

УДК 551.35: 551.79

doi: 10.5959/MSU0579-9406-4-2025-64-1-10-15

ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СРАВНИТЕЛЬНОГО АНАЛИЗА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ТИХОГО И АТЛАНТИЧЕСКОГО ОКЕАНОВ

Михаил Аркадьевич Левитан 

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва, Россия; m-levitan@mail.ru ,
<https://orcid.org/0000-0003-0012-3708>

Аннотация. Проведено сравнение геохимических особенностей плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов. Для расчета их среднего химического состава использованы результаты около 20000 элементоопределений для осадков Атлантического океана и свыше 47000 элементоопределений для осадков Пацифики. Гемипелагические глины и вулканогенные отложения Тихого океана довольно близки по своему химическому составу, в отличие от подобных отложений Атлантики. Установлено, что в среднем отложения Атлантического океана более карбонатны, чем плейстоценовые отложения Пацифики (32,09 мас. % CaCO_3 против 18,18 мас. % CaCO_3 , соответственно). Отложения Атлантического океана сильнее обогащены MgO и P_2O_5 , в них выше содержание ППП. Отложения Тихого океана обогащены оксидами остальных петрогенных элементов (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , Na_2O , K_2O). Для всех литологических типов осадков кроме гемипелагических глин выявлено преобладание абсолютных масс всех основных химических компонентов в Атлантике. Выдвинуто предположение о том, что эта особенность объясняется, главным образом, бóльшим отношением площади водосбора к площади бассейна аккумуляции в Атлантическом океане.

Ключевые слова: Плейстоцен, донные осадки, Тихий океан, Атлантический океан, химический состав

Для цитирования: Левитан М.А. Первые результаты сравнительного анализа химического состава плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 1. С. 10–15.

FIRST RESULTS OF COMPARATIVE ANALYSIS OF PLEISTOCENE SEDIMENTS CHEMICAL COMPOSITION FROM THE PACIFIC AND ATLANTIC OCEANS

Mikhail A. Levitan 

Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry RAS, Moscow, Russia; m-levitan@mail.ru 

Abstract. Geochemical peculiarities of Pleistocene sediments from the Pacific and Atlantic oceans have been compared. We used almost 20000 determinations of elements for the Atlantic Ocean sediments and more than 47000 determinations for the Pacific Ocean sediments to calculate their mean chemical composition. Pacific hemipelagic clays and volcanic sediments are rather close by their composition. It differs them from the Atlantic Ocean. It was revealed that in average Atlantic sediments are more calcareous than Pleistocene sediments of the Pacific Ocean (32.09 mas. % CaCO_3 vs 18.18 mas. % CaCO_3 , respectively). They are enriched by MgO and P_2O_5 and have a higher LOI. The Pleistocene of the Pacific Ocean is enriched by oxides of other major elements (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , Na_2O , K_2O). Mass accumulation rates of all chemical components for main lithological types (with exclusion of hemipelagic clays) dominate in the Atlantic. We proposed that these results are due to higher ratio of watershed area to accumulation basin area in the Atlantic Ocean.

Keywords: Pleistocene, bottom sediments, Pacific Ocean, Atlantic Ocean, chemical composition

For citation: Levitan M.A. First results of comparative analysis of Pleistocene sediments chemical composition from the Pacific and Atlantic oceans. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 1: 10–15. (In Russ.).

Введение. В мировой морской геологии одним из приоритетных научных направлений является изучение геохимического межбассейнового фракционирования основных океанов. С этой целью для последующего сравнительного анализа исследуют состав взвешенного осадочного вещества, современные донные осадки, гидрохимию водной толщи. Следует специально подчеркнуть роль изучения последнего из перечисленных объектов, чему посвящен важный международный проект по исследованию микроэлементов и их изотопов в океане

“GEOTRACERS” [Anderson, 2020; Middag, et al., 2015; Zheng, et al., 2022].

В то же время исследованию геохимического фракционирования более древних океанических осадочных бассейнов пока не уделяется достаточного внимания. Недавно автор предпринял попытку подобного исследования для плейстоценовых отложений Индийского и Атлантического океанов [Левитан, 2024]. Настоящее краткое сообщение продолжает эту тему на примере плейстоценовых осадков Тихого и Атлантического океанов.

Фактический материал. В качестве фактического материала использовали отчеты по рейсам между-народного проекта по глубоководному бурению океана, содержащие информацию о химическом составе плейстоценовых (в понимании [Gradstein, et al., 2004]) отложений Тихого и Атлантического океанов. К указанной информации добавлены сведения из других литературных источников. В этом плане особенно важно отметить работу Е.М. Емельянова с соавторами [Емельянов и др., 1975] по Атлантике; Н.А. Лисицыной и ее коллег [Лисицына, Дворецкая, 1972; Лисицына и др., 1973], а также И.И. Волкова с соавторами [Волков и др., 1974] по Тихому океану. Все основные литературные источники по Атлантике указаны в статье [Левитан и др., 2024]. Подобная работа по Пацифике еще не закончена.

Всего по Атлантическому океану использовано более 2500 проб и примерно 20000 элементоопределений, а по Тихому океану — свыше 4000 проб и более 47000 элементоопределений. Методы работы с выборками данных по отдельным океанам довольно подробно освещены в статьях [Левитан и др., 2023, 2024].

Полученные результаты и их обсуждение. В итоге выполненных исследований удалось определить средние арифметические химические составы основных типов плейстоценовых отложений Атлантического [Левитан и др., 2024] и Тихого океанов. С использованием данных по средневзвешенному литологическому составу плейстоцена указанных океанов [Левитан, 2021], рассчитаны средневзвешенные химические составы отложений. По этим данным вычислены средние арифметические химические составы для всего плейстоценового осадочно-чехла как Пацифики, так и Атлантики. Наконец, была проделана работа по расчету абсолютных масс основных химических компонентов для всех главных типов плейстоценовых отложений обоих океанов. Полученные результаты представлены в таблицах с последующей интерпретацией. В данном кратком сообщении показаны результаты первых трех частей проделанной работы.

Различия в составе плейстоценовых осадков Тихого и Атлантического океанов по коэффициентам сравнения в вулканогенных отложениях к гемипелагическим глинам. Отмечено существенное сходство средних арифметических химических составов вулканогенных отложений и гемипелагических глин в плейстоцене Пацифики. Сопоставим коэффициенты сравнения (КС) в Атлантическом океане (на основе статьи [Левитан и др., 2024]) и в Тихом океане (табл. 1).

Автором принято, что значения КС от 0,7 до 1,4 свидетельствуют о большой близости химических составов сравниваемой пары отложений. В соответствии с результатами табл. 1 в эту категорию попадают 11 компонентов в Атлантике и 16 компонентов в Пацифике. Сильно обеднены (КС < 0,7) вулканогенные отложения тремя компонентами

Таблица 1

Коэффициенты сравнения (КС) содержаний химических компонентов в вулканогенных отложениях к гемипелагическим глинам в плейстоцене Атлантического и Тихого океанов

Компонент	Атлантический океан	Тихий океан
SiO ₂	1,2	1,0
TiO ₂	1,0	1,4
Al ₂ O ₃	0,8	0,7
Fe ₂ O ₃	1,4	0,9
MnO	2,1	1,1
MgO	0,7	1,0
CaO	2,4	2,2
Na ₂ O	1,8	1,1
K ₂ O	0,9	0,6
P ₂ O ₅	2,8	0,9
ППП	0,5	1,0
V	1,7	0,6
Cr	1,5	0,8
Co	0,6	1,2
Ni	1,2	0,6
Cu	1,2	1,2
Zn	1,2	0,9
Rb	0,6	0,8
Sr	1,6	0,8
Ba	0,8	0,5
Zr	2,3	0,8

в Атлантическом океане (ППП, Co, Rb) и четырьмя — в Тихом (K₂O, V, Ni, Ba). Слабое обогащение (1,4 < КС < 2,0) отмечено для четырех компонентов в Атлантике (Na₂O, V, Cr, Sr) и отсутствует полностью в Пацифике. Наконец, вулканогенные отложения заметно обогащены (КС > 2,0) четырьмя компонентами в Атлантическом океане (MnO, CaO, P₂O₅, Zr) и только одним — в Тихом (CaO). Изложенные результаты позволяют утверждать, что гемипелагические глины и вулканогенные отложения существенно ближе по среднему химическому составу друг к другу в Тихом океане, чем в Атлантическом. Это различие между океанами обусловлено, скорее всего, известным доминированием геодинамического типа активных окраин Тихого океана по сравнению с геодинамикой литосферы Атлантики. Отсюда следует, что гемипелагические глины плейстоцена Пацифики в некоторых отношениях можно рассматривать как вулканогенные образования.

Сравнение средних химических составов плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов. Анализ данных табл. 2 показал, что существуют две группы компонентов по отношениям их содержаний в осадках Тихого океана к осадкам Атлантики: менее 1,0 и более 1,0. К первой группе относятся CaO, MgO, P₂O₅, ППП. Полученные значения для CaO и ППП объясняются почти вдвое более высокой средней карбонатностью атлантических

осадков (32,09 мас. % CaCO_3 против 18,18 мас. %, соответственно). Повышенная карбонатность плейстоцена Атлантики по сравнению с плейстоценом Пацифики обусловлена несколькими обстоятельствами (табл. 3): 1) заметно более высоким отношением PP/L в Атлантике (PP — аббревиатура термина «primary production», т. е. «первичная продукция», широко применяемого в англоязычной научной литературе, например, в [Behrenfeld, Falkowski, 1997]; L — часть отношения В/L, т. е. отношения площади водосбора (В) к площади бассейна аккумуляции (L), введенного Н.М. Страховым и применявшегося, например, в монографии А.П. Лисицына [Лисицын, 1978]; отношение PP/L впервые вводится автором в данной статье), которое указывает на первичную продукцию [Behrenfeld, Falkowski, 1997], приходящуюся на значительно меньшую площадь океана по сравнению с Пацификой [Лисицын, 1978]; 2) существенно большей величиной отношения В/L для Атлантического океана, что приводит к превышению потоков биогенных элементов и компонентов с континентов и, в результате, к большим абсолютным массам CaCO_3 в современную эпоху [Лисицын, 1978], и в плейстоцене [Левитан, 2021]; 3) меньшей долей глубоководных котловин в рельефе дна Атлантического океана по сравнению с Тихим [Harris, et al., 2014]. Низкое отношение (0,53) для P_2O_5 обусловлено большой ролью в нашей выборке по Атлантике образцов осадков из Бенгельского апвеллинга.

Таблица 2

Сравнение среднего химического состава (мас. %) плейстоцена Тихого и Атлантического океанов

Компоненты	Тихий океан	Атлантический океан	Тихий океан/Атлантический океан
SiO_2	49,32	40,13	1,23
TiO_2	0,60	0,53	1,13
Al_2O_3	15,75	12,32	1,28
Fe_2O_3	7,70	6,54	1,18
MnO	0,21	0,19	1,11
MgO	2,40	2,67	0,90
CaO	10,18	17,97	0,57
Na_2O	2,19	1,80	1,22
K_2O	3,04	1,94	1,57
P_2O_5	0,16	0,30	0,53
ППП	8,45	15,61	0,54

Близкая к 1,0 величина отношения для MgO вызвана тем, что частично этот компонент входит в состав биогенного карбоната кальция, а также частично присутствует в бескарбонатном веществе осадков. Отношения более 1,0 демонстрируют все оставшиеся компоненты, так как бескарбонатного вещества в среднем в Тихом океане больше, чем карбонатного. При этом для SiO_2 можно отметить некоторую роль (относительно невысокую) диатомовых илов Пацифики. Интересно, что самые высокие

отношения содержаний в осадках Тихого океана к осадкам Атлантики выявлены для K_2O и Al_2O_3 . Ряд авторов указывают на широкое распространение на суше (в том числе и на островах) в тропической зоне Пацифики каолинитов и латеритов [Zheng, et al., 2022], обогащенных этими компонентами. Однако, повышенных концентраций растворенного Al вниз по разрезу водной толщи не отмечено [Zheng, et al., 2022].

Нормирование средних химических составов плейстоценовых отложений обоих океанов по PAAS (постархейским австралийским глинистым сланцам [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]) — одному из эталонов терригенных глинистых пород — показало, что океанические осадки (особенно в Атлантике) сильно обогащены CaO (табл. 4). Хорошо выражено также их обогащение Na_2O и MnO. Очевидно, что повышенная карбонатность обусловлена развитием различных типов океанических биогенных карбонатов, а относительная обогащенность Na_2O вызвана, прежде всего, составом морской воды. Не исключено, что определенное значение в этом плане имеет малое содержание калиевых полевых шпатов в океанических осадках [Серова и др., 1979; Тримонис, 1995]. Косвенным подтверждением такого предположения служат и максимально низкие отношения содержаний K_2O в исследованных осадках к их величинам в PAAS (табл. 4). Высокие значения MnO и близкие к содержаниям в PAAS концентрации Fe_2O_3 в плейстоценовых осадках обоих океанов (с учетом их повышенной карбонатности), вероятно, свидетельствуют о существенной роли гидрогенного вещества вследствие геохимической дифференциации и других процессов (например, влияния подводной гидротермальной деятельности). Отношения большинства оксидов петрогенных элементов к их содержаниям в PAAS (кроме CaO) свидетельствуют, возможно, об их терригенном источнике. При этом относительно повышенное отношение SiO_2 в плейстоценовых отложениях Тихого океана указывает и на определенную роль биогенного опала.

Абсолютные массы петрогенных компонентов в плейстоцене Тихого и Атлантического океанов. Для построения табл. 5 были учтены данные по массам сухого осадочного вещества основных типов плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов, площадям их распространения, скоростям накопления и их абсолютным массам [Левитан, 2021], а также по результатам вычислений средних арифметических химических составов этих же отложений ([Левитан и др., 2024] и данная статья).

Анализ данных табл. 5 также выявил две группы абсолютных масс петрогенных компонентов по их отношениям в осадках Тихого океана к осадкам Атлантики: менее 1,0 и более 1,0. К первой группе относятся почти все типы отложений, кроме гемипелагических глин, принадлежащих второй группе. В первой группе выявлены два исключения: Al_2O_3 в пелагических глинах и MnO в кокколито-фо-

Таблица 3

Некоторые параметры современной и плейстоценовой седиментации в Тихом и Атлантическом океанах

Параметры	Тихий океан	Атлантический океан	Тихий океан/Атлантический океан
V/L	0,13	0,71	0,18
PP (10 ⁹ т С/год) [Behrenfeld, Falkowski, 1997]	16,7	11,9	1,40
PP/L (10 ⁹ т С/год × млн км ²) (данная статья)	0,093	0,129	0,72
Площадь развития современных пелагических глин (тыс. км ²) [Лисицын, 1978]	70847	7284	9,73
Абсолютные массы литогенного вещества плейстоценовых отложений (г/см ² × тыс. лет) [Левитан, 2021]	1,20	1,64	0,73
Абсолютные массы CaCO ₃ плейстоценовых отложений (г/см ² × тыс. лет) [Левитан, 2021]	0,24	1,01	0,24

Примечания. В — площадь современных водосборов [Левитан, 2024 и данная статья]; L — площадь современных океанов [Лисицын, 1978]; PP — современная первичная продукция. Величины V получены при обсчете карт из [Физико-географической..., 1964].

раминиферовых илах и глинах. Специфика Al₂O₃ в пелагических глинах Пацифики уже отмечалась выше при интерпретации табл. 2. Причиной столь высоких абсолютных масс MnO в относительно мелководных планктоногенных карбонатных илах может быть высокое содержание растворенного Mn в слое поверхностных вод Тихого океана [Zheng, et al., 2022]. Не исключено, что это же явление объясняет и сравнимые с Атлантикой высокие абсолютные массы MnO в диатомовых илах Пацифики.

В целом существование первой группы абсолютных масс обусловлено рядом причин, характерных для Тихого океана (табл. 3): 1) максимально низкими значениями отношения V/L; 2) огромными площадями распространения глубоководных котловин с их минимальными скоростями седиментации; 3) заметно более слабым развитием вулканогенных отложений по сравнению с Атлантикой [Левитан, 2021].

В то же время кажущееся противоречие между отношением V/L и высокими абсолютными массами гемипелагических глин в плейстоцене Пацифики (вторая группа) объясняется тем, что эти отложения распространены в относительно узком поясе вдоль активных окраин и получают питание осадочным материалом из крупнейших зон неотектонического горообразования (включая крупнейшие реки Китая и Юго-Восточной Азии). Ранее уже было отмечено, что для плейстоцена Атлантики заметная роль неотектонического фактора в поставке терригенного вещества отсутствует [Левитан, 2024].

Исключениями во второй группе являются пониженные отношения абсолютных масс P₂O₅ и CaO, что можно объяснить более высокой первичной продукцией в областях развития гемипелагических глин в Пацифике. Это, в свою очередь, обусловлено существованием глобально выраженной зоны повышенной первичной продукции над подводными частями континентальных окраин [Демидов, 2014].

Заключение. При сопоставлении отношений средних содержаний химических компонентов в вулканогенных отложениях к гемипелагическим глинам выяснилось, что в плейстоцене Тихого океана

Таблица 4

Отношения среднего арифметического химического состава (мас. %) плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов к среднему составу PAAS

Компоненты	Тихий океан/PAAS	Атлантический океан/PAAS
SiO ₂	0,82	0,67
TiO ₂	0,64	0,56
Al ₂ O ₃	0,80	0,63
Fe ₂ O ₃	1,15	0,98
MnO	2,10	1,90
MgO	1,16	1,29
CaO	8,34	14,73
Na ₂ O	1,94	1,59
K ₂ O	0,80	0,51
P ₂ O ₅	1,07	2,00
ППП	1,41	2,60

обе группы отложений обладают довольно близким составом (в отличие от Атлантики). Эта особенность объясняется преимущественно вулканогенным петрофондом областей водосбора на активных континентальных окраинах Пацифики.

Установлено, что плейстоценовые отложения Атлантического океана в среднем являются более карбонатными, чем плейстоцен Тихого океана (32,09 мас. % CaCO₃ против 18,18 мас. %). Причинами такого различия являются большие величины V/L в Атлантике (что вызывает повышенное поступление с суши питательных веществ, необходимых для биогенного образования CaCO₃), заметно более высокое отношение современной первичной продукции (следовательно, и продукции биогенных карбонатов) к площади океана, и меньшая роль глубоководных котловин в рельефе дна Атлантического океана. В плейстоцене, как и в современную эпоху [Лисицын, 1978], интенсивность накопления биогенных карбонатов в Атлантическом океане была гораздо выше, чем в Тихом (табл. 3).

Нормирование средних химических составов плейстоценовых отложений обоих океанов по PAAS

Таблица 5

**Сравнение абсолютных масс ($\text{г/см}^2 \times \text{тыс. лет}$) петрогенных компонентов некоторых основных типов
плейстоценовых отложений Тихого и Атлантического океанов**

Ком- понент	Тихий океан								Ком- понент	Атлантический океан							
	1	2	3	4	5	6	7	8		1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	0,25	10,48	4,13	0,40	0,10	0,10	Н.о.	0,37	SiO ₂	0,74	5,12	10,53	6,01	0,81	0,39	Н.о.	0,71
TiO ₂	0,003	0,13	0,05	0,007	0,001	0,002	Н.о.	0,002	TiO ₂	0,01	0,07	0,16	0,07	0,01	0,006	0,01	0,004
Al ₂ O ₃	0,11	3,66	0,99	0,10	0,02	0,02	Н.о.	0,07	Al ₂ O ₃	0,30	1,55	2,63	1,10	0,41	0,10	1,03	0,27
Fe ₂ O ₃	0,06	1,66	0,63	0,06	0,01	0,02	0,00002	0,02	Fe ₂ O ₃	0,18	0,90	1,29	1,23	0,17	0,07	0,20	0,07
MnO	0,002	0,03	0,006	0,001	0,001	0,003	0,000002	0,001	MnO	0,01	0,01	0,02	0,19	0,004	0,002	0,004	0,001
MgO	0,02	0,58	0,14	0,02	0,005	0,009	0,001	0,007	MgO	0,04	0,27	0,59	0,17	0,12	0,03	0,03	0,06
CaO	0,006	0,50	0,18	0,04	0,18	0,25	0,041	0,01	CaO	0,04	0,68	0,95	0,67	1,08	0,61	3,63	0,12
Na ₂ O	0,006	0,55	0,16	0,02	0,006	0,009	Н.о.	0,016	Na ₂ O	0,02	0,21	0,35	0,27	0,05	0,03	0,07	0,04
K ₂ O	0,03	0,53	0,34	0,01	0,003	0,004	Н.о.	0,013	K ₂ O	0,04	0,24	0,45	0,20	0,04	0,02	0,10	0,03
P ₂ O ₅	0,001	0,03	0,01	0,001	0,001	0,001	Н.о.	0,001	P ₂ O ₅	0,005	0,03	0,03	0,08	0,01	0,005	0,03	0,006

Ком- понент	Тихий океан /Атлантический океан							
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO ₂	0,34	2,05	0,39	0,07	0,12	0,26	Н.о.	0,52
TiO ₂	0,30	1,86	0,31	0,10	0,10	0,33	Н.о.	0,50
Al ₂ O ₃	3,67	2,36	0,38	0,09	0,05	0,20	Н.о.	0,26
Fe ₂ O ₃	0,33	1,84	0,49	0,05	0,06	0,29	0,0001	0,29
MnO	0,20	3,00	0,30	0,005	0,25	1,50	0,0005	1,00
MgO	0,50	2,15	0,24	0,12	0,04	0,30	0,03	0,12
CaO	0,15	0,74	0,19	0,06	0,17	0,41	0,01	0,08
Na ₂ O	0,30	2,62	0,46	0,07	0,12	0,30	Н.о.	0,40
K ₂ O	0,75	2,21	0,76	0,05	0,08	0,20	Н.о.	0,43
P ₂ O ₅	0,20	1,00	0,33	0,01	0,10	0,20	Н.о.	0,17

Примечание. Типы отложений: 1 — пелагические глины; 2 — гемипелагические глины; 3 — терригенные турбидиты; 4 — вулканогенные отложения; 5 — кокколитолевые илы и глины; 6 — кокколито-фораминиферовые илы и глины; 7 — бентогенные карбонаты; 8 — диатомовые илы и глины.

выявило их обогащение помимо CaO также Na₂O и MnO. Для Na₂O это обусловлено главным образом составом морской воды, а для MnO — ролью водородного вещества (вследствие геохимической дифференциации, а также подводной гидротермальной деятельности [Лисицын, 1978]).

Установлены две группы абсолютных масс петрогенных компонентов по их отношениям в осадках Тихого океана к осадкам Атлантики: с отношениями менее 1,0 и более 1,0. К первой группе относятся почти все типы отложений, кроме гемипелагических глин, принадлежащих второй группе. Существование первой группы абсолютных масс обусловлено, главным образом, максимально низкими значениями отношения В/Л для Пацифики. Специфика

очень больших потоков химических компонентов в гемипелагические глины Тихого океана обусловлена ролью эрозии поясов неотектонического горообразования, расположенных на водосборах Тихого океана. На водосборах Атлантического океана существенной роли неотектоники в поставке осадочного материала в бассейн аккумуляции не наблюдается [Левитан, 2024].

Благодарности. Автор признателен Т.А. Антоновой, Л.Г. Домарацкой, А.В. Кольцовой за помощь в работе над статьей. Замечания рецензентов позволили улучшить ее содержание.

Финансирование. Исследование выполнено за счет Госзадания ГЕОХИ РАН.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Волков И.И., Соколов В.С., Соколова Е.Г., Пилипчук М.Ф. Редкие и рассеянные элементы в осадках северо-западной части Тихого океана // Литол. и полезн. ископ. 1974. № 2. С. 3–22.

Демидов А.Б. Первичная продукция океанического фитопланктона: изменчивость и глобальные оценки // Мировой океан. Т. II. Физика, химия и биология океана. Осадкообразование в океане и взаимодействие геосфер

Земли / Ред.: Л.И. Лобковский, Р.И. Нигматулин. М.: Научный мир, 2014. С. 224–241.

Емельянов Е.М., Лисицын А.П., Ильин А.В. Типы донных осадков Атлантического океана. Результаты исследований по МГП. Океанологические исследования. Калининград, 1975. 579 с.

Левитан М.А. Первые результаты сравнительного анализа химического состава плейстоценовых отложений

Индийского и Атлантического океанов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. № 3. С. 54–58.

Левитан М.А. Плейстоценовые отложения Мирового океана. М.: РАН, 2021. 408 с.

Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г., Кольцова А.В. Геохимические особенности плейстоценовых отложений Атлантического океана // Литол. и полезн. ископ. 2024. № 3. С. 323–344.

Левитан М.А., Антонова Т.А., Домарацкая Л.Г. и др. Химический состав плейстоценовых отложений Индийского океана // Литол. и полезн. ископ. 2023. № 5. С. 423–444.

Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. Литология и геохимия. М.: Наука, 1978. 392 с.

Лисицына Н.А., Дворецкая О.А. Литологический профиль через Северо-Западную котловину Тихого океана // Литол. и полезн. ископ. 1972. № 4. С. 3–26.

Лисицына Н.А., Дворецкая О.А., Пушкина З.В., Черкасова Е.В. К геохимии элементов-гидролизатов в осадках Северо-Западной котловины Тихого океана // Литол. и полезн. ископ. 1973. № 6. С. 3–21.

Серова В.В., Лисицын А.П., Мурдмаа И.О. Кварц и полевые шпаты в осадках // Осадкообразование и магматизм океана / Отв. ред. П.Л. Безруков. М.: Наука, 1979. С. 198–210.

Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора: ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 379 с.

Тримонис Э.С. Терригенная седиментация в Атлантическом океане. М.: Наука, 1995. 255 с.

Физико-географический атлас Мира. М.: АН СССР и ГУГК, 1964. 298 с.

Anderson R.F. GEOTRACES: Accelerating Research on the Marine Biogeochemical Cycles of Trace Elements and Their Isotopes. Annual Review of Marine Science (2020, January 3). Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010318-095123>.

Behrenfeld M.J., Falkowski P.G. Photosynthetic rates derived from satellite-based chlorophyll concentration // Limnol. and Oceanogr. 1997. Vol. 42. №1. P. 1–20.

Gradstein F.M., Ogg J.G., Smith A.G. A Geological Time Scale 2004. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2004. 599 p.

Harris P.T., Macmillan-Lawler M., Rupp J., Baker E.K. Geomorphology of the oceans // Mar. Geol. 2014. Vol. 352. P. 4–24.

Middag R., van Hulst M.M.P., Van Aken H.M., et al. Dissolved aluminium in the ocean conveyor of the West Atlantic Ocean: Effects of the biological cycle, scavenging, sediment resuspension and hydrography // Mar. Chem. 2015. Vol. 177. Part 1. P. 69–86.

Zheng L., Minami T., Takano S., Sohrin Y. Distributions of aluminum, manganese, cobalt, and lead in the western South Pacific: Interplay between the South and North Pacific // Geochim. Cosmochim. Acta. 2022. Vol. 338. P. 105–120.

Статья поступила в редакцию 16.09.2024,
одобрена после рецензирования 30.10.2024,
принята к публикации 28.02.2025