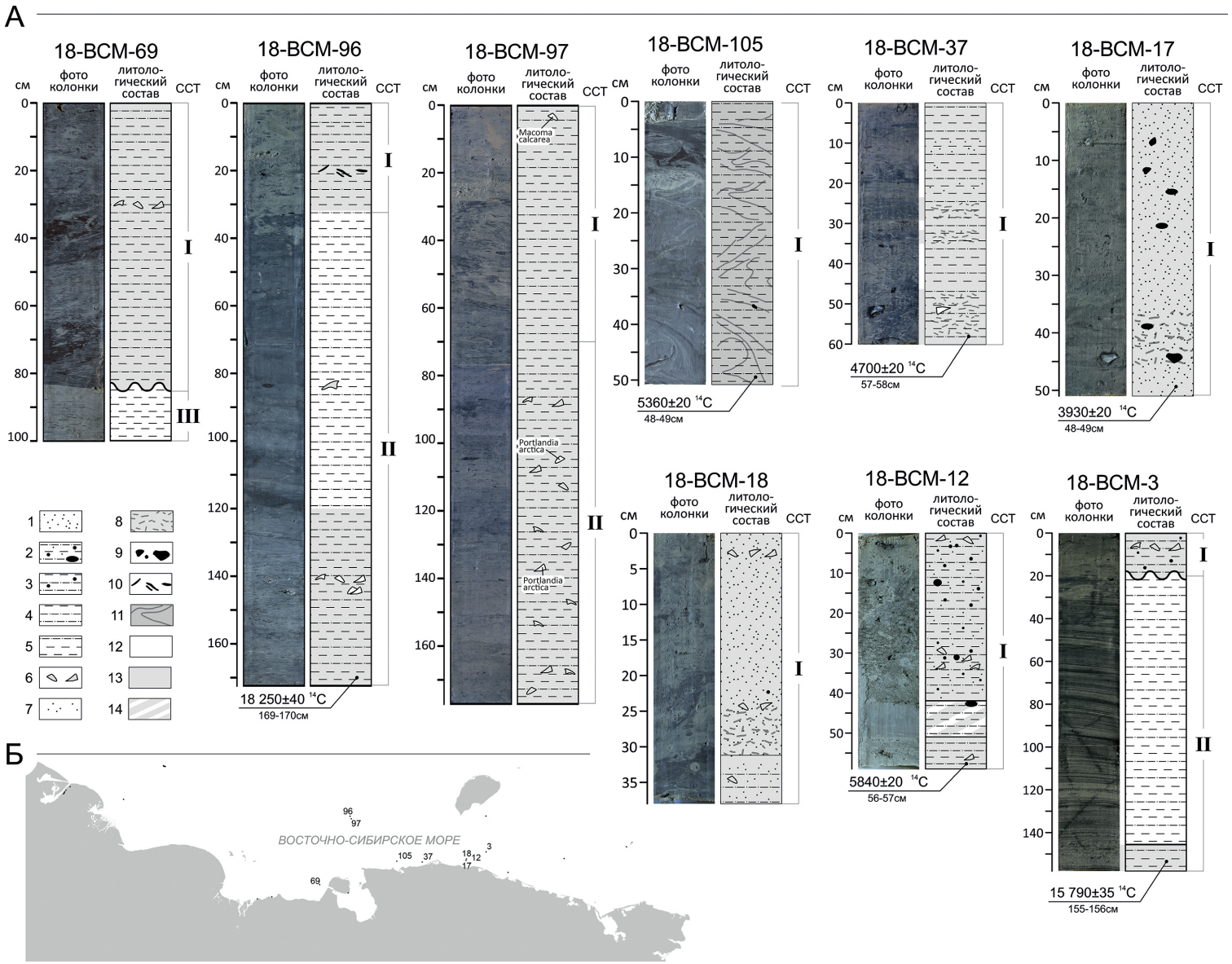

Рис. 3. *А* – Колонки донных отложений. *Б* – схема расположения станций отбора грунтовых колонок

1 – пески мелкозернистые; *2* – миктиты (алевроглины с песчаными зернами, единичным гравием, галькой); *3* – песчано-пелитовые алевриты с единичным гравием; *4* – пелитовые алевриты; *5* – алевропелиты; *6* – обломки раковин моллюсков; *7* – примесь тонкопесчаного материала; *8* – биогенные текстуры (ходы илоедов); *9* – включения гальки и гравия; *10* – растительный детрит; *11* – крупные складки с «мраморовидной» текстурой; *12* – горизонтальная слоистость; *13* – неясно слоистые крапчатые; *14* – тугопластичные

на НИС «Иван Киреев», включали в себя непрерывное сейсмоакустическое профилирование (НСАП) – 2100 пог. км, гидролокацию бокового обзора (ГЛБО) – 1900 пог. км, многолучевое эхолотирование, донный пробоотбор – 111 станций (на девяти станциях отобраны керны донных отложений длиной от 0,5 до 2,5 м), подводные видеонаблюдения – 110 станций.

НСАП производилось с использованием пневмоисточника модели «ION Sleeve Gun» объемом по 10 куб. дюймов и сейсмоакустического приборно-аппаратурного комплекса GEONT-HRP (производство ООО «Спектр-Геофизика», Россия). Для получения данных высокого разрешения, позволяющих расчленять верхнюю часть разреза, дополнительно использовался профилограф фирмы EdgeTech, модель CHIRP 3300HM. Акустические границы отслеживались с помощью программы Kingdom SMT. Съемка ГЛБО выполнялась с помощью аппаратуры СМ-2 (C-MAX, Великобритания).

На борту керны были упакованы в пластиковые трубы длиной 1 м, запечатаны и хранились в прохладных условиях (4 °C) во время транспортировки в лабораторию. Для дальнейшей обработки керны разрезались вдоль длинной оси для цифровой фотографии и литологического описания с использованием цветовых карт Манселла (Munsell Soil Color Charts) (рис. 3). Гранулометрический состав образцов отложений кернов (каждый – 1 см), характеризующихся существенно алевритово-глинистым составом, был проанализирован с помощью лазерного дифракционного анализатора размера частиц «Microsizer 201A» (VA Instal, Россия) во ВСЕГЕИ. Гранулометрический анализ кернов отложений, характеризующихся высоким содержанием песчаных частиц, был проведен в Атлантическом отделении Института океанологии им. П. П. Ширшова (АО ИО РАН) на лазерном анализаторе FRITSCH «Анализетт-22» (< 1–100 мкм) в комбинации с аналитическим ситовым шейкером FRITSCH «Анализетт-3» (> 0,1 мм).

Геохимический, палинологический и диатомовый анализ выполнялись в лабораториях ВСЕГЕИ. Пробы донных отложений для геохимического анализа отбирались с интервалом в 5 см. Перед геохимическим анализом образцы сушили при 20 °C и измельчали. Определение Cr, Rb, Sr, Zr, Mo, Sn, Ba, W проводили с использованием системы ELAN 6000 DRC-e масс-спектрометрией с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). ICP-MS анализ Co, Ni, Cu, Zn, Pb, Bi проводился на спектрометре AGILENT 7700x с улучшенными техническими характеристиками. Измерения валовой концентрации брома (Br) осуществлялись на рентгеновском сканирующем кристалл-дифракционном спектрометре «СПЕКТРОСКАН-МАКС-Г». Распределение концентрации Br по разрезу отложений использовалось для расчета относительной палеосолености по методике, разработанной во ВСЕГЕИ [6; 32].

Анализ содержания общего органического углерода ($C_{орг}$) в донных отложениях и потерь при прокаливании (ППП) проводился в АО ИО РАН кулонометрическим методом на экспресс-анализаторе АН-7529. Радиоуглеродные даты (7 проб из нижних слоев кернов) были получены с помощью ускорительной масс-спектрометрии (IGANAMS). Пробоподготовку, отделение датируемой фракции, графитизацию и прессование проводили в Лаборатории радиоуглеродного

Станции пробоотбора кернов донных отложений и результаты определения возраста (материал для радиоуглеродного датирования – рассеянное органическое вещество)

Номер станции	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.	Глубина моря, м	Длина керна, м	Результаты определения возраста отложений в забое колонки					
					Интервал отбора пробы, см	Лабораторный номер пробы	^{14}C, л. н.	Погрешность	Кал. возраст (cal. BC), 2 sigma*	Кал. возраст, л. н.**
18-BCM-3	69,6889	179,708	61	1,58	155–156	$IGAN_{AMS}$ 7551	15 790	± 35	17 196–16 986	18 584
18-BCM-12	69,552	178,364	36,8	0,57	56–57	$IGAN_{AMS}$ 7552	5840	± 20	4786–4668	6200
18-BCM-17	69,6497	178,1067	39,1	0,49	48–49	$IGAN_{AMS}$ 7553	3930	± 20	2474–2340	3906
18-BCM-18	69,6841	178,1767	43,4	0,40	–				–	–
18-BCM-37	69,9269	174,986	22,3	0,58	57–58	$IGAN_{AMS}$ 7554	4700	± 20	3467–3374	4920
18-BCM-69	69,8807	167,1462	32,7	0,98	–				–	–
18-BCM-96	71,4816	170,317	47,5	1,72	169–170	$IGAN_{AMS}$ 7556	18 250	± 40	20365–20 153	21 753
18-BCM-97	71,4145	170,382	48,8	1,76	–				–	–
18-BCM-105	70,107	173,155	21,7	0,49	48–49	$IGAN_{AMS}$ 7557	5360	± 20	4201–4162	5685

* Calib REV8.20 (http://calib.org/calib/calib.html), IntCal20) [34; 39; 40].
**С учетом резервуарного эффекта для Чукотского моря 460 лет [37].

датирования и электронной микроскопии Института географии РАН, Москва [42]. Отношения графита $^{14}C/^{13}C$ были измерены с использованием ускорительного масс-спектрометра CAIS 0,5 МэВ в Центре прикладных изотопных исследований Университета Джорджии, США. В связи с тем, что калибровка возраста с использованием кривой MARINE20 не применима для Арктических регионов [34], радиоуглеродные данные были преобразованы в калиброванный возраст (таблица) с использованием Calib REV8.20 (http://calib.org/calib/calib.html) [34; 39; 40] и кривой IntCal20 с учетом резервуарного эффекта для Чукотского моря 460 лет [37].

Пробы донных отложений для палинологического и диатомового анализов отбирались по 5 см. Лабораторная обработка образцов для спорово-пыльцевого анализа производилась по расширенной методике Гричука [8]. Бескарбонатный осадок проб был разрушен пирофосфатом натрия и центрифугирован в многоразовой полимерной тяжелой жидкости ГПС-В. Из отмытого от реагентов образца изготавливались препараты для изучения под микроскопом Olympus CX31P по определителям [18; 21], а также по коллекции препаратов ФГБУ «ВСЕГЕИ». Диаграммы построены с помощью программы TILIA (E. Grimm, ver. 3.7).

Лабораторная обработка проб для изучения диатомей проводилась по методике, разработанной для морских отложений [14; 16]. Для очистки створок диатомей около 6–8 г осадка обрабатывалось в 30 % растворе перекиси водорода. Очищенный осадок отмывался в центрифуге в дистиллированной воде. На покровное стекло градуированной пипеткой наносилось около 0,08 мл суспензии с использованием среды с показателем преломления n = 1,67–1,68. Изучение структуры створок и панцирей диатомей для их дальнейшего видового определения осуществлялось на световом микроскопе МИКМЕД-5 с использованием цифровой камеры. Процентное количество каждого таксона определяли при подсчете 300 створок в каждом образце. Для построения диаграмм использовалась программа PanPlot.

Результаты и их интерпретация. ***Сейсмостратиграфия.*** Сейсмоакустическое профилирование позволило выделить региональный горизонт MBU [23], маркирующий подошву кайнозойского разреза. Ориентиром для определения положения горизонта MBU в разрезе осадочного чехла Восточно-Сибирского моря является отметка 663 м керна скважины о. Айон, где установлена подошва кайнозойских пород [5]. Эти данные были экстраполированы по сети непрерывных корреляционных трасс на прибрежную зону Восточно-Сибирского моря. Кроме того, гипсометрическое положение горизонта MBU в сейсмическом разрезе было прослежено с помощью региональной корреляции от скважин Crackerjack и Popkorn через Северо-Чукотский прогиб до Восточно-Сибирского моря [23].

Выделение на сейсмоакустических профилях горизонта MBU позволило скоррелировать сейсмоакустические и сейсмические данные, а также получить надежный репер для дальнейшей интерпретации геофизических данных, характеризующих верхнюю часть геологического разреза. В процессе обработки и интерпретации профилей НСАП выделено шесть сейсмостратиграфических толщ (ССТ), пять из которых по геологической интерпретации соответствуют плиоцен-четвертичным отложениям [15]. На ряде участков эти сейсмотолщи подразделяются на подтолщи. Геологическая интерпретация геофизических данных для трех нижних сейсмотолщ основана на анализе архивных геофизических и геологических данных, прежде всего скважин, пробуренных на прибрежных участках суши. Две верхние сейсмотолщи были опробованы грунтовыми трубками.

ССТ VI выделяется непосредственно выше горизонта MBU, пользуется широким распространением в исследуемом районе и, по акустическим данным, характеризуется слоистым строением (рис. 4). Верхняя поверхность сейсмотолщи неровная и отличается очень интенсивным отражением.

Акустический облик ССТ V определяется наличием крупных хорошо выраженных клиноформ; эти отложения заполняют понижения в кровле нижележащего комплекса. Подошва толщи выражена сильным региональным несогласием. Максимальная мощность ССТ (до 150 м) установлена в глубоких палеодолинах Колымского залива. Минимальная мощность (до 30 м) приурочена к приподнятым участкам докайнозойского фундамента в районе мысов Летяткин и Большой Баранов. В целом, по данным сейсмоакустического профилирования, мощность ССТ V уменьшается в восточной части моря, где она редко превышает 15 м.

Отложения ССТ V по данным сейсмоакустического профилирования практически выходят на поверхность дна в прибрежных зонах, перекрываясь лишь тонким слоем голоценовых отложений. Кроме того, локальное обнажение отложений ССТ V прослежено в тальвеге современной подводной долины, огибающей мыс Шелагский на выходе из Чаунской губы на глубине моря 40–45 м и к северо-западу от о. Айон. Они также обнажаются в прибрежной зоне на выходе из пролива Певек.

ССТ IV значительно выравнивает рельеф поверхности подстилающих отложений. Сейсмотолща изменчива по латерали, что отражается в различиях слоистости – от четко выраженной с разными углами наклона до практически полного ее отсутствия. На сейсмоакустических профилях кровля и подошва толщи характеризуются высокой интенсивностью отражений, что, вероятно, связано с перерывами в осадконакоплении (рис. 5).

Мощность отложений ССТ IV в палеодолинах, протянувшихся вдоль современной прибрежной

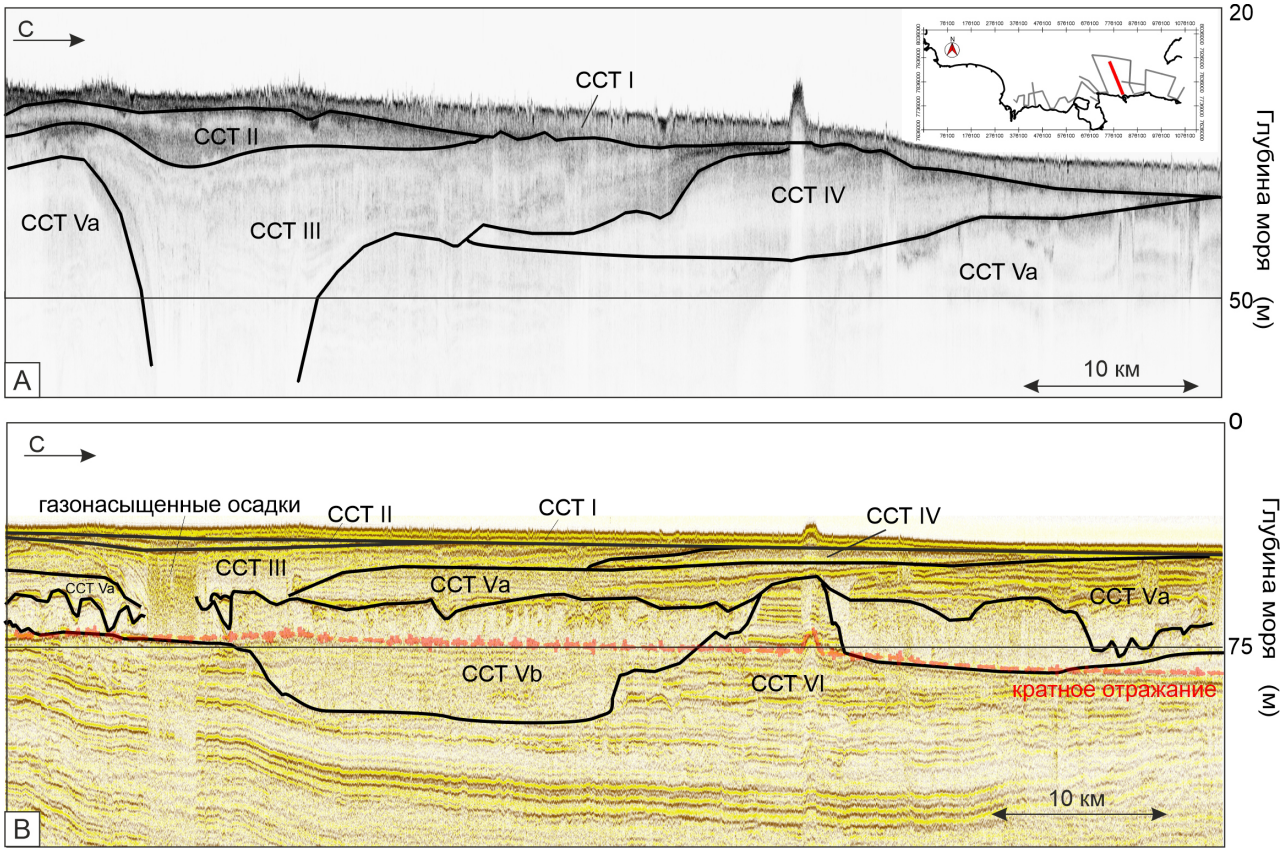

Рис. 4. Сейсмоакустический профиль 0069_6_01

A – временной разрез, полученный с использованием высокочастотного профилографа; *B* – временной разрез, полученный с использованием пневматического источника упругих колебаний; сейсмотолщи: CCT VI – олигоцен–неоген(?), CCT V (CCT Vb,CCT Va) – плиоцен – нижний неоплейстоцен(?), CCT IV – нижний–средний неоплейстоцен, CCT III (CCT IIIa, CCT IIIb) – верхний неоплейстоцен, CCT II – верхний неоплейстоцен–голоцен, CCT I – голоцен

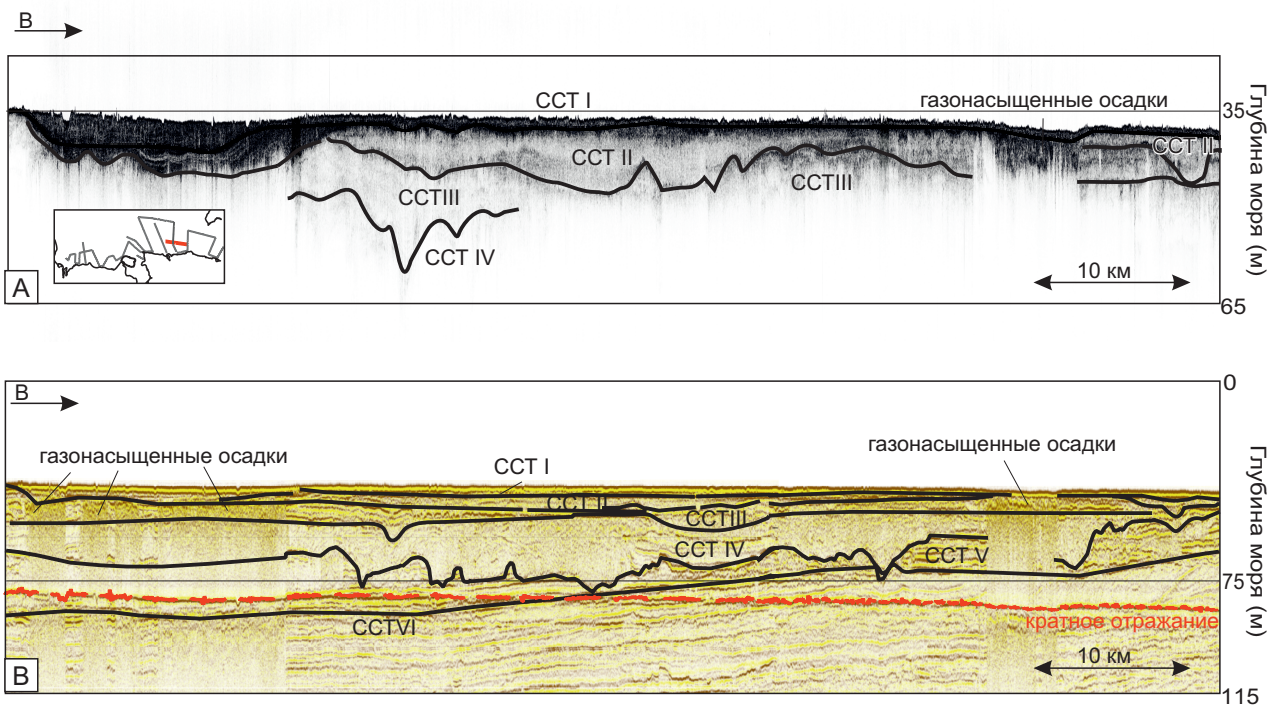

Рис. 5. Сейсмоакустический профиль 0074_7_01

A – временной разрез, полученный с использованием высокочастотного профилографа; *B* – временной разрез, полученный с использованием пневматического источника упругих колебаний. Описание CCT см. на рис. 4

зоны, может превышать 40 м. В открытом море ССТ IV распространен локально, выклиниваясь на некоторых возвышенностях и часто в прибрежной зоне, где она была размыта.

ССТ III характеризуется интенсивным отражением от кровли и наличием слабо выраженной субгоризонтальной слоистости (рис. 6). Интенсивность внутренних отражений увеличивается к подошве толщи. Иногда ССТ III можно разделить на временных разрезах на две части. Нижняя подтолща ССТ IIIb чаще выровнена, но иногда заполняет эрозионные впадины и, по-видимому, сложена преимущественно более глинистыми отложениями, чем вышележащая. Толща иногда ассоциируется с мерзлыми и газонасыщенными отложениями. Подтолща ССТ IIIa, по-видимому, более грубая по составу и соответствует условиям регрессивной седиментации. Общая мощность ССТ III, не всегда разделяемой на две подтолщи, достигает 10–20 м. Кровля часто осложняется палеоврезами речной сети.

ССТ II отличается от нижележащей сейсмотолщи относительно хаотичной акустической картиной. Мощность отложений ССТ II крайне не выдержана, во впадинах кровли рельефа нижележащих отложений она обычно не превышает 5–6 м, на значительном протяжении профилей составляет менее 1 м либо выклинивается. ССТ II редко обнажается на поверхности дна и в основном в восточной части моря, где она была опробована гравитационными грунтовыми трубками в отдельных котловинах.

Сейсмотолща ССТ I широко распространена в районе исследований. Ее мощность варьирует от сантиметров (по данным опробования) до 10 м (в пределах палеодолин). Отражательная способность слагающих ее осадков выше, чем у нижележащих. Стратификация отложений отсутствует, характер записи преимущественно хаотичный из-за нарушения сплошности разреза за счет ледового воздействия в прошлом. Поверхность морского дна также изрезана в результате

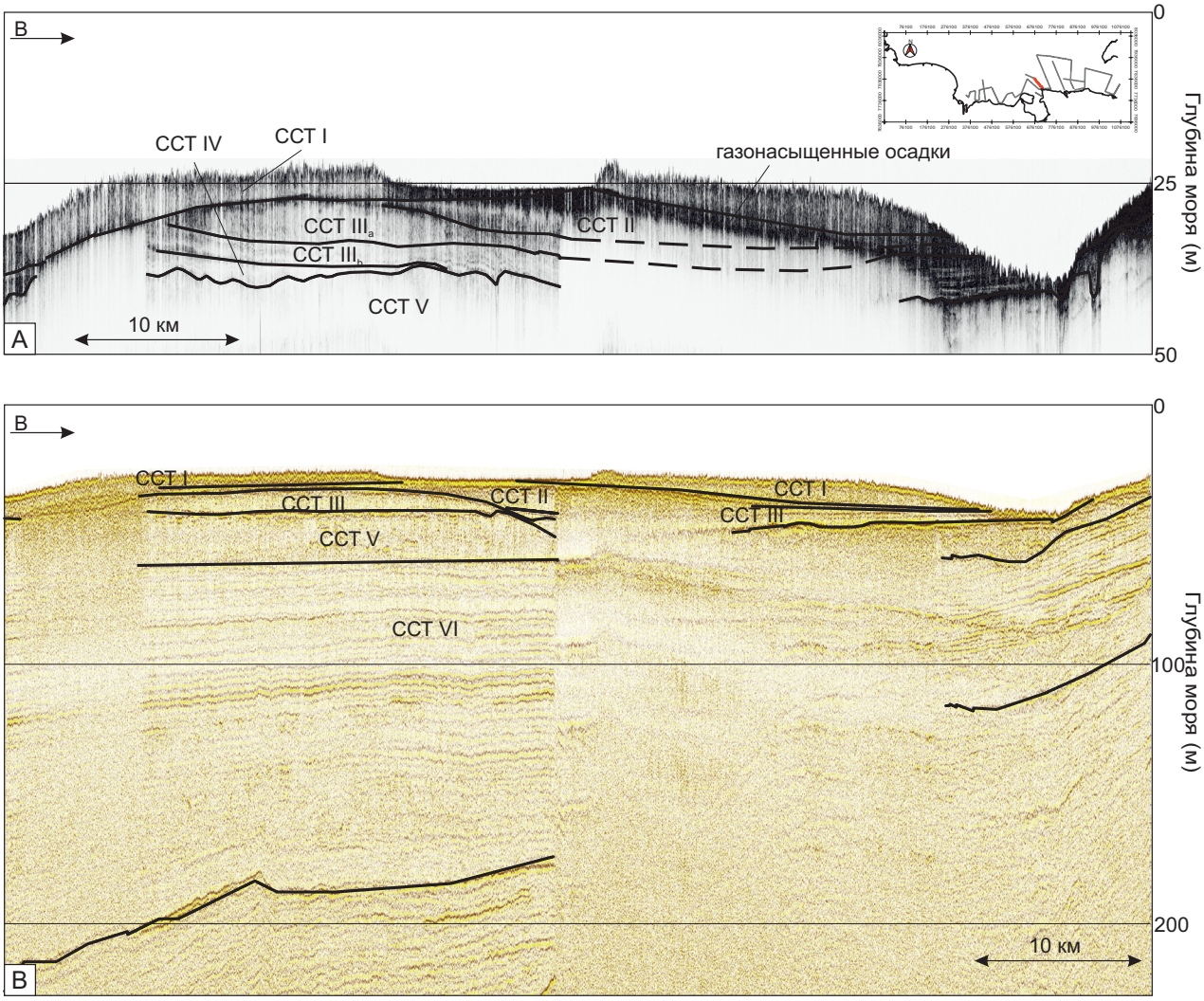

Рис. 6. Сейсмоакустический профиль 0026-2_03

A – временной разрез, полученный с использованием высокочастотного профилографа; *B* – временной разрез, полученный с использованием пневматического источника упругих колебаний. Описание ССТ см. на рис. 4

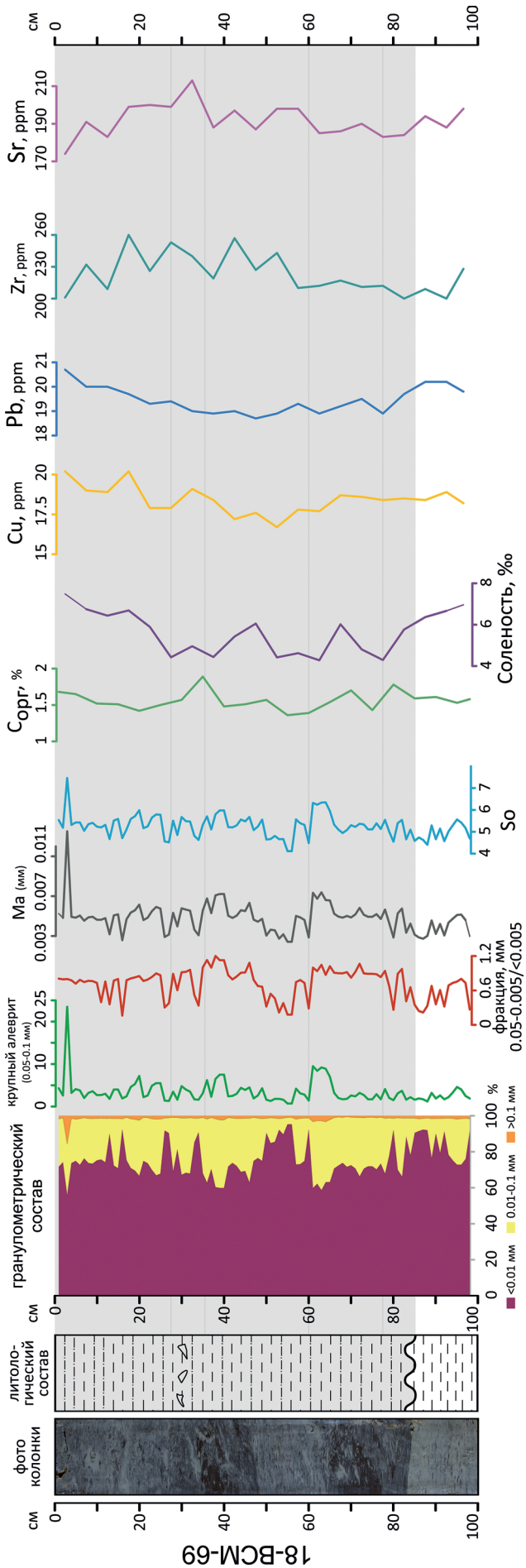

Рис. 7. Результаты послойных аналитических исследований грунтовой колонки 18-ВСМ-69

Условные знаки для литологического состава показаны на рис. 3. Ma – средний размер зерен; So – коэффициент сортированности осадка

современного выпахивающего воздействия дрейфующих льдов.

Литология донных отложений. По аналогии с составом отложений, описанных в обнажениях на о. Айон и прибрежной суше, отложения ССТ VI представлены песчаниками, песками, алевритами с прослоями бурого угля, гравия с лигнитизированными остатками древесины, глинами с линзами бурого угля [5].

Границы ССТ V были прослежены в восточном направлении, где отложения слагающие ее, вскрыты скважинами в ходе геологического картирования листов R-1,2 [9; 10; 33]. Отложения представлены переслаиванием грубозернистых песков, песчано-алевритовых глин и алевритовых песков; наблюдаются включения гальки, гравия и остатков растительности [33]. В западной части площади эти отложения вскрыты скважиной, пробуренной к юго-востоку от о. Лысова, входящего в арх. Медвежьи Острова (неопубликованные отчеты В. А. Калиничева с соавторами, 1987; 1988). В скважине они представлены светло-серыми и темно-серыми алевритовыми песками с редкой кварц-полевошпатовой дресвой (размером до 2–3 мм), а также прослоями и гнездами обогащения древесными остатками и торфом. По данным [7], на прилегающей суше в пределах Колымской низменности отложения представлены чередованием глинистого и песчаного алеврита, тонкозернистого песка с прослоями и линзами торфа.

Отложения, коррелирующиеся с ССТ IV, были обнаружены в той же скважине, пробуренной на шельфе к юго-востоку от о. Лысова, и описаны в неопубликованном отчете В. А. Калиничева и др. (1988 г.). Они представлены алевритами и песчаными алевритами (мощностью 10,2 м) с вкраплениями остатков древесины.

Близповерхностные выходы морских верхненеоплейстоценовых отложений, коррелирующихся с ССТ III, картируются к югу от о. Четырехстолбовой. В пределах дна акватории они приближаются к поверхности дна в эрозионных днищах современных долин, протягивающихся вдоль материковой линии, а также, предположительно, в северной части территории в пределах относительно глубоководной площади. В составе отложений преобладают уплотненные тугопластичные темно-серые алевроглины, алевриты и глины с примесью песка, которые вскрываются на отдельных возвышенностях грунтовыми трубками под тонким слоем современных алевропелитовых илов, а иногда миктитов.

В частности, отложения ССТ III, предположительно, были вскрыты в нижней

части грунтовой колонки 18-ВСМ-69 (на интервале 82–98 см), отобранной на склоне палеодолины р. Колыма к западу от о. Айон (рис. 1, 2, 7), где они представлены плотными серыми неслоистыми глинами с примазками черного органического вещества, содержание которого составляет около 1,5 %. Расчетная соленость – около 8 ‰. Верхний контакт с осадками ССТ I очень резкий, горизонтальный.

На интервале 0–82 см отложения грунтовой колонки 18-ВСМ-69, вероятно, нарушены ледовым воздействием. В колонке отмечается чередование прослоев глинистого состава и алевритовых глин. Гранулометрические параметры изменяются по колонке незакономерно. Прослой, максимально обогащенный крупноалевритовыми частицами (7–9,5 %, среднее 8,6 %) отмечается на интервале 60–65 см. Рассчитанная палеосоленость колеблется в узких пределах от 4,3 до 6 ‰. В очень узких пределах изменяется по разрезу и содержание микроэлементов (As, Cu, Co, Pb, Bi, Zn). В верхних 33 см колонки возрастает расчетная палеосоленость и встречаются прослои песчаного состава. Анализ сейсмоакустических данных показывает, что отложения, вскрытые на интервале 0–82 см, относятся к ССТ I.

Отложения ССТ II вскрыты тремя колонками – 18-ВСМ-3 (в центральной части прол. Лонга), а также 18-ВСМ-96 и 18-ВСМ-97 (у основания склона мористой части долины палео-Колымы).

Грунтовая колонка 18-ВСМ-3 на интервале 38–148 см вскрыла весьма своеобразные и нехарактерные в целом для исследуемого района четко слоистые алевритовые пелиты. Слоистость не нарушена следами биотурбации или ледовым воздействием, мощность слойков, выраженных чередованием черных и зеленовато-серых тонов, – от долей миллиметра до 3 см. Остатки раковин моллюсков на данном интервале не установлены. Для описываемых отложений характерны относительно высокие содержания $C_{орг}$ (в среднем 2 %), рассчитанная палеосоленость не превышает 5–8 ‰, в пыльцевых спектрах осадков присутствует пыльца хвойных деревьев; по данным диатомового анализа, в отложениях описываемого интервала доминируют пресноводные диатомеи, присутствуют бентосные солоноватоводные. Для интервала 155–156 см определен возраст 18 584 кал. лет назад. ($IGAN_{AMS}$ 7551). Колонка отражает изменение среды седиментации: от пресноводных условий термокарстового озера, сложившихся в ходе начавшегося потепления конца позднего неоплейстоцена – начала голоцена к солоноватоводной лагуне и затем морским условиям [24].

Анализ результатов детальных исследований грунтовых колонок 18-ВСМ-96 и 18-ВСМ-97 (рис. 8), отобранных на расстоянии 7 км друг от друга на северо-западном склоне палеодолины р. Колыма, также позволяет проследить переход

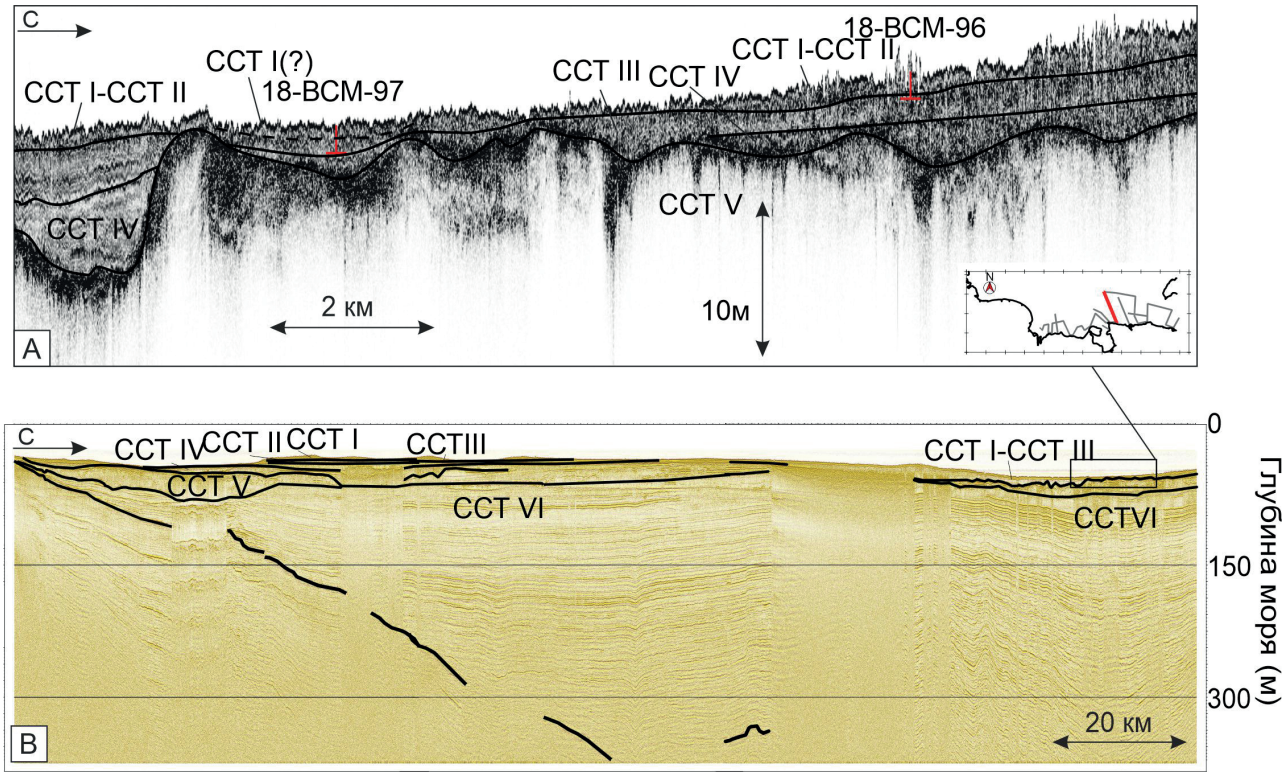

Рис. 8. Положение грунтовых колонок 18-ВСМ-96 и 18-ВСМ-97 на сейсмоакустическом профиле 0035-2_01

A – временной разрез, полученный с использованием высокочастотного профилографа; *B* – временной разрез, полученный с использованием пневматического источника упругих колебаний. Описание ССТ см. на рис. 4

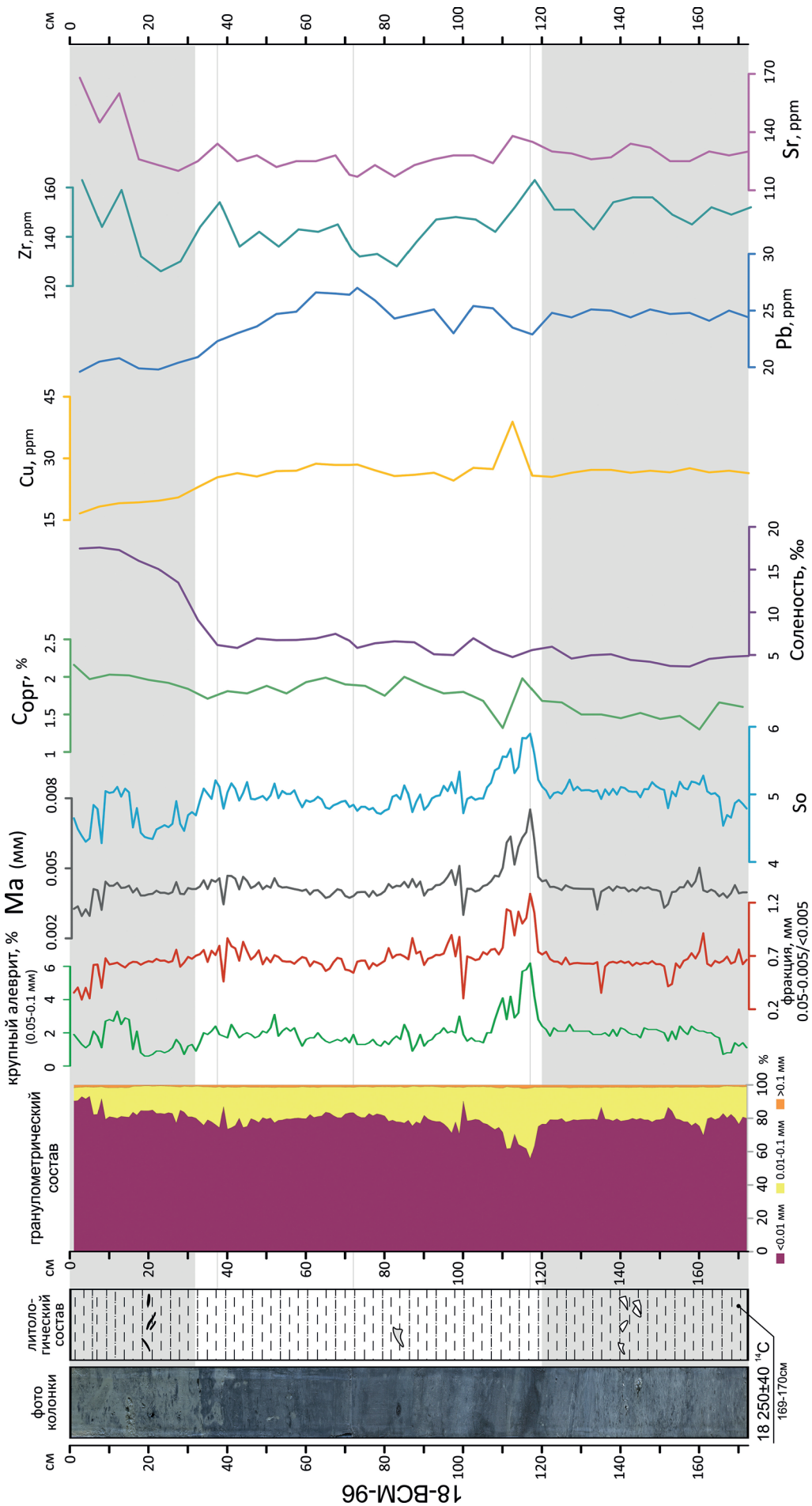

Рис. 9. Результаты послойных аналитических исследований грунтовой колонки 18-ВСМ-96

Условные обозначения на рис. 7

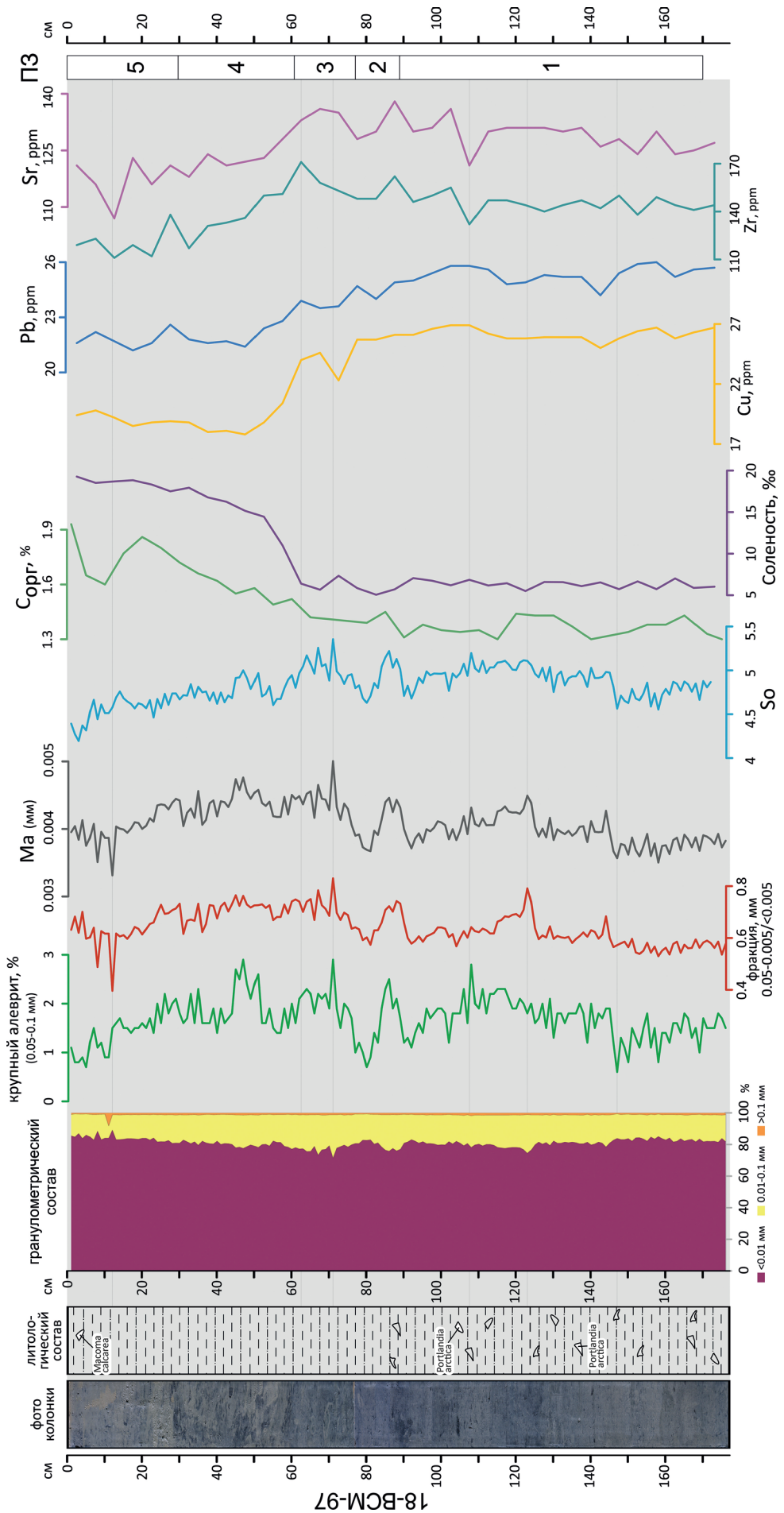

Рис. 10. Результаты послойных аналитических исследований грунтовой колонки 18-ВСМ-97

Условные обозначения на рис. 7

от существенно пресноводных отложений ССТ II к морским осадкам ССТ I.

Отложения нижнего интервала колонки 18-ВСМ-96 (33–176 см) представлены плотными алевроглинами, однородными или с включениями черных пятен рассеянного органического вещества, интервал 33–120 см характеризуется наличием нечеткой крупной (3–10 см) слоистости (полосчатости). В интервалах 82,5–83,5 см, 140–141 см и 153 см обнаружен раковинный детрит. Содержание $C_{орг}$ вверх по интервалу увеличивается с 1,5 до 1,7 %, расчетная палеосоленость находится в пределах от 5 до 7,5 ‰. Концентрации As, Cu, Ni, Co, Fe, Mn, S, Pb, Zn, Ti значительно растут от основания керна до отметки 33 см, а Cr, Ba, Sr уменьшаются. Возраст отложений по ^{14}C в интервале 169–170 см колонки 18-ВСМ-96 определен как 21 753 кал. лет назад ($IGAN_{AMS}$ 7556) (рис. 9).

Осадки верхнего интервала (0–33 см) представлены алевритовыми пелитами и пелитами со следами биотурбации. На этом интервале резко возрастает расчетная палеосолености (до 17,5 ‰) и содержания органического вещества (до 2,2 %).

Близкими параметрами характеризуются отложения грунтовой колонки 18-ВСМ-97 (рис. 10). В отличие от колонки 18-ВСМ-96, алевритовые пелиты имеют светло-серый цвет, характеризуются отсутствием слоистости, значительно биотурбированы. Фиксируются многочисленные ходы бентосных животных и обломки раковин (в поверхностном слое (0–2 см) обнаружена раковина *Macoma calcarea* (Гмелин, 1791), на интервалах 106–107 см и 136 см отобраны раковины *Portlandia arctica* (Gray, 1824) с сохранившимся конхиолиновым слоем. Гранулометрический состав осадков достаточно однородный, со слабо выраженным трендом к увеличению количества пелитовой составляющей в верхней части грунтовой колонки (0–65 см).

В то же время по геохимическим показателям колонка четко делится на два интервала – нижний (69–176 см) характеризуется низкой рассчитанной палеосоленостью (5 до 7,3 ‰) и содержанием $C_{орг.}$ 1,3–1,4 %; верхний (0–69 см), где палеосоленость резко возрастает до 18–19,3 ‰, содержание органического углерода – до 1,93 %.

По результатам палинологических исследований колонки 18-ВСМ-97 была построена спорово-пыльцевая диаграмма, где было выделено пять палинозон (рис. 11).

В палиноспектрах зоны 1 (88–170 см) преобладают травы, содержание которых достигает 71,2 %. Poaceae составляют 20,9 % спектра. Cyperaceae достигают максимальных значений (22,8 %) в верхней части палинозоны. Присутствуют Asteraceae (до 9,3 %, в т. ч. *Artemisia*), Brassicaceae (до 6,7 %, отмечена *Draba*), Polygonaceae (до 5,3 %). В верхней части палинозоны отмечены Saxifragaceae (до 9,3 %). Древесные отсутствуют. Заметна *Betula nana,* формирующая до 40,3 % спектра в нижней части палинозоны. Среди спор (до 6,0 %) отмечены *Woodsia, Sphagnum* и *Equisetum*. Встречены споры грибов.

В палинозоне 2 (76–88 см) содержание трав достигает 77,1 %. Преобладают Cyperaceae (до 24,8 %), *Carex* (до 3,4 %), Poaceae (до 20,0 %), а также Asteraceae и Brassicaceae (по 8,6 %). Отмечены Rosaceae (до 5,7 %) и Aquatic (до 3,8 %). Присутствуют *Betula nana* (25,2 %) и *Salix* (2,5 %). Отмечены споры *Sphagnum* и *Lycopodium selago*. Концентрация пыльцы и спор в образцах высокая (до 270 зерен), их сохранность хорошая.

В спорово-пыльцевых спектрах палинозоны 3 (60–76 см) содержание зерен пыльцы и спор минимально (не более 170). Пыльца трав достигает максимума (88,9 %). Кустарники представлены только *Betula nana* (до 35,5 %). Среди трав доминируют Poaceae (до 30,8 %), Cyperaceae (18,5 %), заметны Saxifragaceae (до 10,8 %). Среди спор единично отмечен *Sphagnum*. Вероятно, в спорово-пыльцевых спектрах отразилось похолодание климата и сокращение разнообразия напочвенного покрова.

В палинозоне 4 (28–60 см) содержание форм возрастает (до 250 зерен) при плохой их сохранности. Кустарники составляют от 23,5 до 37,0 %, однако присутствуют только *Betula nana* и, единично – *Salix*. Травы составляют до 73,8 %. Преобладают Poaceae (до 24,7 %), представлены Cyperaceae (до 19,8 %) и Polygonaceae (до 13,8 %). Немногочисленные споры (до 5,2 %) представлены *Equisetum* и *Lycopodium annotium*. Присутствуют цисты водорослей и динофлагеллят.

В спорово-пыльцевых спектрах палинозоны 5 (0–28 см) отмечены единичные зерна сосны, имеющие, очевидно, дальнезаносное происхождение. Карликовая береза составляет до 41,2 %. Содержание трав колеблется от 57,0 до 69,5 %. Доминируют злаки (до 21,7 %), в спектрах появляются вересковые (до 12,0 %). Споры (до 3,0 %) единичны. Палиноморфы представлены цистами динофлагеллят и водорослей.

В колонке 18-ВСМ-97 в интервале 70–176 см обнаружены лишь единичные фрагменты створок морских диатомей, обломки скелетов радиолярий (в самой нижней части колонки), единичные маленькие обломки спикул губок. Возможно, все эти фрагменты переотложены.

В интервале колонки 0–70 см смена видового доминирующего состава комплексов и их экологических характеристик позволила выделить четыре экозоны. В интервале 56–70 см появляются споры родов *Chaetoceros*, *Fragilariopsis oceanica, Thalassiosira gravida*, *Bacterosira fragilis.*

В интервале 0–56 см установлены богатые морские диатомовые комплексы. На основе анализа имеющихся литературных источников по видовому составу диатомовой флоры арктических морей Евразии выявлено 64 вида и внутривидовых таксонов), один вид силикофлагеллят (*Distephanus speculum*), цисты золотистых водорослей.

Руководящий комплекс диатомей, характерный для всей колонки, состоит из следующих доминирующих видов: морские неритические

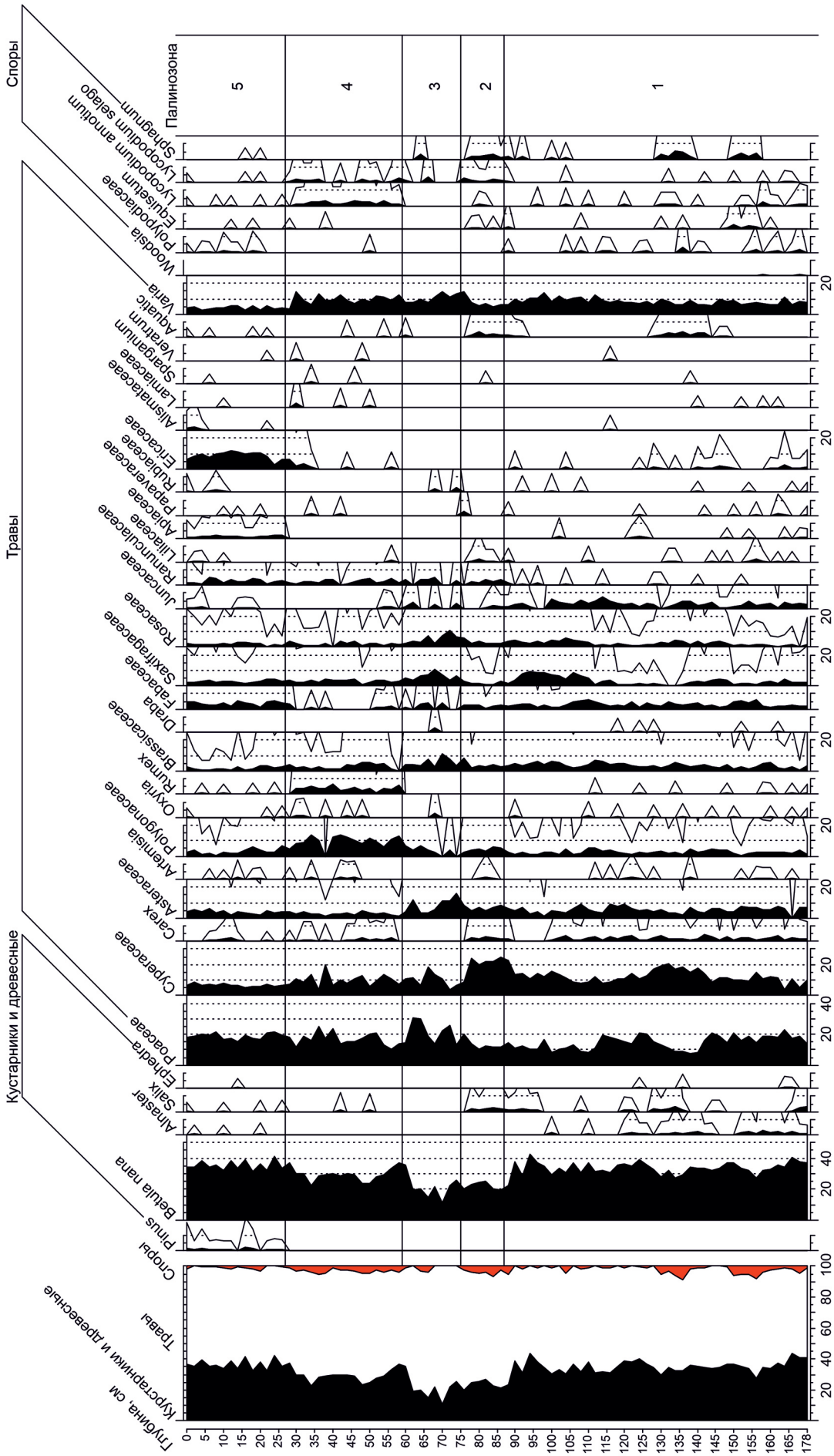

Рис. 11. Пыльцевая диаграмма грунтовой колонки 18-ВСМ-97

споры рода *Chaetoceros*, *Ch. diadema*, *Thalassiosira gravida*, *Fragilariopsis oceanica* и др. Численность диатомей фактически не меняется в отложениях всей колонки (рис. 12).

Нужно отметить, что во время формирования изученных отложений этого интервала колонки станции 18-ВСМ-97 соленость морского бассейна оставалась постоянной, доминирование морских видов составляет до 99 %. Солоноватоводных видов значительно меньше, пресноводные виды встречены единично в двух интервалах колонки (16–18 см и 42–44 см). Установленные диатомовые комплексы аналогичны установленным в поверхностных осадках восточной части Арктики [20].

Таким образом, судя по результатам диатомового и палинологического анализа, нижние интервалы колонок 18-ВСМ-96 и 18-ВСМ-97 (33–176 см и 69–176 см соответственно), относящиеся к ССТ II, характеризуют континентальные (вероятно, пресноводные), условия осадконакопления. В некоторое противоречие с этими выводами входят обнаруженные на интервалах 106–107 см и 136 см раковины *Portlandia arctica*, которые живут на холодных прибрежных морских мелководьях. Возможно, эти раковины были переотложены из нижележащих морских каргинских отложений. Данный вопрос требует дальнейших исследований (датирования материала раковин). На верхнем интервале грунтовых колонок (0–33 см и 0–69 см) результаты всего выполненного комплекса аналитических методов фиксируют достаточно резкий переход к морским условиям в ходе трансгрессии.

Отложения колонок 18-ВСМ-12, 18-ВСМ-17, 18-ВСМ-18, 18-ВСМ-37 и 18-ВСМ-105, относящиеся к ССТ I, судя по данным датирования, сформировались в среднем–позднем голоцене (датировки нижних горизонтов колонок лежат в диапазоне от 6200 до 3900 кал. лет назад) и характеризуются значительной изменчивостью гранулометрических параметров (рис. 3). Диатомовые комплексы, исследованные в грунтовой колонке 18-ВСМ-37, характеризуются высокой численностью диатомей с преобладанием морских и солоноватоводно-морских видов, в составе которых доминируют планктонные холодноводные неритические и ледово-неритические диатомеи: споры рода *Chaetoceros, Thalassiosira gravida, T. nordenskioldii, Fragilariopsis oceanic*a и др. Постоянно присутствуют криофилы: *Fragilariopsis cylindrus, Chaetoceros septentrionalis, Porosira glacialis, Entomoneis kjellmanii* [24].

Обсуждение полученных результатов. Отложения, связанные с ССТ V, по результатам исследования керна скважины к юго-востоку от о. Лысова, входящего в состав арх. Медвежьи Острова, можно отнести к плиоцен-нижненеоплейстоценовым континентальным отложениям. Кровля толщи установлена на глубине около –35 м, а в районе дельты р. Колыма поднимается до –12 м. В пределах Колымской низменности эти отложения представлены переслаиванием глинистого алеврита, песчанистого алеврита и мелкозернистого песка с прослоями и линзами торфа [7]. Эти же отложения установлены в проливе Лонга и южной части Чукотского

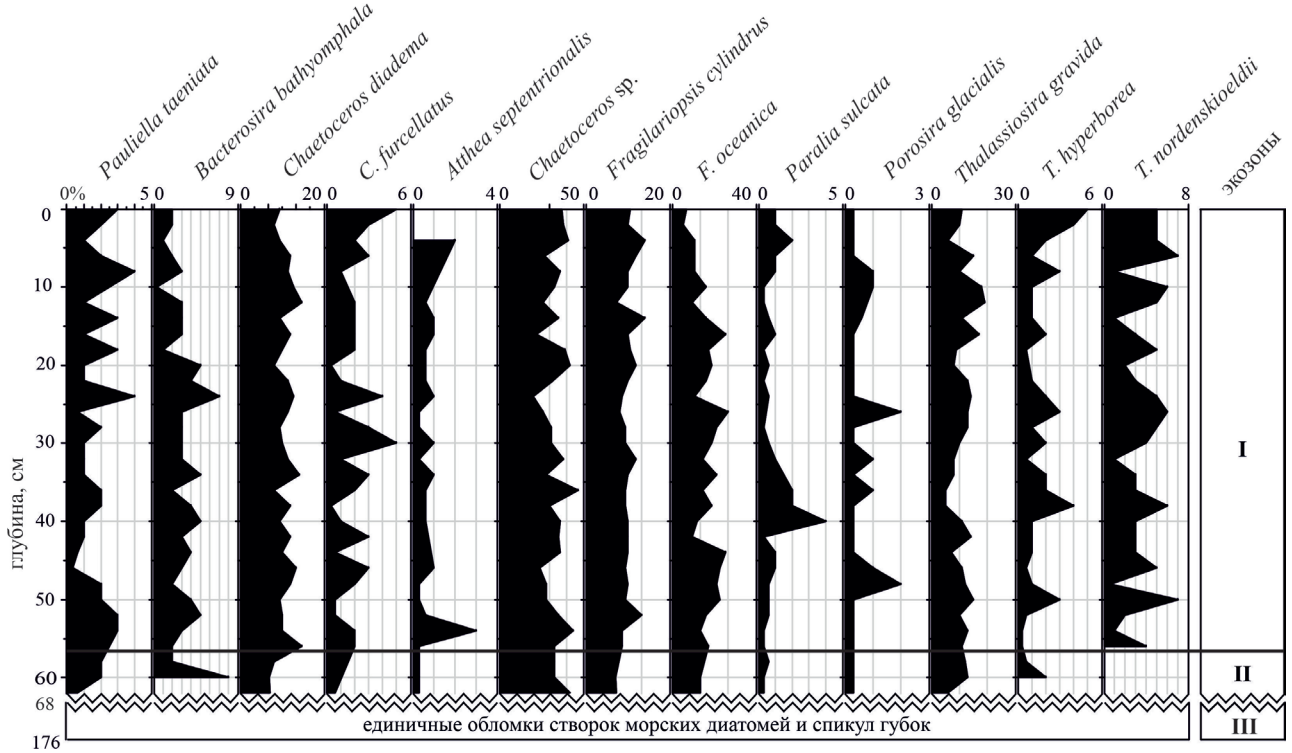

Рис. 12. Группы и виды диатомей в осадках колонки 18 ВСМ-97

моря [3; 9; 10; 33], где по палеомагнитным и палинологическим данным их возраст оценивается в широких рамках: от плиоцена до раннего плейстоцена (около 5–2 млн лет назад), а также рядом скважин, пробуренных в прибрежной зоне, прилегающей к мысу Биллингс, и на материковом побережье пролива Лонга, согласно неопубликованному отчету Ю. П. Безродных (1981 г.). Палинологические спектры, описанные для отложений района Колымского залива, достаточно хорошо совпадают с результатами исследований южной части Чукотского моря, что, наряду с литологическим их составом, а также характерным акустическим обликом ССТ V, позволяет уверенно проследить его на всей изучаемой площади.

Таким образом, на протяжении большей части позднего плиоцена и в начале четвертичного периода на исследуемой территории существовали континентальные условия, где преобладали эрозионные и денудационные процессы [3]. На обширной равнине с развитой речной сетью происходило накопление аллювиальных и озерных отложений, которые в основном встречаются в погребенных палеодолинах. Береговая линия в начале этого времени располагалась далеко к северу от современного положения, но постепенно (частично из-за опускания различных тектонических блоков) она сместилась к югу [2].

Положение ССТ IV в геофизическом разрезе и анализ результатов бурения в районе Медвежьих островов позволяет соотнести его с отложениями нижнего–среднего неоплейстоцена. Учитывая продолжительность периода формирования сейсмотолщи ССТ IV, можно предположить, что она сложена полигенетическими образованиями, включающими как морские, так и континентальные отложения.

Таким образом, вероятно, в начале неоплейстоцена в пределах современного прибрежного района также преобладали эрозионные и денудационные процессы, обусловленные континентальными условиями. Здесь сформировалась развитая речная сеть, которая проявляется в существующей в настоящее время системе погребенных долин с относительной глубиной до 40 м. Эти палеодолины заполнены преимущественно аллювиальными отложениями (алеврит с примесью песка, глины, гравия и гальки) [22]. Верхняя часть этой толщи, очевидно, накапливалась в мелководных морских условиях.

Во время трансгрессий позднего неоплейстоцена (Каргинская, Казанцевская), когда уровень моря мог превышать современный на 10–15 м, на рассматриваемой площади преобладали процессы осадконакопления, а в период разделявшего их Зырянского похолодания преобладали эрозионно-денудационные процессы, которые усиливались в континентальных условиях во время регрессии моря. В частности тогда образовались многочисленные, но неглубокие речные врезы. В то же время на исследуемой территории отсутствуют формы рельефа, происхождение которых могло бы быть связано с ледниковой деятельностью.

На ряде участков ССТ III подразделяется на две подтолщи. Формирование сейсмотолщи ССТ IIIb (нижней подтолщи), скорее всего, можно сопоставить со временем Казанцевской трансгрессии в позднем неоплейстоцене [10]. Накопление ССТ IIIa (верхней подтолщи), вероятно, происходило в основном во время Каргинской трансгрессии (потепления), во время которой современный уровень моря превышался на 10–15 м (до 30 м) [4; 11; 12; 13].

По данным [3], отложения, сопоставимые с этой толщей, содержат сообщества фораминифер, в основном бореального и арктико-бореального типов, которые могли существовать в мелководных солоноватоводных бассейнах с низкой температурой придонных вод, что хорошо коррелирует с результатами изучения грунтовых колонок.

В конце неоплейстоцена, во время сартанского похолодания падение уровня моря достигло 100–125 м и на всей исследованной территории преобладали континентальные условия [36]. Очевидно, в это время была заложена и развивалась долина р. палео-Колыма, прослеживаемая далеко на север и частично погребенная. Индикатором указанных процессов является сильно расчлененный характер кровли ССТ III, а также приуроченные к ней реликты подводной мерзлоты и газонасыщенные осадки.

Анализ полученных геолого-геофизических данных позволяет утверждать, что образование отложений сейсмотолщи ССТ II происходило после окончания сартанского похолодания, когда на обширных пространствах приморской равнины, располагавшейся в пределах дна современной акватории, началось интенсивное таяние мерзлоты, формирование термокарстовых котловин и развитие речных долин.

Условия осадконакопления в локальных термокарстовых впадинах были достаточно разнообразны, судя по результатам анализа грунтовых колонок 18-ВСМ-3, 18-ВСМ-96 и 18-ВСМ-97 – от практически анаэробных, со спокойной гидродинамикой, с четкой (возможно, годичной) слоистостью и формированием наиболее тонких пелитовых осадков – до аэрированных, благоприятных для активного развития бентоса водоемов с интенсивной гидродинамикой.

По результатам палинологического анализа, отложения колонки 18-ВСМ-97 на интервале 60–170 см соответствуют континентальным условиям осадконакопления. Спорово-пыльцевые спектры отражают существование арктотундровых растительных сообществ, в которых кустарнички карликовой березы или ивы не формировали никакого значительного проективного покрытия либо вовсе отсутствовали. При этом северная граница леса должна была располагаться южнее современной. Изучение поверхностных проб на Новосибирских островах предшественниками [1] показало, что при современном положении границ природных зон в спорово-пыльцевых спектрах присутствуют единичные зерна сосны

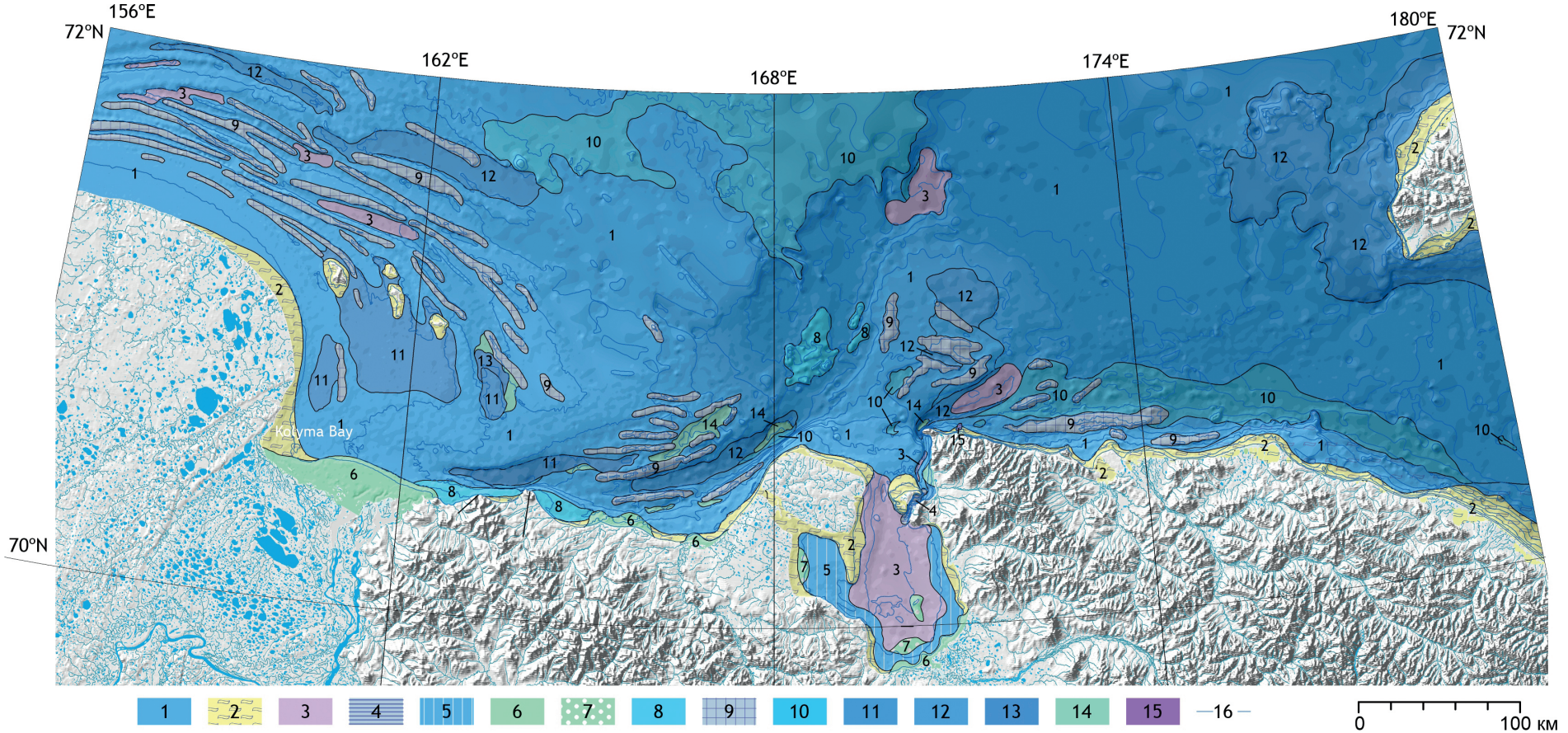

Рис. 13. Геологическая карта четвертичных отложений

1–7 – морские отложения голоцена: *1* – нерасчлененные; *2* – волновые; *3* – нефелоидные; *4* – течениевые; *5* – лагунные; *6* – аллювиально-морские, *7* – дельтовые; *8–9* – морские отложения раннего голоцена: *8* – нерасчлененные; *9* – волновые; *10* – озерные и лагунные позднего неоплейстоцена – раннего голоцена; *11–12* – морские верхнего неоплейстоцена; *13* – морские нижнего – среднего неоплейстоцена; *14* – аллювиальные и морские плиоцена – нижнего неоплейстоцена; *15* – доплиоценовые отложения; *16* – изолинии рельефа морского дна

и ели, а также в большом количестве – пыльца ольховника. Изученные нами образцы их не содержат. В палиноспектрах субрецентных проб, взятых на других арктических архипелагах [38], сегодня также присутствуют единичные зерна древесных, произрастающих по меньшей мере в 2000 км к югу от исследуемого региона. Это свидетельствует о том, что современные климатические условия гораздо более благоприятны для развития растительности, чем условия в период формирования отложений.

Результаты диатомового анализа и геохимические исследования с расчетом палеосолености позволили проследить переход от пресноводных (континентальных) условий седиментации к лагунным (солоноватоводным) и морским. Очень показательной является грунтовая колонка 18-ВСМ-97, по данным диатомового анализа которой можно предположить, что формирование отложений колонки в интервале 79–176 см происходило в континентальных условиях. В отложениях интервала 56–76 см появляются первые одиночные створки диатомовых водорослей с последующим увеличением их численности. Вероятно, в это время морская трансгрессия достигла исследуемой части палеодолины Колымы и началось лагунное осадконакопление. Благоприятные условия для развития диатомовой флоры создаются во время накопления отложений интервала 0–56 см. Диатомовые комплексы этого интервала характеризуются высокой численностью диатомей, преобладанием морских и солоноватоводно-морских видов, в составе которых доминируют планктонные холодноводные неритические и ледово-неритические диатомеи *Chaetoceros, Thalassiosira gravida, T. nordenskioldii, Fragilariopsis oceanica* и др.

Обобщая результаты аналитических исследований, можно предположить, что отложения нижней части колонки 18-ВСМ-97 накапливались в мелководном пресноводном бассейне вблизи источников терригенного материала в позднем плейстоцене – раннем голоцене. Начиная с 60–65 см условия резко изменились в результате морской трансгрессии. Верхняя часть керна, очевидно, может быть отнесена к современным нефелоидным морским отложениям.

К сожалению, полученные к настоящему моменту результаты датирования исследованных грунтовых колонок не позволяют существенно детализировать палеогеографическую схему развития исследуемой площади в ходе трансгрессии, которая для морей Восточной Арктики продолжает оставаться дискуссионной [19; 31], что связано с отсутствием вертикальных рядов датировок отдельных из грунтовых колонок. Однако, согласно наиболее распространенной точке зрения, 11 тыс. лет назад уровень моря находился на –50 м, в период с 11 по 8 тыс. лет назад скорость трансгрессии была очень высокой (до 1 см/год) [35], уровень моря быстро поднимался (до –27 м), а к 5 тыс. лет назад достиг современного [30]. Косвенными признаками возможного наличия перерывов в осадконакоплении, выпадения части разрезов или резкого изменения скоростей седиментации, установленных ранее для соседних участков Чукотского моря [9], являются резкие изменения гранулометрических параметров или наличие прослоев, обогащенных песчаными частицами (рис. 7, 10), резкое изменение палеосолености и плотности отложений вниз по разрезу. Данный вопрос требует продолжения исследований.

ССТ I соответствует морским отложениям голоцена. Морские течениевые и волновые отложения раннего голоцена картируются преимущественно на основе анализа рельефа дна и данных сейсмоакустического профилирования, формируя бароподобные формы рельефа дна на глубинах более 20–30 м, т. е. вне современного волнового поля. В основном они прослеживаются вдоль бортов подводных долин или маркируют палеобереговые линии начальных этапов трансгрессии голоцена. Они также были обнаружены у подножия прибрежного склона на глубине моря более 15 м, где они образуют валы, не соответствующие современным литодинамическим условиям. Отложения голоцена были опробованы несколькими грунтовыми колонками, а их возраст был подтвержден методом радиоуглеродного датирования и микропалеонтологическим методом. В отложениях голоцена установлены наиболее благоприятные условия для развития диатомовой флоры, судя по богатому таксономическому составу диатомовых комплексов, большому количеству створок диатомей, преобладанию неритических видов и относительно значительному количеству солоноватоводных видов.

В устьях нескольких рек в пределах Чаунской губы в голоцене формировались аккумулятивные авандельты. В настоящее время абразионно-аккумулятивные процессы в основном выравнивают рельеф морского дна. В то же время на большей части шельфа происходит относительно медленное накопление наносов и только в пределах отдельных относительно возвышенных участков морского дна, в частности на плато севернее мыса Шелагский и на склонах субаквальной долины, прослеживаемой вдоль береговой линии, наблюдается слабый размыв.

Ведущим современным рельефообразующим процессом является переработка морского дна дрейфующими льдами (торосами) и стамухами. Многочисленные ледовые борозды зафиксированы на всей исследованной площади дна от пролива Лонга до Колымского залива, до глубин моря –50 м [43]. Ширина борозд колеблется в широких пределах от нескольких метров до 100 м и более. Относительная их глубина обычно не превышает 1–1,5 м, но может достигать 3 м. Некоторые из них отличаются «свежим» обликом с хорошо развитыми бортиками обваловки. Их высота достигает 1 м. Иногда борозды захоронены под донными отложениями.

Выполненные исследования позволили составить карту четвертичных отложений южной части Восточно-Сибирского моря (рис. 13).

Выводы. На исследуемой площади Восточно-Сибирского моря впервые были проведены непрерывное сейсмоакустическое профилирование и гидролокация бокового обзора, что позволило выделить пять сейсмотолщ, соотносимых с разными этапами развития территории в плиоцен-четвертичное время, и достаточно уверенно проследить их распространение. Впервые для исследуемой территории получены радиоуглеродные датировки донных отложений. Составлена новая четвертичная геологическая карта масштаба 1 : 1 000 000.

Сейсмотолща V соответствует континентальным отложениям плиоцена – раннего плейстоцена. Сейсмотолща IV коррелируется с отложениями раннего–среднего плейстоцена. В начале плейстоцена в пределах современной площади прибрежной зоны преобладали процессы эрозии и денудации, обусловленные континентальными условиями. Здесь формировались многочисленные палеодолины относительной глубиной до 40 м, заполненные в основном аллювиальными отложениями. Верхняя часть толщи IV, предположительно, накапливалась в мелководных морских условиях.

Положение сейсмотолщи III в геологическом разрезе свидетельствует о том, что накопление формирующих ее отложений происходило в позднем плейстоцене. Отложения ССТ IIIb скорее всего можно сопоставить со временем Казанцевской трансгрессии (70–120 тыс. лет назад). Период Зырянского похолодания (50–75 тыс. лет назад) отражен в разрезе части сейсмоакустических профилей в виде границы, разделяющей ССТ III на две подтолщи. Накопление отложений ССТ IIIa, вероятно, происходило в основном во время Каргинской трансгрессии (потепления) (23–50 тыс. лет назад).

Во время последнего (Сартанского) похолодания на всей территории исследования преобладали континентальные условия, превалировали эрозионные процессы. Формы рельефа или отложений, образовавшихся в результате ледниковой деятельности, в исследуемой прибрежной зоне не обнаружены.

В ходе начавшегося потепления (с 18 тыс. лет назад) на обширных пространствах приморской равнины, располагавшейся в пределах дна современной акватории, началось интенсивное таяние мерзлоты, формирование термокарстовых котловин и развитие речных долин. С этим этапом развития связано формирование отложений сейсмотолщи II.

В колонках донных отложений, отобранных на границе ССТ II и ССТ I, по данным детальных исследований прослеживается переход от пресноводных к лагунным и, далее, к морским условиям седиментации.

Голоценовые осадки ССТ I соотнесены с голоценовыми образованиями и характеризуются значительным фациальным разнообразием. Вопрос наличия перерывов в осадконакоплении, выпадения части разрезов или резкого изменения скоростей седиментации в голоцене, требует дальнейших исследований, в т. ч., послойного датирования органических остатков (раковин моллюсков и фораминифер) по вертикальным разрезам грунтовых колонок.

Благодарности. Полевые работы выполнены в рамках программы Государственного геологического картирования Российской Федерации (масштаба 1 : 1 000 000) (ГК-1000/3). Гранулометрический анализ, определение содержания органического вещества и комплексный анализ данных осуществлен при поддержке гранта РНФ № 22-27-00412. Авторы выражают благодарность всем участникам экспедиции 2018 г. и членам экипажа НИС «Иван Киреев».

1. Анисимов М. А., Москаленко И. Г. Условия формирования рецентных и суб-рецентных спорово-пыльцевых спектров на острова Бенетта (Новосибирские острова) // Вестник СПбГУ. Сер. 7. Геология, география. – 2006. – № 1. – С. 120–130.

2. Байрон И. Ю., Миллер В. Г., Минченок В. Д. Развитие низовьев р. Колымы в плейстоцене // Геоморфология. – 1977. – № 2. – С. 44–51.

3. Вейнбергс И. Г. Древние морские берега СССР (особенности распространения, генезиса и степень изменения) // Дисс. на соиск. степени доктора геогр. наук. – 1990. – 428 с.

4. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Чукотская. Лист R–1,2 – остров Врангеля. Объясни-тельная записка / С. А. Бондаренко, В. А. Виноградов, Ю. В. Горячев, Е. А. Гусев. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2014. – 145 с.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист R-58-(60) – Билибино. Объяснительная записка. – № МПР России, ВСЕГЕИ, Северо-Восточный Геолком, 1999. – 146 с.

6. Григорьев А. Г. Новые данные по истории развития юго-восточной части Балтийского моря от позднеледниковья до современности / А. Г. Григорьев, В. А. Жамойда, М. А. Спиридонов, А. Ю. Шарапова, В. В. Сивков // Региональная геология и металлогения. – 2009. – № 40. – С. 103–114.

7. Гриненко О. В. Верхнекайнозойские отложения Колымской низменности // Кайнозой Восточной Якутии. – Якутск, 1980. – С. 98–113.

8. Гричук В. П., Заклинская Е. Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. – М.: Географгиз, 1948. – 222 с.

9. Гусев Е. А Развитие природной среды южной части Чукотского моря в голоцене / Е. А. Гусев, Н. Ю. Аникина, Л. Г. Деревянко, Т. С. Клювиткина, Л. В. Поляк, Е. И. Полякова, П. В. Рекант, А. Ю. Степанова // Океанология, 2014. – Т. 54, № 4. – С. 505–517.

10. Гусев Е. А. Отложения казанцевской трансгрессии (МИС 5) Енисейского севера / Е. А. Гусев, А. Н. Молодьков, И. Д. Стрелецкая, А. А. Васильев, Н. Ю. Аникина, С. А. Бондаренко, Л. Г. Деревянко, Н. В. Куприянова, Ф. Е. Максимов, Е. И. Полякова, З. В. Пушина, Г. В. Степанова, Г. Е. Облогов // Геология и геофизика. – 2016. – № 4. – С. 743–757.

11. Данилов И. Д. Кайнозой Арктического побережья Чукотки // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1980. – № 6. – С. 53–62.

12. Данилов И. Д. Плейстоцен морских субарктических равнин. – Изд-во МГУ, 1978. – 200 с.

13. Данилов И. Д., Недешева Г. Н., Полякова Е. И. Строение и развитие лагун и баров арктического побережья Чукотки // Геоморфология. – 1980. – № 4. – С. 77–84.

14. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). – Л.: Наука, 1974. – Т. 1. – С. 1–403.

15. Жамойда В. А. Новые данные о формировании плиоцен-четвертичных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования акваториальной части листов R-56–60 / В. А. Жамойда, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, Е. С. Носевич, Д. В. Рябчук, А. Г. Григорьев, Е. П. Пономаренко // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. – 2020. – Вып. 7. – С. 66–75. DOI:10.24411/2687-1092-2020-10710.

16. Жузе А. П., Мухина В. В., Козлова О. Г. Диатомеи и силикофлягелляты в поверхностном слое донных осадков Тихого океана // Микрофлора и микрофауна в современных осадках Тихого океана. – М.: Наука, 1969. – С. 7–47

17. Клювиткина Т. С., Полякова Е. И. Изменения палеогидрологических условий в море Лаптевых в позднем плейстоцене и голоцене по материалам исследования водных палиноморф // Океанология. – 2019. – № 59(3). – С. 433–448.

18. Куприянова Л. А., Алешина Л. А. Пыльца двудольных растений флоры европейской части СССР. – Л.: Наука, 1978. – 184 с.

19. Макаров А. С., Большиянов Д. Ю. Колебания уровня арктических морей России в голоцене // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. – М.: Геогр. ф-т МГУ, 2011. – Вып. 3. – С. 315–320.

20. Полякова Е. И. Арктические моря Евразии в позднем кайнозое. – М.: Науч. мир, 1997. – 146 с.

21. Покровская О. А. Введение в спорово-пыльцевой анализ. – Л.: Наука, 1950. – 460 с.

22. Рекант П. В. Эволюция природных обстановок Лаптевоморской континентальной окраины в позднем плейстоцене на основании анализа сейсмоакустических материалов // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. – Мурманск: Изд-во Кольского НЦ РАН, 2001. – Т. 2. – С. 91–99.

23. Рекант П. В., Петров О. В., Прищепенко Д. В. Формирование складчато-надвиговой структуры южной части шельфа Восточно-Сибирского моря по результатам структурного анализа сейсмических материалов // Региональная геология и металлогения. – 2020. – № 82. – С. 35–59.

24. Рябчук Д. В. Новые данные о развитии южной части Восточно-Сибирского моря в позднем неоплейстоцене-голоцене / Д. В. Рябчук, А. Ю. Сергеев, Л. М. Буданов, В. А. Жамойда, Е. С. Носевич, З. В. Пушина, А. Г. Григорьев, И. А. Неевин, Л. Д. Баширова, Е. В. Пономаренко, Д. В. Прищепенко // Новые данные о развитии южной части Восточно-Сибирского моря в позднем неоплейстоцене-голоцене. – 2020. – № 7. – С. 66–75.

25. Сакулина Т. С. Комплексные геолого-геофизические исследования на опорном профиле 5-АР в Восточно-Сибирском море / Т. С. Сакулина, М. Л. Верба, Т. В. Кашубина, Н. А. Крупнова, С. Н. Табырца, Г. И. Иванов // Разведка и охрана недр. – 2011. – № 10. – С. 17–23.

26. Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития / Отв. ред. Х. Кассенс, А. П. Лисицын, Й. Тиде и др. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – 608 с.

27. Слагода Е. А. Криолитогенные отложения Приморской равнины моря Лаптевых: литология и микроморфология. – Тюмень: Экспресс, 2004. – 119 с.

28. Слободин В. Я. Расчленение разреза Айонской скважины по новым биостратиграфическим данным / В. Я. Слободин, Б. И. Ким, Г. В. Степанова, Ф. Я. Коноваленко // Стратиграфия и палеонтология мезо-кайнозоя Советской Арктики. – Л.: Изд-во ПГО «Севморгеология», 1990. – С. 43–58.

29. Тумской В. Е. Особенности криолитогенеза отложений Северной Якутии в среднем неоплейстоцене – голоцене // Криосфера земли. – 2012. – № 16 (1). – С. 12–21.

30. Bauch H. A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E. et al. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // Global and Planetary Change. – 2001. – No. 31. – Pp. 125–139.

31. Cronin T. M., O'Regan M., Pearce C. et al. Deglacial sea level history of the East Siberian Sea and Chukchi Sea margins // Clim. Past. – 2017. – No. 13. – Pp. 1097–1110.

32. Grigoriev A., Zhamoida V., Spiridonov M. et al. Late-glacial and Holocene palaeoenvironments in the Baltic Sea based on a sedimentary re-cord from the Gdańsk Basin // Climate Re-search. Sp. 26: Environmental change and socio-economic response in the Baltic region. – 2011. – No. 48 (1). – Pp. 13–21.

33. Gusev E. A., Andreeva I. A., Anikina N. Y. et al. Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western Chukchi Sea: New results from shallow drilling and seismic-reflection profiling // Global & Planetary Change. – 2009. – No. 68 (1–2). – Pp. 115–131.

34. Heaton T. J., Köhler P., Butzin M. et al. Marine20-the marine radiocarbon age calibration curve (0–55,000 cal BP) // Radiocarbon. – 2020. – No. 62 (4). – Pp. 779–820.

35. Keigwin L. D., Donnelly J. P., Cook M. S. et al. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea // Geology. – 2006. – Vol.34. – No. 10. – Pp. 861–864.

36. Klemann V., Heim B., Bauch H. A. et al. Sea-level evolution of the Laptev Sea and the East Siberian Sea since the last glacial maximum // Arktos. – 2015. – No. 1. – Pp. 1–8.

37. McNeely R., Dyke A. S., Southon J. R. Canadian marine reservoir ages, preliminary data assessment // Natural Resources Canada. – 2006.

38. Nosevich E. S., Sapelko T. V., Anisimov M. A. Some problems of palynology in Arctic Islands // Conference: XIV International Palynological Congress, X International Organisation of Palaeobotany Conference, Salvador, Brazil, 23–28 October. – 2016. –294 p.

39. Stuiver M. Reimer P. J. Extended 14C data base and revised CALIB 3.014C age calibration program // Radiocarbon. – 1993. – No. 35(1). – Pp. 215–230.

40. Reimer P. J., Austin W., Bard E. et al. The IntCal20 10 Northern Hemisphere Radio-carbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP) // Radiocarbon. – 2020. – No. 62. – Pp. 725–757.

41. Wilson M. F. J., O'Conneli B., Brown C., Guinan J. C., Grehan A. J., Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope // Marine Geodesy. – 2007. – Vol. 30, No. 1–2. – Pp. 3–35.

42. Zazovskaya E., Mergelov N., Shishkov V. et al. Radiocarbon age of soils in oases of East Antarctica Radiocarbon // Special Issue 2: Proceedings of the 22nd International Radiocarbon Conference. – 2017. – No. 59 (2). – Pp. 489–503.

43. Zhamoida V., Budanov L., Dron O., Moskovtsev A., Neevin I., Rekant P., Ryabchuk D., Sergeev A. Distribution of recent and buried ice scours on the shelf of the East Siberian Sea // Abstract book for INQUA 2019, Dublin, Ireland. – 2132 p.

---

1. Anisimov M. A., Moskalenko I. G. Uslovija formirovanija recentnyh i subrecentnyh sporovo-pyl'cevyh spektrov na ostrova Benetta (Novosibirskie ostrova). *Vestnik SPbGU.* Serija 7, Geologija, geografija. 2006, no. 1, pp. 120–130. (In Russia).

2. Bajron I. Yu., Miller V. G., Minchenok V. D. Razvitie nizov'ev r. Kolymy v plejstocene. *Geomorfologija*. 1977, no. 2, pp. 44–51. (In Russia).

3. Vejnbergs I. G. Drevnie morskie berega SSSR (osobennosti rasprostranenija, genezisa i stepen' izmenenija). Diss. na soisk. stepeni doktora geogr. nauk. 1990, 428 p.

4. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (tret'e pokolenie). Serija Chukotskaja. List R–1,2 – ostrov Vrangelja. Ob"jasnitel'naja zapiska [State geological map of the Russian Federation of the third generation. Scale 1 : 1 000 000. Chukotskaja series. Sheets R–1,2 – ostrov Vrangelja. Explanatory note]. S. A. Bondarenko, V. A. Vinogradov, Yu. V. Gorjachev, E. A. Gusev. St. Petersburg, Kartograficheskaja fabrika VSEGEI, 2014, 145 p.

5. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj Federacii. Masshtab 1 : 1 000 000 (novaja serija). List R-58-(60) – Bilibino. Ob"jasnitel'naja zapiska [State geological map of the Russian Federation of the new series. Scale 1 : 1 000 000. Sheets R-58-(60) – Bilibino. Explanatory note]. № MPR Rossii, VSEGEI, Severo-Vostochnyj Geolkom, 1999, 146 p.

6. Grigor'ev A. G. Novye dannye po istorii razvitija jugo-vostochnoj chasti Baltijskogo morja ot pozdneledenikov'ja do sovremennosti. A. G. Grigor'ev, V. A. Zhamojda, M. A. Spiridonov, A. Yu. Sharapova, V. V. Sivkov. *Regional'naja geologija i metallogenija*. 2009, no. 40, pp. 103–114. (In Russia).

7. Grinenko O. V. Verhnekajnozojskie otlozhenija Kolymskoj nizmennosti Kajnozoj Vostochnoj Jakutii. Jakutsk, 1980, pp. 98–113.

8. Grichuk V. P., Zaklinskaja E. D. Analiz iskopaemyh pyl'cy i spor i ego primenenie v paleogeografii. Moscow, Geografgiz, 1948, 222 p.

9. Gusev E. A Razvitie prirodnoj sredy juzhnoj chasti Chukotskogo morja v golocene. E. A. Gusev, N. Yu. Anikina, L. G. Derevjanko, T. S. Kljuvitkina, L. V. Poljak, E. I. Poljakova, P. V. Rekant, A. Yu. Stepanova. *Okeanologija*. 2014, vol. 54, no. 4, pp. 505–517. (In Russia).

10. Gusev E. A. Otlozhenija kazancevskoj transgressii (MIS 5) Enisejskogo severa. E. A. Gusev, A. N. Molod'kov, I. D. Streleckaja, A. A. Vasil'ev, N. Yu. Anikina, S. A. Bondarenko, L. G. Derevjanko, N. V. Kuprijanova, F. E. Maksimov, E. I. Poljakova, Z. V. Pushina, G. V. Stepanova, G. E. Oblogov. *Geologija i geofizika*. 2016, no. 4, pp. 743–757. (In Russia).

11. Danilov I. D. Kajnozoj Arkticheskogo poberezh'ja Chukotki. Izv. AN SSSR. Ser. geol. 1980, no. 6, pp. 53–62.

12. Danilov I. D. Plejstocen morskih subarkticheskih ravnin. Izd-vo MGU, 1978, 200 p.

13. Danilov I. D., Nedesheva G. N., Poljakova E. I. Stroenie i razvitie lagun i barov arkticheskogo poberezh'ja Chukotki. *Geomorfologija*. 1980, no. 4, pp. 77–84. (In Russia).

14. Diatomovye vodorosli SSSR (iskopaemye i sovremennye). Leningrad, Nauka, 1974, vol. 1, pp. 1–403.

15. Zhamojda V. A. Novye dannye o formirovanii pliocen-chetvertichnyh otlozhenij Vostochno-Sibirskogo morja po rezul'tatam geologicheskogo kartirovanija akvatorial'noj chasti listov R-56–60. V. A. Zhamojda, A. Yu. Sergeev, L. M. Budanov, E. S. Nosevich, D. V. Rjabchuk, A. G. Grigor'ev, E. P. Ponomarenko. Rel'ef i chetvertichnye obrazovanija Arktiki, Subarktiki i Severo-Zapada Rossii. 2020, iss. 7, pp. 66–75. DOI:10.24411/2687-1092-2020-10710.

16. Zhuze A. P., Muhina V. V., Kozlova O. G. Diatomei i silikofljagelljaty v poverhnostnom sloe donnyh osadkov Tihogo okeana. Mikroflora i mikrofauna v sovremennyh osadkah Tihogo okeana. Moscow, Nauka, 1969, pp. 7–47.

17. Kljuvitkina T. S., Poljakova E. I. Izmenenija paleogidrologicheskih uslovij v more Laptevyh v pozdnem plejstocene i golocene po materialam issledovanija vodnyh palinomorf. *Okeanologija*. 2019, no. 59(3), pp. 433–448. (In Russia).

18. Kuprijanova L. A., Aleshina L. A. Pyl'ca dvudol'nyh rastenij flory evropejskoj chasti SSSR. Leningrad, Nauka, 1978, 184 p.

19. Makarov A. S., Bol'shijanov D. Yu. Kolebanija urovnja arkticheskih morej Rossii v golocene. Problemy paleogeografii i stratigrafii plejstocena. Moscow, Geogr.fak. MGU, 2011, iss. 3, pp. 315–320.

20. Poljakova E. I. Arkticheskie morja Evrazii v pozdnem kajnozoe. Moscow, Nauch. mir, 1997, 146 p.

21. Pokrovskaja O. A. Vvedenie v sporovo-pyl'cevoj analiz. Leningrad, Nauka, 1950, 460 p.

22. Rekant P. V. Jevoljucija prirodnyh obstanovok Laptevomorsk,oj kontinental'noj okrainy v pozdnem plejstocene na osnovanii analiza sejsmoakusticheskih materialov. Sedimentologicheskie processy i jevoljucija morskih jekosistem v uslovijah morskogo perigljaciala. Murmansk: Izd-vo Kol'skogo NC RAN, 2001, vol. 2, pp. 91–99.

23. Rekant P. V., Petrov O. V., Prishhepenko D. V. Formirovanie skladchato-nadvigovoj struktury juzhnoj chasti shel'fa Vostochno-Sibirskogo morja po rezul'tatam strukturnogo analiza sejsmicheskih materialov. *Regional'naja geologija i metallogenija*. 2020, no. 82, pp. 35–59. (In Russia).

24. Rjabchuk D. V. Novye dannye o razvitii juzhnoj chasti Vostochno-Sibirskogo morja v pozdnem neoplejstocene-golocene. D. V. Rjabchuk, A. Yu. Sergeev, L. M. Budanov, V. A. Zhamojda, E. S. Nosevich, Z. V. Pushina, A. G. Grigor'ev, I. A. Neevin, L. D. Bashirova, E. V. Ponomarenko, D. V. Prishhepenko. Novye dannye o razvitii juzhnoj chasti Vostochno-Sibirskogo morja v pozdnem neoplejstocene-golocene. 2020, no. 7, pp. 66–75.

25. Sakulina T. S. Kompleksnye geologo-geofizicheskie issledovanija na opornom profile 5-AR v Vostochno-Sibirskom more. T. S. Sakulina, M. L. Verba, T. V. Kashubina, N. A. Krupnova, S. N. Tabyrca, G. I. Ivanov. *Razvedka i ohrana nedr*. 2011, no. 10, pp. 17–23. (In Russia).

26. Sistema morja Laptevyh i prilegajushhih morej Arktiki: sovremennoe sostojanie i istorija razvitija. Otv. red. H. Kassens, A. P. Lisicyn, J. Tide et al. Moscow, Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, 2009, 608 p.

27. Slagoda E. A. Kriolitogennye otlozhenija Primorskoj ravniny morja Laptevyh: litologija i mikromorfologija. Tjumen', Jekspress, 2004, 119 p.

28. Slobodin V. Ya. Raschlenenie razreza Ajonskoj skvazhiny po novym biostratigraficheskim dannym. V. Ya. Slobodin, B. I. Kim, G. V. Stepanova, F. Ja. Konovalenko. Stratigrafija i paleontologija mezo-kajnozoja Sovetskoj Arktiki. Leningrad, Izd-vo PGO «Sevmorgeologija», 1990, pp. 43–58.

29. Tumskoj V. E. Osobennosti kriolitogeneza otlozhenij Severnoj Jakutii v srednem neoplejstocene – golocene. *Kriosfera zemli*. 2012, no. 16(1), pp. 12–21. (In Russia).

30. Bauch H. A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E. et al. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin. Global and Planetary Change. 2001, no. 31, pp. 125–139.

31. Cronin T. M., O'Regan M., Pearce C. et al. Deglacial sea level history of the East Siberian Sea and Chukchi Sea margins. Clim. Past. 2017, no. 13, pp. 1097–1110.

32. Grigoriev A., Zhamoida V., Spiridonov M. et al. Late-glacial and Holocene palaeoenvironments in the Baltic Sea based on a sedimentary record from the Gdańsk Basin. Climate Research. Sp. 26: Environmental change and socio-economic response in the Baltic region. 2011, no. 48 (1), pp. 13–21.

33. Gusev E. A., Andreeva I. A., Anikina N. Y. et al. Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western Chukchi Sea: New results from shallow drilling and seismic-reflection profiling. Global & Planetary Change. 2009, no. 68 (1–2), pp. 115–131.

34. Heaton T. J., Köhler P., Butzin M. et al. Marine20-the marine radiocarbon age calibration curve (0–55,000 cal BP). Radiocarbon. 2020, no. 62(4), pp. 779–820.

35. Keigwin L. D., Donnelly J. P., Cook M. S. et al. Rapid sea-level rise and Holocene climate in the Chukchi Sea. Geology, 2006, vol.34, no. 10, pp. 861–864.

36. Klemann V., Heim B., Bauch H. A. et al. Sea-level evolution of the Laptev Sea and the East Siberian Sea since the last glacial maximum. Arktos. 2015, no. 1, pp. 1–8.

37. McNeely R., Dyke A. S., Southon J. R. Canadian marine reservoir ages, preliminary data assessment. Natural Resources Canada. 2006.

38. Nosevich E. S., Sapelko T. V., Anisimov M. A. Some problems of palynology in Arctic Islands // Conference: XIV International Palynological Congress, X International Organisation of Palaeobotany Conference, Salvador, Brazil, 23–28 October. 2016, 294 p.

39. Stuiver M. Reimer P. J. Extended 14C data base and revised CALIB 3.014C age calibration program. Radiocarbon. 1993, no. 35(1), pp. 215–230.

40. Reimer P. J., Austin W., Bard E. et al. The IntCal20 10 Northern Hemisphere Radiocarbon Age Calibration Curve (0–55 cal kBP). Radiocarbon, 2020, no. 62, pp. 725–757.

41. Wilson M. F. J., O'Conneli B., Brown C., Guinan J. C., Grehan A. J., Multiscale Terrain Analysis of Multibeam Bathymetry Data for Habitat Mapping on the Continental Slope. Marine Geodesy. 2007, vol. 30, no. 1–2, pp. 3–35.

42. Zazovskaya E., Mergelov N., Shishkov V. et al. Radiocarbon age of soils in oases of East Antarctica Radiocarbon. Special Issue 2: Proceedings of the 22nd International Radiocarbon Conference. 2017. no. 59 (2), pp. 489–503.

43. Zhamoida V., Budanov L., Dron O., Moskovtsev A., Neevin I., Rekant P., Ryabchuk D., Sergeev A. Distribution of recent and buried ice scours on the shelf of the East Siberian Sea. Abstract book for INQUA 2019, Dublin, Ireland. 2132 p.

Буданов Леонид Михайлович – канд. географ. наук, науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Leonid_Budanov@vsegei.ru>

Сергеев Александр Юрьевич – канд. геол.-минерал. наук, ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Alexander_Sergeev@vsegei.ru>

Жамойда Владимир Александрович – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru>

Рябчук Дарья Владимировна – канд. геол.-минерал. наук, зав. отделом, ВСЕГЕИ [1]. <Daria_Ryabchuk@vsegei.ru>

Неевин Игорь Александрович – зам. зав. отделом, ВСЕГЕИ [1]. <Igor_Neevin@vsegei.ru>

Носевич Екатерина Станиславовна – и. о. зав. отделом, ВСЕГЕИ [1]. <Ekaterina_Nosevich@vsegei.ru>

Пушина Зинаида Викторовна – ст. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ[1]. <musatova@mail.ru>

Григорьев Андрей Глебович – канд. геол.-минерал. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Andrey_Grigiryev@vsegei.ru>

Прищепенко Диана Владиславовна – науч. сотрудник, ВСЕГЕИ [1]. <Diana_Prichepenko@vsegei.ru>

Петров Олег Владимирович – чл.-корр. РАН, ген. директор, ВСЕГЕИ[1]. <vsegei@vsegei.ru>

Баширова Лейла Джангировна – канд. геол.-минерал. наук, зам. директора, ИО РАН[2], БФУ им. И. Канта[3]. <bas_leila@mail.ru>

Пономаренко Екатерина Петровна – мл. науч. сотрудник, ИО РАН[2], БФУ им. И. Канта[3]. <katharina@gmail.com>

Budanov Leonid Mihajlovich – Candidate of Geographical Sciences, Researcher, VSEGEI [1]. <Leonid_Budanov@vsegei.ru>

Sergeev Aleksandr Yur'evich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Senior Researcher, VSEGEI [1]. <Alexander_Sergeev@vsegei.ru>

Zhamoida Vladimir Aleksandrovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI [1]. <Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru>

Ryabchuk Daria Vladimirovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Department, VSEGEI [1]. <Daria_Ryabchuk@vsegei.ru>

Neevin Igor Aleksandrovich – Deputy Head of Department, VSEGEI [1]. <Igor_Neevin@vsegei.ru>

Nosevich Ekaterina Stanislavovna – Acting Head of Department, VSEGEI[1]. <Ekaterina_Nosevich@vsegei.ru>

Pushina Zinaida Viktorovna – Senior Researcher, VSEGEI[1]. <musatova@mail.ru>

Grigor'ev Andrei Glebovich – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, VSEGEI [1]. <Andrey_Grigiryev@vsegei.ru>

Prishchepenko Diana Vladislavovna – Researcher, VSEGEI [1]. <Diana_Prichepenko@vsegei.ru>

Petrov Oleg Vladimirovich – Corresponding Member of RAS, Director General, VSEGEI[1]. <vsegei@vsegei.ru>

Bashirova Leila Dzhangirovna – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director, IO RAS[2], BFU[3]. <bas_leila@mail.ru>

Ponomarenko Ekaterina Petrovna – Junior Researcher, IO RAS[2], BFU[3]. <katharina@gmail.com>

[1] Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского (ВСЕГЕИ). Средний пр., 74, Санкт-Петербург, Россия, 199106.
A. P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74 Sredny Prospect, St. Petersburg, Russia, 199106.

[2] Институт океанологии им. П. П. Ширшова Российской академии наук (ИО РАН). Нахимовский пр., 36, Москва, Россия, 117997.
Institution of Science Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences (IO RAS). 36 Nakhimovskiy Prospect, Moscow, Russia, 117997.

[3] Балтийский федеральный университет им. И. Канта (БФУ). Ул. Александра Невского, 14, Калининград, Россия, 236041.
Baltic Federal University (BFU). 14 Ul. Alexander Nevsky, Kaliningrad, Russia, 236016.