

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 551.89+(268.55)

doi: 10.26907/2542-064X.2023.4.646-663

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОМПЛЕКСНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ, ВКЛЮЧАЯ ПАЛЕОМАГНИТНЫЕ, КОЛОНКИ ДОННЫХ ОСАДКОВ ИЗ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ

*Д.В. Элькина^{1,2}, Е.А. Гусев¹, Д.В. Рябчук², А.Ю. Сергеев²,
Н.А. Костромина^{1,3}, Е.С. Новихина¹, А.А. Гостенина³,
Я.Д. Яржембовский¹, А.Л. Пискарев^{1,3}, А.А. Крылов¹,
Г.И. Ованесян¹, В.А. Жамойда²*

¹ФГБУ «ВНИИОкеангеология», г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

²ФГБУ «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

³Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

Аннотация

Донные отложения арктических морей России изучены с разной степенью детальности. Наименее изучено Восточно-Сибирское море, в четвертичной геологии которого остаются значительные пробелы. В статье приводятся комплексные результаты исследований, включающие впервые полученные результаты палеомагнитных измерений для 9 колонок донных отложений, отобранных в Восточно-Сибирском море в ходе трех рейсов в рамках «Программы государственного геологического картографирования территории и континентального шельфа Российской Федерации масштаба 1:1 000 000». Результаты показали, насколько разнообразны процессы и условия осадконакопления в различных частях моря.

Ключевые слова: Восточно-Сибирское море, донные осадки, голоцен-четвертичные отложения, арктический шельф, палеомагнитные исследования, палинологический анализ, микрофаунистический анализ.

Введение

Донные осадки арктических морей изучены с разной степенью детальности. Комплексно исследованы четвертичные отложения Чукотского, Лаптевых, Баренцева и Карского морей. Значительно хуже обстоит дело с Восточно-Сибирским морем, что связано прежде всего с его значительной ледовитостью, удаленностью и труднодоступностью. Тем не менее в последние годы в различных экспедициях отобраны длинные и короткие колонки донных отложений Восточно-Сибирского моря, которые требуют стратиграфической интерпретации.

В Восточно-Сибирском море по сейсмоакустическим данным [1–4] выделяются области распространения голоценовых морских осадков и места выхода на поверхность более древних образований. Обширные выходы доголоценовых отложений на поверхность дна отмечены в северной части шельфа Восточно-Сибирского моря, где обнажаются темно-серые переуплотненные глины, содержащие фауну фораминифер и остракод, редкие раковинки моллюсков *Portlandia arctica* [Gray, 1824] (стан-

ция AF-0729, 76° 36' 13.8" с. ш., 161° 42' 4.3" в. д., глубина моря – 192 м). Определение возраста осадков по уран-иониевому методу привело к выводу о среднеплейстоценовом возрасте (181 тыс. лет) переуплотненных глин на глубине 52 см [5].

В других ранее изученных колонках с шельфа Восточно-Сибирского моря радиоуглеродным методом получены позднеплейстоцен-голоценовые датировки [4, 6]. Однако при получении значений, превышающих пределы датирования радиоуглеродного метода, появляется необходимость геохронологической привязки вскрытых отложений другими методами и, в частности, палеомагнитным [7, 8]. Именно применение палеомагнитного метода по колонкам скважин в Чукотском море [9] позволило определить эоплейстоцен-позднеплиоценовый возраст вскрытых отложений.

Целью данного исследования является расчленение верхней части осадочного разреза Восточно-Сибирского моря по 9 колонкам донных осадков, отобранным в разных частях бассейна, при использовании комплекса стратиграфических методов, а также предварительная возрастная интерпретация разреза.

1. Материалы и методы

1.1. Станции опробования. В Восточно-Сибирском море в рамках «Программы государственного геологического картографирования территории и континентального шельфа Российской Федерации масштаба 1:1 000 000» ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в 2020 г. на НЭС «Михаил Сомов» (листы S-57, S-58) [10] и ФГБУ «ВСЕГЕИ» в 2018 и 2020 гг. (листы R-57-60, S-55, S-56) [3] с судов «Иван Киреев» (2018 г.) и «Капитан Воронин» (2020 г.) соответственно проводили отбор колонок донных осадков при помощи гравитационных трубок (рис. 1). В табл. 1 приведены характеристики станций отбора колонок и длина последних.

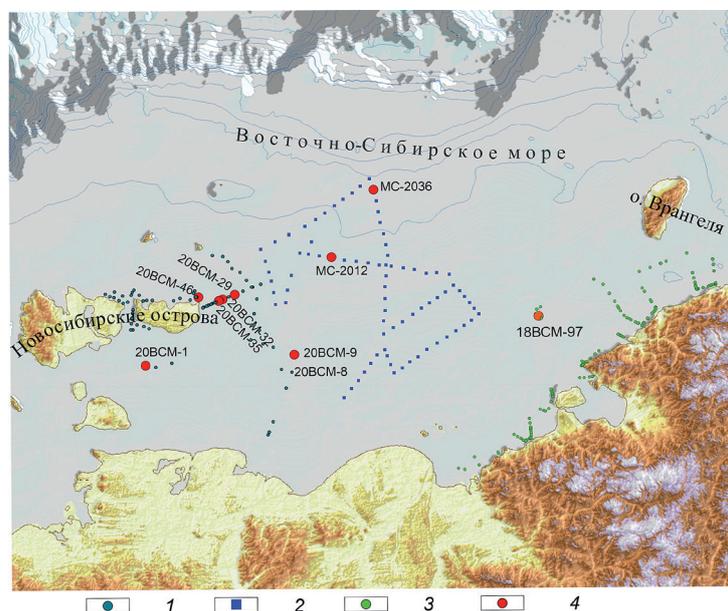


Рис. 1. Станции отбора колонок в ходе экспедиций 2018–2020 гг. в Восточно-Сибирском море: 1 – экспедиция 2020 г., ФГБУ «ВСЕГЕИ»; 2 – экспедиция 2020 г., ФГБУ «ВНИИОкеангеология»; 3 – экспедиция 2018 г., ФГБУ «ВСЕГЕИ»; 4 – колонки, по которым были проведены палеомагнитные исследования

Табл. 1

Станции отбора колонок донных осадков

Номер станции	Координаты, °	Глубина моря, м	Длина колонки, см
18ВСМ-97т	71.4145 с. ш., 170.3817 в. д.	48.7	176
20ВСМ-1т	74.2784 с. ш., 145.7165 в. д.	18	24
20ВСМ-9т	73.4349 с. ш., 155.785 в. д.	33	180
20ВСМ-29т	75.006858 с. ш., 153.2726 в. д.	17	37
20ВСМ-32т	75.008 с. ш., 152.7472 в. д.	14	50
20ВСМ-35т	75.0083 с. ш., 152.4034 в. д.	18	21
20ВСМ-46т	75.235265 с. ш., 151.118786 в. д.	20	22.5
МС-2012т	74.7673 с. ш., 161.5283 в. д.	37	171
МС-2036т	75.4006 с. ш., 167.1155 в. д.	65	119

1.2. Палеомагнитные измерения. Отбор образцов на палеомагнитные исследования производили сплошным образом для всех 9 колонок (см. табл. 1). Для этого использовали пластмассовые кубики с размерами граней 19×19×20 мм и внутренним объемом около 8 см³ для колонок 18-ВСМ-97т, 20ВСМ-1т, 20ВСМ-9т, 20ВСМ-29т, 20ВСМ-32т, 20ВСМ-35т, 20ВСМ-32т, 20ВСМ-35т. Из колонок МС-2012т и МС-2036т пробоотбор осуществляли при помощи стеклянных цилиндров диаметром от 2.1 до 2.5 см и высотой от 2 до 2.3 см, используя методику, описанную В.В. Кочегурой [7].

Палеомагнитные измерения проводили с использованием оборудования ресурсного центра «Геомодель» Научного парка Санкт-Петербургского государственного университета. Измерения естественной остаточной намагниченности (ЕОН) выполнялись на СКВИД-магнитометре SRM-755 (2G Enterprises, США). В ходе процедуры ступенчатое размагничивание переменным магнитным полем проводили с шагом 5 мТл в диапазоне от 5 до 30 мТл, а в диапазоне от 30 мТл до максимального поля 100 мТл с шагом 10 мТл. По результатам размагничивания методом компонентного анализа (РСА) [11] была рассчитана характеристическая компонента (*ChRM*) остаточной намагниченности, характеризуемая минимальными значениями максимального углового отклонения (*MAD*). Расчет направлений *ChRM* проводился с помощью программы Demagnetization Analysis in Excel [12] с использованием шагов размагничивания от 20 до 70–90 мТл. Также было рассчитано значение медианного разрушающего поля (*MDF AF*). Размагничивание *AF* и расчет *ChRM* были проведены для большей части образцов из колонок МС-2012т и МС-2036т [8] и частично – для колонок 18ВСМ-97т и 20ВСМ-9т.

Объемную магнитную восприимчивость колонок МС-2012т, МС-2036т и 18ВСМ-97т измеряли с помощью прибора Bartington MS2E1 (Bartington, Великобритания) с интервалом 2.5 см. Измерения магнитной восприимчивости по колонкам 20ВСМ-1т, 20ВСМ-9т, 20ВСМ-29т, 20ВСМ-32т и 20ВСМ-46т выполняли в Институте океанологии им. П.П. Ширшова Российской академии наук с использованием системы Bartington MS3 (Bartington, Великобритания) и точечного поверхностного датчика Bartington MS2E (шаг измерения – 0.5 см).

Измерения анизотропии магнитной восприимчивости (*AMS*) проводили для колонок 18ВСМ-97т, МС-2012т и МС-2036т в РЦ «Геомодель» Научного парка СПбГУ с помощью каптамоста МФК1-FA (Agico, Чехия) на кубических образцах в трех положениях и с использованием полуавтоматически вращающегося держателя, а на цилиндрах – с использованием автоматически вращающегося держателя.

1.3. Палинологический анализ. Колонка донных отложений МС-2036т была изучена методом спорово-пыльцевого анализа. Проанализировано 29 проб в интервале глубин 0–118 см (в том числе поверхностная донная проба). Обработку проб проводили с применением плавиковой кислоты [13]. Для дальнейшего расчета концентраций пыльцы при лабораторной подготовке добавляли таблетки *Lycopodium* [14]. При расчете процентного соотношения каждого пыльцевого и спорового таксона сумма пыльцы наземных растений, за исключением водных и прибрежно-водных, принималась за 100%. Процентное соотношение спор, грибов и зеленых водорослей рассчитывали исходя из этой суммы. Построение спорово-пыльцевой диаграммы производили в программе *Tilia* [15]. Обработку проб для спорово-пыльцевого анализа проводили в научной лаборатории геоморфологических и палеогеографических исследований полярных регионов и Мирового океана Института наук о Земле СПбГУ.

1.4. Микрофаунистический анализ. Пробы, отобранные по колонке МС-2036т, замораживали при температуре -20°C непосредственно на борту судна сразу после отбора. В лаборатории замороженные пробы обрабатывали методом высушивания в критической точке, взвешивали, после чего промывали на двух ситах с ячейками 63 и 125 мкм. Полученные фракции просушивали при температуре $45\text{--}60^{\circ}\text{C}$. Для фораминиферового анализа использовали размерную фракцию > 125 мкм. В каждой пробе определяли видовую принадлежность фораминифер и подсчитывали количество каждого вида.

1.5. Литологическое описание, гранулометрические исследования, данные радиоуглеродного датирования, расчленение верхней части геологического разреза с выделением сейсмотолщ и слагающих их отложений по шести колонкам 20ВСМ и колонке 18ВСМ-97т выполнены коллективом авторов и приведены в работах [1, 3, 4, 16].

2. Результаты исследования

На рис. 2 представлены результаты измерений ЕОН по колонкам, отобранным в западном сегменте Восточно-Сибирского моря. Следует отметить, что часть колонок характеризуется типичными для донных осадков значениями магнитной восприимчивости $(20\text{--}30) \times 10^{-5}$ СИ, возрастая к забою до 40×10^{-5} СИ. При этом величина ЕОН не превышает 0.01 А/м для всех колонок, кроме самой мористой – 20ВСМ-9т и двух образцов на глубине 9–11 см 20ВСМ-35т.

Колонка 20ВСМ-29т вскрыла 35 см плотных сухих глинистых алевролитов. Отложения колонки характеризуются исключительно выдержанным гранулометрическим составом. Палеомагнитные параметры же показывают пилообразно меняющееся от 30° до 75° наклонение ЕОН, тогда как склонение заметно меняется на границе перехода между мягко- и тугопластичными отложениями, величина ЕОН понижается, а магнитная восприимчивость, наоборот, возрастает.

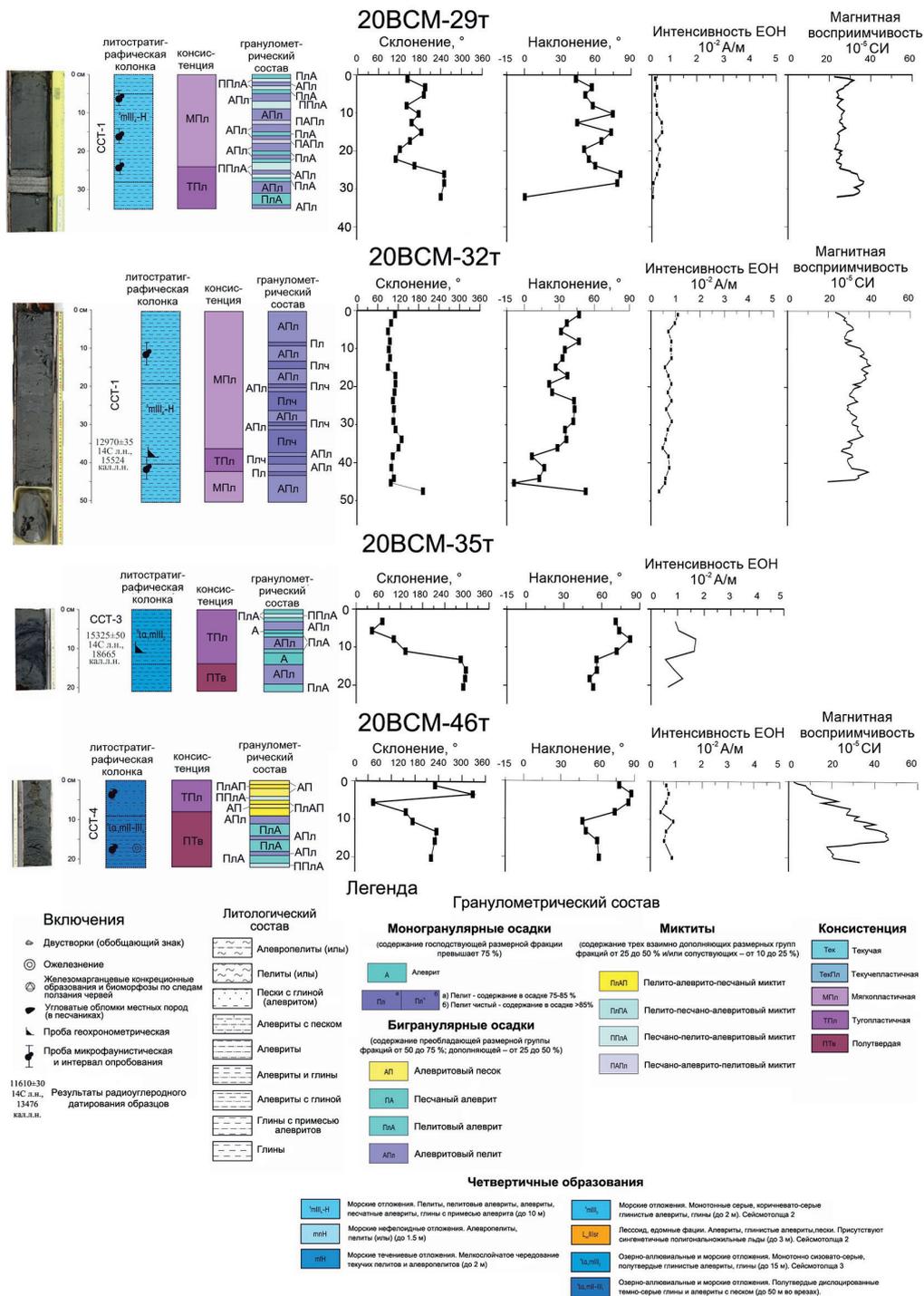
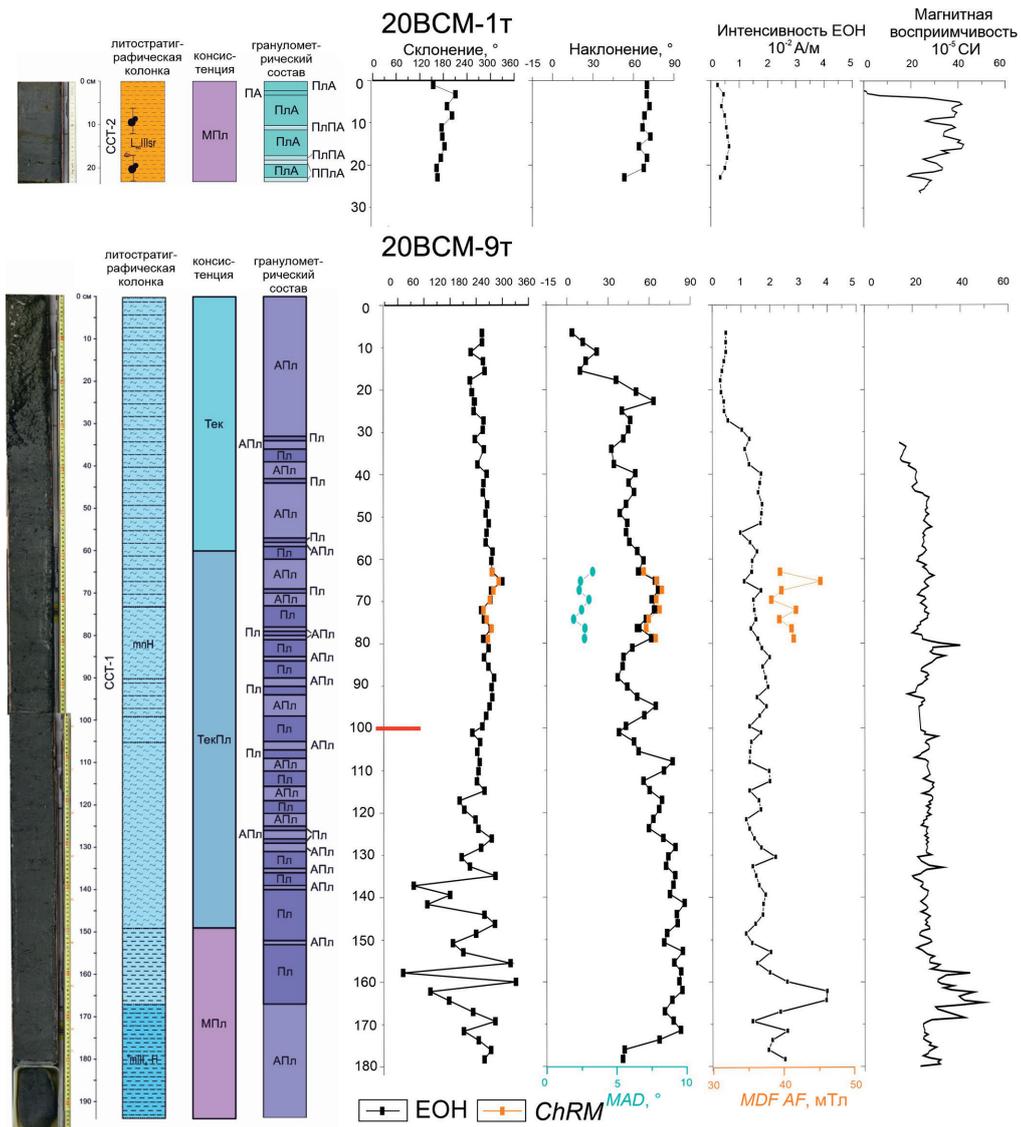


Рис. 2. Результаты палеомагнитных измерений колонок, отобранных в западной части Восточно-Сибирского моря



Продолжение рис. 2. Результаты палеомагнитных измерений колонок, отобранных в западной части Восточно-Сибирского моря

Колонка 20VSM-32т вскрыла 60 см плотных серых алевроглин. В целом верхние 20 см колонки сложены более грубыми отложениями, чем нижние 25 см. Наклонение ЕОН с верха колонки до 45 см уменьшается от 45° до -10° при стабильных склонении, величине ЕОН и магнитной восприимчивости. Все образцы были отобраны из одной, верхней секции колонки (от 0 до 50 см); нарушений осадка не наблюдалось.

Колонка 20VSM-35т отобрана в тальвеге эрозионной ложбины к востоку от острова Новая Сибирь и вскрывает слоистые отложения. Консистенция отложений изменяется от полутвердой до тугопластичной. На этой границе склонение ЕОН поворачивается на 180° вместе с падением наклона приблизительно на 30°.

Отложения колонки 20ВСМ-46т очень плотные, сухие (полутвердые, тугопластичные), с карманом, заполненным песком. Здесь тоже присутствует поворот склонения на границе перехода от тугопластичной к полутвердой консистенции.

В колонке 20ВСМ-1т, отобранной южнее, преобладают пелитовые, пелито-песчаные алевритовые миктиты, песчаный алеврит. По изменчивому гранулометрическому составу осадков предполагается активная динамика среды седиментации, либо разнонаправленные источники сноса. При этом наклонение ЕОН стабильно близко к 75° .

Колонка 20ВСМ-9т, самая длинная из изученных в данном секторе, отобрана на пологом склоне седиментационного бассейна. Отложения представлены зеленовато-серыми алевропелитами и пелитами. Наклонения ЕОН после возрастания величины ЕОН на 25 см далее меняются вниз по колонке с 45° до 75° . Глубже 145 см склонение претерпевает частые вариации: особенно выделяется интервал 150–170 см, где также наблюдаются пики магнитной восприимчивости. Рассчитанные $ChRM$ для одного интервала в середине колонки почти не отличаются от значений ЕОН, имеют MAD менее 5 и $MDF AF$ около 45 мТл.

В колонке МС-2012т (рис. 3) с самого верха отмечаются невысокие наклонения $ChRM$, в среднем около 45° , тогда как современное наклонение геомагнитного поля в этой точке равно 82.717° [17]. В верхней части колонки наклонения $ChRM$ чередуются между 40° и 60° , в средней части доходят до отрицательных, возвращаясь в 50 – 60° , и в конце наклонение $ChRM$ восстанавливается, переходя от 50° до 70° . Это также отражается и в интенсивности ЕОН. Максимальное значение MAD равно 15° на глубине 38 см, значения для остальных образцов в основном менее 10° . На глубине 83 см наблюдается единичный образец с отрицательным наклонением. Колонка довольно однородна по цвету и представлена песчаным алевропелитом с включениями и прослоями гидротроилита.

Как и 18ВСМ-97т, колонку МС-2036т составляют высокие положительные наклонения. Причем 18ВСМ-97т демонстрирует более стабильные значения, тогда как у МС-2036т к низу колонки величина намагниченности падает. Вместе с ней постепенно понижается $MDF AF$. На последних трех образцах падает и наклонение $ChRM$ с 76 до 35° (на глубине 108–119 см).

Колонка 18ВСМ-97т имеет распределение осей AMS без видимой определенной закономерности, а у МС-2036т заметно расположение К1 (минимальная ось эллипсоида AMS) преимущественно в одной полосе, а К2 и К3, по крайней мере, для части образцов, располагаются внахлест. Такое распределение является признаком действия сильного течения [18]. При этом магнитные частицы 18ВСМ-97т практически изотропны (максимальное значение показателя анизотропии – 1.015), а МС-2036т обладает максимальной анизотропией магнитной восприимчивости из всех изученных колонок (максимальное значение показателя анизотропии – 1.09). В колонке МС-2012т, наоборот, согласно измерениям AMS , осадконакопление происходило в спокойных условиях, что характеризуется распределением осей эллипсоида AMS , где К1 находится в центре, а К2 и К3 – по экватору и не имеют определенной закономерности [18, 19].

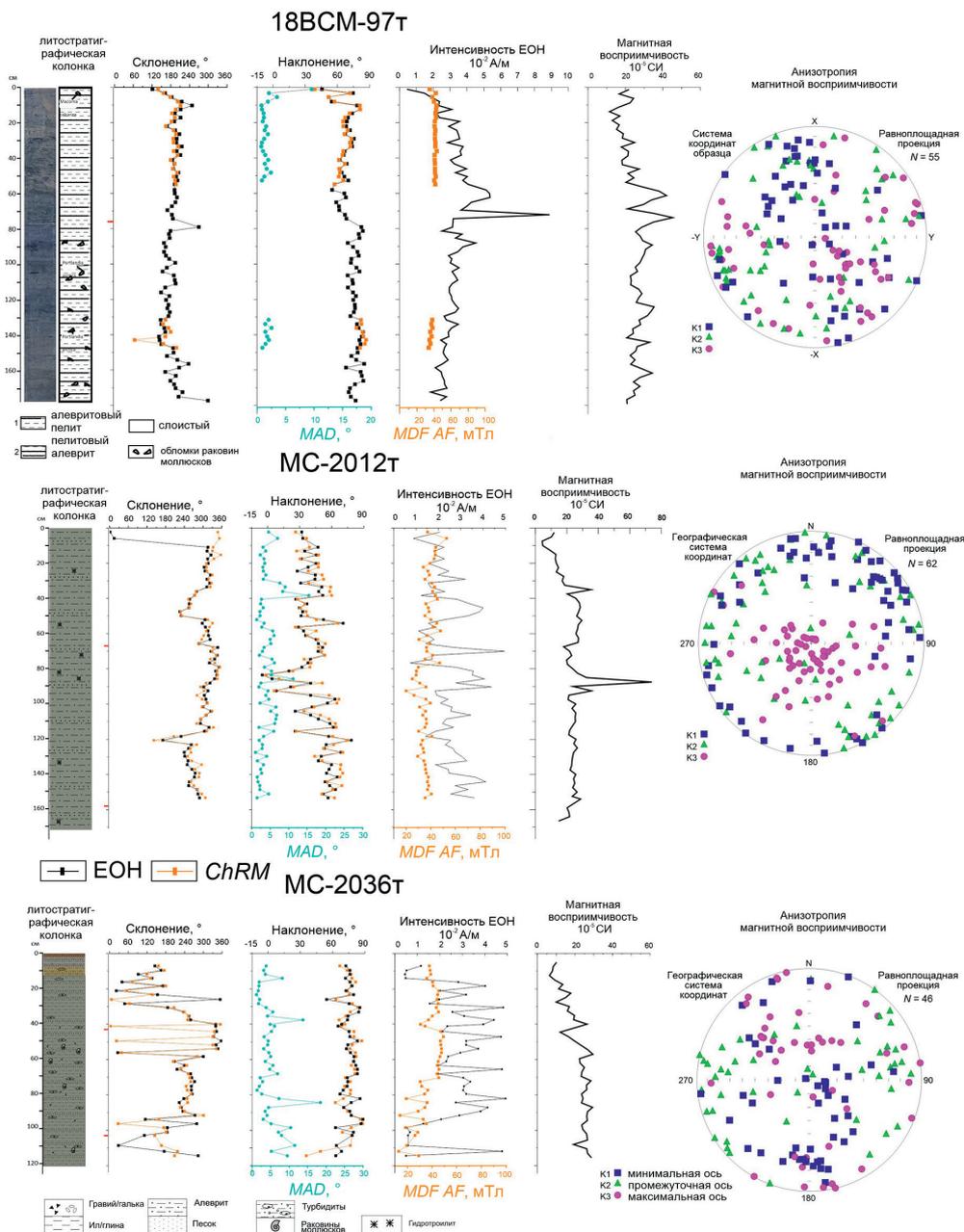


Рис. 3. Результаты палеомагнитных исследований колонок донных осадков, отобранных в центральной части Восточно-Сибирского моря

По результатам палинологического анализа образцов колонки MC-2036t было выделено 14 пыльцевых и 5 споровых таксонов (подробнее это описано в работе [20]). Была составлена спорово-пыльцевая диаграмма (рис. 4), на которой можно выделить три пыльцевые зоны. Концентрация пыльцы не превышает 2500 пыльцевых зерен на мг осадка и постепенно уменьшается вверх по колонке. В спектрах по всей глубине колонки доминирует пыльца трав, преимущественно осоковых и злаков. В группе древесных и кустарниковых растений преобладает пыльца бе-

резы, ольхи и ивы. Содержание спор в спектрах незначительно. Основу данной группы составляют споры папоротников и сфагновых мхов. Помимо этого, во всех образцах отмечается наличие переотложенных спор и пыльцы, процентное содержание которых увеличивается к верхней части. Основу спектра в данной группе составляют переотложенная пыльца голосеменных и дочетвертичные споры.

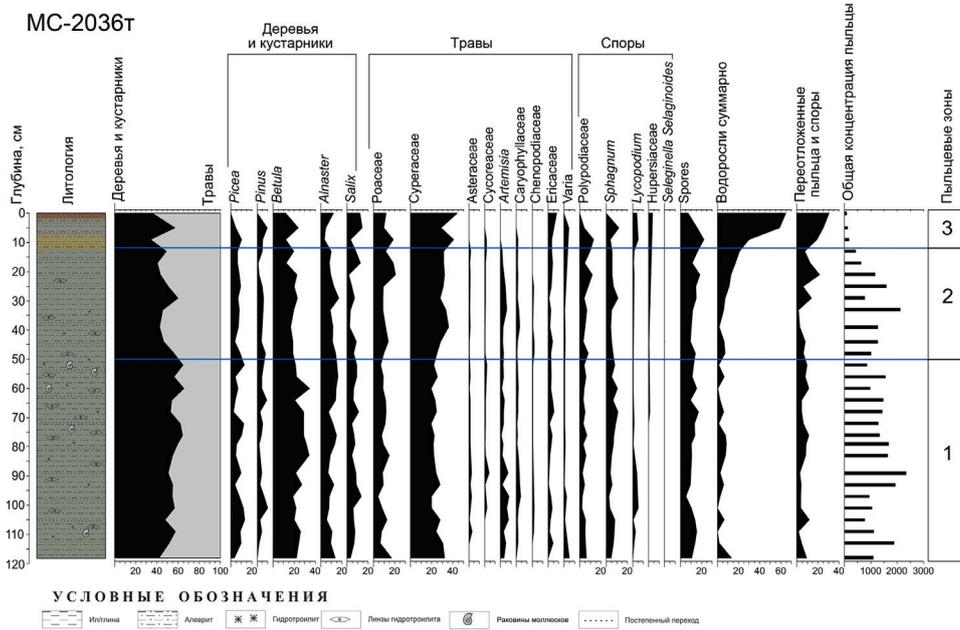


Рис. 4. Споро-пыльцевая диаграмма колонки МС-2036т (палинолог Н.А. Костромина)

В исследованных пробах из колонки МС-2036т было выявлено 49 форм бентосных фораминифер, из них 41 определены до вида, большая часть микрофауны представлена бентосными формами с известковой раковиной (рис. 5).

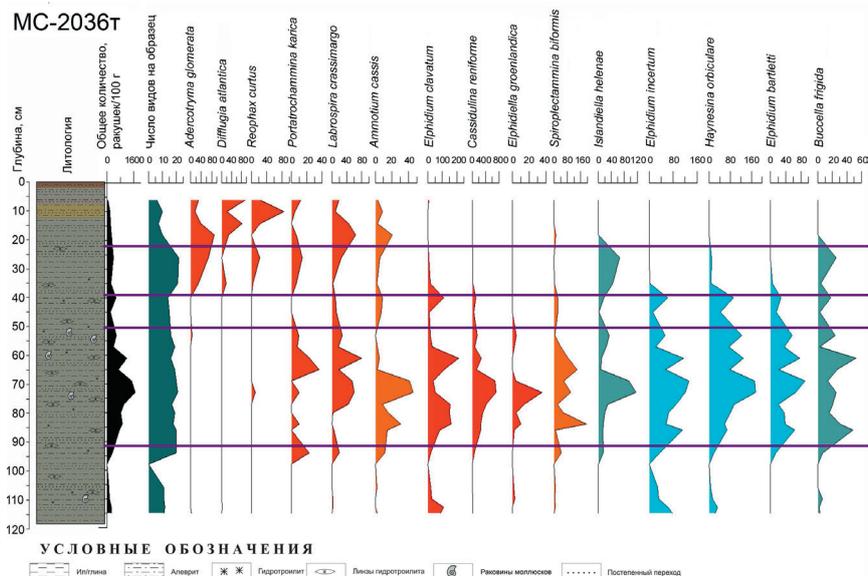


Рис. 5. Результаты микрофаунистического анализа

Планктонные фораминиферы в изученных образцах отсутствуют. В изученной колонке фораминиферы встречаются по всей длине, наполненность образцов и видовое разнообразие свидетельствуют об автохтонности сообществ фораминифер. В целом видовой состав фораминифер в изученном разрезе является обычным для шельфа северных морей [21, 22] и говорит о голоценовом возрасте изученных отложений. Основу комплекса составляют типичные арктические виды, характерные для внутреннего мелководного шельфа, и солоновато-водные виды.

3. Обсуждение результатов

Согласно радиоуглеродным возрастам и выделенным сейсмотолщам [1, 16], изученные колонки представляют собой отложения от позднего неоплейстоцена до голоцена. В большей части исследованных колонок на кривой наклонений не наблюдаются ярко выраженные реперные события. При этом в колонке 20ВСМ-32т на глубине радиоуглеродного возраста около 15 тыс. кал. л. н., полученного по рассеянной органике, т. е., скорее всего, удревненного, наблюдается единственное отрицательное наклонение, полученное для этой части Восточно-Сибирского моря, которое может соответствовать экскурсу геомагнитного поля Гетеборг (9–12 тыс. кал. л. н., см., например, работу [23]), отмеченного в отложениях Баренцева моря [24]. В более древней колонке – 20ВСМ-35т (18 тыс. кал. л. н.) – такого поведения уже не наблюдается.

В то же время колонка 18ВСМ-97т, отобранная в центральной части Восточно-Сибирского моря в 7 км от колонки 18ВСМ-96т, для которой в интервале 169–170 см радиоуглеродный возраст определен как 21 753 кал. л. н. [1], не имеет никаких признаков фиксации экскурсов геомагнитного поля. В той же работе отмечается, что отложения нижней части колонки 18ВСМ-97т накапливались в мелководном пресноводном бассейне вблизи источников терригенного материала в позднем плейстоцене – раннем голоцене, а с 60–65 см условия резко изменились в результате морской трансгрессии.

Сейсмоакустическое профилирование и съемка многолучевым эхолотом в районе отбора колонок МС-2012т и МС-2036т, выполненные в ходе работ ФГБУ «ВНИИОкеангеология» в пределах листов S-57, 58 [2], показали, что поверхность дна покрыта многочисленными следами ледового выпаживания. Борозды имеют линейный характер, но различную ориентировку. Глубина борозд достигает 2–3 м. Эти данные свидетельствуют в пользу определенного перемещения осадков килевыми частями льдов, что может быть одной из причин заниженных наклонений в колонке МС-2012т. При этом по данным *AMS* осадконакопление происходило в спокойных условиях, поэтому, вероятно, имело место относительно быстрое переосаждение нарушенного осадка.

Кроме того, в колонках 20ВСМ-35т и 20ВСМ-46т, неоплейстоценового возраста, четко отражается граница смены консистенции отложений, что может говорить о резкой смене условий осадконакопления. Нарушения осадка в ходе его разрезания и во время пробоотбора не отмечались, а колонки 20ВСМ-35т и 20ВСМ-46т состояли из единичных ненарушенных секций, из которых сплошным образом отбирались кубики на палеомагнитные исследования. При этом предполагается, что отложения, вскрытые колонкой 20ВСМ-35т, дислоцированы, очевидно, при выпаживающем воздействии льда.

Также у колонок из центрально-северной части Восточно-Сибирского моря отмечаются более высокие значения величин ЕОН и магнитной восприимчивости и присутствует некоторая цикличность изменения склонения и наклонения.

Реконструкция динамики растительности по колонке МС-2036т затруднена из-за низкой концентрации пыльцевых зерен и значительной доли переотложенных форм. Перенос пыльцевых зерен происходил, вероятнее всего, под действием нескольких причин, таких как эоловый перенос и перемещение водными потоками. В период формирования изученных палиноспектров значительных изменений в условиях развития растительности не происходило. В период формирования отложений нижней части колонки можно предполагать существование арктических тундр на ближайшей суше. При этом наличие пыльцы ольховника может свидетельствовать о том, что граница типичных тундр находилась севернее, чем современная. Пыльцевые спектры палинозоны 1 (наиболее стабильной) достаточно хорошо согласуются с пыльцевыми спектрами голоценовых отложений острова Большой Ляховский [25]. Спорово-пыльцевые спектры морских отложений, изученных в восточной части Восточно-Сибирского моря [4], также характеризуют тундровую растительность, однако в них отмечается большая доля пыльцы хвойных пород, что может быть связано с более близким положением границы леса. Кроме того, от середины палинозоны 1 до конца колонки наклонения *ChRM* начинают колебаться, пока к концу колонки не снижаются. Также меняются и другие параметры. Можно предположить, что на этой глубине проходит нижняя граница голоцена, маркируемая экскурсом Гетеборг, хотя, опять же, сомнения вызывает появление такого эпизода на самом конце колонки.

По бентосным фораминиферам в разрезе колонки МС-2036т прослеживается влияние на данный район речного стока разной степени интенсивности. В нижнем интервале (94–117 см) колонки МС-2036т малочисленность сообщества, низкое видовое разнообразие, доминирование вида-оппортуниста (*E. clavatum*) и вида, характерного для опресненных условий (*E. incertum*), позволяют сделать заключение о нестабильных олиготрофных условиях с сильным опреснением. Его сменяет интервал колонки 53–88 см с сообществом, характеризующимся высокой численностью и видовым разнообразием. Исходя из наличия многочисленных раковин двустворчатых моллюсков и присутствия тепловодного вида фораминифер *Asterillina pulchella*, можно предположить наличие температурного оптимума в этом интервале. На протяжении всего интервала фиксируется сильное опресняющее влияние речного стока. Далее идет переходный интервал (40–47 см), в котором общая численность и разнообразие фораминифер сокращается, а присутствующие виды являются показателями солоновато-водных и нестабильных условий. Интервал 26–38 см характеризуется высокой продуктивностью атлантических вод и сезонным присутствием морского льда. Верхний интервал 6–20 см представлен исключительно агглютинированными формами фораминифер. Это холодноводный комплекс, характерный для современного внутреннего арктического шельфа. Присутствие же единичных раковин *Ammotium cassis* говорит о слабом влиянии речного стока на данный район. Изменения во влиянии речного стока также отражаются на вариациях склонения *ChRM* колонки МС-2036т, которые четко следуют выделенным интервалам сообществ бентосных фораминифер (см. рис. 3 и 5). Таким образом, совокупно оба метода фиксируют изменчивость проявления течений в исследуемом осадке, подтверждаемую также распределением осей эллипсоида *AMS*.

Таким образом, например, в отличие от соседнего Чукотского шельфа, где скважинами вскрыты и отрицательно намагниченные дочетвертичные образования, возраст изученных осадков Восточно-Сибирского моря позднеплейстоцен–голоценовый.

Заключение

Слабая изученность и сложность строения верхних горизонтов осадочного чехла Восточно-Сибирского шельфа, как и других арктических морей, не позволяют уверенно датировать отражающие горизонты на сейсмоакустических профилях и колонки осадков из грунтовых трубок.

Первые результаты палеомагнитных исследований, проведенных по колонкам донных осадков из разных частей моря, продемонстрировали, насколько палеомагнитный метод может быть чувствителен к изменениям условий осадконакопления. Колонки показали сильно отличающуюся картину, что может характеризовать меняющиеся условия осадконакопления от одного района Восточно-Сибирского моря к другому, а также особенности рельефа морского дна в конкретной точке прободора. Для более полноценного результата требуется сосредоточиться на менее обширных площадях восточно-арктического шельфа и проводить исследования на более детально опробованных колонках донных осадков в рамках сети разрезов. Тем не менее палеомагнитный метод вместе с данными палинологического и микрофаунистического анализа позволил определить позднеплейстоцен–голоценовый возраст вскрытых колонками донных осадков Восточно-Сибирского моря.

Благодарности. Аналитические исследования выполнены при поддержке гранта РНФ № 22-27-00412, <https://rscf.ru/project/22-27-00412/>.

Литература

1. Буданов Л.М., Сергеев А.Ю., Жамойда В.А., Рябчук Д.В., Невин И.А., Носевич Е.С., Пушина З.В., Григорьев А.Г., Прищепенко Д.В., Петров О.В., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П. Новые данные по сеймостратиграфии и палеогеографическому развитию Восточно-Сибирского моря // Региональная геология и металлогения. 2022. № 92. С. 5–27. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_92_5-27.
2. Гусев Е.А., Крылов А.А., Маев П.А., Понимаскин А.И., Озеров И.С., Пронин И.С., Бирюков Е.А., Рыбницкий Е.Е., Задорожный Т.Н., Покровская С.О. Результаты сейсмоакустического профилирования в западной части Восточно-Сибирского моря // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Вып. 8. С. 58–61. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2021-8-58-61>.
3. Жамойда В.А., Сергеев А.Ю., Буданов Л.М., Носевич Е.С., Рябчук Д.В., Григорьев А.Г., Пономаренко Е.П. Новые данные о формировании плиоцен-четвертичных отложений Восточно-Сибирского моря по результатам геологического картирования акваториальной части листов R-56-60 // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2020. Вып. 7. С. 66–75. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10710>.
4. Ryabchuk D.V., Sergeev A.Y., Budanov L.M., Zhamoida V.A., Nosevich E.S., Pushina Z.V., Grigoriev A.G., Neevin I.A., Bashirova L.D., Ponomarenko E.V., Prishchepencko D.V. New data on the geological development of the southern part of the East Siberian Sea in the late Pleistocene-Holocene // Oceanology. 2022. V. 62, No 6. P. 903–918. <https://doi.org/10.1134/S0001437022400041>.
5. Гусев Е.А., Рекант П.В., Большианов Д.Ю., Лукашенко Р.В., Попко А.О. Псевдогляциальные структуры подводных гор поднятия Менделеева (Северный Ледовитый океан) и континентальной окраины Восточно-Сибирского моря // Проблемы Арктики и Антарктики. 2013. № 4(98). С. 43–55.

6. *Astakhov A.S., Babich V.V., Shi X., Hu L., Obrezkova M.S., Aksentov K.I., Alatorsev A.V., Darin A.V., Kalugin I.A., Karnaukh V.N., Melgunov M.S.* Climate and ice conditions of East Siberian Sea during Holocene: Reconstructions based on sedimentary geochemical multiproxy // *The Holocene*. 2023. V. 33, No 1. P. 3–13. <https://doi.org/10.1177/09596836221126049>.
7. *Кочегура В.В.* Применение палеомагнитных методов при геологической съемке шельфа. СПб.: Издательство ВСЕГЕИ, 1992. 143 с.
8. *Элькина Д.В., Гостенина А.А., Пискарев А.Л., Гусев Е.А.* Первые результаты палеомагнитных исследований по колонкам донных осадков, опробованным в Восточно-Арктических морях // *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. 2021. Вып. 8. С. 302–308. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2021-8-302-308>.
9. *Gusev E.A., Andreeva I.A., Anikina N.Y., Bondarenko S.A., Derevyanko L.G., Iosifidi A.G., Klyuvitkina T.S., Litvinenko I.V., Petrova V.I., Polyakova E.I., Popov V.V., Stepanova A.Y.* Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western Chukchi Sea: New results from shallow drilling and seismic-reflection profiling // *Global Planet. Change*. 2009. V. 68, No 1–2. P. 115–131. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.025>.
10. *Гусев Е.А., Крылов А.А., Яржембовский Я.Д., Элькина Д.В., Новихина Е.С., Костромина Н.А., Комаров А.Ю., Горбунов Д.А., Бочкарев А.В., Захаров В.Ю.* О первых результатах проведения морских геологосъемочных работ масштаба 1:1 000 000 в рамках листов Государственной геологической карты РФ S-57, 58 (Восточно-Сибирское море) // *Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России*. 2020. Вып. 7. С. 52–59. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10708>.
11. *Kirschvink J.L.* The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data // *Geophys. J. Int.* 1980. V. 62, No 3. P. 699–718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>.
12. *Sagnotti L.* Demagnetization Analysis in Excel (DAIE). An open source workbook in Excel for viewing and analyzing demagnetization data from paleomagnetic discrete samples and u-channels // *Ann. Geophys.* 2013. V. 56, No 1. Art. D0114. <https://doi.org/10.4401/ag-6282>.
13. *Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M.* Pollen analysis and pollen diagrams // *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology* / Ed. by B.E. Berglund. International Geological Correlation Programme, Project 158B. Chichester: John Wiley & Sons, 1986. P. 455–484.
14. *Stockmarr J.* Tablets with spores used in absolute pollen analysis // *Pollen Spores*. 1971. V. 13. P. 615–621.
15. Tilia software. URL: <https://www.neotomadb.org/apps/tilia>.
16. *Сергеев А.Ю., Рябчук Д.В., Жамойда В.А., Буданов Л.М., Ковалева О.А., Неевин И.А., Токарев М.Ю., Баширова Л.Д., Пономаренко Е.П.* Морфология и генезис подводных валов и гряд Восточно-Сибирского моря // *Геоморфология и палеогеография*. 2023. Т. 54, № 3. С. 26–38. <https://doi.org/10.31857/S294917892303009X>.
17. World Magnetic Model 2020 Calculator. URL: https://geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html.
18. *Tauxe L.* Essentials of Paleomagnetism. Berkeley: Univ. of Calif. Press, 2010. xvi, 489 p. <https://doi.org/10.1525/9780520946378>.
19. *Nowaczyk N.R., Frederichs T.W., Kassens H., Nørgaard-Pedersen N., Spielhagen R.F., Stein R., Weiel D.* Sedimentation rates in the Makarov Basin, central Arctic Ocean: A paleomagnetic and rock magnetic approach // *Paleoceanogr. Paleoclimatol.* 2001. V. 16, No 4. P. 368–389. <https://doi.org/10.1029/2000PA000521>.

20. *Костромина Н.А., Гусев Е.А., Крылов А.А., Крылов А.В.* Палинологическая характеристика донных отложений западной части Восточно-Сибирского моря // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя бореальных районов: материалы научной онлайн-сессии, посвященной 110-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Владимира Николаевича Сакса. Новосибирск, 2021. С. 305–307.
21. *Таманова С.В.* Видовой состав современных фораминифер как индикатор гидрологического режима арктических морей // Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л.: Гидрометеиздат, 1970. С. 199–203.
22. *Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., Ovsepyan Y., Pogodina I., Klyuvitkina T., Nikolaev S.* Benthic and planktic community changes at the north Siberian margin in response to atlantic water mass variability since last deglacial times // *Mar. Micropaleontol.* 2012. V. 96–97. P. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.06.007>.
23. *Chen Z., Yuan F., Zhang J., Shen S., Li X., Li X., Huang M., Jowitt S.M.* Paleomagnetic evidence for the Gothenburg geomagnetic excursion during the Pleistocene–Holocene transition recorded in the Paleo-Danyang Lake, eastern China // *J. Asian Earth Sci.* 2020. V. 201. Art. 104140. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2019.104140>.
24. *Гуськова Е.Г., Распопов О.М., Пискарев А.Л., Дергачев В.А.* Проявление excursа геомагнитного поля Гетенбург в донных осадках Баренцева моря // Геомагнетизм и аэрономия. 2007. Т. 47, № 6. С. 825–830.
25. *Andreev A.A., Schirrmeyer L., Tarasov P.E., Ganopolski A., Brovkin V., Siebert C., Wetterich S., Hubberten H.-W.* Vegetation and climate history in the Laptev Sea region (Arctic Siberia) during Late Quaternary inferred from pollen records // *Quat. Sci. Rev.* 2011. V. 30, No 17–18. P. 2182–2199. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.12.026>.

Поступила в редакцию 04.10.2023

Принята к публикации 22.11.2023

Элькина Дарья Владимировна, ведущий инженер отдела морской сейсморазведки

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: darielfly@gmail.com

Гусев Евгений Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела геологического картирования

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: gus-evgeny@yandex.ru

Рябчук Дарья Владимировна, кандидат геолого-минералогических наук, начальник отдела региональной геоэкологии и морской геологии

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

Средний проспект В.О., д. 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

E-mail: daria_ryabchuk@mail.ru

Сергеев Александр Юрьевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник отдела региональной геоэкологии и морской геологии

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

Средний проспект В.О., д. 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

E-mail: sergeevau@yandex.ru

Костромина Наталья Андреевна, научный сотрудник отдела геологического картирования; ассистент кафедры геоморфологии Института наук о Земле

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

Санкт-Петербургский государственный университет

Университетская наб., д. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

E-mail: kostromina132@gmail.com

Новихина Елизавета Станиславовна, научный сотрудник отдела геологического картирования

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: khelizaveta@yandex.ru

Гостенина Анна Анатольевна, магистрант кафедры геофизики Института наук о Земле

Санкт-Петербургский государственный университет

Университетская наб., д. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

E-mail: annaghost888@gmail.com

Яржембовский Ярослав Дмитриевич, ведущий инженер, отдела геологического картирования

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: greenz@yandex.ru

Пискарев Алексей Лазаревич, доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник отдела морской сейсморазведки; профессор кафедры геофизики Института наук о Земле

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

Санкт-Петербургский государственный университет

Университетская наб., д. 7/9, г. Санкт-Петербург, 199034, Россия

E-mail: apiskarev@googlegmail.com

Крылов Алексей Алексеевич, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник отдела геологического картирования

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: akrylow@gmail.com

Ованесян Георгий Иванович, ведущий инженер отдела морской сейсморазведки

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана им. И.С. Грамберга» (ФГБУ «ВНИИОкеангеология»)

Английский проспект, д. 1, г. Санкт-Петербург, 190121, Россия

E-mail: goshovan@yandex.ru

Жамойда Владимир Александрович, кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник отдела региональной геоэкологии и морской геологии

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского» (ФГБУ «ВСЕГЕИ»)

Средний проспект В.О., д. 74, г. Санкт-Петербург, 199106, Россия

E-mail: Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru

ORIGINAL ARTICLE

doi: 10.26907/2542-064X.2023.4.646-663

First Results of the Comprehensive Analysis, Including the Paleomagnetic Studies, of Sediment Cores from the East Siberian Sea

D.V. Elkina^{a,b}, E.A. Gusev^{a**}, D.V. Ryabchuk^{b***}, A.Yu. Sergeev^{b****},
N.A. Kostromina^{a,c*****}, E.S. Novikhina^{a*****}, A.A. Gostenina^{c*****},
Ya.D. Yarzhembovsky^{a*****}, A.L. Piskarev^{a,c*****}, A.A. Krylov^{a*****},
G.I. Ovanesyan^{a*****}, V.A. Zhamoida^{b*****}*

^a*Gramberg All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean (VNI Okeangeologia), St. Petersburg, 190121 Russia*

^b*A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI), St. Petersburg, 199106 Russia*

^c*St. Petersburg State University, St. Petersburg, 199034 Russia*

E-mail: **darielfly@gmail.com*, ***gus-evgeny@yandex.ru*, ****daria_ryabchuk@mail.ru*,
*****sergeevau@yandex.ru*, ******kostromina132@gmail.com*, ******khelizaveta@yandex.ru*,
******annaghost888@gmail.com*, ******greenz@yandex.ru*, ******apiskarev@googlemail.com*,
******akrylow@gmail.com*, ******goshovan@yandex.ru*, ******Vladimir_Zhamoida@vsegei.ru*

Received October 4, 2023; Accepted November 22, 2023

Abstract

The bottom sediments of the Russian Arctic seas have been studied to varying degrees. The least attention has been paid to the East Siberian Sea, the Quaternary geology of which remains largely overlooked. This article summarizes the results of a comprehensive research on the East Siberian Sea, including the first paleomagnetic analysis of nine sediment cores collected during three cruise expeditions as part of the program “State Geological Mapping of the Territory and Continental Shelf of the Russian Federation at the Scale of 1:1 000 000”. The results obtained show that the processes and conditions of sedimentation vary in different parts of the East Siberian Sea.

Keywords: East Siberian Sea, bottom sediments, Holocene-Quaternary sediments, Arctic shelf, paleomagnetic studies, palynological analysis, microfaunal analysis

Acknowledgements. Analytical studies were supported by the Russian Science Foundation (project no. 22-27-00412, <https://rscf.ru/project/22-27-00412/>).

Figure Captions

Fig. 1. Coring sites during the expeditions of 2018–2020 in the East Siberian Sea: 1 – the expedition of 2020, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute; 2 – the expedition of 2020, Gramberg All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean; 3 – the expedition of 2018, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute; 4 – the sediment cores used in the paleomagnetic studies.

Fig. 2. Paleomagnetic results on the sediment cores collected in the western part of the East Siberian Sea. Continued on the next page.

Fig. 3. Paleomagnetic results on the sediment cores collected in the central part of the East Siberian Sea.

Fig. 4. Palynological diagram for the sediment core MS-2036t (by palynologist N.A. Kostromina).

Fig. 5. Results of the microfaunal analysis.

References

1. Budanov L.M., Sergeev A.Yu., Zhamoida V.A., Ryabchuk D.V., Neevin I.A., Nosevich E.S., Pushina Z.V., Grigor'ev A.G., Prishchepenko D.V., Petrov O.V., Bashirova L.D., Ponomarenko E.V. New data on seismic stratigraphy and palaeogeography of the East Siberian Sea. *Reg. Geol. Metallog.*, 2022, no. 92, pp. 5–27. https://doi.org/10.52349/0869-7892_2022_92_5-27. (In Russian)
2. Gusev E.A., Krylov A.A., Maev P.A., Ponimaskin A.I., Ozerov I.S., Pronin I.S., Biryukov E.A., Rybnitsky E.E., Zadorozhny T.N., Pokrovskaya S.O. Results of seismo-acoustic profiling in the western part of the East Siberian Sea. *Rel'ef Chetvertichn. Obraz. Arkt., Subarkt. Sev.-Zapada Ross.*, 2021, no. 8, pp. 58–61. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2021-8-58-61>. (In Russian)
3. Zhamoida V.A., Sergeev A.Yu., Budanov L.M., Nosevich E.S., Ryabchuk D.V., Grigoriev A.G., Ponomarenko E.P. New data on the formation of the Pliocene-Quaternary deposits of the East Siberian Sea from the results of geological off-shore mapping of R-56-60 sheets of the State Geological Map. *Rel'ef Chetvertichn. Obraz. Arkt., Subarkt. Sev.-Zapada Ross.*, 2020, no. 7, pp. 66–75. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10710>. (In Russian)
4. Ryabchuk D.V., Sergeev A.Y., Budanov L.M., Zhamoida V.A., Nosevich E.S., Pushina Z.V., Grigoriev A.G., Neevin I.A., Bashirova L.D., Ponomarenko E.V., Prishchepenko D.V. New data on the geological development of the southern part of the East Siberian Sea in the late Pleistocene–Holocene. *Oceanology*, 2022, vol. 62, no. 6, pp. 903–918. <https://doi.org/10.1134/S0001437022400041>.
5. Gusev E.A., Rekant P.V., Bolshiyarov D.Yu., Lukashenko R.V., Popko A.O. Pseudoglacial structures of Mendeleev Rise Seamounts (Arctic Ocean) and East Siberian continental margin. *Probl. Arkt. Antarkt.*, 2013, no. 4(98), pp. 43–55. (In Russian)
6. Astakhov A.S., Babich V.V., Shi X., Hu L., Obrezkova M.S., Aksentov K.I., Alatortsev A.V., Darin A.V., Kalugin I.A., Karnaukh V.N., Melgunov M.S. Climate and ice conditions of East Siberian Sea during Holocene: Reconstructions based on sedimentary geochemical multiproxy. *The Holocene*, 2023, vol. 33, no. 1, pp. 3–13. <https://doi.org/10.1177/09596836221126049>.
7. Kochegura V.V. *Primenenie paleomagnitnykh metodov pri geologicheskoi s'emke shel'fa* [Paleomagnetic Methods Applied in Geological Surveying of the Shelf]. St. Petersburg, VSEGEI, 1992. 143 p. (In Russian)
8. Elkina D.V., Gostenina A.A., Piskarev A.L., Gusev E.A. First results of paleomagnetic studies on sediment cores from the Eastern Arctic seas. *Rel'ef Chetvertichn. Obraz. Arkt., Subarkt. Sev.-Zapada Ross.*, 2021, no. 8, pp. 302–308. <https://doi.org/10.24412/2687-1092-2021-8-302-308>. (In Russian)
9. Gusev E.A., Andreeva I.A., Anikina N.Y., Bondarenko S.A., Derevyanko L.G., Iosifidi A.G., Klyuvitkina T.S., Litvinenko I.V., Petrova V.I., Polyakova E.I., Popov V.V., Stepanova A.Y. Stratigraphy of Late Cenozoic sediments of the western Chukchi Sea: New results from shallow drilling and seismic-reflection profiling. *Global Planet. Change*, 2009, vol. 68, nos. 1–2, pp. 115–131. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.03.025>.
10. Gusev E.A., Krylov A.A., Yarzhembovsky Ya.D., Elkina D.V., Novikhina E.S., Kostromina N.A., Komarov A.Yu., Gorbunov D.A., Bochkarev A.V., Zakharov V.Yu. On the first results of marine survey with scale of 1:1 000 000 within the sheets of the State Geological Map of the Russian Federation S-57.58 (East Siberian Sea). *Rel'ef Chetvertichn. Obraz. Arkt., Subarkt. Sev.-Zapada Ross.*, 2020, no. 7, pp. 52–59. <https://doi.org/10.24411/2687-1092-2020-10708>. (In Russian)
11. Kirschvink J.L. The least-squares line and plane and the analysis of palaeomagnetic data. *Geophys. J. Int.*, 1980, vol. 62, no. 3, pp. 699–718. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1980.tb02601.x>.
12. Sagnotti L. Demagnetization Analysis in Excel (DAIE). An open source workbook in Excel for viewing and analyzing demagnetization data from paleomagnetic discrete samples and u-channels. *Ann. Geophys.*, 2013, vol. 56, no. 1, art. D0114. <https://doi.org/10.4401/ag-6282>.
13. Berglund B.E., Ralska-Jasiewiczowa M. Pollen analysis and pollen diagrams. In: Berglund B.E. (Ed.) *Handbook of Holocene Palaeoecology and Palaeohydrology*. International Geological Correlation Programme, Project 158B. Chichester, John Wiley & Sons, 1986. pp. 455–484.
14. Stockmarr J. Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen Spores*, 1971, vol. 13, pp. 615–621.
15. Tilia software. URL: <https://www.neotomadb.org/apps/tilia>.
16. Sergeev A.Yu., Ryabchuk D.V., Zhamoida V.A., Budanov L.M., Kovaleva O.A., Neevin I.A., Tokarev M.Yu., Bashirova L.D., Ponomarenko E.P. Morphology and genesis of underwa-

- ter bars and ridges of the East Siberian Sea. *Geomorphol. Paleogeogr.*, vol. 54, no. 3, pp. 26–38. <https://doi.org/10.31857/S294917892303009X>. (In Russian)
17. World Magnetic Model 2020 Calculator. URL: https://geomag.bgs.ac.uk/data_service/models_compass/wmm_calc.html.
 18. Tauxe L. *Essentials of Paleomagnetism*. Berkeley, Univ. of Calif. Press, 2010. xvi, 489 p. <https://doi.org/10.1525/9780520946378>.
 19. Nowaczyk N.R., Frederichs T.W., Kassens H., Nørgaard-Pedersen N., Spielhagen R.F., Stein R., Weiel D. Sedimentation rates in the Makarov Basin, central Arctic Ocean: A paleomagnetic and rock magnetic approach. *Paleoceanogr. Paleoclimatol.*, 2001, vol. 16, no. 4, pp. 368–389. <https://doi.org/10.1029/2000PA000521>.
 20. Kostromina N.A., Gusev E.A., Krylov A.A., Krylov A.V. A palynological study of sediments from the western part of the East Siberian Sea. In: *Paleontologiya, stratigrafiya i paleogeografiya mezozoya i kainozoya boreal'nykh raionov: materialy nauchnoi onlain-sessii, posvyashchennoi 110-letiyu so dnya rozhdeniya chlena-korrespondenta AN SSSR Vladimira Nikolaevicha Saksa* [Paleontology, Stratigraphy, and Paleogeography of the Mesozoic and Cenozoic Boreal Regions: Proc. Sci. Online Sess. Dedicated to the 110th Anniversary of the Birth of Vladimir Nikolaevich Saks, Corresponding Member of the USSR Academy of Sciences]. Novosibirsk, 2021. pp. 305–307. (In Russian)
 21. Tamanova S.V. Species composition of modern foraminifera as an indicator of the Arctic seas' hydrological regime. In: *Severnyy Ledovityy okean i ego poberezh'e v kainozoe* [The Arctic Ocean and Its Coast in the Cenozoic Era]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970, pp. 199–203. (In Russian)
 22. Taldenkova E., Bauch H.A., Stepanova A., Ovsepyan Y., Pogodina I., Klyuvitkina T., Nikolaev S. Benthic and planktic community changes at the north Siberian margin in response to Atlantic water mass variability since last deglacial times. *Mar. Micropaleontol.*, 2012, vols. 96–97, pp. 13–28. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2012.06.007>.
 23. Chen Z., Yuan F., Zhang J., Shen S., Li X., Li X., Huang M., Jowitt S.M. Paleomagnetic evidence for the Gothenburg geomagnetic excursion during the Pleistocene–Holocene transition recorded in the Paleo-Danyang Lake, eastern China. *J. Asian Earth Sci.*, 2020, vol. 201, art. 104140. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2019.104140>.
 24. Guskova E.G., Raspopov O.M., Piskarev A.L., Dergachev V.A. Manifestation of the Gothenburg geomagnetic field excursion in the Barents Sea bottom sediments. *Geomagn. Aeron.*, 2007, vol. 47, no. 6, pp. 781–786. <https://doi.org/10.1134/S0016793207060126>.
 25. Andreev A.A., Schirrmeyer L., Tarasov P.E., Ganopolski A., Brovkin V., Siebert C., Wetterich S., Hubberten H.-W. Vegetation and climate history in the Laptev Sea region (Arctic Siberia) during Late Quaternary inferred from pollen records. *Quat. Sci. Rev.*, 2011, vol. 30, nos. 17–18, pp. 2182–2199. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2010.12.026>.

Для цитирования: Элькина Д.В., Гусев Е.А., Рябчук Д.В., Сергеев А.Ю., Костромина Н.А., Новихина Е.С., Гостенина А.А., Яржембовский Я.Д., Пискарев А.Л., Крылов А.А., Ованесян Г.И., Жамойда В.А. Первые результаты комплексных исследований, включая палеомагнитные, колонок донных осадков из Восточно-Сибирского моря // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естеств. науки. 2023. Т. 165, кн. 4. С. 646–663. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.4.646-663>.

For citation: Elkina D.V., Gusev E.A., Ryabchuk D.V., Sergeev A.Yu., Kostromina N.A., Novikhina E.S., Gostenina A.A., Yarzhembovsky Ya.D., Piskarev A.L., Krylov A.A., Ovanesyan G.I., Zhamoida V.A. First results of the comprehensive analysis, including the paleomagnetic studies, of sediment cores from the East Siberian Sea. *Uchenye Zapiski Kazanskogo Universiteta. Seriya Estestvennye Nauki*, 2023, vol. 165, no. 4, pp. 646–663. <https://doi.org/10.26907/2542-064X.2023.4.646-663>. (In Russian)