

ОСОБЕННОСТИ ФАЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЙ СЕДИМЕНТАЦИИ ДОННЫХ ОСАДКОВ КУРИЛЬСКОЙ КОТЛОВИНЫ И ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТИХОГО ОКЕАНА

© 2025 г. К.В. Сыромятников¹, М.А. Левитан¹, Р.Р. Габдуллин²

¹Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва

²Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, Москва; МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

*e-mail: sykirv@gmail.com

Введение

Курильская котловина

Курильская котловина — абиссальная равнина с глубинами свыше 3000 м. Осадки здесь представлены в основном терригенными илами с высоким содержанием биогенного опада. Преобладание алевритов связано с вкладом диатомовых остатков, тогда как пелитовая фракция отражает терригенную составляющую. Отношение Si/Al и содержание Сорг в осадках указывают на интенсивную биопродуктивность. Отсутствие песчаной фракции и низкие значения Fe и Ti свидетельствуют о минимальном вулканогенном вкладе.

Корреляционный анализ (рис. 2) выявил тесную связь между алевритовой фракцией и содержанием Si и Ca, что подтверждает участие кремнистых и карбонатных биогенных компонентов в формировании этой фракции. Положительные корреляции с пелитами наблюдаются для K, Th, Pb, Rb и других литофильных элементов, что указывает на терригенное происхождение тонкодисперсной составляющей. Таким образом, осадки отражают сложное взаимодействие между биогенными, терригенными и гидродинамическими факторами.

Регрессионный анализ климатических данных (рис. 3а), основанный на массиве из базы NASA (1981–2022), показал линейную положительную связь между температурой поверхности моря и силой ветрового воздействия в пределах антициклонического круговорота Курильской котловины. Это согласуется с гидродинамическими условиями: в центре круговорота слабые течения и более высокие температуры, тогда как на периферии — усиление турбулентности и понижение температуры воды.

Статистический анализ показал прямую зависимость между температурой поверхности моря и содержанием пелитовой фракции (рис. 3б). Пелитовые осадки формируются в условиях слабой гидродинамики, способствующих сохранению тепла в придонной зоне, тогда как алевриты накапливаются при активной циркуляции, обеспечивающей усиленный теплоотвод. Таким образом, литология осадков отражает температурный режим через особенности водной динамики. Вымыванию пелитовой фракции со склонов способствует усиление придонных течений, сохраняющихся вглубь круговорота Курильской котловины, что объясняет выявленные регрессионные зависимости. Это подтверждается и отрицательной регрессионной связью между температурой и содержанием алевритовой фракции (рис. 3в).

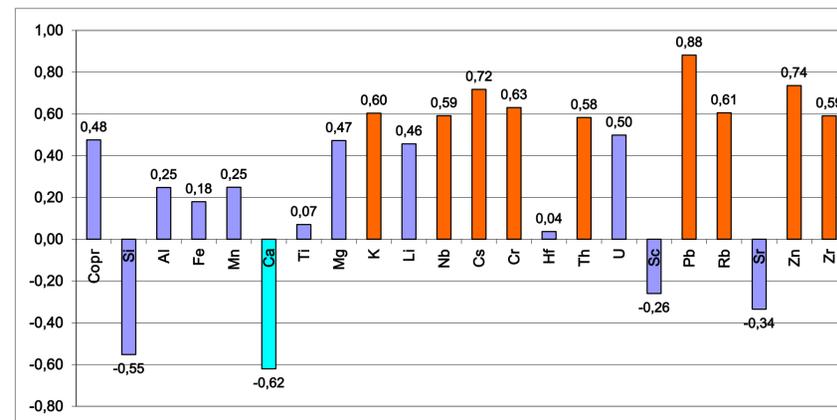
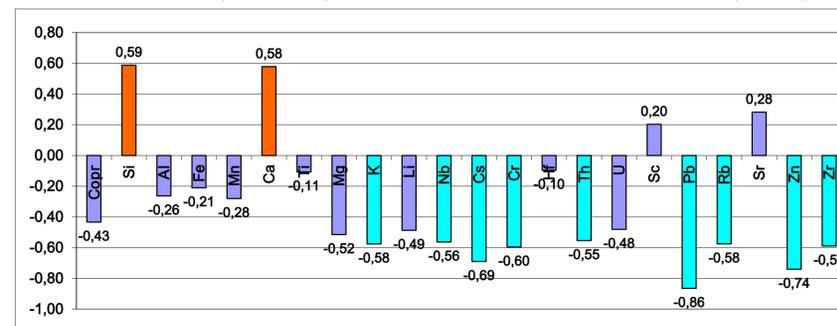


Рис. 2. Результаты корреляционного анализа Пирсона для донных осадков Курильской котловины и ее северного склона: а – по взаимосвязи фракций алеврита, химических элементов и органического углерода; б – по взаимосвязи фракций пелита, химических элементов и органического углерода.

Курило-Камчатский глубоководный желоб

Эта структура характеризуется значительной глубиной (до 9717 м) и выраженной разницей между осадками островного склона и тальвега. В осадках желоба — высокие содержания Fe и Ti, указывающие на активное влияние вулканогенного материала. Песчаные фракции в осадках склона интерпретируются, как результат гравитационных процессов, включая подводные оползни и формирование дебритов.

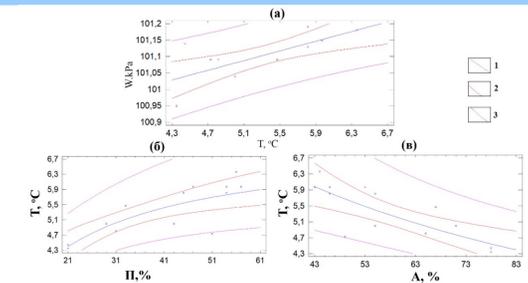


Рис. 3. Результаты одномерного регрессионного анализа для района Курильской впадины: а – прямой линейной взаимосвязи силы ветрового воздействия на поверхность воды и среднегодовой температуры поверхности моря (T, °C); б – прямой нелинейной взаимосвязи среднегодовой температуры поверхности моря (T, °C) и пелита; в – прямой нелинейной взаимосвязи среднегодовой температуры поверхности моря (T, °C) и алеврита. 1 – доверительный интервал, соответствующий предсказанному значению регрессии; 2 – доверительный интервал для среднего значения предсказанных значений регрессии; 3 – линия регрессии.

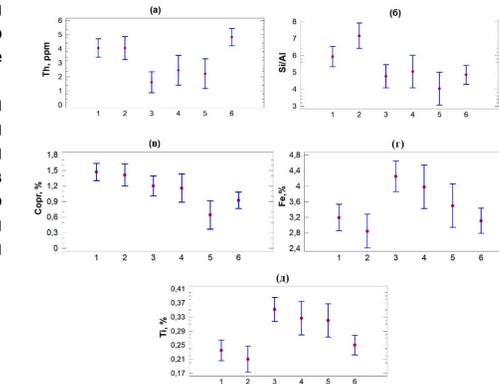


Рис. 4. Средние и 95% доверительные интервалы распределения: а – Th, б – отношения Si/Al, в – органического углерода (Сорг), г – Fe, д – Ti в донных осадках трех фациальных областей и подобластей южной части Охотского моря и северо-западной части Тихого океана: 1 – Курильская котловина; 2 – северный склон Курильской котловины; 3 – островной склон Курило-Камчатского глубоководного желоба; 4 – тальвег Курило-Камчатского глубоководного желоба; 5 – возвышенность Обручева-Детройта; 6 – Северо-Западная глубоководная котловина северо-западной части Тихого океана.

Отношение Si/Al и содержание Сорг здесь умеренные, но Th минимален, что подтверждает слабую терригенную поставку. Геохимический профиль и спектры РЗЭ указывают на влияние взвесей с Курил и Камчатки. Зона характеризуется повышенной биопродуктивностью.

Северо-западная часть Тихого океана

Регион включает Северо-Западную глубоководную котловину и подводное поднятие Обручева-Детройта. Первая зона — классическая пелагическая область с глинистыми илами, обедненными биогенным и терригенным материалом. Высокие значения Mn и низкие — Сорг и Th отражают слабую биопродуктивность и удаленность от источников материала.

Поднятие Обручева-Детройта расположено выше критической глубины карбоната накопления, что объясняет обилие раковин фораминифер и высокое содержание песчаной фракции. Осадки здесь соответствуют гемипелагическим глинам. Повышенное содержание Th, по-видимому, связано с близостью к Алеутским островам и эоловым транспортом.

Заключение

Дисперсионный анализ (рис. 4) показал выраженные различия между 3-мя фациальными областями по ряду ключевых показателей (Si/Al, Fe, Ti, Th). Курильская котловина демонстрирует высокую биопродуктивность, значительный терригенный вклад и отсутствие вулканогенного влияния. Курило-Камчатский желоб отличается активной вулканотерригенной поставкой и перераспределением осадков под действием силы тяжести (оползни, турбидиты и пр.). Осадки северо-западной части Тихого океана отражают условия пелагического (Северо-Западная глубоководная котловина) и гемипелагического накопления с повышенной поставкой терригенного материала с Алеутских островов (поднятие Обручева-Детройта) при слабом вулканическом влиянии. Статистический анализ подтвердил устойчивые различия между областями и обосновал фациальное районирование.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Страхов Н.М. О сравнительно-литологическом направлении и его ближайших задачах // Бюлл. МОИП. Отд. геол. Нов. сер. 1945. Т. 20. № 3–4. С. 34–48.
- Сыромятников К.В., Габдуллин Р.Р. Основные факторы седиментогенеза и раннего диагенеза в донных осадках Карского моря на основе методов математической статистики // Вестник Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2022. № 5. С. 99–113.
- Саттарова В.В., Аксентов К.И. Геохимия редкоземельных элементов в поверхностном слое донных осадков северо-западной Пацифики // Геология и геофизика. 2019. Т. 60. № 2. С. 179–193.
- Берк К., Кэйри П. Анализ данных с помощью Microsoft Excel.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2005. 560 с.

Литолого-фациальный анализ современных осадков морей и океанов, как известно, имеет своей целью выявление фациальной структуры рассматриваемого бассейна седиментации с помощью выделения фациальных индикаторов, изучения и картирования их изменчивости, установления соответствия литофацials условиям накопления осадков. Естественно, что такие исследования представляют интерес также и для литологов, изучающих более древние бассейны осадконакопления с помощью сравнительно-литологического метода [1]. В последние годы все чаще литологи не останавливаются на описании полученных результатов в качественном виде, а стараются подтвердить их на основе применения различных методов математической статистики, указывая, например, достоверность, доверительный интервал и проч. [2]. В качестве основы для исследования мы выбрали статью [3], содержащую значительный массив гранулометрических и геохимических данных по поверхностному слою донных осадков, собранных в нескольких рейсах научно-исследовательских судов в Охотском море, на северо-западе Тихого океана и в Беринговом море. Материалы по последнему району в нашей работе не использовались.

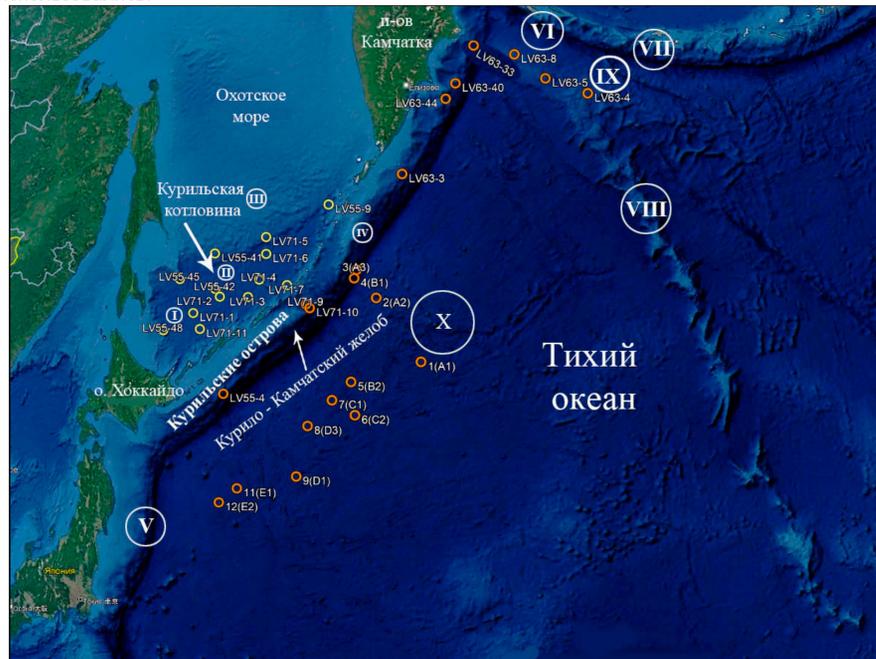


Рис. 1. Обзорная карта района исследования с положением станций отбора проб [1]: I – Присахалинский (Западный прогиб); II – Прикурильский (Восточный прогиб); III – возвышенность Академии Наук; IV – вал Зенкевича; V – Японский вал; VI – возвышенность Обручева; VII – Алеутская островная дуга; VIII – Императорский хребет; IX – возвышенность Детройта; X – Северо-Западная глубоководная котловина (северо-западной части Тихого океана).

Полученные результаты

Изучение представленного в статье [3] материала позволило нам выделить три литолого-фациальные области: Курильскую котловину Охотского моря, Курило-Камчатский глубоководный желоб и северо-западную часть Тихого океана. В каждой области выделены две подобласти (табл. 1). В качестве фациальных индикаторов выбраны: гранулометрический состав, отношение Si/Al; содержания Ti, Fe, Th, Сорг.

В результате проведения однофакторного дисперсионного анализа было исследовано 34 образца донных осадков трех выделенных фациальных областей и их подобластей. В табл. 2 и 3 приведены результаты дисперсионного анализа: 1) суммы квадратов (SS, Sum of Squares) – инструмент, который используют для оценки общего отклонения набора данных от среднего значения; 2) степени свободы (Df) – количество значений или наблюдений в выборке, которые могут быть изменены независимо друг от друга без изменения ее структуры; 3) средние квадраты или среднеквадратичное отклонение отражает меру разброса данных относительно среднего (MS, Mean Square); 4) значения критерия Фишера (критерий рассеивания) определяется отношением средних квадратов между группами к средним квадратам внутри групп и служит для проверки равенства дисперсий двух выборок; 5) P-value или уровень значимости статистической модели.

Исследование включало 34 пробы осадков из трёх фациальных областей: Курильской котловины, Курило-Камчатского глубоководного желоба и северо-западной части Тихого океана. Поставленные задачи решались с помощью применения корреляционного анализа Пирсона в программе Excel, в соответствии с методикой [4], а также методов однофакторного дисперсионного и одномерного регрессионного анализов в программе Statgraphics plus v. 5.