

# КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИАГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ В ЭОЦЕН-ПЛЕЙСТОЦЕНОВЫХ ОСАДКАХ ПЛАТО ВОРИНГ (НОРВЕЖСКОЕ МОРЕ) В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ НАКОПЛЕНИЯ

© 2023 г. К.В. Сыромятников<sup>а\*</sup>, Р.Р. Габдуллин<sup>а</sup>, М.А. Левитан<sup>а</sup>  
<sup>а</sup>Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН  
119991 Москва, ул. Косыгина, 19  
\*e-mail: sykirv@gmail.com

## Введение

Исследования, посвященные изучению диагенеза в морских осадках, важны не только в теоретическом, но и в практическом отношении. При этом особого внимания заслуживает анализ диагенетических преобразований морских отложений с учетом меняющихся условий осадконакопления, которые обуславливают формирование определенных литологических типов осадков разного состава и генезиса. В результате смены обстановок осадконакопления диагенетические процессы могут протекать с разной степенью интенсивности, как это было показано М.А. Левитаном [1] при изучении постседиментационных преобразований в основных типах океанских отложений.

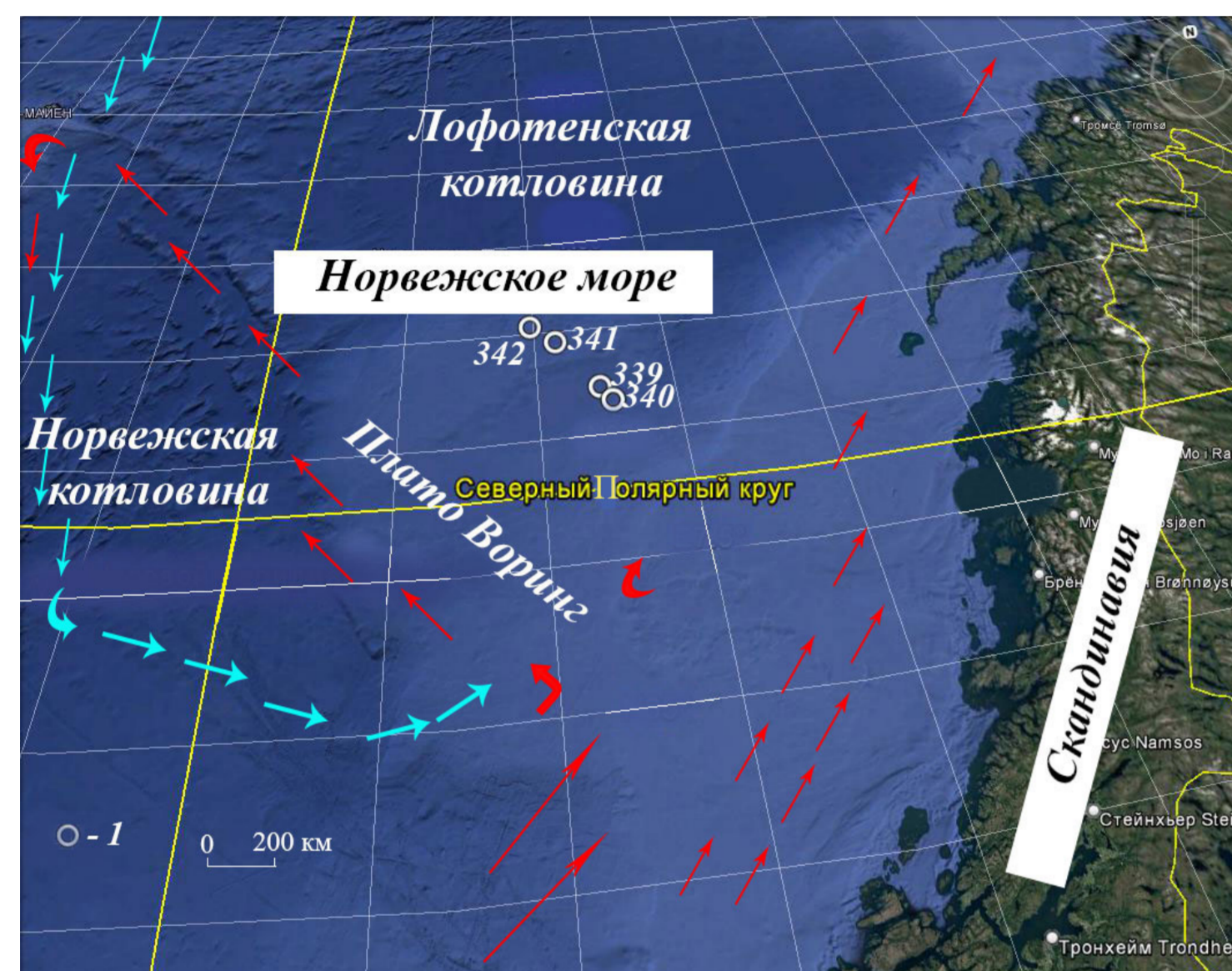


Рис. 1. Схематическая карта расположения изученных скважин плато Воринг. Синие стрелки – направления поверхностных течений полярных вод; красные стрелки – то же, вод Атлантического океана. 1 – скважины

При исследовании диагенеза в различных морских и океанских обстановках осадконакопления исследователи не всегда располагают достаточно большим количеством исходных данных по химии, минералогии и литологии для его комплексной и детальной оценки. В условиях дефицита данных на помощь приходят методы статистического анализа, которые позволяют провести количественную оценку диагенетических преобразований на основе небольшого количества данных по химии и литологии с построением точных математических моделей. Следует отметить научные работы с успешным применением методов статистических анализов при исследовании различных морских осадков [2, 3].

Исходным материалом для проведения исследований явились данные, полученные в результате проведения 38 рейса глубоководного бурения [4] в районе плато Воринг (рис. 1). Как известно, краевое подводное плато Воринг простирается от западной континентальной окраины Норвегии на запад и разделяет восточную часть Норвежского моря на две котловины – Норвежскую и Лофотенскую (рис. 1). Плато Воринг имеет плоскую вершину на глубине около 1300 м. На севере оно граничит с Лофотенской котловиной с максимальными глубинами от 2800 до 3200 м, а на юго-западе – с зоной разломов Ян-Майен и Норвежской котловиной с наибольшими глубинами от 2900 до 3500 м.

Для проведения статистических анализов использовались данные по содержанию Fe, Mn, Сорг [5], рассчитанное нами отношение Mn/Fe, а также информация по литологическим типам эоцен-плейстоценовых осадков плато Воринг и их плотности в скв. 339, 340, 341 и 342, взятая из отчета по данному рейсу [4].

## Полученные результаты

Как известно, чувствительными индикаторами раннего диагенеза в осадках являются содержания Fe и Mn, а также отношение Mn/Fe [6-9,10].

В результате проведения одномерного регрессионного анализа (рис. 2) были установлены закономерности в распределении Mn, Fe, их отношения – Mn/Fe, Сорг по глубине, с уровнем достоверности 99%,  $P$ -value < 0,01. Было обнаружено, что Fe резко уменьшается с глубиной почти в 5 раз от плейстоценовых осадков к олигоценовым в интервале от 10 до 108 метров, что отмечается по скважине 339. В то же время сокращение Mn в том же самом интервале глубин по скважине 339 происходит в 6,5 раз в связи с тем, что в восстановительных условиях Mn восстанавливается быстрее, чем Fe [4]. В этом же интервале глубин плотность морских осадков уменьшается в 1,6 раз.

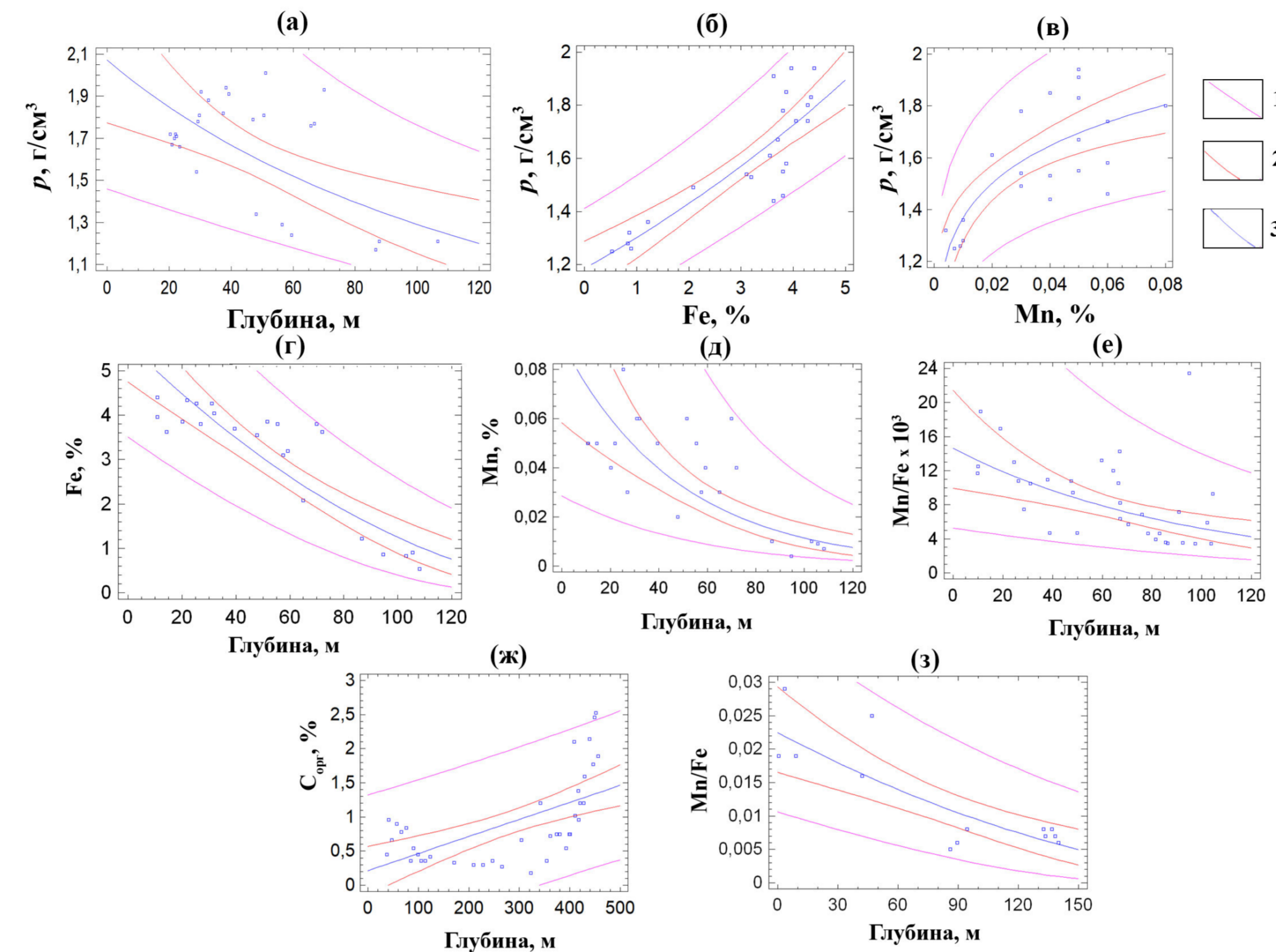


Рис. 2. Результаты регрессионного анализа: а – график обратной нелинейной зависимости распределения плотности  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) по глубине скважины 339; б – график прямой линейной взаимосвязи между распределением плотности  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) и содержанием Fe (%) по скважине 339; в – график прямой нелинейной взаимосвязи между распределением плотности  $\rho$  (г/см<sup>3</sup>) и содержанием Mn (%) по скважине 339; г – график обратной линейной зависимости распределения содержания Fe по глубине скважины 339; д – график обратной линейной зависимости распределения содержания Mn по глубине скважины 339; е – график нелинейной обратной зависимости распределения отношения Mn/Fe по глубине скважины 340; ж – график прямой линейной зависимости содержания Сорг по глубине скважины 341; з – график обратной нелинейной зависимости распределения отношения Mn/Fe по глубине скважины 342. 1 – доверительный интервал, соответствующий предсказанному значению регрессии; 2 – доверительный интервал для среднего значения предсказанных значений регрессии; 3 – линия регрессии.

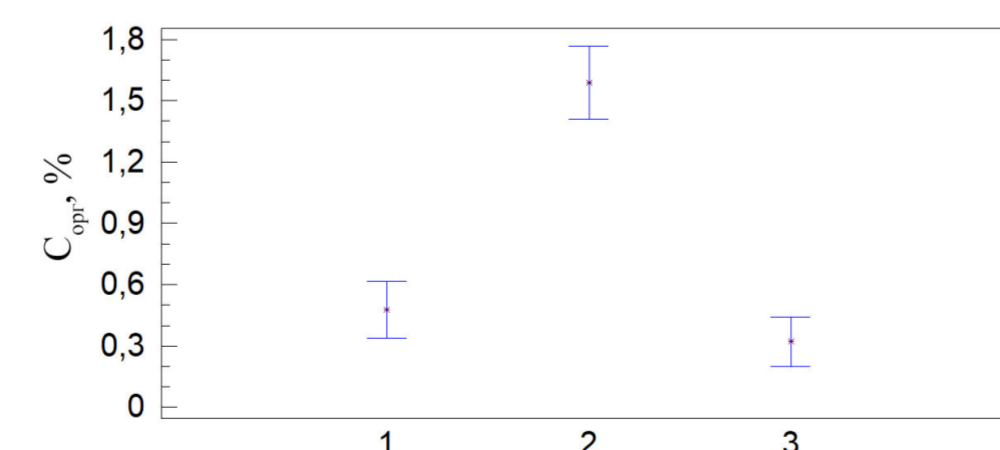


Рис. 3. Данные дисперсионного анализа эоцен-плейстоценовых осадков плато Воринг: средние содержания Сорг в основных литологических типах осадков: 1 – алевритово-пелитовые илы ледниково-морского генезиса; 2 – терригенные слабо кремнистые диатомовые алевритово-пелитовые илы; 3 – диатомовые илы.

Отношение Mn/Fe уменьшается от плейстоценовых осадков к нижнеэоценовым менее интенсивно, в 2,6 раза в интервале глубин от 10 до 104 метров в скважине 340. Следует отметить сокращение отношения Mn/Fe по разрезу скважины 342 в интервале от 10 до 139,9 метров от нижнемиоцен-плейстоценовых к нижнемиоценовым осадкам в 3,8 раз, что позволяет диагностировать восстановительную обстановку, связанную с уменьшением кислорода в осадках и сопровождающуюся восстановлением окисных соединений.

Необходимо подчеркнуть, что результаты однофакторного дисперсионного анализа показали, что распределение Сорг имеет статистически значимую взаимосвязь с определенными литологическими типами осадков (рис. 3), т.е. с определенными морскими фациями. При этом отмечается увеличение содержания Сорг от диатомовых илов к терригенным слабо кремнистым диатомовым алевритово-пелитовым илам почти в 5 раз.

Закономерности седиментационных и постседиментационных преобразований в эоцен-плейстоценовых осадках плато Воринг были обусловлены тремя основными периодами осадконакопления [11,12,13].

Первый связан с длительным палеогеновым кремненакоплением (ранний – поздний олигоцен). В это время пролив Фрама еще не существовал и циркуляция поверхностной водной массы в Норвежско-Гренландском бассейне носила антициклональный характер. В некоторых скважинах миоценовые отложения отсутствуют из-за перерыва в седиментации. К этому времени приурочено начало открытия пролива Фрама. Второй этап развития седиментации – раннеплиоценовый. Для него характерно типичное для апвеллинговых фаций переслаивание диатомовых илов, слабокремнистых диатомовых отложений и доледниковых терригенных алевритово-пелитовых илов. Третий этап (позднеплиоценовый-четвертичный) связан с неотектоническими движениями и оледенением Северного полушария [14]. При этом усилились потоки терригенного материала из Скандинавии и Норвегии на фоне чередования ледниковых и межледниковых стадий. В то же время продолжалось открытие пролива Фрама вплоть до плейстоцена. Норвежское течение на север продолжилось Западно-Шпицбергенским течением. В результате накапливались плейстоценовые алевритово-пелитовые илы ледниково-морского генезиса. Уменьшение плотности вниз по разрезу объясняется не только сменой типа осадков, но и выделением CO<sub>2</sub> и других газов при разложении органического вещества в ходе диагенеза, которые разуплотняли осадки [15].

Таким образом, на основании одномерного регрессионного и однофакторного дисперсионного анализов удалось оценить степень интенсивности диагенетических процессов в эоцен-плейстоценовых осадках плато Воринг. Помимо перерывов в осадконакоплении, воздействия донных течений и турбидитов, на степень интенсивности диагенеза в эоцен-плейстоценовых осадках плато Воринг оказывали влияние следующие основные факторы: 1) условия накопления осадков; 2) их литологический состав; 3) количество органического углерода, входящего в состав эоцен-плейстоценовых осадков плато Воринг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Левитан М.А. Диагенез и катагенез океанских отложений / Геологическая история океана. М.: Наука, 1980. С. 335–372.
- Левитан М.А., Сыромятников К.В., Рощина И.А., Штайн Р. Соотношение цвета и химического состава четвертичных донных осадков из южной части поднятия Менделеева и континентального склона Восточно-Сибирского моря // Геохимия. 2014. № 3. С. 233–248.
- Сыромятников К.В., Левитан М.А. Применение дисперсионного и регрессионного анализов для изучения взаимоотношений ряда компонентов верхнеплиоценовых отложений Индийского океана // Геохимия. 2021. Т. 66, № 2. С. 114–126.
- Talwani M., Udintsev G.B. et al. Proceedings of the DSDP, Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project, V. 38 (Washington, DC, U.S. Govt. Print. Office). 1976.
- Emelyanov E.M., Blazchishin A.I., Kharin G.S., Lozovaya N.G., Zangalis K. P. Mineral and chemical composition of sediments of the Vøring Plateau, DSDP Leg 38 // Supplementary to Initial reports of the DSDP, Vol. 38. 1978. P. 31-44.
- Волков И.И. Окислительно-восстановительные процессы диагенеза осадков // Геохимия донных осадков (отв. ред. И.И. Волков). М.: Наука, 1979. С. 363–413.
- Волков И.И. Геохимия серы в осадках океана. М.: Наука, 1984. 269 с.
- Демина Л. Л., Будько Д. Ф., Алексеева Т. Н., Новигатский А. Н., Филиппов А. С., Коченкова А. И. Особенности распределения микроэлементов в процессах раннего диагенеза донных осадков Белого моря // Геохимия. 2017. № 1. С. 107–112.
- Розанов А.Г., Волков И.И., Соколов В.С., Пушкина З.В., Пилипчук М.Ф. Окислительно-восстановительные процессы в осадках Калифорнийского залива и прилегающей части Тихого океана. Биогеохимия диагенеза осадков океана. М.: Наука, 1976. 208 с.
- Naeher S., Gilli A., North R.P., Hamann Y., Schubert C.J. Tracing bottom water oxygenation with sedimentary Mn/Fe ratios in Lake // Zurich Switzerland: Chem. Geol. 2013. V. 352. P. 125-133.
- Емельянов Е.М. Тримонис Э.С. Харин Г.С. Палеоокеанология Атлантического океана. Л.: Недра, 1989. 247 с.
- Левитан М.А., Мурдмаа И.О., Иванова Е.В., Буртман М.В., Крупская В.В., Ахрименко Н.О., Ерошенко Д.В. История осадконакопления на плато Воринг (Норвежское море) за последние 25 тыс. лет // Литология и полезные ископаемые. 2005. №6. С. 563–580.
- Vogt P.R. Seafloor Topography, Sediments, and Paleoenvironments // In: The Nordic seas. Ed. B.G. Hurdle. Berlin: Springer, 1986. P. 237-412.
- Knies J., Matningsdal R., Fabian K., Grosfeld K., Baranwal S., Husum K., Schepper St., Vogt Ch., Andersen N., Matthiessen J., Andreassen K., Jokat W., Nam S., Gaina C. Effect of early Pliocene uplift on late Pliocene cooling in the Arctic-Atlantic gateway // Earth and Planetary Science Letters. 2014. V. 387. P.132-144.
- Усов В.А. Диагенез как ведущий процесс формирования физико-механических свойств грунтов морского происхождения // Грунтоведение. Санкт-Петербургский ун-т. 2019. № 2. С. 33-39.