

ПАЛЕОЦЕНОВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ ВОЗВЫШЕННОСТИ ЯМАТО (ЯПОНСКОЕ МОРЕ) И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Е.П. Терехов¹, В.С. Маркевич², И.Б. Цой¹, Н.Н. Баринов³

¹ФГБУН Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43, г. Владивосток 690041; e-mail: terekhov@poi.dvo.ru, tsoy@poi.dvo.ru

²ФГБУН Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток 690022; e-mail: markevich@ibss.dvo.ru

³ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, пр-т 100 лет Владивостоку 159, г. Владивосток 690000; e-mail: nickolai.barinov2013@yandex.ru

Поступила в редакцию 14 октября 2022 г.

При микропалеонтологическом исследовании самых древних отложений кайнозойского осадочного чехла Японского моря, обнаруженных на возвышенности Ямато, выделен палинокомплекс, позволивший обосновать возраст вмещающих отложений поздним палеоценом (59.2–56.0 млн лет). Находки исключительно морских микроископаемых в этих отложениях, высокое содержание в них индикаторов палеосолености (В, В/Ga), химический состав аутигенных минералов, а также присутствие в них органических образований, близких к морским водорослям, доказывает морской генезис этих отложений. Предполагается, что осадконакопление происходило на периферии эпиконтинентального мелководного морского бассейна в условиях климата, близкого к субтропическому.

Ключевые слова: палинокомплекс, поздний палеоцен, осадочные породы, бор, гипс, барит, микроэлементы, возвышенность Ямато, Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

В геологическом строении Японского моря участвуют разнообразные по происхождению, составу и возрасту горные породы, которые подразделяются на два комплекса, разделенных между собой региональным несогласием. Нижний комплекс сложен породами докайнозойского консолидированного фундамента, а верхний – кайнозойскими осадочными отложениями и вулканитами [4]. Возраст базальной части осадочного чехла отражает начало кайнозойской седиментации в Японском море. Изучение осадочных отложений положительных структур Японского моря – континентального склона и подводных возвышенностей – показало, что самые древние морские осадочные породы обнаружены в северо-восточной части моря на хребте Окусири и датированы ранним олигоценом (~ 33.9–27.82 млн лет) [15]. Они установлены в основании осадочного чехла и представлены терригенными отложениями, которые накапливались в условиях прибрежного морского мелководья. В позднем олигоцене–раннем миоцене (~ 27.82–15.97 млн лет) в близких условиях формировались отложения аргиллитовой толщи материко-

вого склона залива Петра Великого в северо-западной части Японского моря [14]. Толща залегает в основании осадочного чехла материкового склона с резким угловым несогласием и размывом на докайнозойском фундаменте. В конце раннего миоцена резко расширилась область морской седиментации, которая стала более глубоководной (батиальной), о чем свидетельствуют комплексы морских диатомей и радиолярий конца раннего миоцена (около 19–16 млн лет), обнаруженные в отложениях материкового склона залива Петра Великого, хр. Окусири, хр. Оки, плато Криштофовича (Уллын) и возвышенности Ямато [15, 51–54]. По данным глубоководного бурения, проведенного в котловинах Японского моря, самый древний возраст осадочных пород – ранний миоцен. Он установлен в котловине Ямато: скв. 794 ODP – 18–16 млн лет; скв. 797 ODP – 19.0–17.0 млн лет [70].

Свидетельством более ранней истории формирования котловины Японского моря являются находки переотложенных олигоценовых радиолярий в туффилах плато Криштофовича [54], эоценовых радиолярий [76] и среднеэоцен–раннеолигоценовых фораминифер [78] в осадочных породах группы Тайшу о. Цусима, а

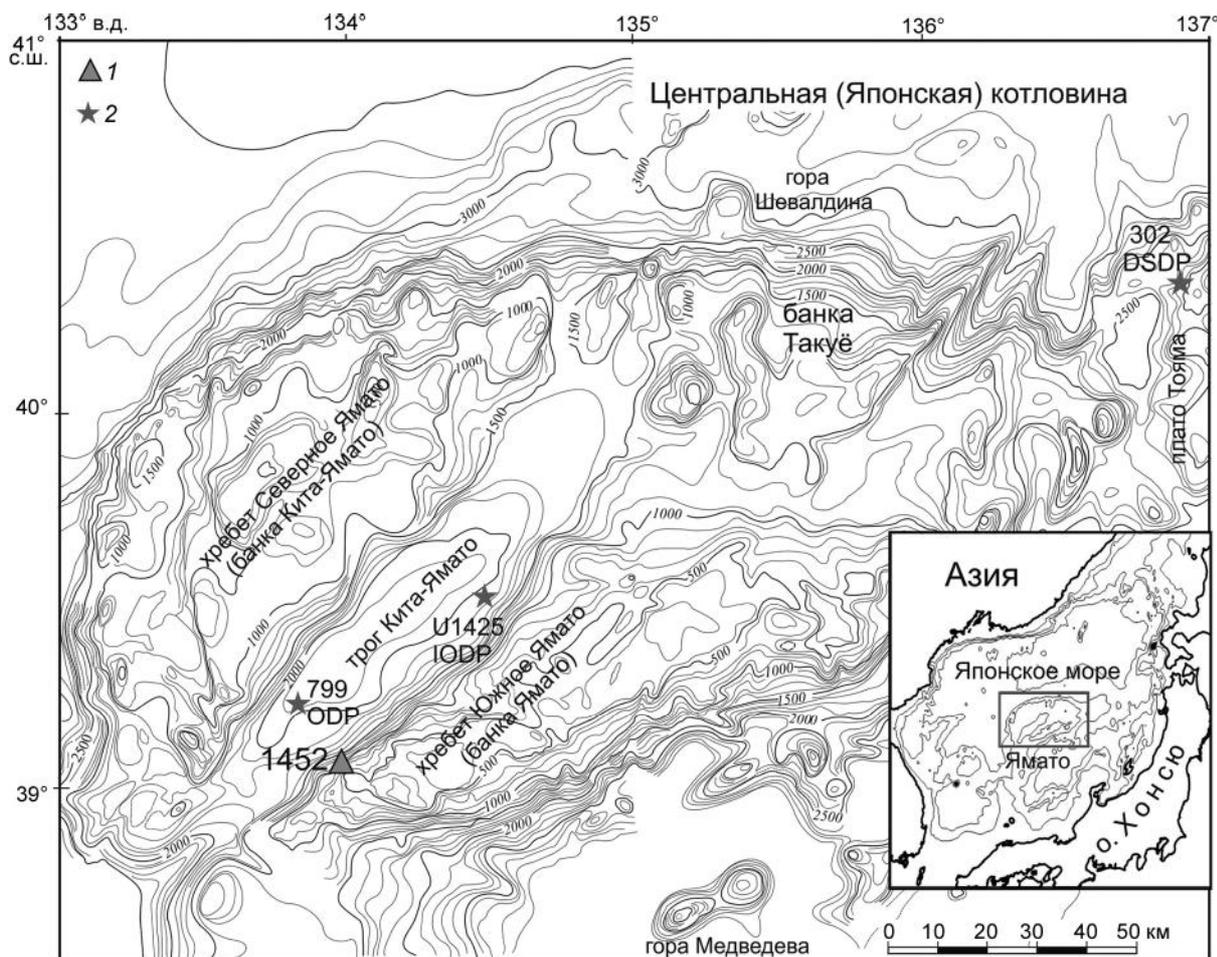


Рис. 1. Рельеф и основные структуры возвышенности Ямато Японского моря и местоположение изученной станции 1452. 1 – станция драгирования, 2 – станции глубоководного бурения. Названия морфоструктур даны по российской номенклатуре, в скобках – по [64]. Топографическая основа по [36].

также данные о динамике структур прото-Японского моря, ранние фазы которой начинаются в эоцене [18, 35, 38, 65].

Самые древние кайнозойские отложения в Японском море установлены на возвышенности Ямато [26]. Они сложены литифицированными осадочными породами, из которых был выделен палинокомплекс палеогенового возраста. Позднее возраст этих отложений был ограничен палеоценом [4, 65], но из-за предположения о континентальных условиях эти отложения не рассматривались как свидетельство начальных этапов развития прото-Японского моря. Недавно в палеоценовых породах хр. Южное Ямато были установлены геохимические признаки морских условий седиментации [45].

Основной целью настоящего исследования является уточнение возраста и условий формирования самых древних пород кайнозойского осадочного чехла Японского моря. Для достижения этой цели было

проведено комплексное (минералогическое, геохимическое и микропалеонтологическое) исследование осадочных пород хр. Южное Ямато. Полученные результаты важны для восстановления истории начальных этапов развития Японского моря и окраинных морей Северо-Западной Пацифики.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ВОЗВЫШЕННОСТИ ЯМАТО

Подводная возвышенность Ямато расположена в центральной части Японского моря и представляет собой обширный относительно мелководный (глубины отдельных вершин – 244–287 м) горный массив, окруженный глубоководными котловинами [12, 36]. Она состоит из 2-х основных структур – хребет Северное Ямато (банка Кита-Ямато) и хребет Южное Ямато (банка Ямато), разделенных трогом Кита-Ямато. Севернее хр. Южное Ямато располагается плато Такуё, северо-восточнее – плато Тояма (рис. 1). Рас-

члененный рельеф возвышенности Ямато осложнен многочисленными вулканическими постройками, крутыми склонами и обрывами, что затрудняло его опробование и изучение.

Систематические геологические исследования возвышенности Ямато проводились Тихоокеанским океанологическим институтом им. В.И. Ильичева ДВНЦ АН СССР, впоследствии ДВО РАН (ТОИ ДВО РАН) в период 1970–1985 гг. В 11-ти морских экспедициях на НИС «Первенец», «Профессор Богоров», «Каллисто» и «Дмитрий Менделеев» на возвышенности Ямато было выполнено 196 станций драгирования [26, 60]. Полученные геологические материалы хранятся в коллекции ТОИ ДВО РАН. Результаты изучения этих материалов отражены в геологических картах дна Японского моря [2, 16] и многочисленных публикациях [4, 12, 13, 27–30, 37, 65], в том числе, появившиеся в недавнее время [10, 31, 46, 53]. На основе вышеприведенных публикаций, возвышенность Ямато характеризуется следующими возрастными комплексами пород (рис. 2):

1 – позднепротерозойский комплекс метаморфических и интрузивных пород установлен на хр. Южное Ямато. Возраст пород предположен на основании их сходства с позднепротерозойским комплексом «габброидов» Южного Приморья.

2 – среднепалеозойский комплекс на западном склоне хр. Северное Ямато слагает толщу в различной степени метаморфизованных вулканитов. Слабометаморфизованные разновидности являются туфами и туфолавами среднего состава. Породы прорываются позднепалеозойскими гранитами, что позволяет условно отнести их к среднепалеозойскому комплексу.

3 – позднепалеозойский комплекс представлен интрузивными (хр. Северное Ямато) и осадочными (хребты Северное и Южное Ямато, плато Такуё) породами. Согласно калий-аргоновому датированию, интрузивные породы имеют позднепалеозойский возраст. На плато Такуё подняты контактово-метаморфизованные песчаники и глинистые сланцы. Здесь установлен контакт рвущих гранитов с породами осадочной толщи. Взаимоотношения осадочных пород указанных районов с позднепалеозойскими гранитами позволяет датировать вышеописанные осадочные породы поздним палеозоем.

4 – раннемеловой комплекс осадочных пород распространен на хребтах Южное и Северное Ямато. Возраст (альбский) установлен по палинокомплексу.

5 – позднемеловой комплекс интрузивных пород установлен на хр. Южное Ямато. Позднемеловой возраст гранитов определен калий-аргоновым методом.

6 – палеоценовый комплекс осадочных пород, выделенный в песчано-алевролитовую толщу, установлен в юго-западной части хр. Южное Ямато. Возраст пород обоснован палиноспектром, выделенным из тонкозернистых пород.

7 – позднеолигоцен-раннемиоценовый комплекс пород распространен на хребтах Северное и Южное Ямато и представлен вулканогенным (7а) и туфогенно-осадочным (7б) комплексами пород континентального генезиса. Вулканогенный комплекс состоит из разных генетических комплексов: трахиандезитового и андезитового, позднеолигоцен-раннемиоценовый возраст которых установлен радиоизотопным датированием. Вулканиты трахиандезитового комплекса являются возрастным аналогом части зеленых туфов Северо-Западной Японии. К этому комплексу, вероятно, относятся вулканические породы раннемиоценового возраста, поднятые на хр. Южное Ямато [71, 87], и кремнистые вулканические пески и зеленые туфы северного склона плато Такуё (скв. 302 DSDP), связанные с раннемиоценовым этапом вулканизма [69]. Туфогенно-осадочный комплекс характеризуется пресноводными диатомовыми водорослями и палинофлорой раннемиоценового возраста.

8 – раннемиоцен-четвертичный комплекс осадочных и туфогенно-осадочных пород морского генезиса распространен на хребтах Северное и Южное Ямато. Возраст пород и морской генезис установлены по микропалеонтологическим данным. Осадочные отложения, вскрытые глубоководными скважинами в троге Кита-Ямато [58, 81, 84] и на северном склоне плато Тояма [69], а также поршневыми трубками в различных районах возвышенности Ямато [73], представлены преимущественно диатомовыми и алевритистыми глинами, диатомовыми илами и глинами в верхних частях разрезов и кремнистыми аргиллитами и порцелланитами – в нижних частях разрезов. Возраст (ранний миоцен–квартер) и морской генезис этих пород позволяют отнести их к 8-му комплексу.

В юго-западной части хр. Южное Ямато, в районе исследования, распространены позднепротерозойский комплекс метаморфических и интрузивных пород, литифицированные нижнемеловые и палеоценовые осадочные породы близкого литологического состава (песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты) и слаболитифицированные туфогенно-осадочные породы континентального генезиса раннего миоцена и морского генезиса среднего миоцена–позднего плиоцена [4, 54] (рис. 3). Осадочные породы раннемелового и палеоценового возраста имеют близкий химический (содержание главных оксидов) состав, но разный состав микроэлементов; кроме того, в палеогеновых

Возраст млн лет	Эра	Период	Эпоха	хребет Северное Ямато	хребет Южное Ямато	плато Такуё	Возрастные комплексы	Структурные этажи	
0.0	Кайнозой	Квартер	Квартер	туфы, туфоалевролиты, туфопесчаники, туфоглины, туфодиатомиты	туфы, диатомовые илы	диатомовые илы	8	Осадочный чехол	
2.58			Неоген	Плиоцен	диатомовые глины, алевриты	алевролиты, песчаники			диатомовые илы
5.33				поздний	туфодиатомиты, диатомовые глины, диатомиты, бариты	туфопесчаники, алевриты			диатомовые илы
		Миоцен		средний	диатомиты, алевриты	диатомовые глины			
23.3		Олигоцен	ранний	песчаники, алевролиты, гравелиты	континентальный туфогенно-осадочный комплекс: туфоконгломераты, туффиты, туфы, туфодиатомиты, туфопесчаники		76		
			поздний	континентальный вулканогенный комплекс: трахиандезитовый комплекс: туфы, трахидациты, трахириолиты, 29.1–20.0 млн лет андезитовый комплекс: базальты, андезиты, 32.0–19.0 млн лет		7a			
33.9		Палеоген	Эоцен						6
56.0			ранний						
59.2			поздний			Песчано-алевролитовая толща: конгломераты, песчаники, алевролиты, алевроаргиллиты			
61.6		Палеоцено	средний						
66.0	ранний								
100.5	Мезозой	Мел	поздний		гранодиориты, гранит-порфиры, граниты, меланократовые граниты, 67, 68, 74 млн лет		5	Докайнозойский фундамент	
~145			ранний	песчаники, алевропесчаники, алевролиты, алевроаргиллиты			4		
251.9		Юра							
358.9	Палеозой	Триас	поздний	диориты, гранодиориты, граниты, плагииграниты, гранит-порфиры, 258.0 млн лет	алевроаргиллиты, алевролиты, песчаники, гравелиты	контактово-метаморфизованные песчаники и глинистые сланцы	3		
443.4			средний	метаморфизованные вулканы, туфы и туфолавы среднего состава			2		
541.0		ранний							
1600	Протерозой		поздний		метаморфические и интрузивные породы: амфиболиты, гнейсы, плагиигнейсы, диориты, гранодиориты, граниты		1		

Рис. 2. Литологический состав возрастных комплексов возвышенности Ямато Японского моря, согласно [4, 10, 26–31, 46, 54, 65] и настоящей работе.

осадках происходило существенное накопление хрома, цинка и никеля, а в нижнемеловых – галлия, олова, меди, марганца [44], что свидетельствует о разных условиях осадконакопления в раннем мелу и палеоцене. Палеоценовые породы представлены конгломератами, песчаниками, алевролитами, алевроаргиллитами [4]. В конгломератах цемент баритовый и карбонатный; галька представлена эффузивами, кварцем, кремнистыми породами, гранитоидами. Песчаники – от мелкозернистых до гравелистых; состав гравия аналогичен составу галек конгломератов, цемент –

карбонатный и корренситовый [37]. Алевроаргиллиты, поднятые в виде глыб (с зеркалами скольжения), остроугольных обломков и щебня, – серые, желтовато-бурые массивные, неяснослоистые или тонкослоистые породы. Состав обломков – кварц-полевошпатовый-слюдистый, цемент – глинистый. Во всех породах обломочный материал имеет одинаковый состав. Основными источниками сноса при формировании пород являлись гранитоиды, в меньшей степени эффузивы, в незначительной степени метаморфические, карбонатные и осадочные породы. Осадкообразова-

ние сопровождалось эксплозивной вулканической деятельностью.

Основное внимание в настоящей работе было уделено алевроаргиллитам, в которых были обнаружены информативные для определения возраста пород палиноспектры.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Геологический материал получен в 28-ом рейсе НИС «Первенец» (30.03–04.06.1977) драгированием северо-западного склона хр. Южное Ямато на станции 1452 (39° 04.5' с.ш.; 134° 01.5' в.д.; интервал драгирования 1230–1150 м (рис. 1; табл. 1). Для настоящей работы был использован коллекционный материал, который хранится в ТОИ ДВО РАН.

Микропалеонтологический анализ. Техническая подготовка проб к палинологическому анализу проводилась по стандартной методике для сильнолитифицированных пород: кипячение в концентрированной азотной кислоте, последующая декантация, воздействие 10 % щелочи и обогащение тяжелой калиево-кадмиевой жидкостью [39]. Фотографии пыльцы и спор выполнены на световом микроскопе Axioscop 40 с камерой AxioCamHR (Carl Zeiss, Германия). Определение палиноморф проводилось во временных препаратах с глицерином при увеличении $\times 740$.

Подготовка образцов для диатомового анализа проводилась по стандартной химико-технической методике для литифицированных пород с использованием тяжелой калиево-кадмиевой жидкости [21]. Определение видов и микрофотографирование проводилось с помощью светового микроскопа IMAGER.A1 с видеокамерой AxioCamMRc (Carl Zeiss, Германия) при увеличении $\times 1000$.

Минералогический и геохимический анализы. Исследование микроструктуры и химического состава минералов и микрофотографирование проводилось с применением сканирующего электронного микроскопа СЭМ EVO 50-XVP (Carl Zeiss, Германия), оснащенного энергодисперсионной системой «INGA ENERGY 350». На препараты, для создания проводящего слоя, напыляли тонкую пленку углерода с использованием высоковакуумной напылительной системы EDWARDS E-306 (США). Макросъемка объектов производилась фотокамерой Canon (Япония). Определение микроэлементов и их количества проводилось спектральным анализом в тресте «Дальвостокуглеразведка». Возраст стратиграфических подразделений дан согласно [43]. Палинологический анализ проведен в ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, диатомовый анализ – в ТОИ ДВО РАН, минералогический и геохимический – в ДВГИ ДВО РАН.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Палинологический анализ. Изучение 16 образцов алевроаргиллитов со станции 1452, проведенное для настоящей работы, позволило установить палиноспектры в 5 образцах (табл. 1). Представительный палиноспектр установлен в образце 1452 (рис. 4). Доминирует пыльца покрытосеменных (68 %), среди которых преобладает пыльца порового типа, близкая к ореховым: *Carya anulatus* (Pflug et Thomson) Elsik, *Engelhardtia* sp., *E. inaequalis* (Anderson), *Triatriopollenites myricoides* Kremp, *Juglanspollenites* sp., *Caryapollenites simplex* (Potonié) Potonié (в сумме 24 %) и березовым: *Polyvestibulopollenites verus* (Potonié) Pflug, *Triporopollenites coryloides* (Potonié) Thomson et Pflug (в сумме 25 %); единично отмечены *Comptoniapollenites* sp., *Myricapollenites* sp. Довольно велико участие пыльцы, близкой к ильмовым: *Ulmuspollenites* sp., *Ulmoideipites krempii* Anderson, *U. tricostatus* Anderson (в сумме 18 %). В составе голосеменных преобладает пыльца близких к таксодиевым: *Taxodiaceapollenites hiatus* (Potonié) Kremp, *Taxodiumpollenites* sp., *Inaperturopollenites polyformosus* (Thiergart) Thomson et Pflug (12 %), двухмешковая пыльца близких к ногоплодниковым представлена *Podocarpidites* spp., к сосновым – *Piceapollenites* sp., *Pinuspollenites* sp., *Cedruspollenites parvisaccata* Zauer (в сумме 3 %). Пыльца *Ginkgocycadophytus* spp. составляет 7 %. Папоротникообразные составляют незначительную часть спектра (в сумме 10 %) и представлены спорами близких к кочедыжниковым (*Laevigatosporites ova-tus* Wilson et Webster), циатейным (*Cyathidites minor* Couper) и диксониевым. Единична пыльца *Aquilapollenites minutus* Stanley, *A. spinulosus* Funkhouser, *Wodehouseia spinata* Stanley, *W. fimbriata* Stanley, *Thompsonipollis magnificus* Pflug et Thomson, *Gotanipollis* sp., но их участие чрезвычайно важно при установлении возраста вмещающих их отложений.

Палиноспектр из обр. 1452-4, близкий по составу вышеописанному, также характеризуется преобладанием пыльцы покрытосеменных (около 80 %): *Triporopollenites bituites* (Potonié) Thomson et Pflug, *T. coryloides*, *Tricolpites* sp., *Polyvestibulopollenites verus*, *Triatriopollenites myricoides*, *Ulmoideipites krempii*, *Carya anulatus*, *Engelhardtia inaequalis*, пыльца типа *Thompsonipollis magnificus*, типа *Montanapollis globosiporus* (Samoilovich) Srivastava, единична пыльца *Aquilapollenites minutes*, *Wodehouseia fimbriata*. Голосеменные представлены *Inaperturopollenites hiatus* Thomson et Pflug, *I. polyformosus* (Thiergart) Thomson et Pflug, *Pinuspollenites* sp., *Piceapollenites* sp. Споры встречаются в очень ограниченном количестве и представлены бобовидными *Laevigatosporites* sp. (менее 2 %).

Таблица 1. Каталог изученных образцов станции 1452 хребта Южное Ямато Японского моря и проведенные анализы.

№ п/п	Номер образца	Тип породы	Палинофлора, возраст	Диатомеи	Морские микроископаемые и органические образования	Аутигенные минералы
1	1452	алевроаргиллит	поздний палеоцен	не обнаружены		
2	1452ж	алевроаргиллит			органические образования	
3	1452к	алевроаргиллит			органические образования	
4	1452 ска	алевроаргиллит	не обнаружены	не обнаружены		
5	1452 кр-1б	конгломерат				баритовый цемент
6	1452-2	песчаник г/з				карбонатн. цемент
7	1452-2к	песчаник гравелистый				карбонатн. цемент
8	1452-4	алевроаргиллит	поздний палеоцен	не обнаружены		
9	1452-4а	алевроаргиллит	поздний палеоцен			
10	1452-4а1	алевроаргиллит		не обнаружены		гипс
11	1452-4а-1-1	алевроаргиллит	не обнаружены			
12	1452-4а-1-2	алевроаргиллит	не обнаружены	не обнаружены		
13	1452-4ап	алевроаргиллит				гипс
14	1452-4ас	алевроаргиллит				гипс
15	1452-4б	алевроаргиллит	не обнаружены	не обнаружены		барит
16	1452-4к	алевроаргиллит		не обнаружены	<i>D. fibula</i> ; фораминиферы	гипс
17	1452-4кп	алевроаргиллит	не обнаружены	не обнаружены		
18	1452-4-1а	алевроаргиллит	поздний палеоцен	*		барит, гипс
19	1452-4-1с	алевроаргиллит				гипс
20	1452-4-1-1	алевроаргиллит	поздний палеоцен	не обнаружены		
21	1452-5-1	алевроаргиллит	не обнаружены	не обнаружены		
22	1452-5-2	алевроаргиллит	не обнаружены	<i>P. sulcata</i>		
23	1452-5-3	алевроаргиллит	не обнаружены	*		
24	1452-5-4	алевроаргиллит	не обнаружены	<i>A. brevipes</i>		
25	1452-7-1	алевроаргиллит	не обнаружены	*		
26	1452-7-2	алевроаргиллит	не обнаружены	*		

Примечание. Диатомеи: *A. brevipes* – *Achnanthes brevipes* Agardh, *P. sulcata* – *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve; силикофлагеллаты – *D. fibula* – *Dictyocha fibula* Ehrenberg; г/з – грубозернистый, карбонатн. – карбонатный; * – единичные обломки морских диатомей.

Палиноспектры, выделенные из остальных образцов, таксономически бедны, однако участие в них пыльцы коррелятивных таксонов *Anacolosidites primigenius* Zaklinskaya, *Triatriopollenites plicoides* Zaklinskaya, *T. confusus* Zaklinskaya, *T. plectosus* Anderson совместно с доминирующими *Ulmoideipites*, *Juglanspollenites*, *Engelhardtiaipollenites* важно для установления возраста изученных отложений. Разнообразие и прекрасная сохранность пыльцы и спор свидетельствуют об их автохтонном захоронении. Сходство таксономического состава палиноспектров изученных образцов позволяет выделить их в единый палинокомплекс и считать, что формирование вмещающих их отложений происходило в одном возрастном интервале в одном бассейне седиментации.

Палинокомплексы, установленные в разновозрастных морских, озерных, континентальных отложениях, сформировавшихся в пределах одной палеофлористической области, представляют единую флору. Это позволяет проводить широкую корреляцию установленного нами палинокомплекса хр. Южное Ямато с изученными палинокомплексами из отложений северной части Тихоокеанского бассейна.

Палинокомплекс хр. Южное Ямато по таксономическому составу имеет сходство с палинокомплексом из нижней части хулгунской свиты побережья Западной Камчатки [5], датируемой поздним палеоценом [8]. Обсуждаемый палинокомплекс близок палинокомплексу *Triatriopollenites plicoides* – *Ulmoideipites krempii* – *Anacolosidites primigenius* из аргиллитовой

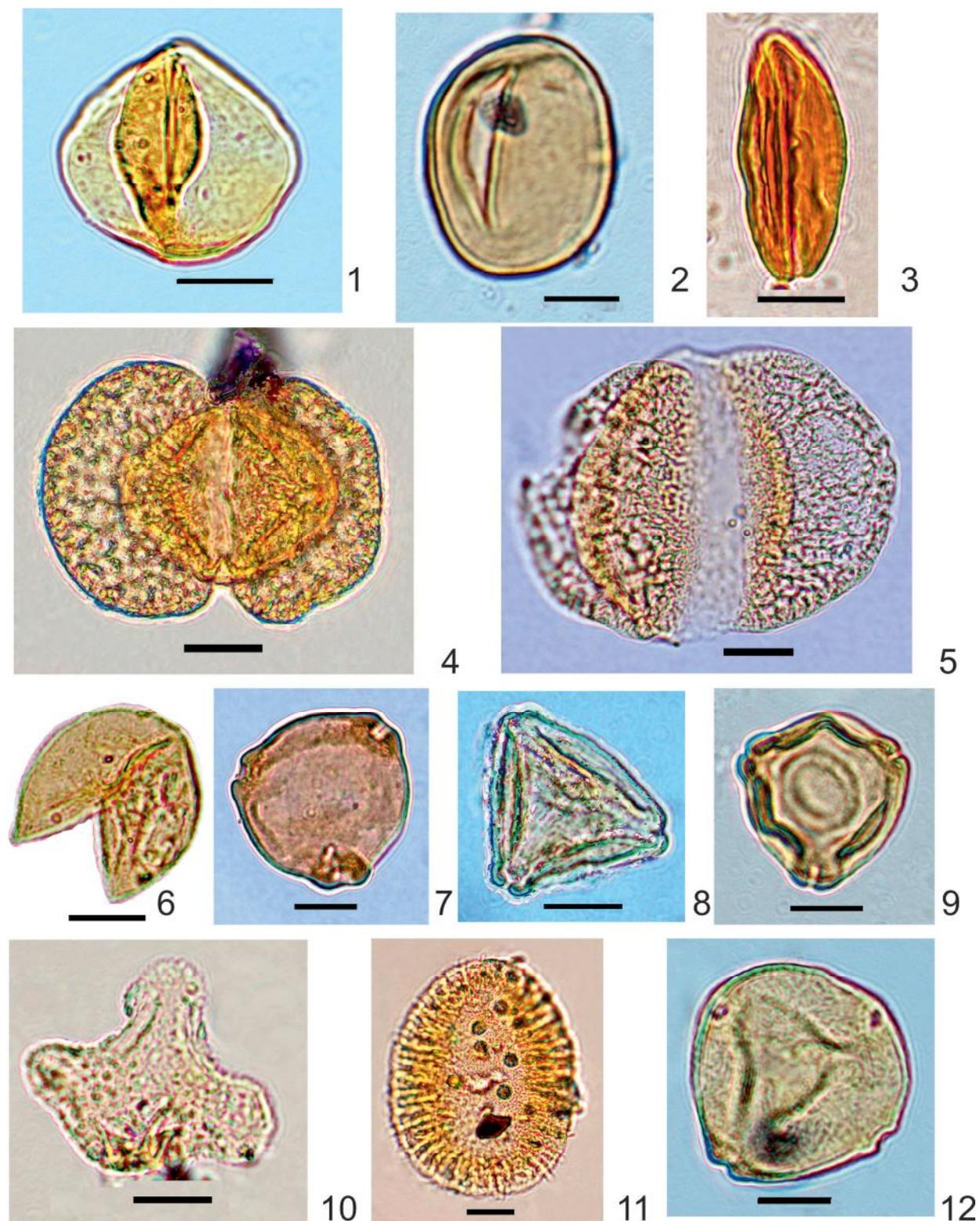


Рис. 4. Характерные таксоны палинокомплекса позднего палеоцена из алевроаргиллитов хребта Южное Ямато (обр. 1452), Японское море.

1 – *Cyathidites minor* Couper; 2 – *Laevigatosporites ovatus* Wilson et Webster; 3 – *Ginkgoecycadophytus* sp.; 4 – *Podocarpidites* sp.; 5 – *Piceapollenites* sp.; 6 – *Taxodiumpollenites* sp.; 7 – *Comptoniapollenites* sp.; 8 – *Triatriopollenites confusus* Zaklinskaya; 9 – *Myricapollenites* sp.; 10 – *Aquilapollenites spinulosus* Funkhouser; 11 – *Wodehouseia spinata* Stanley; 12 – *Caryapollenites simplex* (Potonié) Potonié. Масштабная линейка = 10 мкм.

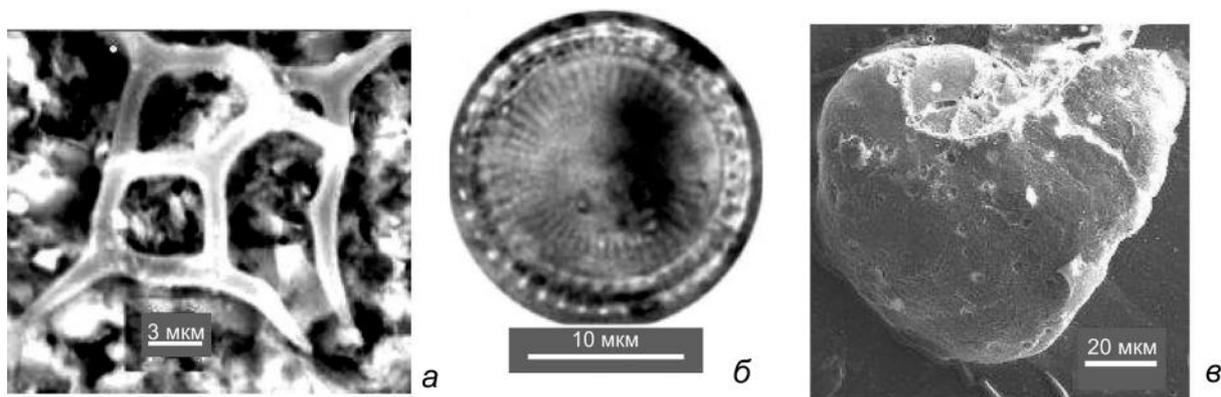


Рис. 5. Морские микроскопаемые, обнаруженные в алевроаргиллитах хребта Южное Ямато.

a – силикофлагеллата *Dictyocha fibula* Ehrenberg (обр. 1452-4); *б* – диатомея *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve (обр. 1452-5-2); *в* – фораминифера (обр. 1452-4).

толщи с морскими микроскопаемыми подводного хр. Терпения Охотского моря, датируемой поздним палеоценом–ранним эоценом [3, 52]. По таксономическому составу и доминирующим группам он также близок палинокомплексу из кивдинских слоев Приамурья позднего палеоцена [7, 33] и палинокомплексу из слоев кымсанли (палеоцен) западного побережья Японского моря, Северная Корея [6]. Сходный состав спор и пыльцы имеют палинокомплексы из свиты Хакобучи островов Хоккайдо и Амакуса раннего палеогена [82] и малокурильской свиты (маастрихт–даний) о. Шикотан [34], но участие в нем разнообразных *Aquilapollenites*, характерных для позднего маастрихта–раннего дания, значительно отличают его от палиноспектров, выделенных из алевроаргиллитов хр. Южное Ямато. Более близкий состав имеет палинокомплекс из палеоценовой зеленовской свиты, залегающей выше малокурильской свиты [34]. Близкий палинокомплекс описан из верхней части синегорских слоев с морскими двустворками Южного Сахалина [9, 22, 23, 55], позднепалеоценовый возраст (танетский ярус) которых недавно установлен по планктонным фораминиферам [17]. Кроме того, близкий по таксономическому составу палинокомплекс описан из палеоценовой формации Форт Юнион (Fort Union Formation) тихоокеанского побережья Северной Америки [75]. Ряд таксонов (e.g. *Carya anulatus*, *Thompsonipollis magnificus*, *Caryapollenites* sp., *Triporopollenites coryloides*) палинокомплекса хр. Южное Ямато характерны для отложений позднепалеоценового возраста США: штаты Джорджия [59], Дакота [90], Луизиана [66] и Северная Аляска [61].

Все вышеупомянутые палинокомплексы, включая описанный нами с возвышенности Ямато, характеризуются доминированием покрытосеменных за счет разнообразной пыльцы порового типа. В основ-

ном это пыльца, близкая к ореховым, березовым и ильмовым. Довольно разнообразна, но редка пыльца *Triatriopollenites* (*T. confusus*, *T. plectosus*, *T. plicoides*, *T. myricoides*). В составе голосеменных характерно доминирование таксодиевых. Главной особенностью палинокомплексов палеогена является участие меловых реликтов – единичных *Aquilapollenites*, *Wodehousea*, *Anacolosidites*, обилие и разнообразие которых широко представлено в позднемеловой палинологической провинции *Aquilapollenites* [49]. Сходство палинокомплекса хр. Южное Ямато с палинофлорами Северной Пацифики преимущественно позднепалеоценового возраста позволяет ограничить возраст вмещающих его отложений поздним палеоценом. Таксономический состав палинокомплекса хр. Южное Ямато отражает прибрежную растительность в условиях субтропического климата.

Морские микроскопаемые. В большинстве изученных образцов алевроаргиллитов микроскопаемые с кремневым скелетом обнаружены не были (табл. 1). Единичные диатомовые водоросли, выделенные из образцов 1452-5-2 и 1452-5-4, представлены морским бенто-планктонным видом *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, распространенным с мелового периода по настоящее время [20] и солонатоводным бентосным видом *Achnanthes brevipes* Agardh, встречающимся в морских неогеновых отложениях окраинных морей [51, 52] (рис. 5). Вид, близкий к *Achnanthes brevipes*, описан недавно из позднемеловых (маастрихт) отложений Индии [79], что предполагает более широкое стратиграфическое распространение этого таксона. Оба вида характерны для прибрежного морского мелководья. В ряде образцов (табл. 1) отмечены единичные обломки морских диатомей рода *Coscinodiscus*, плохая сохранность которых, к сожалению, не позволяет определить их до

вида. В образце 1452-4к обнаружен *Dictyocha fibula* Ehrenberg (рис. 5) – представитель силикофлагеллат, являющихся исключительно морскими планктонными микроорганизмами. Данный вид – морской, тепловодный, известен с мелового периода по настоящее время [63].

Кроме морских микроводорослей, в алевроаргиллитах (обр. 1452-4) встречены единичные морские, вероятно, бентосные фораминиферы (рис. 5), которые, к сожалению, из-за плохой сохранности нельзя идентифицировать (устное сообщение В.К. Аннина). Находки вышеприведенных микроископаемых указывают на морские условия осадконакопления вмещающих их осадков.

Геохимические и минералогические исследования. Для установления условий (континентальных или морских) осадконакопления в палеобассейне хр. Южное Ямато были проведены геохимические исследования литифицированных осадочных пород. Ряд микроэлементов различными авторами считаются индикаторами морского или континентального генезиса осадочных пород. Наиболее достоверным индикатором палеосолености среды осадконакопления является бор [48, 60, 62, 67]. Содержание бора в современных морских осадках разных широт выше (105 г/т), чем в пресноводных (58 г/т) [80], в современных осадках Тихого океана – 134 г/т (n = 384), Атлантического – 130 г/т (n = 38), Индийского – 115 г/т (n = 46) [74]. Рекомендуемые для целей палеорекострукции содержания бора в глинистых породах района шельфа – 100 г/т [48]. На о. Хоккайдо Северной Японии в палеогеновых аргиллитах и песчаниках морского генезиса содержание бора 100 (65–135) г/т и 70 (65–79) г/т, а в аналогичных породах пресноводного генезиса – 60 (33–119) г/т и 35 (19–49) г/т, соответственно [56].

Геохимические исследования осадочных пород хр. Южное Ямато показали, что среднее содержание бора в алевроаргиллитах и песчаниках составляет 94 г/т (80–100 г/т) и 83 г/т (60–100 г/т), соответственно (табл. 2), что близко к содержанию бора в морских современных и палеогеновых осадках. Исследуемые нами породы сформировались в эпигенезе, но в процессе формирования пород содержание бора в отложениях не меняется. «Бор может быть надежно использован в качестве геохимического индикатора среды седиментации и в отложениях, претерпевших эпигенез» [11],

Палеосоленость бассейнов можно также оценить отношением В/Ga [62]. В эоцен-олигоценых тонкозернистых породах (аргиллитах) залива Бохай Желтого моря на северо-востоке Китая установлено отношение В/Ga в отложениях: пресноводных бассей-

Таблица 2. Средние содержания микроэлементов (г/т) в осадочных породах верхнего палеоцена хребта Южное Ямато, Японское море.

Микро-элементы	Песчаники N = 7	Алевроаргиллиты N = 7
B	83 (60–100)	94 (80–100)
Ga	17 (6–20)	14 (8–20)
Ti	1280 (1000–2000)	1700 (1000–2000)
Sn	5 (4–6)	7 (4–10)
Pb	31 (30–40)	31 (20–40)
Zn	123 (80–150)	147 (80–200)
Cu	44 (30–60)	59 (40–80)
Ge	1 (1–2)	1 (1–2)
Mn	150 (100–300)	141 (80–3000)
Cr	76 (40–150)	111 (60–200)
Ni	56 (20–80)	71 (40–150)

Примечание. N – количество проанализированных образцов. Спектральный анализ выполнен в тресте «Дальвостокуглеразведка».

нов – < 2.5; солоноватоводных бассейнов – 2.5–5.0 и морских > 5 [88]. В палеоценовых алевроаргиллитах хр. Южное Ямато отношение В/Ga = 6.71, что характерно для морских бассейнов. Таким образом, содержание бора и величина отношения В/Ga в осадочных отложениях хр. Южное Ямато позднего палеоцена указывают на морские условия при их формировании.

Химический состав аутигенных минералов.

При хранении в камнехранилище на поверхности алевроаргиллитов в результате испарения реликтовых поровых вод образовались аутигенные минералы барит и гипс (рис. 6, 7). Химический состав этих минералов отражает состав реликтовых поровых вод в осадках палеобассейна. Аутигенный барит характеризуется присутствием главных элементов морской воды – Na, K, Ca, Mg и очень высоким содержанием Sr (17.47 % и 17.08 %) (табл. 3) – элемента, характерного для морской воды [19]. Единичная проба гипса также содержит примесь Na, K и Mg (табл. 3). Все образованные в камнехранилище минералы являются сульфатами. Следовательно, реликтовая поровая вода, из которой образовались минералы, являлась, по-видимому, морской, находящейся на сульфатной стадии галогенеза. Это подтверждается присутствием в конгломерате (обр. 1452кр-1б) цемента, представленного баритом, с высоким содержанием Sr (2.12 %) (рис. 6; табл. 3).

Органические образования. В процессе исследования пород в сканирующем электронном микроскопе в алевроаргиллитах были обнаружены два вида образований с высоким содержанием углерода: а – 30–59 % (обр. 1452ж), б – 11–76 % (образец 1452к) (рис. 8, а, б; табл. 4), что указывает на их первич-

Таблица 3. Химический состав (%) баритового цемента из конгломератов и аутигенных минералов алевроаргиллитов хребта Южное Ямато (станция 1452) Японского моря.

№ п/п	Образец	Ba	S	O	Sr	Na	Mg	K	Ca	Al	Si	Fe	C
Баритовый цемент в конгломерате													
1	1452кр-1б (n = 5)	48.54	10.02	34.62	2.12								5.13
Аутигенный барит													
2	1452-4-1а (n = 2)	1.98	6.69	50.87	17.27	0.64	0.64	0.61	0.55	1.88	5.95	2.14	10.25
Аутигенный гипс													
		Ca	S	O	Sr	Na	Mg	K		Al	Si	Fe	C
3	1452-4-1с (n = 2)	28.80	23.91	47.29									
4	1452-4к	28.15	24.28	47.58									
5	1452-4ас (n = 2)	20.87	17.59	54.05							0.35		7.13
6	1452-4-1а (n = 3)	22.65	20.35	51.00						0.46	1.20	0.78	3.60
7	1452-4а1 (n = 2)	11.70	10.59	61.78							0.33	0.31	15.31
8	1452-4ап (n = 2)	25.26	21.75	50.16									2.82
9	1452-4ап	8.44	8.05	59.47		1.16	0.72	0.47		1.90	5.04	1.54	13.21

Примечание. СЭМ EVO 50-XVP, лаборатория микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН, аналитик Баринов Н.Н. n – количество точек химических анализов.

Таблица 4. Химический состав (%) органических образований из алевроаргиллитов хребта Южное Ямато Японского моря, морских (ламинария) и наземных растений.

Спектр	C	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	K	Ca	Fe	Cu	Zn
а (образец 1452ж)												
1	41.78	43.93	0.43	1.52	1.40	5.14	0.20	0.40	0.16	4.82	0.21	
2	43.00	38.80	0.43	1.37	1.45	6.48	0.21	0.67	0.14	6.53	0.49	0.44
3	30.06	50.07	0.66	2.77	1.80	5.42	0.15	0.48	0.13	7.93	0.23	0.30
4	34.66	53.22	0.52	1.06	1.36	6.77	0.15	0.49	0.13	1.47	0.18	
5	59.00	35.61	0.54	0.56	0.53	2.05	0.50	0.17	0.13	0.91		
6	43.89	43.74	0.42	2.00	1.23	3.54	0.24	0.21	0.11	4.18	0.22	0.21
б (образец 1452к)												
1	11.02	61.73	0.77	7.66	3.98	8.67		0.58		5.09	0.49	
2	76.10	23.90										
3	70.33	26.85	0.41	0.18			0.89		0.36		0.30	
4	45.94	43.35	0.84	0.54	1.73	5.67		0.58	0.10	0.66	0.32	0.26
Ламинария <i>Laminaria dentigera</i> Kjellman [1]												
			2.0	0.9				4.5	1.0	7.5	1.3	5.0
Наземные растения [37]												
	18.00	70.00	0.02	0.07	0.02	0.15		0.30	0.30	0.02		

Примечание. СЭМ EVO 50-XVP, лаборатория микро- и наноисследований ДВГИ ДВО РАН, аналитик Баринов Н.Н.

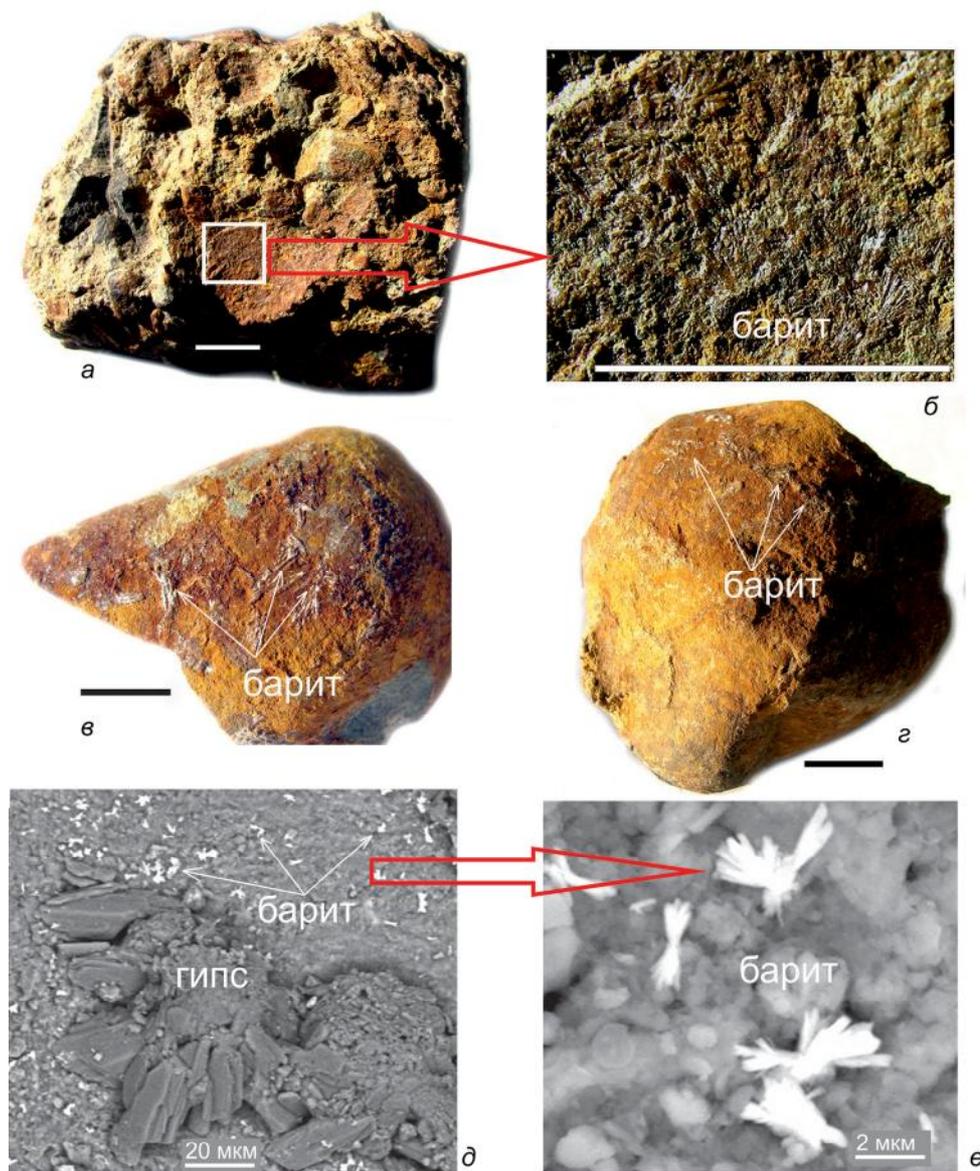


Рис. 6. Аутигенные минералы осадочных пород верхнего палеоцена хребта Южное Ямато, Японское море.

a, б – барит в конгломерате; *в, з* – барит на поверхности галек конгломерата (обр. 1452-кр-16); *д* – гипс, *д, е* – барит на поверхности алевроаргиллита (обр. 1452-4-1а). Масштабная линейка на фиг. *a, б, в, з* = 1 см.

но органическое происхождение. Образование «а» (рис. 8, *a*) имеет гранулированную структуру, образование «б» (рис. 8, *б*) характеризуется пленкообразной клеточной основой с рыхлой гранулированной массой. Морфология этих образований похожа на растительную структуру, что также указывает на органическое происхождение этих образований. Химический состав образований характеризуется постоянным присутствием главных элементов морской воды – Na, K, Ca, Mg и Cl (элемента, характерного для морской воды), относительно высоким (до 8 %) содержанием Fe и присутствием Cu и Zn. Состав образований «б»

аналогичен, но указанные элементы не встречаются в спектрах постоянно. Химический состав образований близок к таковому современных морских бурых водорослей, для которых характерно постоянное присутствие главных элементов морской воды, высокое содержание Fe и присутствие Cu и Zn [1, 25]. От химического состава наземных растений органические образования отличаются очень низким содержанием Na, Mg, Fe и отсутствием Cu и Zn [40]. Таким образом, химический состав исследованных органических образований из алевроаргиллитов также предполагает морской генезис вмещающих осадков.

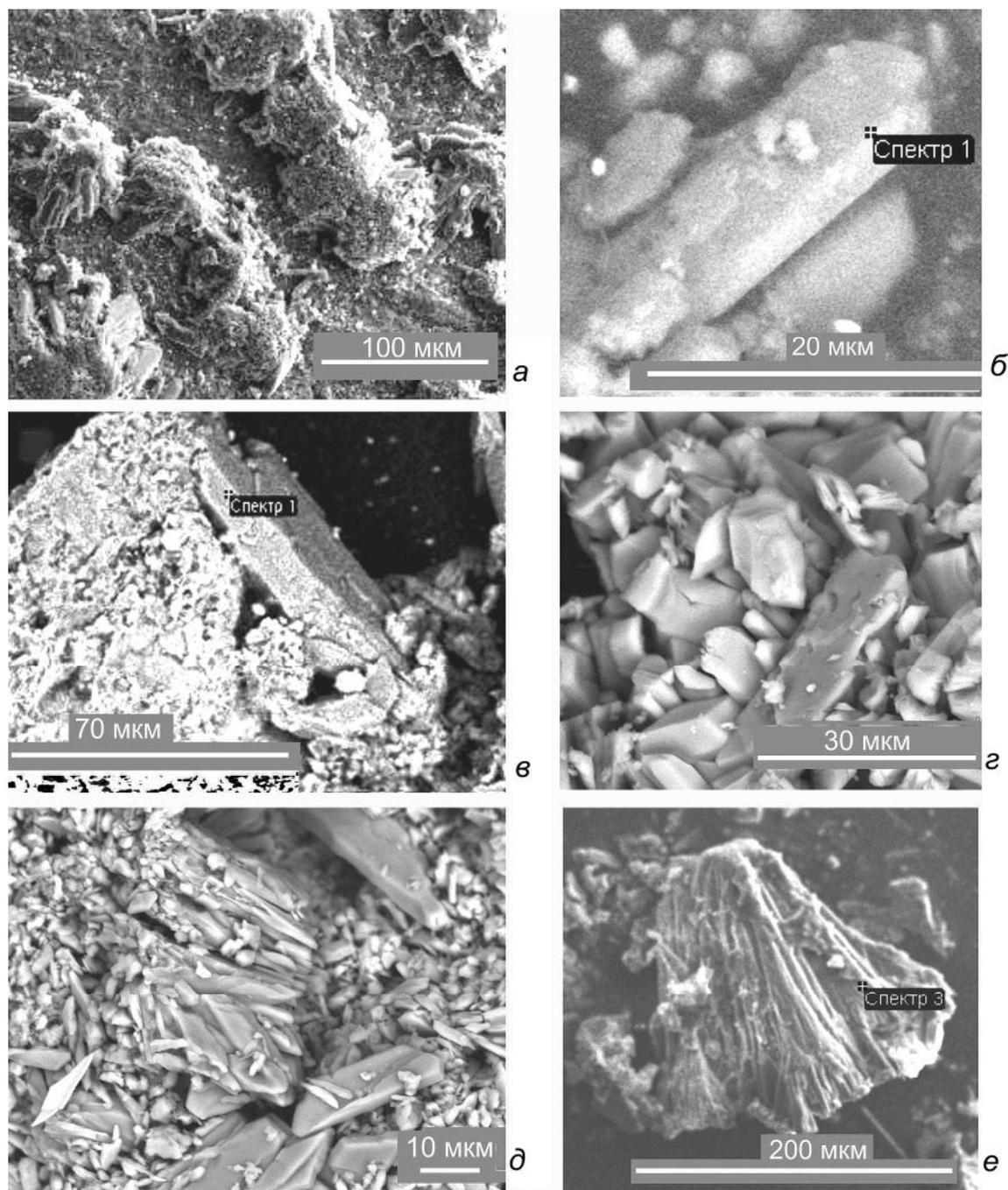


Рис. 7. Аутигенный гипс на алевроаргиллитах верхнего палеоцена хребта Южное Ямато Японского моря, образованный в процессе испарения поровой воды.

а (обр. 1452-4-1а), *б* (обр. 1452-4ас), *в* (обр. 1452-4ап), *г* (обр. 1452-4-1с), *д* (обр. 1452-4к), *е* (обр. 1452-4а1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Таксономический состав палинокомплексов, выделенных из литифицированных пород хр. Южное Ямато, и его сходство преимущественно с палинофлорами позднего палеоцена севера Тихоокеанской области указывают на позднепалеоценовый возраст

(59.2–56.0 млн лет) вмещающих их пород. Это существенное уточнение возраста рассматриваемых отложений, которые первоначально датировались палеогеном (66.0–23.03 млн лет) [26], потом палеоценом (66.0–56.0 млн лет) [4, 65]. Формировались эти отложения в морских условиях, о чем свидетельству-

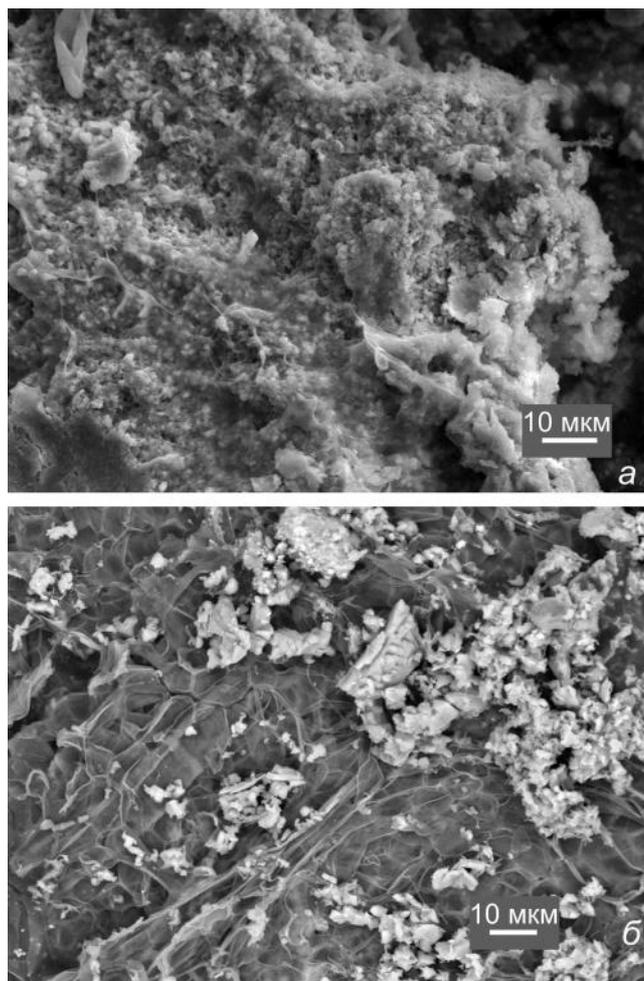


Рис. 8. Органические образования в алевроаргиллитах верхнего палеоцена хребта Южное Ямато Японского моря. а (обр. 1452ж), б (обр. 1452к).

ют находки в них единичных морских микроископаемых (диатомеи, силикофлагеллаты, фораминиферы), высокое содержание бора – индикатора морских вод, и химический состав аутигенных минералов, отражающий состав реликтовой морской воды. Морские условия осадконакопления подтверждаются и результатами изучения органических образований, установленных в алевроаргиллитах. Качественный и количественный химический состав этих образований близок к таковому некоторых современных морских бурых водорослей [1, 25] и резко отличается от состава наземных растений. Современные бурые водоросли растут, преимущественно, на глубинах до 20 м [41]. Присутствие органических образований в изученных отложениях предполагает мелководно-морской генезис осадков. На прибрежно-морские условия указывают находки диатомей *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve

и *Achnanthes brevipes* Agardh, характерных для морского мелководья.

В некоторых образцах грубозернистых и гравелистых песчаников поровый и базальный цемент (обр. 1452-1, 1452-2к) (табл. 1) представлен хемогенным кальцитом, что также свидетельствует о морских условиях седиментации. Хемогенное осаждение кальцита в современное время происходит на шельфах в субтропической и тропической зонах [32].

Баритовый цемент конгломератов и химический состав аутигенных минералов отражают состав реликтовой воды сульфатной стадии галогенеза. Эта стадия достигается при эвапоритизации как морской, так и пресной воды. Морской генезис воды мы предположили на основании присутствия в аутигенных минералах главных элементов морской воды – Na, K, Ca, Mg, высокого содержания Sr (2.12 %) в баритовом цементе конгломерата и очень высокого содержания Sr (17.47 %; 17.08 %) в аутигенном барите. Кроме того, при испарении морской воды образуется определенная, характерная ассоциация хемогенных минералов, позволяющая отличить морской тип галогенеза. В процессе эвапоритизации морской воды последовательно выпадают кальцит, гипс, галит, эпсомит, гексагидрит, кизерит, карналлит, бишофит [42]. В нашем случае кальцитовый цемент в песчаниках, вероятно, указывает на начало процесса эвапоритизации морской воды, а баритовый цемент в конгломерате и видовой состав аутигенных минералов отражают последующую (сульфатную) стадию галогенеза. Это позволяет предполагать существование в районе хр. Южное Ямато в позднем палеоцене полузамкнутых или замкнутых мелководных морских бассейнов повышенной солености [47]. Для формирования в этих бассейнах насыщенных по бариту и гипсу растворов достаточно температуры воды 25 °C [50]. Субтропический (среднеземноморский, материковый, муссонный) климат характеризуется средними «плюсовыми» летними 22–30 °C и зимними 0–10 °C температурами [24]. Палинокомплексы из изученных отложений отражают прибрежную растительность в условиях субтропического климата, что указывает на возможность формирования указанных насыщенных растворов в позднепалеоценовом бассейне.

На Японских островах самые древние отложения чехла имеются на о-ве Хоккайдо позднепалеоценового возраста [57, 83], в западных районах о-ва Хонсю [77, 85] и Кюсю [68, 72, 86, 89] эоценового возраста и лежат со значительным стратиграфическим несогласием на меловых, том числе осадочных, породах. Осадконакопление в палеоцен-эоценовых бассейнах происходило, преимущественно, в мелководно-мор-

ских условиях, что согласуется с установленными нами условиями седиментации в позднепалеоценовом осадочном бассейне на хребте Южное Ямато. Предполагается, что осадконакопление происходило на периферии эпиконтинентального мелководного морского бассейна в условиях климата, близкого к субтропическому.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Палинологические исследования позволили установить позднепалеоценовый возраст литифицированных осадочных пород хр. Южное Ямато. Единичные морские микроскопаемые – диатомей, силикофлагеллаты, фораминиферы, обнаруженные в этих породах, указывают на прибрежные морские условия их формирования. Химический и минералогический состав пород (высокое содержание бора; минеральный, химический состав цемента и органических образований) также свидетельствуют о морских условиях осадконакопления. Химический состав аутигенных минералов (барит, гипс) отражают состав реликтовой морской воды и мелководные условия образования отложений.

Таким образом, результаты исследования литифицированных осадочных пород хр. Южное Ямато позволили установить, что формирование кайнозойского осадочного чехла Японского моря началось в позднем палеоцене (59.2–56.0 млн лет) в прибрежном морском бассейне в условиях климата, близкого к субтропическому.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны Л.В. Осиповой за химико-техническую обработку образцов для диатомового анализа, В.К. Аннину – за определение фораминифер, Н.К. Вагиной – за помощь при подготовке рукописи.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования (тема № 121021700342-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аминина Н.М., Вишневская Т.И., Гурулева О.Н., Ковковдова Л.Т. Состав и возможности использования бурых водорослей дальневосточных морей // *Вестн. ДВО РАН*. 2007. № 6. С. 123–130.
2. Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России (Atlas: Geology and mineral resources of the Russian shelf areas) / Гл. ред. М.Н. Алексеев. М.: Scientific World, 2004. 108 р.
3. Безверхний В.Л., Горвая М.Т., Маркевич В.С., Набиуллин А.А. Морской палеоген северного склона Курильской глубоководной котловины (Охотское море) // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2003. Т. 11, № 6. С. 70–82.
4. Берсенева И.И., Леликов Е.П., Безверхний В.Л., Ващенко-ва Н.Г., Съедин В.Т., Терехов Е.П., Цой И.Б. Геология дна Японского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 140 с.
5. Болотникова М.Д. Палинокомплекс хулгунской свиты Тигильского опорного разреза (Западная Камчатка) // *Палеоботаника на Дальнем Востоке*. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 38–46.
6. Болотникова М.Д. Спорово-пыльцевые комплексы третичных отложений западного побережья Японского моря. М.: Наука, 1979. 196 с.
7. Братцева Г.М. Палинологические исследования верхнего мела и палеогена Дальнего Востока // *Тр. Геол. ин-та АН СССР*. 1969. Вып. 207. 56 с.
8. Буданцев Л.Ю. Раннепалеогеновая флора Западной Камчатки. СПб.: Наука, 2006. 160 с.
9. Будрин В.С., Громова Н.С. О возрасте пограничных слоев мела и палеогена на Сахалине // *Палинологический метод в стратиграфии*. Л.: Недра, 1973. С. 135–143.
10. Бурикова И.А., Емельянова Т.А., Леликов Е.П. Петрология андезитов центрального поднятия Ямато // *Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 4. Геология*. 2014. № 3. С. 36–48.
11. Валиев Ю.Я. Геохимия бора в юрских отложениях Гиссарского хребта. М.: Наука, 1977. 152 с.
12. Васильев Б.И., Карп Б.Я., Строев П.А., Шевалдин Ю.В. Строение подводной возвышенности Ямато (Японское море) по геофизическим данным. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1975. 97 с.
13. Васильковский Н.П., Безверхний В.Л., Деркачев А.Н., Евланов Ю.Б., Карп Б.Я., Коновалов Ю.И., Марков Ю.Д., Пискунов Б.И., Строев П.А., Филатьев В.П., Хведчук И.И., Шевалдин Ю.В. Основные черты геологического строения Японского моря. М.: Наука, 1978. 264 с.
14. Ващенко Н.Г., Горвая М.Т., Можеровский А.В. О составе и возрасте аргиллитовой толщи осадочного чехла материкового склона Японского моря // *Тихоокеан. геология*. 2009. Т. 28, № 3. С. 53–63.
15. Ващенко Н.Г., Горвая М.Т., Можеровский А.В., Цой И.Б. Об осадочном чехле и позднекайнозойской истории развития хр. Окусири (Японское море) // *Стратиграфия. Геол. корреляция*. 2011. Т. 19, № 6. С. 89–104.
16. Геологическая карта дна Японского моря. 1:2 500 000 / Ред. И.И. Берсенева, Л.И. Красный. М.: Мингео СССР, 1984.
17. Гладенков Ю.Б., Беньямовский В.Н. Новые данные о маастрихт-палеоценовых фораминиферах синегорского горизонта Южного Сахалина // *Стратиграфия. Геол. Корреляция*. 2009. Т. 17, № 4. С. 95–106.
18. Голозубов В.В., Касаткин С.А., Yokoyama K., Tsutsumi Yu., Kiyokawa Sh. Миоценовые дислокации при формировании впадины Японского моря (на примере о. Цусима) // *Геотектоника*. 2017. № 4. С. 83–100. DOI: 10.7868/S0016853X1704004X
19. Деев М.Г. Мировой океан. Основные параметры морской воды // *География*. 2009. № 20. geo.1sept.ru/view_article.php?ID=200902003
20. Диатомовые водоросли СССР (ископаемые и современные). СПб.: Наука, 1992. Т. II (2). 125 с.
21. Жузе А.П., Прошкина-Лавренко А.И., Шешукова-Порецкая В.С. Методика исследования // *Диатомовые водоросли СССР. Ископаемые и современные*. Л.: Наука, 1974. С. 50–79.

22. Заклинская Е.Д. Покрытосеменные по палинологическим данным // Развитие флор на границе мезозоя и кайнозоя. М.: Наука, 1977. С. 66–120.
23. Калишевич Т.Г., Заклинская Е.Д., Серова М.Я. Развитие органического мира Тихоокеанского пояса на рубеже мезозоя и кайнозоя. Фораминиферы, моллюски и палинофлора Северо-Западного сектора. М.: Наука, 1981. 164 с.
24. Климат Земли: виды и характеристики климатических поясов. 2021. <https://disinsect.ru/klimat-zemli-vidy-i-kharakteristiki-klimaticheskikh-poyasov/>
25. Ключкова Н.Г., Березовская В.А. Водоросли камчатского шельфа. Распространение, биология, химический состав. Владивосток: Дальнаука, 1997. 154 с.
26. Леликов Е.П., Терехов Е.П., Маркевич В.С. Нижнемеловые и палеогеновые отложения подводной возвышенности Ямато (Японское море) // ДАН АН СССР. 1980. Т. 253, № 3. С. 678–681.
27. Леликов Е.П. Метаморфические комплексы окраинных морей Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР, 1992. 168 с.
28. Леликов Е.П., Маляренко А.И. Гранитоидный магматизм окраинных морей Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 1994. 268 с.
29. Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Съедин В.Т., Аркелянц М.М., Лебедев В.А. Новые данные по радионуклидному датированию вулканитов Японского и Охотского морей // Тихоокеан. геология. 2001. Т. 20, № 5. С. 118–122.
30. Леликов Е.П., Цой И.Б., Терехов Е.П., Съедин В.Т., Ващенко Н.Г., Набуллин А.А. Геология и основные типы горных пород дна Японского моря. Владивосток: Дальнаука, 2006. 93 с.
31. Леликов Е.П., Пугачев А.А. Гранитоидный магматизм Японского и Охотского морей // Петрология. 2016. Т. 24, № 2. С. 212–230.
32. Лидер М. Седиментология. Процессы и продукты. М.: Мир, 1986. 439 с.
33. Мамонтова И.Б. Палинологические исследования палеогеновых и неогеновых отложений Южного Приморья // Стратиграфия кайнозойских отложений Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. С. 90–94.
34. Маркевич В.С., Можеровский А.В., Терехов Е.П. Палинологическая характеристика малокурильской свиты (маастрихт–даний) о. Шикотан // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2012. Т. 20, № 5. С. 65–76.
35. Маргын Ю.А., Голозубов В.В., Ханчук А.И. Мантийный диапиризм в зонах конвергенции литосферных плит // Геология и геофизика. 2016. Т. 57, № 5. С. 947–961. DOI: 10.15372/GiG20160508
36. Мельниченко Ю.И. Рельеф дна и морфотектоника Японского моря // Дальневосточные моря России. В 4 кн. / Геологические и геофизические исследования. Кн. 3. М.: Наука, 2007. С. 17–25.
37. Можеровский А.В., Терехов Е.П. Аутигенные минералы раннемеловых и палеоценовых осадочных пород подводной возвышенности Ямато // Тихоокеан. геология. 1999. Т. 18, № 1. С. 59–69.
38. Павлюткин Б.И., Голозубов В.В. Палеоботанические свидетельства времени возникновения Японского моря // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2. Вып. № 16. С. 19–26.
39. Покровская И.М. Методика палеопалинологических исследований // Палеопалинология. Л.: Недра, 1966. Т. 1. С. 29–83.
40. Протасова Н.А., Беляев А.Б. Химические элементы в жизни растений // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7, № 3. С. 25–32.
41. Растения и животные Японского моря: Краткий атлас-определитель. Владивосток: ДВГУ, 2007. 488 с.
42. Станкевич Е.Ф., Баталин Ю.В., Чайкин В.Г. Об отличии морских и континентальных галогенных отложений // Проблемы морского и континентального галогенеза. Новосибирск: Наука, 1991. С. 23–30.
43. Стратиграфический кодекс России. Изд. третье, исправленное и дополненное. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2019. 96 с. (МСК России, ВСЕГЕИ).
44. Терехов Е.П. Донеогеновые вулканокластические и осадочные комплексы пород дна Японского моря: Дис. ... канд. геол.-минер. наук. Владивосток, ТОИ ДВО РАН, 1991. 297 с.
45. Терехов Е.П. Нижнемеловые и палеоценовые осадочные породы подводной возвышенности Ямато: Материалы регион. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения И.И. Берсенева. Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2016. С. 73–76.
46. Терехов Е.П., Харченко Т.А., Ли Н.С. Корреляция акустических характеристик и возраста базальных горизонтов кайнозойского осадочного чехла Японского моря // Тихоокеан. геология. 2022. Т. 41, № 2. С. 44–58. DOI: 10.30911/0207-4028-2022-41-2-44-58
47. Тихвинский И.Н. Галогенные формации, их системы и системы бассейнов галогенной седиментации // Общие проблемы галогенеза. М.: Наука, 1985. С. 24–35.
48. Хардер Г. Геохимия бора. М.: Недра, 1965. 136 с.
49. Хернгрин Г.Ф.В., Хлонова А.Ф. Меловые палинофлористические провинции мира. Новосибирск: Наука, 1983. 138 с.
50. Химия. Произведение растворимости ряда соединений при 25° С. calc.ru>649.html?print=1
51. Цой И.Б., Шастина В.В. Кремнистый микропланктон неогена Японского моря (диатомеи, радиолярии). Владивосток: Дальнаука, 1999. 241 с. DOI:10.13140/RG.2.1.2727.8803
52. Цой И.Б., Шастина В.В. Кайнозойский кремнистый микропланктон из отложений Охотского моря и Курило-Камчатского желоба. Владивосток: Дальнаука, 2005. 181 с. DOI: 10.13140/RG.2.1.2727.8803
53. Цой И.Б., Горюва М.Т., Василенко Л.В., Ващенко Н.Г., Вагина Н.К. Возраст и условия формирования пород осадочного чехла плато Уллын Японского моря по микропалеонтологическим данным // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2017. Т. 25, № 1. С. 85–108. DOI: 10.7868/SO869592X17010070
54. Цой И.Б., Ващенко Н.Г., Василенко Л.Н., Горюва М.Т., Вагина Н.К., Мельниченко Ю.И. Стратиграфия и условия формирования кайнозойского осадочного чехла возвышенности Ямато Японского моря // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2020. Т. 28, №2. С. 103–131. DOI: 10.31857/S0869592X20020076
55. Экосистемы кайнозоя Охотоморского региона. Опорный разрез палеогена и неогена Северного Сахалина (п-ов Шмидта): стратиграфия, палеогеография и геологические события. М.: ГЕОС, 1999. 132 с.
56. Aizawa S., Akaiwa H. Boron contents of Paleogene sedimentary

- rocks from the Yubari coal field, Central Hokkaido, Northern Japan – Availability of boron as a geochemical indicator for depositional paleoenvironment // *Geochemistry*. 1979. V. 13, N 2. P. 32–40.
57. Ando H. Geologic setting and stratigraphic correlation of the Cretaceous to Paleocene Yezo forearc basin in Northeast Japan // *J. Japanese Assoc. petroleum technology*. 2005. V. 70, N 1. P. 24–36.
 58. Burckle L. H., Brunner C.A., Alexandrovich J., DeMenocal P., Briscoe J., Hamano Y., Heusser L., Ingle J.C.Jr., Kheradyar T., Koizumi I., Krumsiek K.A.O., Ling H.-Y., Muza J.P., Raham A., Sturz A., Vigliotti L., White L.D., Wippen J.J.M., Yamanoi T. Biostratigraphic and biochronologic synthesis of Leg 127 and 128: Sea of Japan // *Proc. ODP, Sci. Results, 127/128 (pt. 2)*. 1992. College Station, TX (Ocean Drilling Program). P. 1219–1228.
 59. Christopher R.A., Prowell D.C., Reinhardt J., Markewich H.W. The stratigraphic and structural significance of Paleocene pollen from warm springs, Georgia // *Palynology*. 1980. V. 4 (1). P. 105–124. DOI: 10.1080/01916122.1980.9989204
 60. Couch E.L. Calculation of paleosalinities from boron and clay mineral data // *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 1971. V. 55 (10). P. 1829–1837.
 61. Daly R.J., Jolley D.W., Spicer R.A. The role of angiosperms in Palaeocene arctic ecosystems: A palynological study from the Alaskan North Slope // *Palaeogeog., Palaeoclimatol., Palaeoecology*. 2011. V. 309, is. 3–4. P. 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.07.007>
 62. Degens E.T., Williams E.G., Keith M.L. Environmental studies of carboniferous sediments. P. I: geochemical criteria for differentiating marine from fresh-water shales // *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull.* 1957. V. 41, is. 11. P. 2427–2455.
 63. Desikachary T.V., Prema P. Silicoflagellates (Dictyochophyceae). *Bibliotheca Phycologica*. Band 100. Berlin-Stuttgart, J. Cramer. 1996. 298 p.
 64. GEBCO Gazetteer of Undersea feature names: http://www.gebco.net/data_and_products/undersea_feature_names
 65. Geology and geophysics of the Japan Sea / Eds. N. Isezaki, I.I. Bersenev, R. Tamaki, B.Ya. Karp, E.P. Lelikov. Tokyo: TERRAPUB, 1996. 488 p.
 66. Gregory W.A. Taxonomy and biostratigraphy of Sabinian palynomorphs from the Wilcox Group (Paleocene-Eocene epochs) of Southwestern Louisiana. 1991. LSU Historical Dissertation and Theses, 5121. https://digitalcommons.lsu.edu/gradschool_disstheses/5121
 67. Harder H.A. Boron content of sediments as a tool in facies analysis // *Sedimentary Geol.* 1970. V. 4 (1–2). P. 153–175.
 68. Hashimoto M. The geology of Japan. Tokyo: Terra Sci. Publ. Co., Dordrecht and Boston: Kluwer Acad. Publ., 1991. 249 p. <https://doi.org/10.1180/minmag.1992.056.383.26>
 69. Ingle J.C.Jr., Karig D.E., Bouma A.H., Howard C.E., MacGregor I., Moore J.C., Ujii H., Watanabe T., White S.M., Yasui M., Ling H.Y. Site 302 // *Init. Repts of the Deep Sea Drilling Project*. Washington (U.S. Government Print. Office), 1975. V. 31. P. 439–469.
 70. Ingle J.C.Jr. Subsidence of the Japan Sea: stratigraphic evidence from ODP sites and onshore sections // *Proc. ODP, Sci. Results*. 1992. V. 127/128, pt. 2. College Station, TX (Ocean Drilling Program). P. 1197–1218.
 71. Kaneoka I., Matsuda J., Lelikov E.P., Sedin V.T. Isotope geochemistry of igneous rocks in the Japan Sea // *Geology and Geophysics of the Japan Sea*. Japan-USSR Monograph Series. 1996. V. 1. P. 369–383.
 72. Kazunari M., Yukimisu T., Beard C., Gannell G-F., Hiraki U., Koji H. Eocene mammals from the Akasaki and Nakakoshiki formation western Kyushu, Japan: preliminary work and correlation with Asian // *Land mammal ages Vertebrata Palasiatica*. 2011. P. 53–68.
 73. Koizumi I. The geological history of the Sea of Japan – based upon sediments and microfossils // *Nipponkai*. 1979. N 10. P. 69–90.
 74. Landergren S. On the geochemistry of deep-sea sediments // *Rept. Swedish Deep-Sea Expedition, 10: Spec. Invest.* 1964. V. 5. P. 57–154.
 75. Leffingwell H.A. Palynology of the Lance (Late Cretaceous) and Fort Union (Paleocene) Formations of the Type Lance Area, Wyoming // *Symposium on palynology of the Late Cretaceous and Early Tertiary: Geol. Soc. Amer.* 1970. V. 127. <https://doi.org/10.1130/SPE127-p1>
 76. Nakajo T., Funakawa T. Eocene radiolarians from the Lower formation of the Taishu Group // *J. Geol. Soc. Japan*, 1996. V. 102. P. 751–754.
 77. Ohguchi T., Yamagishi H., Kobayshi N., Kano K. Late Eocene shoreline volcanism along the continental margin: volcanic succession at Kabuki Iwa, Oga Peninsula, NE Japan // *Bull. Geol. Surv. Japan*. 2008. V. 59 (5/6). P. 255–266.
 78. Sakai H., Nishi H. Geologic ages of the Taishu Group and Katsumoto Formation in the Tsushima and Iki islands, off northwest Kyushu on the basis of planktonic foraminifers // *J. Geol. Soc. Japan*. 1990. V. 96. P. 389–392.
 79. Samant B., Kumar A., Mohabey D.M., Humane S., Kumar D., Dhole A., Pizal P. *Centropyxis aculeate* (testate lobose amoebae) and associated diatoms from the intertrappean lacustrine sediments (Maastrichtian) of central India implications in understanding paleolake ecology // *Paleontologica Electronica*. 2020. V. 23 (3): a60. <https://doi.org/10.26879/1082paleo-electronica.org/content/2020/3220-testate-lobose-amoebae>
 80. Shimp N.F., Witters J., Potter P.E., Schleicher J.A. Distinguishing marine and freshwater muds // *J. Geol.* 1969. V. 77, N 5. P. 566–580.
 81. Tada R., Murray R.W., Alvarez Zarikian C.A., Anderson W.T.Jr., Bassetti M.-A., Brace B.J., Clemens S.C., da Costa Gurgel M.H., Dickens G.R., Dunlea A.G., Gallagher S.J., Giosan L., Henderson A.C.G., Holbourn A.E., Ikehara K., Irino T., Itaki T., Karasuda A., Kinsley C.W., Kubota Y., Lee G.S., Lee K.E., Lofi J., Lopes C.I.C.D., Peterson L.C., Saavedra-Pellitero M., Sagawa T., Singh R.K., Sugisaki S., Toucanne S., Wan S., Xuan C., Zheng H., Ziegler M. *Proc. Integrated Ocean Drilling Program*. 2015. V. 346. College Station, TX (Integrated Ocean Drilling Program). P. 1–113. DOI: 10.2204/iodp.proc.346.110.2015
 82. Takahashi K. Upper Cretaceous and Lower Paleogene microfossils of Japan // *Rev. Paleobotany and Palynology*. 1966. N 5. P. 227–234.
 83. Takano O., Itoh Y., Kusumoto S. Variation in forearc basin configuration and basin filling depositional systems as a function of trench slope break development and strike-slip movement: Examples from the Cenozoic Ishikari-Sanriku-Oki and Takai-Oki-Kumano-Nada Forearc Basins, Japan, 2013. <http://dx.doi.org/10.5772/56751>

84. Tamaki K., Suyehiro K., Allan J., Ingle J.C., Pisciotto K.A. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP Drilling // Proc. ODP, Sci. Results. 1992. V. 127/128, pt. 2. College Station, TX (Ocean Drilling Program). P. 1333–1348.
85. Tani K., Tsutsumi Y., Shigeoka M., Yokoyama K. Zircon U-Pb dating of the Akashima Formation, Oga Peninsula, Akita Prefecture, Japan // Mem. Natl. Mus. Nat. Sci., Tokyo. 2016. N 51. P. 45–51.
86. Tsutsumi Y., Miyake Y., Komatsu Y. Depositional age of the Himenoura Group on the Amakusa-Kamishima area, Kyushu, southwest Japan: Using zircon U-Pb dating of the acidic tuffs. 2017. <https://doi.org/10.1111/iar.12194>
87. Ueno N., Kaneoka I., Osima M. Isotopic ages and strontium isotopic ratios of submarine rocks in the Japan Sea // Geochem. J. 1974. N 8. P. 157–167.
88. Wei W., Algeo T.J., Lu Y., Lu Y.C., Liu H., Zhang S., Peng L., Zhang J., Chen L. Identifying marine incursions into the Paleogene Bohai Bay Basin lake system in northeastern China // Internat. J. of Coal Geology. 2018. V. 200. P. 1–17, <https://doi.org/10.1016/j.coal.2018.10.001>
89. Yamaguchi T., Kamiya T. Shallow-marine ostracode faunas around the Eocene/Oligocene boundary in the northwestern Kyushu, southwestern Japan // Lethaia. 2007. V. 40. P. 293–303.
90. Zetter R., Farabee M.J., Pigg K.B., Manchester S.R., DeVore M.L., Nowak M.D. Palynoflora of the late Paleocene silicified shale at Almont, North Dakota, USA // Palynology. 2011. V. 35 (2). P. 179–211. DOI: <https://doi.org/10.1080/gspalynol.35.2.179>

Рекомендована к печати В.В. Голозубовым

после доработки 02.11.2022 г.

принята к печати 25.11.2022 г.

Y.P. Terekhov, V.S. Markevich, I.B. Tsoy, N.N. Barinov

Paleocene deposits of the Yamato Rise (Sea of Japan) and the conditions of their formation

A micropaleontological study of the oldest sediments of the Cenozoic sedimentary cover of the Sea of Japan, found on the Yamato Rise, allowed us to identify the palynological assemblage of the late Paleocene age (59.2–56.0 Ma) and refine the age of the host sediments. The findings of exclusively marine microfossils (diatoms and silicoflagellates) in these sediments, the high content of geochemical indicators of paleosalinity (B, B/Ga) in them, the chemical composition of autigenic minerals, as well as the presence of organic remains close to seaweed in them, prove the marine genesis of these deposits. It is assumed that sedimentation occurred on the periphery of the epicontinental shallow sea basin under climate conditions close to subtropical.

***Key words:* palynological assemblage, Late Paleocene, sedimentary rocks, boron, gypsum, barite, trace elements, Yamato Rise, Sea of Japan.**