

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ПЕЛАГИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ И ПОДВОДНЫХ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ ОКРАИН ТИХОГО ОКЕАНА

© 2020 г. М. А. Левитан*

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН
ул. Косыгина, 19, Москва, 119991 Россия*

**e-mail: m-levitan@mail.ru*

Поступила в редакцию 22.01.2019 г.

После доработки 28.03.2019 г.

Принята к публикации 04.04.2019 г.

Литолого-фациальное картирование плейстоценовых осадков пелагической области и 10 ключевых районов подводных континентальных окраин Тихого океана позволило составить обзорные карты нео- и эоплейстоценовых отложений для почти 90% площади океанического бассейна. Сравнительный анализ количественных параметров седиментации для плейстоценовых осадков пелагиали и континентальных окраин выявил превышение абсолютных масс литогенного вещества более чем в 8 раз, а CaCO_3 и биогенного опада менее чем в 5 раз на континентальных окраинах. Доказан тренд повышения в течение плейстоцена потоков литогенного вещества и CaCO_3 в обеих мегафациальных областях. В пелагиали произошло увеличение аккумуляции биогенного опада в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом, а на континентальных окраинах потоки биогенного опада на дно были выше в эоплейстоцене.

Ключевые слова: донные осадки, Тихий океан, пелагическая область, подводные континентальные окраины, эоплейстоцен, неоплейстоцен, площади, массы сухого осадочного вещества, объемы, массы осадков в единицу времени, абсолютные массы, литогенное вещество, CaCO_3 , биогенный опал

DOI: 10.31857/S0016752520010094

ВВЕДЕНИЕ

Изучая геохимическую эволюцию стратисферы, А.Б. Ронов сделал акцент на исследовании химического состава отложений крупных стратиграфических подразделений (например, отделов палеозоя и мезозоя). При этом, естественно, имелся в виду не средний арифметический химический состав, а средневзвешенный, для чего была необходима информация о соотношениях масс осадков различного состава в рассматриваемом синхроничном слое. Эта информация была получена с помощью литолого-палеогеографических карт масштабов 1 : 35 000 000 для океанов и 1 : 20 000 000 для континентов и континентальных окраин, построенных вместе с В.Е. Хаиным и сотрудниками Лаборатории геохимии осадочных пород ГЕОХИ, и обработанных с помощью объемного метода А.Б. Ронина (Ронов, 1949, 1993; Ronov et al., 1989).

К сожалению, эта работа была остановлена на плиоцене. Плейстоцен остался совершенно неизученным. В последние годы сотрудники вышеуказанной Лаборатории перешли к составлению литолого-палеогеографических и литолого-фаци-

альных карт отмеченных масштабов для двух возрастных срезов плейстоцена: неоплейстоцена (0.8–0.01 млн лет) и эоплейстоцена (1.8–0.8 млн лет) (по шкале Gradstein et al., 2004). Нами опубликованы литолого-палеогеографические карты для Евразии (Левитан и др., 2018а); литолого-фациальные карты для пелагических областей Тихого, Индийского и Атлантического океанов (Левитан и др., 2013, 2014; Левитан, Гельви, 2016), Берингова моря (Левитан и др., 2018б), Японского моря (Левитан и др., 2018в), китайских морей (Левитан и др., 2018г), подводной окраины Антарктиды в районе Земли Уилкса и моря Росса (Левитан и др., 2018д). Сданы в печать соответствующие исследования по другим подводным континентальным окраинам Тихого океана (морям Австралии, морю Фиджи, окраинам Анд и Кордильер).

Сравнительный анализ полученных данных для пелагической области Тихого океана, с одной стороны, и его континентальных окраин, с другой, позволяет получить искомые материалы о соотношении осадочных масс различного состава в слое плейстоценовых отложений всего Тихого океана. Кроме того, такой анализ дает возмож-

ность сопоставления фациальной структуры и масс осадочного вещества в рассматриваемых принципиально различных мегафациальных областях, а также изучения долгопериодных трендов седиментации в течение плейстоцена. Этим проблемам и посвящена данная статья. В плане фактического материала она основана на результатах глубоководного бурения, указанных в вышеперечисленных статьях, и построенных на этих результатах литолого-фациальных картах (с изопахитами) и таблицах, полученных при их обходе объемным методом А.Б. Ронова (1949).

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Фациальная структура

С точки зрения фациальной структуры плейстоценовых отложений Тихий океан состоит из двух фациальных мегаобластей: пелагической области и подводных континентальных окраин. На рис. 1 отмечены границы изученных ключевых районов. Подробные описания фациальной структуры в каждом из них даны в соответствующих статьях. В данном разделе приведены только необходимые данные в кратком виде.

Пелагическая мегафациальная область состоит из гемипелагической, миопелагической и эвпелагической (абиссальной) литолого-фациальных зон, в каждой из которых присутствуют еще и азональные подводные поднятия (хребты, возвышенности, плато) различного генезиса (Левитан и др., 2013). Как и в современную эпоху (Лисицын, 1978), распределение плейстоценовых осадков подчинялось сочетанию основных видов зональности: циркумокеанической, широтной (климатической), вертикальной и тектонической.

В состав мегафациальной области подводных континентальных окраин входят, с геодинамической точки зрения, как известно, окраины трех основных типов: пассивные, активные островодужные и активные окраины андийского типа. Среди изученных ключевых районов к пассивным окраинам принадлежит подводная окраина Земли Уилкса и море Росса. К ним же, по сути дела, можно отнести крупные районы с обширными шельфами на севере Берингова моря и в китайских морях. Неизученная часть подводной тихоокеанской окраины Антарктиды также является окраиной пассивного типа. Островодужные окраины сосредоточены на севере и западе Тихого океана, а активные окраины андийского типа находятся в восточной части океана и включают подводные окраины Анд и Кордильер. Очевидно, что в бассейне Тихого океана преобладают активные континентальные окраины, в плейстоценовых отложениях которых почти везде присутствуют (хотя и в незначительном количестве) прослойки

вулканических пеплов, генерируемых извержениями вулканов островных дуг.

На фациальную структуру плейстоценовых осадков континентальных окраин помимо геодинамических факторов большое влияние оказывают климатические особенности, а также, разумеется, рельеф дна, структура циркуляции, первичная продукция и т.д. Особенно заметна роль климата. Так, на севере и юге Тихого океана значительную роль в составе плейстоценового осадочного чехла играют марино-гляциальные отложения и кремнистые (существенно диатомовые) осадки, а карбонатные отложения практически отсутствуют. Карбонатные планктоногенные илы и бентогенные постройки, напротив, развиты в экваториально-тропическом поясе на востоке и западе океана.

Далее основная часть статьи посвящена сравнительному анализу количественных параметров седиментации в обеих мегафациальных областях, с одной стороны, и выявлению в них трендов плейстоценовой седиментации, с другой.

Площади, мощности и объемы плейстоценовых осадков

В табл. 1 показаны сводные результаты как по пелагической области Тихого океана, так и по его континентальным окраинам. При изучении ее и следующих таблиц необходимо иметь в виду наши перечисленные выше публикации. На еще не опубликованные данные в таблицах можно будет сослаться, опираясь на данную статью.

Содержание табл. 1 свидетельствует о том, что далеко не все области континентальных окраин Тихого океана охвачены нашими исследованиями. В одних случаях, например, в Охотском море, нет ни одной скважины глубоководного бурения, в других, например, в преддуговом осадочном бассейне Алеутской дуги, число таких скважин слишком мало для построения литолого-фациальных карт и проведения необходимых измерений. Поэтому была проведена оценка площадей, занятых плейстоценовыми осадками в таких слабоизученных районах. В результате получены следующие данные: Охотское море — 1603 тыс. км²; море Банда — 714 тыс. км²; море Сулавеси — 453 тыс. км²; Яванское море — 552 тыс. км²; Сиамский залив — 320 тыс. км²; Татарский пролив — 91.9 тыс. км²; преддуговой бассейн Японии — 272.5 тыс. км²; Алеутский преддуговой бассейн — 287.8 тыс. км²; континентальная окраина Антарктиды — 1246.2 тыс. км². Суммарная площадь составляет 5540.4 тыс. км². С учетом приведенных в табл. 1 данных по континентальным окраинам, для которых были рассчитаны площади, занятые неоплейстоценовыми осадками, получаем общую площадь развития неоплейстоценовых осадков

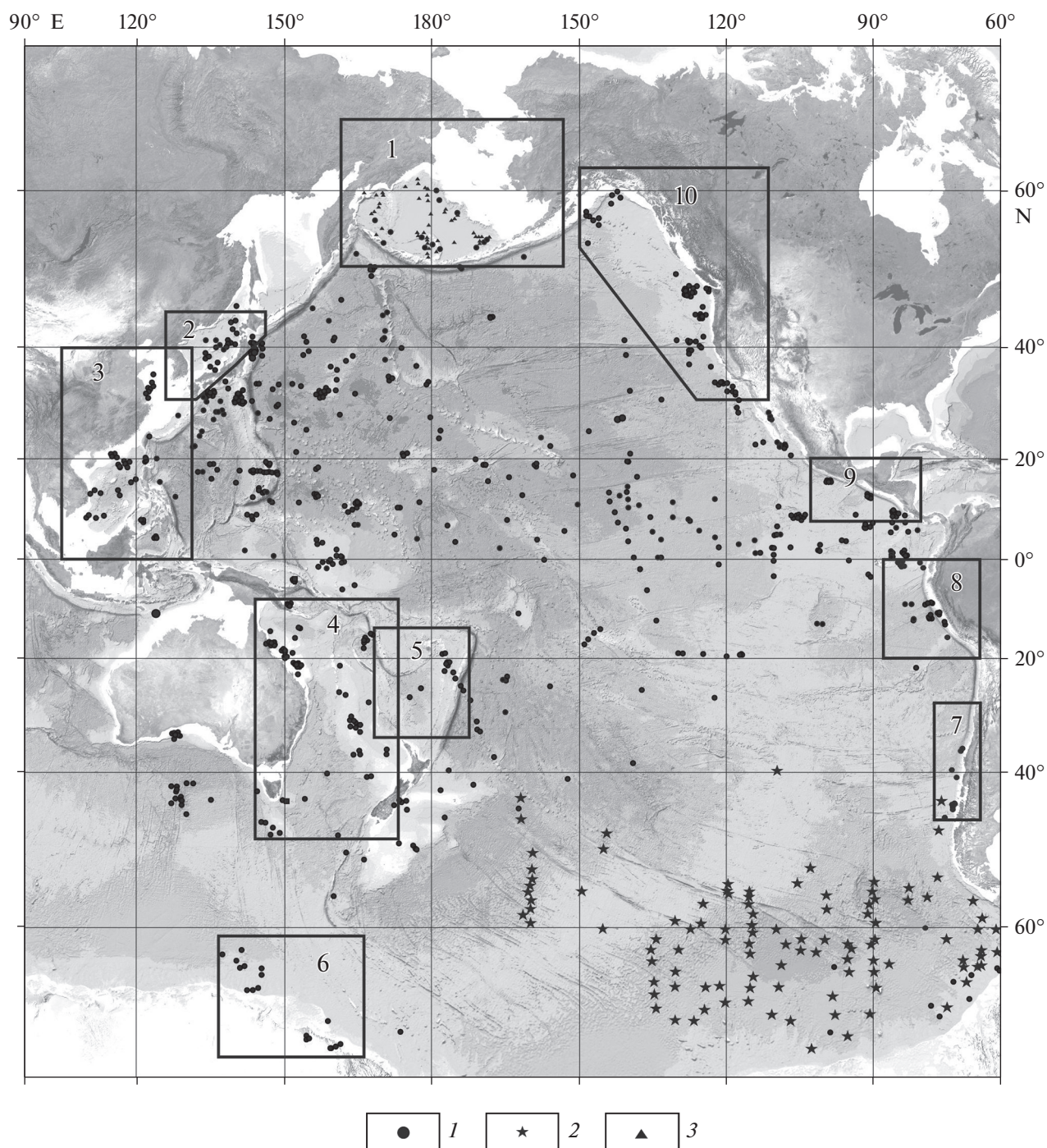


Рис. 1. Расположение изученных ключевых районов подводных континентальных окраин в Тихом океане. Районы: 1 – Берингово море; 2 – Японское море; 3 – китайские моря; 4 – моря к востоку от Австралии; 5 – море Фиджи; 6 – континентальная окраина Земли Уилкса и море Росса; 7 – юг подводной окраины Анд; 8 – север подводной окраины Анд; 9 – юг подводной окраины Кордильер; 10 – север подводной окраины Кордильер. Условные обозначения: 1 – скважины глубоководного бурения; 2 – колонки НИС “Элтанин”, изученные с помощью магнитографа (Goodell, Watkins, 1968); 3 – колонки, поднятые в Беринговом море (Левитан и др., 2018₂).

на континентальных окраинах Тихого океана 27509 тыс. км². Отношение площадей пелагических и окраинно-континентальных осадков в неоплейстоцене составило 4.90. Такое же соотно-

шение для эоплейстоцена равно 4.89, и для плейстоцена в целом – 4.89.

Суммарные объемы неоплейстоценовых отложений на изученных континентальных окраи-

Таблица 1. Площади (S , тыс. км²), средние мощности (H , м) и объемы (V , тыс. км³) осадков плейстоцена в Тихом океане

Стратигра- фические подразделения	Параметры	Пелагическая область	Берингово море	Японское море	Китайские моря	Австралийские моря	Море Фиджи	Море Росса	Подводная окраина Анд		Подводная окраина Кордильер		Все континен- тальные окраины
									Юг	Север	Юг	Север	
Неоплейстоцен	S	134867	2176	867	3693	8992	2865	1103	213	344	347	1369	21969
	H	14	114	101	172	35	11	25	352	90	150	124	76
	V	1932	249	88	635	311	32	28	75	31	52	170	1671
Эоплейстоцен	S	131854	2180	858	3702	8606	2699	1115	222	350	354	1365	21451
	H	10	117	75	96	28	13	24	59	151	73	105	56
	V	1262	255	64	365	222	35	27	13	53	26	143	1203
Плейстоцен	S	133361	2178	863	3698	8799	2782	1109	218	347	351	1367	21710
	H	24	231	176	270	61	24	50	404	242	222	229	132
	V	3194	504	152	1000	533	67	55	88	84	78	313	2874

нах (табл. 1) равны 1671 тыс. км^3 , эоплейстоценовых — 1203 тыс. км^3 , а плейстоценовых в сумме — 2874 тыс. км^3 . Отношения зафиксированных в табл. 1 объемов в пелагической области и на континентальных окраинах для указанных стратиграфических подразделений, соответственно, равны 1.16, 1.05 и 1.11. В пелагической области объемы неоплейстоценовых отложений превышают объемы эоплейстоценовых осадков в 1.53 раза, а на континентальных окраинах величина такого отношения равна 1.39.

Показанные в табл. 1 средние мощности (частные от деления объемов на площади) свидетельствуют о том, что рассматриваемая величина в пелагической области равна для неоплейстоцена 14 м, а для эоплейстоцена — 10 м. Соответственно, суммарная мощность для плейстоцена равна 24 м. В ключевых районах исследованных континентальных окраин средние мощности равны 76, 56 и 132 м, а их колебания составляют, соответственно, от 35 до 352 м, от 13 до 151 м, от 24 до 404 м. Для некоторых районов подводных окраин континентов (Япония, Чили, траверз Каскадии) отмечено частичное увеличение мощности плейстоценовых отложений за счет аккреции.

Таким образом, в среднем площади развития плейстоценовых осадков в пелагиали Тихого океана превышают такие же площади на континентальных окраинах в 4.89 раза. Соотношение объемов для плейстоцена равно 1.11 (т.е. примерно равно), а соотношение средних мощностей составляет 0.18. Следовательно, если исходить из округленных значений, то в среднем мощность осадков плейстоцена на континентальных окраинах в 5 раз выше, чем в пелагиальной части ложа Тихого океана, что и обеспечивает примерное равенство объемов.

Кроме того, в табл. 1 обращает на себя внимание, что в большинстве изученных районов Тихого океана (за исключением морей Берингова и Фиджи, северной подводной окраины Анд и южной подводной окраины Кордильер) объемы и мощности неоплейстоценовых отложений выше, чем в эоплейстоцене. Как отмечалось, такой же тренд получается и для пелагической области Тихого океана в целом. Учитывая, что объемы и мощности приводятся для натуральных осадков, а для будущих расчетов химического состава требуются данные по массам сухого осадочного вещества, то более значимыми в этом плане являются именно такие результаты, которые представлены в следующем разделе статьи.

Массы сухого осадочного вещества и массы вещества в единицу времени

Приведенные в табл. 1 данные об объемах натуральных осадков невозможно пересчитать не-

посредственно в массы сухих осадков, т.к. физические свойства отложений различного состава заметно отличаются друг от друга. Поэтому для получения представленных в табл. 2 результатов использованы ранее полученные результаты по массам конкретных литологических разновидностей (литотипов) для изученных районов Тихого океана.

Итак, основные данные табл. 2 выглядят следующим образом: массы сухих осадков для пелагической области Тихого океана для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена, соответственно, равны 969, 722 и $1691 \times 10^{18} \text{ г}$. Суммарные величины для всех изученных континентальных окраин, соответственно, равны 1333, 1219 и $2552 \times 10^{18} \text{ г}$. Таким образом, даже без учета вышеуказанных областей континентальных окраин, для которых нет данных по объемам и массам осадочного материала, получается, что суммарно на подводных континентальных окраинах Тихого океана и в неоплейстоцене, и в эоплейстоцене, и в плейстоцене в целом накапливалось заметно больше сухого осадочного вещества, чем в пелагической области. Соответствующие отношения масс равны 1.38, 1.69 и 1.51. Следовательно, в среднем в плейстоцене на континентальных окраинах Тихого океана накапливалось в 1.5 раза больше сухого осадочного вещества, чем в пелагической области, и это — без учета неисследованных континентальных окраин.

Если изучить соотношения масс осадков между нео- и эоплейстоценом, то выяснится, что в пелагической области Тихого океана, и во всех ключевых районах исследованных подводных континентальных окраин (за исключением северной окраины Анд) массы сухого осадочного вещества в неоплейстоцене были выше, чем в эоплейстоцене. В море Фиджи они остались практически без изменения.

Для каждого рассматриваемого региона величины масс сухих осадков в единицу времени (скорости аккумуляции) имеют еще большее значение, чем просто массы. Их соотношения между пелагической областью и континентальными окраинами, а также между нео- и эоплейстоценом, естественно, такие же, как и между массами осадков. Единственным (и вполне понятным) исключением является море Фиджи (табл. 2), поскольку массы нео- и эоплейстоценовых отложений очень близки, а продолжительность эоплейстоцена заметно выше, чем неоплейстоцена.

Имеющиеся в нашем распоряжении данные позволяют рассчитать так называемые абсолютные массы осадочного материала (раздельно для пелагической области и подводных континентальных окраин). Результаты расчета выглядят следующим образом (для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена, соответствен-

Таблица 2. Массы сухого осадочного вещества (M , 10^{18} г) и массы вещества в единицу времени (I , 10^{18} г/млн лет) осадков плейстоцена в Тихом океане

Стратиграфические подразделения	Параметры	Пелагическая область	Берингово море	Японское море	Китайские моря	Австралийские моря	Море Фиджи	Море Росса	Подводная окраина Анд		Подводная окраина Кордильер		Все континентальные окраины
									Юг	Север	Юг	Север	
Неоплейстоцен	<i>M</i>	969	272	46	453	231	13	28	76	20	35	159	1333
	<i>I</i>	1181	344	58	574	299	17	35	96	25	44	201	1687
Эоплейстоцен	<i>M</i>	722	261	43	299	185	15	26	17	45	21	127	1219
	<i>I</i>	722	261	43	299	185	15	26	17	45	21	127	1219
Плейстоцен	<i>M</i>	1691	533	89	752	416	28	54	93	65	56	286	2552
	<i>I</i>	945	298	50	420	232	16	30	52	36	31	160	1426

но): для пелагической области — 0.909, 0.548 и 0.708 г/см² тыс. лет; для континентальных окраин — 7.681, 5.683 и 6.567 г/см² тыс. лет. Таким образом, на подводных окраинах средняя величина плейстоценового потока аккумулярующегося осадочного материала превышает среднее его значение для пелагической области немного менее чем в 10 раз. Отношения абсолютных масс осадков между нео- и эоплейстоценовыми величинами для континентальных окраин равно 1.352, а для пелагической области — 1.659.

Морским геологам хорошо известно, что литологический состав плейстоценовых отложений подводных континентальных окраин в Тихом океане отличается от литологического состава в пелагической области. Поэтому для интерпретации вышеприведенных данных необходима информация о литологии изученных отложений. В следующем разделе представлены соответствующие материалы по основным группам осадков: литогенным, карбонатным и кремнистым.

Массы сухого осадочного вещества основных групп осадков и осадкообразующих компонентов

В литогенную группу осадков включены доминирующие терригенные отложения, вулканогенные осадки, мио- и эвпелагические глины, туффиты и редкие вулканические пеплы. К карбонатным осадкам отнесены не только собственно карбонатные планктоногенные илы и кораллово-водорослевые образования, но также глинисто-карбонатные илы и карбонатные турбидиты. В группу кремнистых осадков попали диатомовые и диатомово-радиоляриевые илы, а также диатомовые глины.

Результаты расчетов масс сухого осадочного вещества основных групп осадков приведены в табл. 3. Ее изучение показывает, что литологический состав в пелагической области и суммарно на континентальных окраинах несколько отличался. Если обобщить полученные результаты, то получится, что в пелагической области в неоплейстоцене, эоплейстоцене и плейстоцене в целом соотношение литогенных, карбонатных и кремнистых осадков составляло 67 : 28 : 5, 74 : 21 : 5 и 70 : 25 : 5, соответственно. Для всей изученной области подводных континентальных окраин рассматриваемое соотношение составляло 78 : 16 : 5, 75 : 19 : 6 и 77 : 17 : 6, соответственно. Таким образом, в целом в обеих мегафациальных областях преобладают литогенные осадки, на втором месте находятся карбонаты и на третьем — кремнистые отложения. При этом относительная роль карбонатов выше в пелагиали, а литогенных осадков — на континентальных окраинах. Относительная роль кремнистых осадков, вероятно, не изменялась. Вышеприведенные соотношения основных

групп донных осадков свидетельствуют о том, что в пелагической области в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом выросло относительное значение карбонатов и поэтому (?) уменьшилось значение литогенных осадков. В области континентальных окраин слегка увеличилось относительное содержание литогенных отложений и уменьшилось — карбонатных.

В то же время внимательное изучение табл. 3 свидетельствует о серьезных различиях между ключевыми районами континентальных окраин. Например, в австралийских морях и море Фиджи явно доминируют медленно накапливавшиеся карбонатные отложения; в Беринговом море, на окраине Антарктиды и на окраине Северной Америки повышена роль кремнистых отложений; на окраине южных Анд полностью преобладают литогенные осадки.

Учет перечисленных выше неисследованных нами районов континентальных окраин может слегка изменить приведенные соотношения основных групп осадков. Так, в Охотском море они, видимо, похожи на Берингово (Левитан и др., 2007); на тихоокеанской окраине Антарктиды, возможно, соотношения терригенных и кремнистых осадков те же, что и в море Росса; в Сиамском заливе доминируют литогенные осадки (Dung et al., 2014); в море Сулу увеличена относительная роль карбонатов (Rangin et al., 1990). Тем не менее, представляется, что основные литологические соотношения нами обозначены правильно.

С точки зрения генетического состава осадков более корректным является оперирование не массами основных групп осадков, а массами основных осадкообразующих компонентов: литогенного вещества, CaCO₃ и биогенного опада. Для расчетов принято среднее содержание CaCO₃ в карбонатных осадках 85% (соответственно, содержание литогенного вещества 15%), опада в кремнистых илах — 60% (т.е. содержание литогенного вещества равно 40%). В слабокарбонатных осадках находится в среднем 50% CaCO₃ и 50% литогенного вещества, а в слабокремнистых осадках — 40% опада и 60% литогенного вещества.

Полученные результаты показаны в табл. 4. Из анализа таблицы следует, что для неоплейстоцена, эоплейстоцена и плейстоцена в целом отношения масс на континентальных окраинах к массам в пелагической области равны для литогенного вещества, CaCO₃ и биогенного опада, соответственно: 1.410, 0.612, 0.409; 1.422, 0.942, 1.348; 1.415, 0.728 и 0.776. Таким образом, в неоплейстоцене массы литогенного вещества были выше на континентальных окраинах, чем в пелагиали, а биогенных компонентов — ниже. В эоплейстоцене картина была иной: преобладание масс литогенного вещества и биогенного опада на континентальных окраинах над этими же мас-

Таблица 3. Массы сухого осадочного вещества ($M, 10^{18}$ г) основных групп плейстоценовых осадков в Тихом океане

Стратигра- фические подразде- ления	Осадки	Пелагическая область	Берингово море	Японское море	Китайские моря	Австралийские моря	Море Фиджи	Море Росса	Подводная окраина Анд		Подводная окраина Кордильер		Все континен- тальные окраины
									Юг	Север	Юг	Север	
Неоплейстоцен	лит.	721	219	43	429	59	1	26	76	12	24	143	1032
	карб.	300	0	0.7	14	172	12	0	0	0.8	6	8	214
	кр.	58	38	1.6	10	0	0	2	0	7	5	7	71
Эоплейстоцен	лит.	585	200	40	293	29	2	23	17	33	12	119	768
	карб.	162	0	0.4	7	156	13	0	0	0.2	9	7	193
	кр.	39	43	2.4	6	0	0	3	0	12	1	1	68
Плейстоцен	лит.	1306	419	83	722	88	3	49	93	45	36	262	1800
	карб.	462	0	1.1	21	328	25	0	0	1	15	15	407
	кр.	97	81	4	16	0	0	5	0	19	6	8	139

Примечания. Осадки лит. — литогенные; карб. — карбонатные; кр. — кремнистые.

Таблица 4. Массы (M , 10^{18} т) основных осадкообразующих компонентов плейстоценовых отложений в мегафациальных областях Тихого океана

Стратиграфические подразделения	Компоненты	Пелагическая область	Все континентальные окраины	M континентальных окраин
				M пелагической области
Неоплейстоцен	Литогенное вещество	788	1111	1.410
	CaCO ₃	255	156	0.612
	Биогенный опал	35	14	0.4
Эоплейстоцен	Литогенное вещество	625	889	1.422
	CaCO ₃	138	130	0.942
	Биогенный опал	23	31	1.348
Плейстоцен	Литогенное вещество	1413	2000	1.415
	CaCO ₃	393	286	0.728
	Биогенный опал	58	45	0.776

сами в пелагиали, и примерное равенство масс CaCO₃ в обеих мегафациальных областях. При этом в течение плейстоцена и в пелагиали, и на континентальных окраинах произошло увеличение масс литогенного вещества и CaCO₃. Масса биогенного опала, напротив, в эоплейстоцене была несколько выше на континентальных окраинах, чем в неоплейстоцене, а в пелагиали происходил рост масс этого компонента в течение всего плейстоцена.

Абсолютные массы групп осадков и осадкообразующих компонентов

Результаты расчета абсолютных масс (MAR) основных групп осадков (раздельно для пелагической области и подводных континентальных окраин) для неоплейстоцена, эоплейстоцена и всего плейстоцена показаны в табл. 5. Результаты ее изучения свидетельствуют о том, что в обеих мегафациальных областях в плейстоцене сохранялась сходная структура седиментации с явным преобладанием потоков накапливавшихся на дне литогенных осадков, заметно меньшими потоками карбонатных осадков и незначительными — кремнистых. При этом абсолютные массы литогенного вещества на континентальных окраинах были больше, чем в пелагической области, более чем в 8 раз, а биогенных компонентов — только менее чем в 5 раз в среднем для плейстоцена. Отсюда следует, что для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела большее значение, чем в среднем на континентальных окраинах.

Однако наиболее корректными с точки зрения сравнительного анализа являются данные по абсолютным массам основных осадкообразующих компонентов (табл. 5). В итоге анализа этих данных подтвердились ранее сделанные выводы о том, что в обеих мегафациальных областях в плейстоцене сохранялась сходная структура седиментации с явным преобладанием потоков накапливавшегося на дне литогенного вещества, заметно меньшими потоками CaCO₃ и незначительными — биогенного опала. При этом абсолютные массы литогенного вещества на континентальных окраинах были больше, чем в пелагической области, более чем в 8 раз, а биогенных компонентов — только менее чем в 5 раз в среднем для плейстоцена. Таким образом, подтверждается сделанный в предыдущем параметре вывод, что для фациальной структуры пелагической области биогенная седиментация имела большее значение, чем в среднем на континентальных окраинах.

Существует еще одно важное следствие анализа табл. 5. Если мы разделим MAR неоплейстоценовых основных осадкообразующих компонентов на MAR эоплейстоценовых, то в пелагической области для литогенного вещества, CaCO₃ и биогенного опала получим, соответственно, значения 1.561, 2.276 и 1.941. Для мегафациальной области континентальных окраин этот ряд будет выглядеть следующим образом: 1.545, 1.483 и 0.579. Таким образом, в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом потоки всех компонентов аккумулировавшегося на дне осадочного материала выросли в пелагической области, а потоки литогенного вещества и CaCO₃ увеличились на континентальных окраинах. При этом потоки

Таблица 5. Абсолютные массы (MAR, г/см² x тыс. лет) групп осадков и основных осадкообразующих компонентов плейстоценовых отложений в мегафациальных областях Тихого океана

Стратиграфические подразделения	Осадки, компоненты	Пелагическая область	Все континентальные окраины	MAR
				континентальных окраин MAR пелагической области
Неоплейстоцен	Литогенные осадки	0.677	5.946	8.729
	Карбонатные осадки	0.282	1.233	4.372
	Кремнистые осадки	0.054	0.410	7.593
	Литогенное вещество	0.740	6.401	8.650
	CaCO ₃	0.239	0.899	3.762
	Биогенный опал	0.033	0.081	2.455
Эоплейстоцен	Литогенные осадки	0.444	3.580	8.063
	Карбонатные осадки	0.123	0.900	7.317
	Кремнистые осадки	0.030	0.320	10.667
	Литогенное вещество	0.474	4.144	8.743
	CaCO ₃	0.105	0.606	5.771
	Биогенный опал	0.017	0.140	8.235
Плейстоцен	Литогенные осадки	0.547	4.632	8.468
	Карбонатные осадки	0.194	1.047	5.397
	Кремнистые осадки	0.041	0.358	8.732
	Литогенное вещество	0.592	5.147	8.694
	CaCO ₃	0.165	0.736	4.461
	Биогенный опал	0.024	0.116	4.833

биогенного опала на континентальных окраинах стали меньше. В неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом в пелагической области возросла относительная роль CaCO₃, в отличие от континентальных окраин.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В статье рассмотрены данные о покрытых плейстоценовыми осадками областях дна Тихого океана, составляющих 87.3% от общей его площади (Атлас..., 1980). Полученная информация свидетельствует о существовании в плейстоцене единой седиментационной системы Тихого океана, состоящей из двух подсистем (мегафациальных областей): пелагического ложа и континентальных окраин. Эта седиментационная система является открытой, т.к. в плейстоцене, также как и в современную эпоху (Атлас..., 1980), происходил обмен веществом и энергией с Атлантическим, Индийским и Северным Ледовитым океанами, а также с приводным слоем атмосферы. Для обеих мегафациальных областей характерна близкая фациальная структура с доминированием лито-

генных образований, существенно меньшей ролью карбонатных осадков и очень незначительной долей кремнистых отложений.

Представляется, что эта структура, в принципе, связана, главным образом, со структурой стока с континентов. Уже давно известно, что твердый сток с материков превышает сток растворенных веществ в 2–3 раза (Страхов, 1963). В биосфере континентов преобладают пресные и ультрапресные воды с минерализацией менее 500 мг/л (Алеккин, 1979). В них содержится порядка 35–58 мг/л HCO₃⁻, 12–15 мг/л Ca²⁺, 10–13 мг/л SiO₂ (цитируется по Янин, 2018). По данным А.П. Лисицына (1978), в речном стоке соотношения абсолютных масс литогенного вещества, CaCO₃ и кремнекислоты составляют 92.4 : 5.7 : 1.6. В современных осадках пелагической области Тихого океана это соотношение выглядит следующим образом: 67.9 : 26.46 : 5.62 (Лисицын, 1978). Если литогенное вещество попадает в океан, главным образом, с континентов (в том числе при волновой абразии берегов, с айсбергами и при вулканических извержениях), то CO₂ дополнительно может по-

ставляться из атмосферы и при процессах подводного вулканизма. В последнем случае может поступать и некоторое (относительно малое) количество растворенного SiO_2 (Богданов и др., 2006).

Из-за широкого развития природных седиментационных ловушек по обрамлению Тихого океана, где преобладают островные дуги и глубоководные желоба, можно предположить, что градиент масс осадочного материала между вышеуказанными мегафациальными областями является наибольшим именно в этом океане. В Атлантическом и Индийском океанах гораздо больше развиты пассивные окраины континентов, где таких природных ловушек существенно меньше.

Литогенное вещество в основном оседает на континентальных окраинах недалеко от районов его поставки. По нашим данным, наиболее мощные его депоцентры в неоплейстоцене были развиты в дельтовых областях великих рек Азии, в фэнах на подводной окраине Кордильер и (в виде скоплений моренного материала) на шельфе Северной Америки около зоны сочленения Аляски и Кордильер.

Поступающие в океан растворенные вещества (включая питательные вещества типа фосфатов, нитратов, растворенной органики и т.д.), как правило, разносятся течениями и в значительной степени обезличиваются. Однако и в этом случае депоцентры находятся на подводных континентальных окраинах. В качестве примеров сошлемся не только на приведенные в статье таблицы, но и укажем на гигантскую аккумуляцию карбонатов в Большом Барьерном рифе около Австралии и на мощнейшую (свыше 150 м) толщу голоценовых диатомовых илов на погруженном шельфе Земли Уилкса (Антарктида) (Esquita et al., 2010).

Общеизвестно, что континенты окаймлены полосой развития высокой первичной продукции в поверхностной водной массе океана. Причинами этого явления служат поставка питательных для планктона веществ с континентов и с региональным апвеллингом, вызванным особенностями рельефа подводных поднятий. В этой же области сосредоточены и главные локальные апвеллинги Мирового океана (в Тихом океане: Калифорнийский, Перуанский и Чилийский апвеллинги). Именно столь высокая первичная продукция и объясняет вышеупомянутые потоки биогенных осадкообразующих компонентов на дно подводных окраин Тихого океана.

Интересно, что для среднего состава взвешенного в Мировом океане осадочного вещества (Левитан, 1998) между абсолютными массами литогенного вещества, CaCO_3 и биогенного опала существует соотношение 34.14 : 32.05 : 33.81. Это свидетельствует о том, что живые организмы в эвфотическом слое очень быстро аккумулируют биогенные вещества, которые в дальнейшем по

мере погружения планктонных организмов после их смерти подвергаются растворению. Причем растворение в гораздо большей степени в среднем касается кремнийконцентрирующих организмов, а не карбонатконцентрирующих. Для последних фактор растворения становится определяющим только глубже поверхности критической глубины карбонатонакопления.

В соответствии с приведенными в табл. 5 данными, средние соотношения абсолютных масс осадкообразующих компонентов в плейстоценовых отложениях пелагической мегафациальной области Тихого океана равны 75.80 : 21.13 : 3.07, т.е. довольно близки к вышеприведенным соотношениям в современных осадках. Для подводных континентальных окраин эти же соотношения равны 85.80 : 12.27 : 1.93, т.е. по сравнению с пелагиалью здесь возрастает относительная роль литогенного вещества и падает относительная роль биогенных компонентов. Эти данные соответствуют результатам исследования геохимической дифференциации в океане (Гордеев, 2012), согласно которым в современной водной толще над континентальными окраинами Мирового океана господствует “геохимия взвеси”, а над пелагической областью — “геохимия растворов”, т.е. здесь преобладают растворенные формы элементов над взвешенными.

Объяснение наблюдавшихся общих закономерностей изменения количественных параметров для пелагических областей в течение плейстоцена было дано ранее (Левитан, 2017). Оно состоит в роли усилившихся горообразовательных неотектонических движений, сопровождавшихся в ряде регионов (Аляска, Кордильеры) возрастанием объемов континентальных (в том числе и горных) ледников. Все это приводило к росту поставки не только литогенного вещества, но и растворенных веществ, необходимых для биогенного осадкообразования.

Единственное исключение из этого общего правила, зафиксированное нами в пределах континентальных окраин, относится к истории кремненакопления. Ранее (Левитан, 2016) была выдвинута концепция “двух океанов” (ледового и неледового) для плейстоцена. Согласно этой концепции, в высоких широтах преобладало кремненакопление в эоплейстоцене, а в средних и низких — в неоплейстоцене. Были описаны и возможные причины этого явления. Среди рассмотренных ключевых районов на подводных континентальных окраинах Тихого океана эта концепция подтверждена данными по Берингову морю (Левитан и др., 2018б) и по антарктической окраине (Левитан и др., 2018д). Обнаруженная активизация Перуанского апвеллинга в эоплейстоцене по сравнению с неоплейстоценом объясняется его

зависимостью от подъема антарктических промежуточных вод, генерируемых около Антарктиды.

В статье исследованы литологические изменения в Тихом океане в течение части четвертичного периода: с 1.8 по 0.01 млн лет. Крупные отрезки времени – неоплейстоцен и эоплейстоцен – позволили исследовать тренды этих изменений. В палеоклиматологии в это время известен общий тренд глобального похолодания, который был синхронизирован с трендом падения уровня Мирового океана, возрастая первичной продукцией и нарастанием глобального объема ледников. На этом фоне происходили разнопериодные изменения климата: ледниково-межледниковые, орбитальные, суборбитальные и другие. Естественно, что эти изменения отражались и в составе донных осадков Тихого океана. Например, ледниково-межледниковые циклы хорошо выражены в разрезах шельфов Берингова моря и китайских морей, в море Росса. Толщи переслаивания осадков различного литологического состава, отраженные на составленных литолого-фациальных картах, фиксируют перечисленные виды климатических изменений и их взаимодействие с тектоническими и палеоокеанологическими факторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных работ получены данные о литологическом составе нео- и эоплейстоценовых осадков на площади, составляющей несколько менее 90% от общей площади дна Тихого океана. Это дает основания применить в дальнейшем метод расчета средневзвешенного химического состава для неоплейстоценовых, эоплейстоценовых и плейстоценовых отложений в целом.

Нами выделены две мегафациальные области: пелагическая и подводных континентальных окраин. Сравнительный анализ материалов по обеим областям проведен по ряду количественных параметров.

В наиболее общем виде на основе вышеприведенных данных можно утверждать, что в Тихом океане площадь пелагической области в плейстоцене превышала изученную площадь подводных континентальных окраин примерно в 6 раз, а объем осадков почти одинаков. Средняя мощность плейстоценовых отложений в пелагиали равна 24 м, а на окраинах – 132 м (табл. 1). В плейстоцене масса сухого осадочного вещества основных групп осадков в пелагиали составляла около 0.7 от массы на континентальных окраинах (табл. 2), а при сопоставлении масс основных осадкообразующих компонентов эта величина равна 0.8 (табл. 4). Сравнение абсолютных масс основных осадкообразующих компонентов для плейстоцена показало, что различия между пелагической обла-

стью и мегафациальной областью подводных континентальных окраин было еще более выразительным, составляя для литогенного вещества 0.12, для CaCO_3 – 0.22, а для биогенного опала – 0.21 (табл. 5). Таким образом, и по этим данным в среднем в плейстоценовых отложениях относительная роль биогенных компонентов в пелагиали была выше, чем на континентальных окраинах, хотя, конечно, абсолютные величины несопоставимы.

Теперь рассмотрим изменения основных количественных параметров в течение плейстоцена. Сравнение данных для неоплейстоцена и эоплейстоцена выявило, что массы сухого вещества в мегафациальной области континентальных окраин выросли в 1.1 раза, а в пелагиали – в 1.3 раза. Соответствующие отношения масс сухого вещества основных осадкообразующих компонентов составили для литогенного вещества пелагиали 1.3, для CaCO_3 – 1.8, для опала – 1.5. На континентальных окраинах этот ряд выглядит следующим образом: 1.5, 1.2, 0.6.

Отмеченное выше возрастание в неоплейстоцене относительной роли карбоната накопления в пелагиали по сравнению с эоплейстоценом связано с большей возможностью проникновения растворенных питательных веществ в пелагиаль по сравнению с твердым литогенным веществом, которое в большей степени задерживается седиментационными природными ловушками.

За пределами исследования в данной работе осталась информация о конкретных литотипах, вещественно-генетических типах осадков и литологических комплексах. Однако, представляет интерес то обстоятельство, что, например, терригенные турбидиты явно увеличили интенсивность своего накопления, также как и марино-гляциальные осадки, в неоплейстоцене по сравнению с эоплейстоценом в обеих мегафациальных областях. Эти и другие литологические изменения модулировали отмеченные выше тренды в седиментации в течение плейстоцена.

Работа выполнена при финансовом содействии госзадания (тема № 0137-2018-0008), гранта РФФИ № 2017-05-00157 и гранта Программы РАН по фундаментальным исследованиям I.49.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алекин О.А. (1979) Химический состав растворенных веществ речного стока. *Химия вод океана*. М.: Наука. 51-55.
- Атлас океанов. Термины, понятия, справочные таблицы (1980) М.: ГУНК МО СССР. С. 84-85.
- Богданов Ю.А., Лисицын А.П., Сагалевиц А.М., Гурвич Е.Г. (2006) Гидротермальный рудогенез океанского дна. М.: Наука. 527 с.

- Гордеев В.В. (2012) Геохимия системы река-море. М.: ИП Матушкина И.И. 452 с.
- Левитан М.А. (1998) О соотношении основных компонентов вещества в современных и древних океанических осадочных потоках. *ДАН*. **359** (2), 220-222.
- Левитан М.А. (2016) Сравнительный анализ пелагического плейстоценового кремнеаккумуляции в Тихом и Индийском океанах. *Геохимия* (3), 278-286.
- Levitan M.A. (2016) Comparative analysis of pelagic Pleistocene silica accumulation in the Pacific and Indian oceans. *Geochem. Int.* **54** (3), 257-265.
- Левитан М.А. (2017) Количественные параметры плейстоценовой седиментации в Мировом океане: глобальные закономерности и региональные особенности. *Геохимия* (5), 413-428.
- Levitan M.A. (2017) Quantitative parameters of Pleistocene pelagic sedimentation in the World Ocean: global trends and regional features. *Geochem. Int.* **55** (5), 428-441.
- Левитан М.А., Гельви Т.Н. (2016) Количественные параметры пелагической плейстоценовой седиментации в Атлантическом океане. *Геохимия* (12), 1091-1103.
- Levitan M.A., Gelvi T.N. (2016) Quantitative parameters of Pleistocene pelagic sedimentation in the Atlantic Ocean. *Geochem. Int.* **54** (12), 1049-1060.
- Левитан М.А., Антонова Т.А., Гельви Т.Н. (2014) Фациальная структура и количественные параметры пелагической плейстоценовой седиментации в Индийском океане. *Геохимия* (4), 350-360.
- Levitan M.A., Antonova T.A., Gelvi T.N. (2014) Facies structure and quantitative parameters of Pleistocene pelagic sedimentation in the Indian Ocean. *Geochem. Int.* **52**(4), 316-324.
- Левитан М.А., Антонова Т.А., Гельви Т.Н., Кольцова А.В., Домарацкая Л.Г. (2018г) Фациальная структура и количественные параметры плейстоценовых отложений морей Китая. *Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода* (76), 143-156.
- Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г., Кольцова А.В., Сыромятников К.В. (2018в) Фациальная структура и количественные параметры плейстоценовых отложений Японского моря. *Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода* (76), 135-142.
- Левитан М.А., Балуховский А.Н., Антонова Т.А., Гельви Т.Н. (2013) Количественные параметры пелагической плейстоценовой седиментации в Тихом океане. *Геохимия* (5), 387-395.
- Levitan M.A., Balukhovskiy A.N., Antonova T.A., Gelvi T.N. (2013) Quantitative parameters of Pleistocene pelagic sedimentation in the Pacific ocean. *Geochem. Int.* **51** (5), 345-352.
- Левитан М.А., Гельви Т.Н., Сыромятников К.В., Чекан К.М. (2018б) Фациальная структура и количественные параметры плейстоценовых отложений Берингова моря. *Геохимия* (4), 321-335.
- Levitan M.A., Gelvi T.N., Syromyatnikov K.V., Chekan K.D. (2018) Facies structure and quantitative parameters of Pleistocene sediments of the Bering Sea. *Geochem. Int.* **56** (4), 304-317.
- Левитан М.А., Гельви Т.Н., Домарацкая Л.Г. (2018д) Фациальная структура и количественные параметры плейстоценовых отложений подводной континентальной окраины Земли Уилкса и моря Росса (Антарктида). *Вестник ИГ Коми НЦ УРО РАН* (10), 17-22.
- Левитан М.А., Друщиц В.А., Антонова Т.А., Гельви Т.Н. (2018а) Литолого-палеогеографические особенности и количественные параметры плейстоценовых отложений Евразии. *Количественные параметры мезозойско-кайнозойской седиментации: очерки*. М.: 237-245.
- Левитан М.А., Лукша В.Л., Толмачева Н.В. (2007) История седиментации в северной части Охотского моря в течение последних 1.1 млн лет. *Литология и полезные ископаемые*. (3), 227-246.
- Лисицын А.П. (1978) Процессы океанской седиментации. М.: Наука. 392 с.
- Ронов А.Б. (1949) История осадконакопления и колебательных движений Европейской части СССР (по данным объемного метода). М.: Геофиз. ин-т АН СССР (3). 136 с.
- Ронов А.Б. (1993) Стратисфера или осадочная оболочка Земли. М.: Наука. 144 с.
- Страхов Н.М. (1963) Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М.: Госгеолтехиздат. 535 с.
- Янин Е.П. (2018) Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП "Арсо". 415 с.
- Dung B.V., Statterger K., Thanh N.T., Phach P.V., Dung T.T., Thong B.H. (2014) Late Pleistocene – Holocene seismic stratigraphy of Nha Trang shelf, central Vietnam. *Marine Petrol. Geol.* **58**, 789-800.
- Escutia C., Brinkhuis H., Dunbar R., Klaus A. (2010) Unveiling climate and ice sheet history from drilling in high-latitude margins: IODP Expedition 318. *Abstracts of IPY Meeting Oslo-2010*. Oslo, **LM** 9.2-1.3.
- Goodell H.G., Watkins N.D. (1968) The paleomagnetic stratigraphy of the Southern Ocean: 20° West to 160° East longitude. *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts* **15** (1), 89-112.
- Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. et al. (2004) A Geologic Time Scale 2004. Cambridge Univ. Press. 82.
- Rangin C., Silver E., von Breymann M.T. et al. (1990) *Proceeding of the Ocean Drilling Program. Initial Reports* **124**: College Station, TX (Ocean Drilling Program).
- Ronov A., Khain V., Balukhovskiy A. (1989) Atlas of lithological-paleogeographical maps of the World (Mesozoic and Cenozoic of continents and oceans). Leningrad: VSEGEI. 79.