

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева
Дальневосточного отделения Российской академии наук

На правах рукописи



Янченко Елена Александровна

**ОТКЛИК РАДИОЛЯРИЙ НА ГЛОБАЛЬНЫЕ ОРБИТАЛЬНЫЕ И
ТЫСЯЧЕЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И СРЕДЫ ОХОТСКОГО
МОРЯ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И ГОЛОЦЕНЕ**

Специальность 25.00.28 – Океанология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель: д.г.-м.н.
Горбаренко Сергей Александрович

Владивосток – 2019

Оглавление

Введение	3
Глава 1 Палеоклиматология: основы, методы, радиоляриевый анализ...	9
1.1 Радиоляриевый анализ.....	10
1.2 История изучения радиолярий в Охотском море.....	12
Глава 2 Охотское море. Физико-географический очерк.....	27
2.1 Особенности географического положения и морфологии дна...	28
2.2 Гидрологические особенности.....	29
2.3 Первичная продукция.....	34
2.4 Донные отложения.....	37
Глава 3 Материал исследования и методика радиоляриевого анализа...	42
Глава 4 Радиолярии, как показатели изменений природных условий Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене.....	51
4.1 Современное распространение и экология видов радиолярий...	52
4.2 Распределение видов и видовых групп радиолярий в центральной части Охотского моря за последние 135 тысяч лет.....	68
4.3 Комплексы радиолярий (на основе R-кластерного анализа)....	80
Глава 5 Изменения ассоциаций радиолярий вследствие орбитальных осцилляций климата и среды Охотского моря.....	93
Глава 6 Изменения ассоциаций радиолярий вследствие тысячелетних колебаний климата и среды Охотского моря.....	108
Заключение	123
Список литературы	125
Приложение А Таксономические ссылки.....	153
Приложение Б Фототаблицы.....	165
Приложение В Основные параметры сообществ радиолярий и литолого- геохимические характеристики осадков керна РС-7R.....	167
Приложение Г Таблицы коэффициентов корреляции.....	176

Введение

Актуальность. В условиях быстроразвивающегося человеческого общества актуальными становятся научные работы, направленные на реконструкцию природных условий прошлого и моделирования поведения среды обитания человека в будущем. Интерес представляет применение различных методов фиксации изменений природной среды и климата на основе биоиндикаторов различного уровня. Наиболее чувствительными в морской среде считаются планктонные организмы.

Объектом исследования данной работы выбрано Охотское море ввиду его зачастую уникальных характеристик. Сюда можно отнести удаленность акватории от крупных промышленных центров, что исключает антропогенное влияние на среду осадконакопления, уникальное географическое положение Охотского моря, динамично развивающаяся ледовая обстановка, высокая первичная продуктивность и высокие скорости осадконакопления – все это определяет высокую чувствительность природной системы моря к изменениям, связанным с орбитальными и тысячелетними осцилляциями климата. Кроме того, большая система вулканических построек, как действующих, так и разрушенных, позволяет более точно привязывать вертикаль морских донных осадков к событиям прошлого.

Предметом исследования определены радиолярии – исключительно морские планктонные одноклеточные микроорганизмы, обитающие в Охотском море во всей водной толще. Это одна из наиболее информативных палеонтологических групп морских микроорганизмов, которые чутко реагируют изменением численности и видового состава на изменяющиеся условия среды обитания. Радиолярии широко используются в качестве биоиндикаторов водных масс и донных отложений для реконструкций климата и океанологических условий прошлого.

Таким образом, уникальность Охотского моря, как природного объекта, и радиолярий, как высокочувствительных индикаторов изменения окружающей среды, делает привлекательным изучение региона для проведения высокоразрешающих палеореконструкций.

Цель и задачи. *Цель работы* - установить закономерности изменений сообществ радиолярий в связи с орбитальными и тысячелетними осцилляциями климата и среды Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене.

Для достижения цели работы поставлены следующие *задачи*:

1. выполнить комплексное изучение сообществ радиолярий в позднеплейстоценовых и голоценовых осадках глубоководного керна с установленной возрастной шкалой и привлечением дополнительных геохимических и литологических сведений; провести сравнительный анализ полученных результатов с литературными данными; выявить особенности изменений сообществ радиолярий в позднечетвертичных донных осадках Охотского моря.
2. составить базу данных по численности радиолярий, их таксономическому составу.
3. провести кластеризацию радиолярий по группам, выявить закономерности их формирования для определения отклика радиолярий на орбитальные и тысячелетние вариации климата и среды.

Научная новизна. Изучение радиолярий в датированных осадках керна Охотского моря, впервые проведенное с высоким разрешением, позволяет значительно детализировать картину изменений их сообществ вследствие орбитальных и тысячелетних климатических флуктуаций.

Обосновано комплексное применение таких показателей, как скорость аккумуляции видов радиолярий и их процентное содержание.

Показана эффективность применения методов многокомпонентной статистики для интерпретации результатов радиоляриевого анализа.

Впервые построены комплексные графики изменений показателей радиолярий и некоторых геохимических и литологических данных в донных осадках в соответствии с тысячелетними изменениями среды и климата региона.

Теоретическая и практическая значимость. Приведенные в работе результаты радиоляриевого анализа существенно дополняют фундаментальные знания о палеосреде Охотского моря. Они могут быть применены для детализации хроностратиграфии Охотоморского региона. Это позволит в дальнейшем более детально и надёжно проводить палеоокеанологические и палеогеографические реконструкции климатических изменений Охотоморского региона и моделировать развитие природных процессов в будущем.

Материал и методы. В работе использованы 296 проб осадков глубоководного керна MR 06-04 PC-7R из центральной части Охотского моря, полученного во время Российско-Японской экспедиции 2006 года на японском судне «Мирай». Фактический материал изучен по сантиметровым интервалам с шагом в 1-3 см. Лабораторная обработка образцов для изучения радиолярий выполнена согласно стандартной методике [Abelmann, 1988, Abelmann et. al., 1999], использовалась фракция осадка >40 мкм. Количество скелетов радиолярий определено методом прямого подсчета. Такие показатели как общее содержание радиолярий (ОСР), скорость аккумуляции радиолярий (САР), рассчитаны согласно опубликованным формулам [Abelmann et. al., 1999, Okazaki et al., 2003], видовое разнообразие (ВР или индекс Шеннона) и один из его расчетных компонентов – видовое богатство (ВБ) – по [Shannon, Weaver, 1949]. Изображения скелетов радиолярий получены при помощи сканирующего электронного и светового микроскопов. Помимо собственных данных использовались, с согласия правообладателей, и дополнительные по геохимии и литологии.

Полученная база данных обработана методами математической статистики.

Положения, выносимые на защиту:

1. Скорости аккумуляции рассмотренных видов радиолярий отражают общие изменения среды и климата, а процентное содержание – изменения внутри сообществ в зависимости от экологических предпочтений их представителей.

2. Орбитальные изменения климата активизируют процессы, определяющие условия для развития и конкуренции радиолярий. В условиях оледенений количество радиолярий снижалось, межледниковый – наоборот, увеличивалось. На орбитальной шкале времени ТОС, Ba_{bio} и $Oral$ наиболее близко отражают изменения численности и видового богатства радиолярий.

3. Тысячелетняя динамика показателей радиолярий преимущественно контролируется вариациями продуктивности фотического слоя. В холодные стадиалы резко уменьшаются численность, видовое богатство и видовое разнообразие радиолярий, тогда как в последующих интерстадиалах – плавно возрастают. Показатели радиолярий, преимущественно, определяются изменчивостью зимних и летних муссонов Восточной Азии, влияющих на ледовый покров, среду и продуктивность Охотского моря.

Личный вклад автора. Автором лично отобран материал для радиоляриевых анализов, проведен анализ численности и скорости аккумуляции радиолярий, определены таксономический состав и экологическая структура палеосообществ радиолярий. Также автором выполнено фотографирование скелетов радиолярий. Расчеты и интерпретация данных, полученных по микроскопии осадков, выполнялись автором или в соавторстве с сотрудниками ТОИ ДВО РАН. Весь иллюстративный материал, представленный в диссертации, подготовлен лично автором либо при его непосредственном участии.

Степень достоверности и апробация работы. В работе задействован представительный по объему фактический материал, охватывающий последние 135 тыс. лет (6 морских изотопных стадий формирования донных осадков Охотского моря).

Лабораторная обработка образцов выполнена согласно стандартной методике. Полученные данные обрабатывались методами математической статистики; результаты сопоставлялись с таковыми, полученными и опубликованными в открытой печати другими исследователями. Коллекция постоянных препаратов хранится в лаборатории палеоокеанологии Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН, что обеспечивает, при необходимости, проведение повторного анализа. Использована опубликованная возрастная модель керна с дополнениями.

Результаты, изложенные в диссертации, представлялись на научных конференциях различного уровня с 2007 года. По теме диссертации автором лично сделано 13 докладов, в том числе на международных симпозиумах Marine Environment and Resources in XXI Century (Владивосток, 2012 и 2017 гг.), международных конференциях во Владивостоке («Environment development of East Asia in Pleistocene Holocene (boundaries, factors, stages of human mastering», 2009 г.) и в Москве (Международная конференция, посвященная 100-летию Всеволода Андреевича Вахрамеева (1912-1986), 2012 г.; «Геология морей и океанов», 2017 г.), на всероссийских конференциях в Москве (Четвёртая научная школа молодых ученых-палеонтологов ПИН РАН «Современная российская палеонтология: классические и новейшие методы», 2007 г.) и во Владивостоке (4-я Всероссийская конференция молодых ученых «Современные проблемы геологии, геохимии и геоэкологии Дальнего Востока России», 2012 г.), неоднократно представлялись на различных конференциях молодых ученых во Владивостоке (2008 г., 2009 г., 2011 г., 2016 г.) и в Петропавловске-Камчатском (2012 г.).

Публикация результатов. По теме диссертации опубликовано около 30 работ с 2004 по 2019 гг, из которых 4 – в российских и международных научных журналах, включённых в перечень ВАК, 2 - в коллективных монографиях, и более 20 – в материалах российских и международных конференций, симпозиумов и школ.

Структура и объем работы. Диссертация изложена на 177 страницах и состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы (262 источника) и 4 приложений. Текстовую часть работы сопровождают 34 рисунка и 5 таблиц.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю д.г.-м.н. С.А. Горбаренко за всестороннюю помощь и поддержку в работе.

Искренняя благодарность за обучение основам радиоляриевго анализа заведующему лабораторией палеоокеанологии ИО РАН д.г.-м.н. А.Г. Матулю. Большую помощь в работе также оказали консультации д.г.-м.н. С.Б. Кругликовой (ИО РАН) и к.г.-м.н. С.В. Точиной. За консультационную поддержку на стадии обсуждения диссертации автор признателен д.г.-м.н. И.Б. Цой, д.г.-м.н. А. Н. Деркачеву. Отдельные слова благодарности хотелось выразить всему коллективу лаборатории палеоокеанологии ТОИ ДВО РАН. Автор глубоко признателен за оказанную поддержку и критические замечания к.г.-м.н. А.В. Артемовой, к.г.н. Ю.П. Василенко, к.г.н. А.А. Босину, О.Ю. Пшеневой.

Работа выполнена в рамках программ фундаментальных исследований РАН, ФЦП «Мировой океан», при финансовой поддержке РФФИ (российско-китайский проект № 16-55-53048 - ГФЕН_а, 16- 05-00127_а) и (российско-тайваньский проект №17-МНТ-003).

Глава 1. Палеоклиматология: основы, методы, радиоляриевый анализ

Палеоклиматология – междисциплинарная наука об истории изменений климата Земли, лежащая на стыке геологии, географии, литологии, геохимии и палеонтологии. Еще в 1686 г. английский математик и физик Роберт Гук попытался на основе ископаемых органических остатков установить климатические особенности прошлого. Однако в ранге науки палеоклиматология стала развиваться лишь с 80-х гг. XIX века, когда для моделирования климата прошлого стали использовать разнообразные косвенные методы изучения. К ним можно отнести изучение осадочных пород, биогеографические и геохимические методы, минералогическое описание, палеомагнитные данные, методы математического моделирования. Одним из самых широко применяемых и обоснованных методов изучения изменений климата прошлого является привлечение палеонтологических данных. При этом в исследованиях используется принцип актуализма, суть которого состоит в том, что раньше природные процессы проходили по тем же законам, что и сейчас. В современной морской геологии для расшифровки записей климатических и океанологических условий прошлого зачастую используют микропалеонтологические данные. Особое внимание уделяется изучению микрозоофоссилий (фораминиферы, радиолярии, остракоды) и микрофитофоссилий (диатомеи, динофлагеллаты, кокколитофориды), которые благодаря своим биологическим особенностям, разным темпам эволюционного развития и реакции на изменения условий обитания чутко реагируют на изменения окружающей среды.

В данной главе особое внимание будет уделено радиоляриевому анализу, как средству получения достоверных сведений о палеоклиматических и палеоокеанологических условиях в масштабах планеты в целом и в Охотском море в частности.

1.1. Радиоляриевый анализ

Согласно современным представлениям [Афанасьева, Амон, 2014] радиолярии – это одноклеточные морские (океанские) планктонные организмы, способные к экстракции растворенного кремнезема из морской воды и к постройке из него опалового внутреннего прочного скелета весьма совершенной (с геометрической точки зрения) и крайне разнообразной формы. Многие исследователи считают, что это разнообразие является нормой для группы и свойственно радиоляриям на протяжении всей истории их эволюционного развития.

Как наука радиоляриология обособилась в XIX в. (1806-1887). Первое упоминание В. Г. Тилезиуса о ныне живущих одноклеточных организмах с кремневым скелетом было сделано 1809 г. по итогам кругосветного путешествия русских моряков под начальством И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского [Петрушевская, 1986].

Дальнейшее палеонтологическое изучение радиолярий было продолжено в период с 1830-1875 гг. Г. Х. Эренбергом, использовавшим для изучения главным образом образцы третичных кремнистых пород (диатомитов с радиоляриями и др.). Результатом его работы стало введение термина «полицистины» (*Polycystinae* – многодырчатые), подчеркивающего характерную особенность этих организмов среди ископаемых – сетчатость кремневого скелета в виде шаров, колпаков, губчатых дисков и т. п. Выводы Эренберга были изложены работах «Микрогеология» 1854 г., «Микрогеологические исследования» 1873 г и «Продолжение исследований полицистин с острова Барбадоса» 1875 г [Ehrenberg, 1854, 1873, 1875]. Кроме того, немецкий исследователь изучал и современные формы радиолярий, открытые в 1834 г. Мейеном и описанные в одном из отчетов о зоологических результатах его кругосветного путешествия [Meyen, 1834]. Было установлено широкое распространение скелетов радиолярий среди современных илов на дне океанов и тепловодных морей. Особенности

строения протоплазменного тела полицистин-радиолярий позже были описаны Гёксли [Huxley, 1851] и Гартингом [Harting, 1863].

Следующим этапом в развитии науки стала разработка систематики радиолярий И. Мюллером в 1855 г., позднее [Müller, 1858] группе организмов, названных Эренбергом полицистинами, ученый дал общее, ныне принятое наименование: радиолярии, или лучевики.

Революционной стала работа немецкого ученого Э. Геккеля, который в период с 1862 по 1887 гг. на основе материала знаменитой научной экспедиции на корвете «Челленджер» разработал весьма актуальную и в современности систематику современных радиолярий [Haeckel, 1862, 1881, 1887]. Фундаментальные труды Геккеля стали толчком для дальнейших, активно развернувшихся, палеонтологических исследований древних форм радиолярий. Результатом стало появление многочисленных работ, посвященных изучению фанерозойских ископаемых радиолярий [Zittel, 1876; Wisniowski, 1889; Shrubsole, 1889; Stohr, 1880; Cayeux, 1894, Rust, 1885, 1892, 1898; Hinde, 1900; Viriassa de Regny, 1901; Squinabol, 1903].

Серьезным недостатком многих палеонтологических трудов XIX века стали весьма грубые ошибки в биостратиграфии геологических слоев. Это послужило поводом считать радиоляриевый анализ неэффективным способом определения геологического возраста, что значительно затормозило дальнейшие палеонтологические исследования.

Одной из первых, правда ошибочной, попыткой палеогеографических реконструкций можно считать работы Л. Кайё 1920-х гг. В них автор считал древние радиоляриты тождественными современным глубоководным красным глинам и делал вывод о чрезвычайно частых и масштабных колебаниях глубин морского дна, изучая чередование пластов древних радиоляритов и мелководных отложений.

Тем не менее, первая четверть XX века ознаменовалась фундаментальными исследованиями, в которых были значительно расширены представления об анатомии и гистологии, физиологии,

систематике, экологии и биогеографии современных радиолярий [Brandt, 1905; Biitschli, 1882 a,b; Gamble, 1909; Haecker 1908; Popofsky, 1908, 1913]. Отдельного внимания заслуживают фундаментальные исследования первой четверти XX века русских и советских ученых, среди которых можно отметить труды В. Т. Шевякова по систематике и экологии современных акантарий и В. А. Догеля по филогении и географическом распространении радиолярий в российских морях [Schewiakoff, 1926; Догель, 1951].

В начале 1930-х гг. советскими палеонтологами была доказана реальная возможность стратиграфической корреляции разрезов на основе детального изучения видового и родового состава ископаемых остатков радиолярий. Позже, к подобному выводу пришли и американские палеонтологи [Aberdeen, 1940; Campbell, Clark, 1944 и др.].

На сегодняшний день результаты радиоляриевого анализа используются преимущественно в двух областях – в геологии для биостратиграфии осадочных пород, и палеогеографии с целью восстановления палеогеографических условий прошлого.

1.2. История изучения радиолярий в Охотском море

Радиолярии в планктоне и в поверхностных осадках. Работы по изучению радиолярий в современных осадках Охотского моря проводились с середины прошлого века. Впервые в работах [Догель, Решетняк 1952; 1956] были приведены данные о распространении радиолярий в планктоне северо-западной части Тихого океана, Охотского и Берингова морей, а также описания нескольких новых видов радиолярий. Для Охотского моря указывается нахождение 25 видов радиолярий. В работе [Ling, 1974] обсуждается распространение 10 видов радиолярий, обнаруженных в пробах поверхностных осадков из Охотского моря. Полученные результаты по радиоляриям сравниваются с предыдущими исследованиями, проведенными в Беринговом море [Ling, 1971, 1973]. Исследования [Morley, Hays 1983]

были посвящены исследованию относительного содержания вида радиолярий *Cycladophora davisiana* в поверхностных осадках Охотского моря. Было установлено, что содержание вида составляет более 10% от состава ассоциации в каждом из проанализированных образцов. Авторы при изучении содержания скелетов *C. davisiana* в пробах поверхностных осадков Мирового океана сделали вывод о том, что океанологические условия среды Охотского моря наиболее благоприятны для продукции данного вида. Также [Morley, Hays, 1983] предположили, что высокое содержание вида *C. davisiana* в современных осадках моря может быть связано с несколькими факторами: 1. обширным ледяным покровом в зимний сезон и ранней весной; 2. низкой соленостью поверхностных вод, обусловленной таянием морского льда; 3. низкими температурами вблизи основания горизонта с низкой соленостью; 4. относительно стабильными температурами и соленостью на глубинах ниже подповерхностного слоя температурного минимума.

Первые обширные данные по распределению радиолярий в поверхностном слое осадков Охотского моря приведены в статье [Кругликова, 1975]. Автором было обнаружено около 70 видов, встречены переотложенные скелеты палеогенового-ранненеогенового возраста, а также выделено 3 комплекса: 1) мелководной части моря, 2) глубоководной северной части и 3) глубоководной южной «тихоокеанской» части моря; приводится карта количественного распределения радиолярий, обсуждаются вопросы об экологии радиолярий.

До начала 2000-х годов информация об экологии радиолярий была получена путем сопоставления комплексов поверхностных осадков с параметрами поверхности моря, предполагая их прямую связь [Chen, Tan, 1997; Abelman et al., 1999]. Однако активные процессы, происходящие на разделе придонная вода-осадок, значительно искажают информацию о фактических биоценозах (например, о сезонных колебаниях продукции радиолярий и отношении видов к глубине обитания) может быть получена

только исходя из исследований планктонных ловов и седиментационных ловушек.

По результатам экспедиций в Охотское море во время весны 1998 и лета 1999 гг. был изучен видовой состав радиолярий в планктоне [Nimmergut, Abelman, 2002]. Авторами были выявлены значительные сезонные изменения в продукции радиолярий, а также тот факт, что высокое биоразнообразие радиолярий обнаруживается в промежуточных (200-500 м) и глубинных водах (ниже 500 м). Было предположено, что продукция радиолярий главным образом тесно связана со специфической пищевой цепью с бактериями и детритом, сезонные изменения продукции радиолярий и вертикального распределения определенных видов радиолярий могут быть обусловлены предпочтениями в питании и сезонными изменениями поставки питательных веществ, вызванной специфическими гидрографическими и биологическими условиями.

Морли и Хэйс [Morley, Hays, 1983] изучая радиолярии из двух седиментационных ловушек (глубина 258 м и 1061 м) в центральной части моря, установленных с 1990 по 1991 гг., выделили 2 группы: обитающие на глубинах выше и, соответственно, ниже 258 м. Особое внимание было уделено изучению распределения видов радиолярий в планктоне по сезонам года. Авторами было установлено, что максимум продуктивности видов, первой группы совпадает с весенним и осенним цветением фитопланктона. Продукция видов, второй почти в два раза выше, чем у видов первой и имеет пик в осенний сезон. Авторами произведено сравнение содержания радиолярий, зоопланктона и нектона, рассмотрены источники поступления и распределение углерода в водной среде Охотского моря. Высказано предположение, что доминирование *C. davisiana* может служить показателем доминантной мезопелагической фауны радиолярий и экспорта углерода, необходимого для жизнедеятельности этой фауны.

Оказаки с коллегами [Okazaki et al., 2003] комплексно изучили изменения продукции радиолярий с августа 1998 г. по июнь 2000 г. в осадках

из двух седиментационных ловушек на восточном шельфе Сахалина и вариации скоростей аккумуляции радиолярий за последние 125 тыс. лет в трех кернах из различных районов моря. По данным изучения седиментационных ловушек было определено, что значительный пик продукции радиолярий был в летний и осенний период одновременно с цветением фито- и бактериопланктона, а спад – в течение зимнего периода, когда морской лед покрывал поверхность моря в местах установки ловушек. Сделан вывод о значительной корреляции между продукцией радиолярий и ТОС. Показано, что содержание вида *C. davisiana* было гораздо выше в седиментационных ловушках, установленных на больших глубинах, и соотносится с потоками алюминия и терригенного материала. В данной работе приведены записи относительного содержания и скорости аккумуляции доминирующих видов, общего содержания радиолярий в трех кернах из Охотского моря. Кроме того, высказано предположение, что высокую продукцию *C. davisiana* может обуславливать увеличение поставки нутриентов, которые поступают с континентального шельфа при таянии сезонного морского льда.

В последующей работе [Okazaki et al., 2004] проведено сравнение вертикального распределения живых и мертвых радиолярий, а также феодарий в образцах планктонных ловов из Охотского моря (район Курильских островов) и северо-западной Пацифики. Авторами было установлено, что продукция радиолярий связана не только с продукцией фитопланктона в поверхностных водах, но также и с продукцией микробов и бактерий в промежуточных водах. Всего было обнаружено 79 таксонов: 25 спумеллярий, 41 населлярий и 13 феодарий. На основе кластерного анализа (R-mode) было выделено 5 групп радиолярий, обитающих на различных глубинах в Охотском море: 1) в промежуточной водной массе (300-1000м); 2) обитающие в Охотском море в диапазоне глубин (300-1000 м) и в районе Оясио (0-100 м); 3) в верхней промежуточной водной массе (200-500 м); 4) в

поверхностной и подповерхностной водной массе (0-200 м); 5) таксоны водных масс с глубин 100-200 м.

Значительный вклад в изучение экологии радиолярий внесли комплексные исследования Абельманн и Ниммергут [Abelmann, Nimmergut, 2005], в которых содержатся сведения об ареалах обитания и распространения таксонов в Охотском море. На основе данных из 115 планктонных образцов и 28 проб поверхностных осадков были рассчитаны скорости аккумуляции радиолярий и построены карты их количественного распределения в летний и весенний сезоны. Также приведены карты скоростей аккумуляции радиолярий за последние 6 тыс. лет. Результаты, полученные в данном исследовании, в которых говорится о том, что максимум продукции радиолярий накапливается в весенний и осенний сезон, согласуются с данными предыдущих исследователей [Hays, Morley, 2003; Okazaki et al., 2003]. На основе сравнения радиолярий в поверхностных осадках и в планктоне авторами установлено, что максимум их продукции наблюдается в западной части моря, близ шельфа о. Сахалин – района с высокой первичной продуктивностью за счет стока р. Амур и процессов перемешивания водных масс на континентальном склоне. Выявлено, что мезопелагическая фауна радиолярий в основном состоит из населярий, питающихся фитодетритом и/или бактериями, и спумеллярий, питающихся фитопланктоном или небольшим зоопланктоном. Посредством факторного анализа (Q-mode) данных из планктонных ловов и поверхностных осадков авторами были выделены группы радиолярий, соотносящиеся с определенными водными массами Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005]. На основе данных, свидетельствующих о приуроченности определенных видов радиолярий к конкретным водным массам и сравнения с их распределением в поверхностных осадках, авторами был сделан вывод о том, что среда их обитания в основном контролируется механизмами питания, типом пищи и свойствами водной массы, в которой они обитают. Высказано предположение, что радиолярии следуют определенным

стратегиям выживания при выборе среды обитания. Причем важнейшими факторами являются достаточное количество питательных веществ и конкуренция с другими видами. Также сделаны выводы об условиях среды обитания некоторых видов радиолярий, которые предположительно являются маркерами различных водных масс Охотского моря.

Радиолярии в четвертичных осадках. Успешное применение радиоляриевых анализов четвертичных осадков для палеогеографических реконструкций в Охотском море, продемонстрировали работы Morley et al., 1991; Матуль, Абельманн, 2001; Матуль и др., 2002, 2003, 2009, 2015; Okazaki et al., 2003, 2005, 2006; Itaki, Ikehara, 2004; Цой, Шастина, 2000, 2005; Itaki et al., 2008; Бараш и др., 2006; Hays et al., 2013 и др.

Так, на основе изучения осадков двух глубоководных кернов из южной части Охотского моря, Морли с соавторами [Morley et al., 1991] пришли к выводу, что изменения общей численности радиолярий (высокая в голоценовых осадках и очень низкая в максимум последнего оледенения) отражают колебания их продукции и интенсивность поступления терригенной компоненты в донные осадки. Авторы предположили, что высокое процентное содержание вида *C. davisiana* в голоцене, и низкое в максимум последнего оледенения может быть связано с ослаблением или отсутствием аналога современного дихотермального слоя (подповерхностного слоя температурного минимума).

Многолетние исследования радиолярий в четвертичных осадках Охотского моря [Матуль и др., 2001, 2002, 2003, 2009], впоследствии обобщенные в монографии [Матуль, 2009], позволили получить новые результаты биостратиграфии и палеоокеанологии за последний миллион лет.

Первые сведения о радиоляриях в плейстоценовых осадках моря приведены в работе [Матуль, Абельманн, 2001], где на основе изучения количественного содержания и видового состава радиолярий в 4-х кернах донных осадков были высказаны предположения об изменении четвертичной водной структуры Охотского моря за последние 350 тыс. лет. Используя

данные относительного содержания видов радиолярий, авторы предположили, что высокая концентрация вида *C. davisiana* в ледниковых осадках Охотского моря может считаться признаком интенсивного формирования гляциальной охотоморской промежуточной водной массы (ОПВМ), т.е. значительной вентиляции водной толщи моря в оледенения на промежуточных глубинах. Также указано, что высокое содержание вида *Stylochlamydium venustum* в ледниковых осадках может говорить о существовании слоя сильного перемешивания вод над галоклином со стабильными температурой и соленостью. Доминирование в комплексах радиолярий вида *Amphimelissa setosa* во время межледниковых оптимумов может указывать на то, что в это время в Охотском море не формировалась дихотермальная структура вод, а надпромежуточный слой сильно перемешивался. Так как во время оптимума последнего межледниковья (МИС 5е) относительное содержание вида *C. davisiana* падало до нескольких процентов, был сделан вывод о том, что в это время продукция ОПВМ сильно сокращалась, или прекращалась совсем. Авторы предположили, что вплоть до северного шельфа на условия промежуточных глубин в это время значительное влияние оказывали более теплые тихоокеанские водные массы [Матуль, Абельманн, 2001].

Последующее исследование [Matul et al., 2002] посвящено биостратиграфической зональности высокого разрешения для плейстоцена Охотского моря (последние 350 тыс. лет). Была показана взаимосвязь стратиграфических диапазонов видов радиолярий между Охотским морем и открытой частью Тихого океана, установлены уровни последнего нахождения видов радиолярий для моря: *Stylocontarium acqilonium* (~ 329 тыс. лет), *Spongodiscus* sp. (~ 287 тыс. лет), *Amphimelissa setosa* (~ 72 тыс. лет), *Lychnocanoma nipponica sakaii* (~ 28 тыс. лет) и уровень максимального содержания вида *L. nipponica sakaii* (~ 72 тыс. лет).

Новые результаты микропалеонологических и седиментологических исследований донных осадков углубленного северного шельфа Охотского

моря, сформировавшихся за последние 220 тыс. лет (МИС 1-7) представлены в работе [Матуль и др., 2003]. Авторами была впервые изучена четвертичная фауна радиолярий для северной мелководной части моря. В работе приведены виды радиолярий с наибольшим содержанием в межледниковых и ледниковых осадках изучаемого керна, выделены позднеголоценовые комплексы кремнистых микрофоссилий (диатомеи и радиолярии), сделан ряд выводов в области палеоокеанологии.

В работе [Матуль и др., 2009] расширена региональная биостратиграфия Охотского моря и описаны изменения палеосреды бассейна за последние 1,1 млн. лет (МИС 1-31). В данной работе обсуждаются условия четвертичной палеосреды в субарктических районах исходя из данных по распределению характерных массовых видов радиолярий. Выявлено 17 датировочных уровней по радиоляриям: 12 уровней исчезновения и 5 уровней появления видов. Установлена связь датировочных уровней по радиоляриям в четвертичных осадках с ледниково-межледниковыми событиями плейстоцена. Впервые на основе радиоляриевых данных авторами выявлены значительные изменения в палеоокеанологии моря на уровне около 950, 700 и 420-280 тыс. лет назад.

Исследование [Матуль и др., 2015] посвящено виду радиолярий *Cycladophora davisiana*. Здесь обобщены собственные количественные подсчеты *C. davisiana* в поверхностных осадках Берингова моря и открытой Северной Пацифики, а также сведения из литературных источников по современному распределению *C. davisiana* в Мировом океане, северо-западной Пацифике и окраинных морях. Кроме того приведены данные по вариациям концентраций *C. davisiana* в отложениях максимума последнего оледенения из 57 кернов донных осадков. Были привлечены собственные и опубликованные данные по Охотскому, Беринговому морям, а также по открытой части Северной Пацифики. Авторами были использованы сведения об экологии *C. davisiana*, согласно которым, данный вид может рассматриваться в качестве индикатора богатой кислородом верхней части

современной ОПВМ. Сопоставление данных латеральному и вертикальному распределению *C. davisiana* в осадках из субарктической Пацифики и дальневосточных окраинных морей позволило авторам сделать выводы об условиях формирования и распространения промежуточной водной массы во время максимума последнего оледенения [Матуль и др., 2015]. Авторы предположили, что высокое содержание *C. davisiana* в осадках максимума последнего оледенения указывает на вероятное образование и распространение вентилированной промежуточной воды на большей части субарктической палео-Пацифики: в Беринговом и Охотском морях, в пределах северо-западного круговорота, в Аляскинском заливе.

Для уточнения физической и биологической океанографии в Охотском море за последние 125 тыс. лет (МИС 1-5) Оказаки с соавторами [Okazaki et al., 2003] провели комплексное исследование радиолярий. Были рассмотрены изменения современной продукции радиолярий и впервые для Охотского моря проведены расчеты скорости аккумуляции радиолярий (САР) в трех кернах, образующих западно-восточный профиль. САР, как правило, соответствовали ледниково-межледниковым циклам и увеличивались во время последней дегляциации в раннем голоцене (МИС 1), предположительно, с ростом первичной продукции. Выявлены региональные различия САР в различных районах моря, связанные с воздействием морского льда. В центральной части моря в период последнего оледенения (МИС 2-4) САР имели крайне низкие значения, указывающие на суровые ледовые условия, негативно влияющие на продукцию радиолярий даже в летний и осенний сезоны. В то же время вариации САР в осадках близ шельфа о. Сахалин показали, что продукция радиолярий была устойчивой даже в МИС 2 и 4. Это может указывать на то, что на восточном шельфе о. Сахалин ледовый покров не был постоянным и носил сезонный характер даже в течение последнего оледенения. В данной работе приведен аннотированный список из 72 таксонов радиолярий, обнаруженных в образцах седиментационных ловушек, и 55 таксонов в образцах кернов.

Особое внимание было уделено изучению распространения основного доминанта – *C. davisiana*. Сделан вывод о том, что его продукция может быть связана с привносом терригенной органики, поступающей с континентального шельфа вместе с морским льдом, которая, высвобождаясь при таянии льдов, поступала на промежуточные глубины.

В последующей работе [Okazaki et al., 2005] на основе геохимических и микропалеонтологических (диатомей и радиолярий) анализов реконструированы палеокеанографические изменения (ледовые условия и продуктивность) в юго-западной части Охотского моря за последние 115 тыс. лет. Было выявлено, что ледовые условия носили сезонный характер – даже в периоды оледенений продолжительность ледового покрова составляла не более 6 месяцев в году. А аналогичные современным условия данного региона (наличие ледового покрова не более 2-3 месяца в году) установились, начиная с 7.7 тыс. лет назад. Было отмечено два пика значительного роста биопродуктивности во время МИС 1, которые тесно связаны с повышением уровня моря и отступанием ледового покрова в юго-западной части моря. При анализе рассматривались САР, процентное содержание 6 видов радиолярий и их скорость аккумуляции. В ходе данного исследования авторы подтвердили ранее сделанные выводы [Okazaki et al., 2003] о том, что высокое содержание *C. davisiana* может быть обусловлено поступлением терригенной органики с шельфовыми водами на промежуточные глубины Охотского моря.

Изучение распределения *C. davisiana* в осадках двух кернов из юго-западной и центральной частей Охотского моря, позволило [Okazaki et al., 2006] сделать вывод о том, что данный вид имел высокое содержание во время раннего и среднего голоцена и низкое в позднем голоцене. Основываясь на сравнении численности *C. davisiana* и записей палеопрокси (IRD, содержаний Opal, TOC и некоторых биомаркеров) за последние 24 тыс. лет, авторы предположили возможные причины высокой продукции вида во время раннего и среднего голоцена. К ним были отнесены формирование

холодной и хорошо вентилируемой ОПВМ и экспорт в них ТОС (органических частиц кокколитофорид, бактерий и детрита). По мнению авторов, колебания продукции *C. davisiana* в период голоцена возможно объяснимы некоторыми изменениями палеосреды региона. Во-первых, во время последнего оледенения наличие продолжительного сезонного ледового покрова подавляло биопродуктивность [Seki et al., 2004], что в свою очередь объясняет сокращение поступления органических веществ в мезопелагические глубины. Во-вторых, во время раннего и среднего голоцена происходило увеличение поставки органического углерода в ОПВМ за счет трансгрессии и увеличения продукции кокколитофорид и/или микробов вследствие таяния морского льда и стратификации поверхностных вод. В то же время усиление Восточноазиатских летних муссонов [An et al., 2000] приводило к выпадению большого количества осадков, поступавших в Охотское море с водами р. Амур, и способствовало поставке органического углерода и стратификации поверхностных вод. В третьих, во время позднего голоцена в связи с увеличением поставки кремния в поверхностные воды происходило замещение микроорганизмов в фитопланктонных сообществах: с доминирующих ранее кокколитофорид на диатомовые водоросли [Seki et al., 2004]. Диатомеи из-за их липкости эффективно переносят материалы с поверхности моря на промежуточные глубины, поэтому в период цветения диатомовых водорослей органическое вещество может быстро накапливаться в осадках. По мнению авторов, увеличенное поступление крупнозернистых терригенных частиц, действующих как балласт, в западной части Охотского моря, ускоряло скорость погружения частиц. Такая последовательность экспорта органических веществ могла контролировать продукцию *C. davisiana* в Охотском море в конце четвертичного периода [Okazaki et al., 2006].

Итаки и Икехара [Itaki, Ikehara, 2004] на основе изменений численности *C. davisiana* в трех кернах из юго-западной части Охотского моря провели реконструкцию изменений формирования ОПВМ в среднем и позднем

голоцене (последние 7,5 тыс. лет) и проследили связь вентиляции водных масс с атмосферной циркуляцией. Авторами сделан вывод, что в течение более теплого интервала голоцена (7,5 - 3,5 тыс. лет назад и с 2 тыс. лет назад) усиленное формирование хорошо-вентилированной ОПВМ происходило под влиянием северо-западных ветров при атмосферной циркуляции с северным положением Алеутского минимума. А в периоды похолоданий (3 - 2 тыс. лет назад, и 0,3-0,4 тыс. лет назад), формирование ОПВМ значительно ослабевало под влиянием северо-восточных ветров, господствовавших при сдвиге Алеутского минимума в южном направлении.

Итаки с соавторами [Itaki et al., 2008] установили различные этапы изменений среды и структуры вод на юго-западе Охотского моря на основе вариаций комплексов радиолярий и геохимических данных за последние 20 тыс. лет. Данная работа содержит аннотированный список из 78 таксонов радиолярий, обнаруженных в образцах поверхностных осадков и кернов, данные наиболее распространенных видов, используемых для стратиграфических и палеоокеографических интерпретаций, и фотографии обсуждаемых таксонов радиолярий.

По результатам комплексного микропалеонтологического изучения осадков юго-восточного склона поднятия Института океанологии (диатомеи, планктонные и бентосные фораминиферы, радиолярии) и соотношения компонентов фракции более 0,125мм, Бараш с соавторами [Бараш и др., 2006] провели реконструкцию палеоокеонологических условий центральной части Охотского моря в среднем плейстоцене (350-190 тыс. лет назад (МИС 7-10)). Авторами было определено, что вариации общего содержания радиолярий хорошо согласуются с изотопно-кислородными колебаниями и изменениями концентрации биогенного вещества, в частности биогенного опала. Определено около 100 видов и форм радиолярий, обсуждается распределение 10 таксонов. Виды *D. hirundo*, *S. quadrifore*, *C. borealis* и *Spongodiscus* sp. рассматриваются в качестве индикаторов притока

тихоокеанской воды, а *C. davisiana* и *Plagoniidae spp.*, как типично охотоморские виды.

Хэйс с коллегами [Hays et al., 2013] сопоставили результаты радиоляриевого анализа донных осадков керна из южной части Охотского моря и 3 кернов северо-западной Пацифики. В работе обсуждается распределение 6 видов радиолярий, обитающих на различных глубинах в Мировом океане. В северо-западной Пацифике авторами выделено 2 группы радиолярий: виды, обитающие на глубинах менее 200 м (так называемые поверхностные ассоциации) и виды, обитающие глубже 200 м (глубоководные ассоциации). Особое внимание уделено распространению *C. davisiana*. Результаты исследования представлены в виде распределений относительного содержания и скорости аккумуляции поверхностных и глубоководных групп радиолярий, отдельно рассматривается распределение относительного содержания *C. davisiana*. Выполнен кластерный анализ (R-mode), представлены КК между видами, относящимися к вышеуказанным группам. Авторы предположили, что по современным гидрологическим условиям (так называемая «охотоморская» стратификация) Охотское море может рассматриваться в качестве аналога высокоширотного ледникового океана.

Ранее на основе литологических, геохимических и микропалеонтологических исследований планктонных и бентосных микрофоссилий (диатомей, фораминифер и радиолярий) в четвертичных отложениях [Morley et al., 1991, Keigwin, 1998; Хусид, Басов, 1999; Shiga, Koizumi, 2000; Басов и др., 2000; Чеховская и др., 2001; Бараш и др., 2001, 2006, 2008; Матуль, Абельманн, 2001; Gorbarenko, 1996; Gorbarenko et al., 1998, 2002, 2004, 2007; Okazaki et al., 2003, 2004, 2005, 2006; Seki et al., 2004, 2014; Хусид и др., 2005; Мухина, Матуль, 2009; Itaki, 2008; Матуль и др., 2002, 2003, 2009, 2015, 2016; Nürnberg, Tiedemann, 2004; Shiga, Koizumi, 2000; Sakamoto et al., 2005; Bubenshikova et al., 2008, 2010; 2015; Katsuki et al., 2010; Khim et al., 2012; Derkachev et al., 2012, 2016; Zou et al, 2015 и др.] были

прослежены изменения палеосреды моря, согласующиеся с орбитальной теорией, и проведено условное моделирование палеоусловий Охотского моря. Суть теории заключается в предположении, что глобальные климатические вариации вызваны колебаниями орбитальных параметров планеты. Изменения трех орбитальных элементов планеты (эксцентриситета орбиты, угла наклона земной оси и прецессионного изменения проекции земной оси на плоскость эклиптики) приводят к вариациям солнечной радиации, приходящей на земную атмосферу.

В настоящее время особое внимание уделяется изучению глобальных и региональных быстрых изменений климата, выявленных в различных регионах северного полушария. Например, на основе изменений $\delta^{18}\text{O}$, были установлены быстрые осцилляции климата в ледовом керне Гренландии. Высокая чувствительность микрофоссилий к изменяющимся условиям среды обитания позволяет использовать данные микропалеонтологического анализа для изучения быстрых изменений климата.

На основании результатов высокоразрешающего изучения датированных осадков Охотского моря за последние 350 тыс. лет, представленных в работах Gorbarenko et al., 2007, 2008, 2010a,b, 2012, 2017; Harada et al., 2008, 2012; Nürnberg et al., 2011; Max et al., 2012, 2014; Bosin et al., 2015; Lembke-Jene et al., 2017; Vasilenko et al., 2017; Jimenez-Espejo et al., 2018, выявлена реакция палеосреды Охотского моря на быстрые потепления и похолодания климата региона, синхронные климатическим циклам, зафиксированным в ледяных кернах Гренландии [NGRIP Member, 2004; Wolff et al., 2010] и в сталагмитах из пещер Китая [Wang et al., 2001; Wang et al., 2008].

В работах [Пшенева, Горбаренко, 2013; Gorbarenko et al., 2014; Artemova et al., 2017] на основе геохимических и микропалеонтологических данных (диатомовых водорослей и бентосных фораминифер) с высоким временным разрешением были показаны изменения поверхностных вод и придонных условий Охотского моря, связанные с тысячелетними

климатическими осцилляциями. Подобные исследования на основе радиоляриевого анализа, но с меньшим временным разрешением, ранее были проведены для Японского моря [Itaki et al., 2007]. На основе изучения трех глубоководных кернов донных осадков из Японского моря были прослежены ледниково-межледниковые изменения сообществ радиолярий за последние 220 тыс. лет, которые отразились в вариациях тепловодной и холодноводной фауны радиолярий. Авторы предположили, что высокое содержание *S. davisiana* может быть связано с усилением вентиляции вод на значительных глубинах, обусловленным системой термохалинной циркуляции, и с поступлением органики на большие глубины. Кроме того, авторами было обнаружено, что наибольшее процентное содержание вида, наблюдается в циклах Дансгаарда-Ошгера при смене климатических условий – переходе от интерстадиалов к стадиалам.

Обзор литературы, посвященной изучению отклика радиолярий на изменения климата и среды морей Дальневосточного региона, показал перспективность применения радиоляриевого анализа для выявления и описания палеоклиматических изменений. Отмечен дефицит информации в области высокоразрешающих реконструкций климатических обстановок охотоморского региона на основе данных по радиоляриям. Проанализирована эффективность применения многокомпонентных математических методов для проведения многопараметрических микропалеонтологических исследований. Определена обоснованность привлечения дополнительных данных по литологии, геохимии и гидрологии для изучения экологии радиолярий и проведения надежных палеоклиматических реконструкций.

Глава 2. Охотское море. Физико-географический очерк

Палеогеографические исследования посвящены изучению состояния и развития географической оболочки Земли в геологическом прошлом. В их основе лежит принцип актуализма, согласно которому современные природные явления – ключ к познанию прошлых явлений. Такой принцип позволяет решать и обратную задачу – на основе анализа осадочных разрезов восстанавливать условия их образования. Таким образом, сравнивая современные и прошлые процессы и явления, на основе аналогии можно получить довольно достоверные палеогеографические выводы.

Согласно современным представлениям жизнь и развитие морского микропланктона определяются многими факторами среды его обитания. К наиболее существенным из них относятся тип и наличие питательных веществ, гидрологические параметры (в частности гидродинамика водных масс), ледовый режим, морфология дна моря [Афанасьева и др., 2005]. Аккумуляция остатков микропланктона напрямую зависит от условий осадконакопления. Важнейшими из них являются высокие скорости накопления осадочных масс, количество и качество захороняемого органического вещества, разбавление терригенным веществом. При этом высокая сохранность некоторых представителей микропланктона в масштабах исторического времени позволяет широко применять результаты микропалеонтологических исследований для различных палеореконструкций и моделирования. Наиболее перспективными с точки зрения изучения региональных и глобальных изменений климата являются окраинные моря, ограниченные островными дугами и обладающие условиями, благоприятными для развития микропланктона и его накопления в донных осадках.

В этой главе будут рассмотрены основные в современном представлении природные факторы среды обитания радиолярий Охотского моря.

2.1. Особенности географического положения и морфологии дна

Охотское море расположено в северо-западной части Тихого океана и отделено от него многочисленными островами Курильской островной гряды. Через проливы на юге и юго-западе обеспечивается его водообмен с другим окраинным морем – Японским (пролив Лаперуза и Амурский лиман, соответственно).

Геоморфологические особенности дна – преобладание глубин до 500 м на значительной части моря – позволяют отнести Охотское море к окраинным морям смешанного материково-окраинного типа [Добровольский, Залогин, 1982]. Большая часть шельфа моря (около 22%) сформирована материковыми отмелями, основными из которых являются северная, представляющая собой подводное продолжение азиатского материка, отмель Сахалина на западе и материковая отмель Камчатки на востоке. Обширный материковый склон (около 70% площади моря), четко прослеживаемый в диапазоне глубин 200 - 1500 метров, характеризуется чередованием подводных возвышенностей, впадин и желобов. От северного побережья острова Хоккайдо вдоль Курильской островной гряды к острову Парамушир протягивается самая глубоководная (глубины более 2500 м) часть моря (рисунок 2.1).

В центральной части моря сосредоточены наиболее крупные формы рельефа дна – подводные возвышенности (Академии наук СССР и Института океанологии), котловины (впадина ТИНРО на севере, впадина Дерюгина на северо-западе и Курильская котловина на юге) и желоба (Макарова, П. Шмидта, Лебеда и желоб залива Шелихова).

глубокие циклоны, оказывают существенное влияние на муссонный климат моря [Дашко, 1998].

Наиболее важными для развития радиоларий гидрологическими характеристиками являются температура, соленость, структура и общая циркуляция морских вод.

Структура морских вод. По стратификации, процессам образования и термохалинным характеристикам в толще охотоморских вод выделяют четыре слоя [Морошкин, 1966]: поверхностный, подповерхностный (холодный подповерхностный слой), промежуточный и глубинный.

Поверхностный слой, охватывающий первые 50 м водной толщи, подвержен значительным сезонным изменениям. В пределах слоя отмечаются существенные сезонные колебания температуры вод – от -1.8°C зимой, до $+18^{\circ}\text{C}$ в летние месяцы (рисунок 2.2).

Соленость вод поверхностного слоя также подвержена значительным вариациям в течение года – от 22 до 33.4‰ [Лучин, Круц, 2016]. Так в летний период, за счет таяния зимнего льда и увеличения речного стока, она значительно падает и оказывается ниже солености подстилающих вод, это способствует образованию термо- и галоклина, обособляющих поверхностный слой от нижележащего водного горизонта.

В зимние периоды происходит охлаждение поверхностного слоя и повышение солености за счет образования льда, что приводит к интенсивной конвекции первых 200 м водной толщи. В результате поверхностный слой вод становится однородным с нижележащим холодным подповерхностным [Морошкин, 1966; Жабин, 1999].

Весной высокие концентрации биогенных элементов у поверхности моря – результат зимней конвекции – создают благоприятные условия для развития фитопланктона [Матвеев, 2006].

Холодный подповерхностный слой расположен в диапазоне глубин от 50 до 200 м. Вариативность показателей температуры и солености значительно ниже по сравнению с вышележащим слоем: $-1.5-2.5^{\circ}\text{C}$ и 32.9-

33.4‰ [Лучин, Круц, 2016]. С продвижением на север температура этих вод снижается, доходя до $-1,8^{\circ}\text{C}$, а солёность увеличивается до 33.4‰.

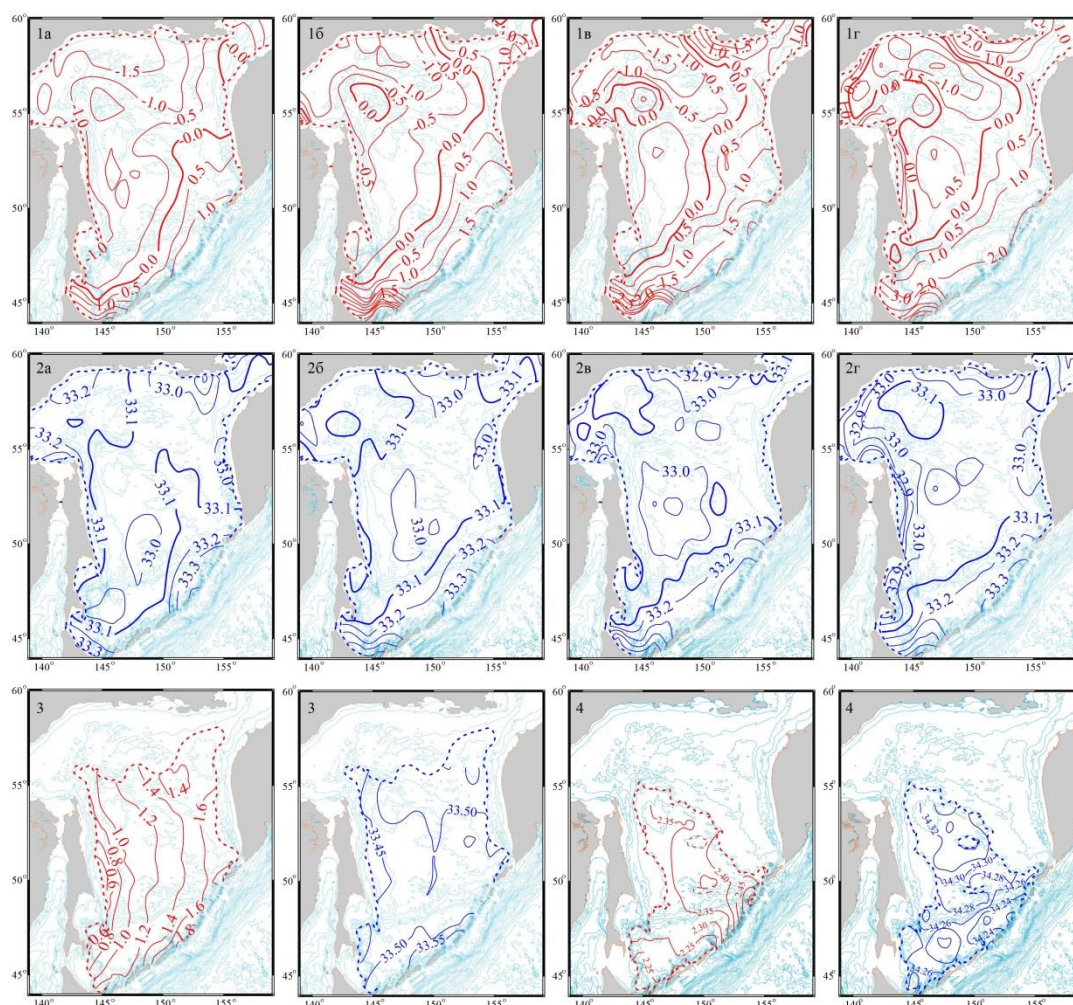


Рисунок 2.2. Пространственное распределение температуры и солёности в водных массах Охотского моря.

1 и 2 (а, б, в, г) – в ядре охотоморской водной массы (а — июнь; б — август; в — сентябрь; г — октябрь); 3 – в ядре промежуточной водной массы; 4 – в ядре глубинной тихоокеанской водной массы. Красными изолиниями показано распределение температуры, $^{\circ}\text{C}$; синими – солёности, ‰; пунктиром – глубина залегания водных масс, м [Лучин, Круц, 2016].

Промежуточный слой расположен на глубинах от 200 до 500 м [Лучин, Круц, 2016]. Для него характерны температуры в пределах $0.4-1.8^{\circ}\text{C}$ и солёность 33.4-33.6‰. Формирование промежуточных вод происходит в результате смешения сползающих по северному материковому склону

холодных солёных шельфовых вод с глубинной тихоокеанской водной массой.

Глубинная тихоокеанская водная масса - это наименее трансформированная вода с устойчивыми термохалинными характеристиками: значения температуры изменяются от 2.25 до 2.4°C, солёности – от 34.22‰ до 34.34‰. Ее нижняя граница прослеживается в диапазоне глубин от 1100 до 1400 м [Круц, Лучин, 2013].

Водная масса южной котловины Охотского моря расположена на глубинах более 1400 м. В ее пределах температура воды постепенно понижается, а солёность слабо увеличивается. Термохалинные характеристики водной массы южной котловины Охотского моря находятся в следующих пределах: температура воды составляет 1.78-1.92°C, солёность – 34.55-34.70 ‰ [Лучин, Круц, 2016].

Циркуляционная система вод Охотского моря. Для Охотского моря характерно общее циклоническое движение поверхностных вод по окраине бассейна, контролируемое направленным на север Западно-Камчатским течением, несущим теплые тихоокеанские воды, и Восточно-Сахалинским, перемещающим холодные плотные шельфовые воды на юг (рисунок 2.3).

На границе шельф – материковый склон практически по всему периметру моря развита система мелкомасштабных круговоротов и встречных течений. В совокупности с приливно-отливными процессами, это способствует апвеллингу прибрежной зоны, обеспечивая высокую биопродуктивность шельфовой зоны Охотского моря, особенно восточной его части [Верхунов, 1997].

Благодаря протяжённой зоне активного водообмена с Тихим океаном в районе Курильских островов большая часть вод Охотского моря имеет тихоокеанское происхождение. При этом основными каналами миграции водных масс являются наиболее глубокие проливы Крузенштерна (1764 м) и Буссоль (1468 м).

Мелководность и малая протяженность южных проливов – Лаперуза, Невельского и Татарского – определяет слабый водообмен с Японским морем. Летом здесь активизируется довольно сильное течение Соя, практически исчезающее в зимнее время [Верхунов, 1997].

Объем вод поступающих в Охотское море и выходящих из него в Тихий океан существенно изменяется в разные сезоны года, а так же от года к году и зависят от изменчивости атмосферных процессов в данном регионе [Васильев, Храпченков, 1994].

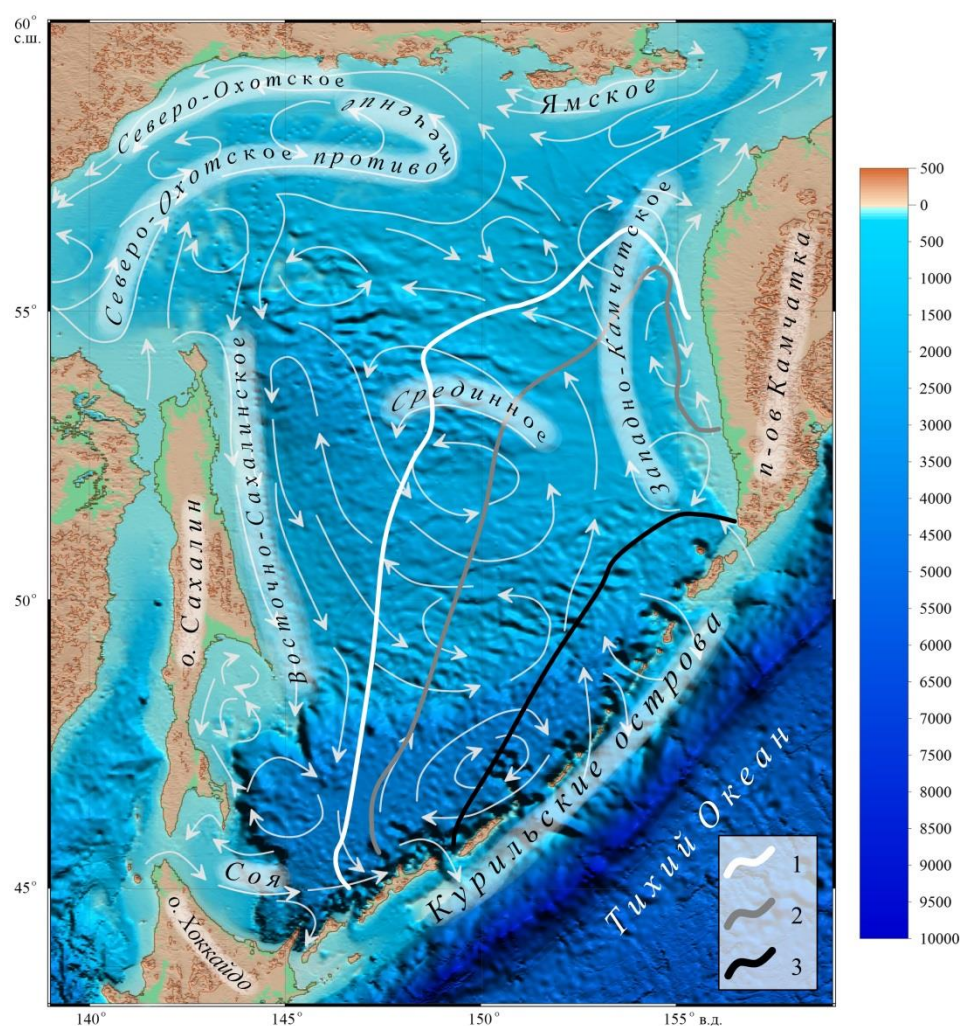


Рисунок 2.3. Схема основных поверхностных течений Охотского моря и границ распространения кромки льда.

Стрелками указаны основные поверхностные течения по [Чернявский, 1981]; линиями 1-3 - положение кромки льда для зим с мягкими (1), умеренными (2) и суровыми (3) ледовыми условиями по [Петров и др., 1998].

Ледовая обстановка Охотского моря. По условиям образования и длительности существования ледяного покрова Охотское море схоже с некоторыми восточноарктическими морями России. Процесс его образования обычно начинается в ноябре, разрушение при этом чаще всего происходит в конце мая, иногда затрагивая начало июня. Исключение составляет северо-западная часть моря, где благодаря течениям и конфигурации берегов, льды могут сохраняться до июля. Общая продолжительность ледового периода в северной части моря достигает 280 дней в году. Подавляющая масса образующегося в Охотском море льда имеет местное происхождение.

Большая часть льдов – плавучая, распространенная в том или ином количестве во всех районах моря (рисунок 2.3). Встречаются и неподвижные льды (припай). В южной части моря никогда не происходят процессы льдообразования, тем не менее, с севера в нее выносятся значительные массы льда, часто скапливающиеся у Курильских островов. Открытая часть моря свободна от сплошного неподвижного льда, обычно здесь лед дрейфующий в виде обширных полей с многочисленными разводьями [Добровольский, Залогин, 1982].

2.3. Первичная продукция

Конечным этапом жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов является создание (в результате преобразования солнечной радиации) органического вещества – первичной продукции (ПП). Представители последующих звеньев трофической цепи – гетеротрофные организмы – являются непосредственными ее потребителями. Согласно результатам исследований (рисунок 2.4), проведенных в Охотском море [Налетова и др., 1997] ПП в летнее, наиболее продуктивное время, изменяется в пределах – от 0.2 до 6 г С/(м²сут).

В распределении ПП отчетливо прослеживается циркумконтинентальная зональность, выражающаяся в снижении продуцирования от периферийных районов моря к центральной части.

Пониженная биомасса водорослей ($8-12 \text{ г/м}^2$) поверхностных вод центральной части моря объясняется массовым опусканием крупных "весенних" диатомей в термоклин, где формируется максимум содержания фитопигментов. При этом на горизонте 20-40 м, характеризующемся максимумом концентраций хлорофилла, создаётся основная часть продукции ($0.02-0.2 \text{ г С/м}^3$). ПП первых 20 метров водной толщи при этом мала (менее $0.02 \text{ г С/(м}^3 \cdot \text{сут))}$ и является главным образом результатом деструкционных процессов.

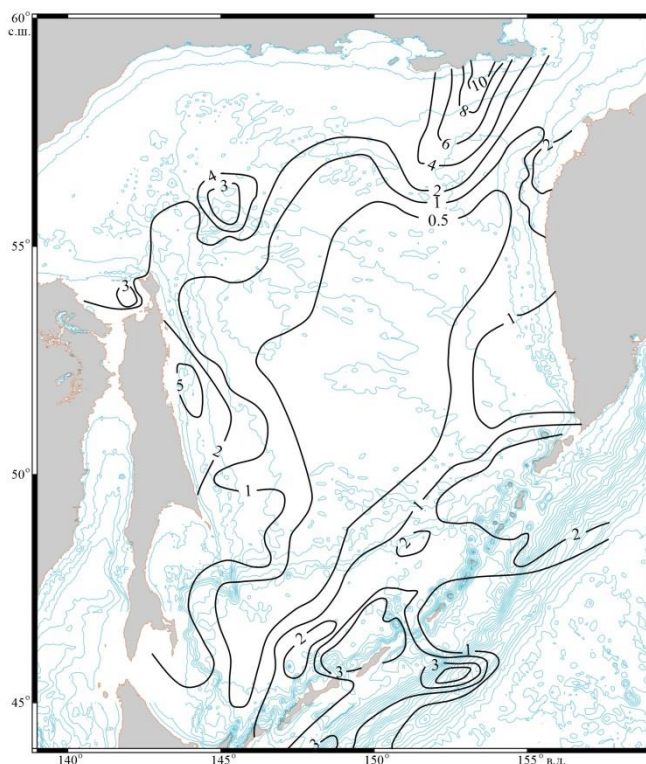


Рисунок 2.4. Распределение первичной продукции ($\text{г С/(м}^2 \cdot \text{сут)}$) в Охотском море в летний период [Налетова и др., 1997].

В Прикурильском районе величина ПП значительно выше и составляет $1-2 \text{ г С/(м}^2 \cdot \text{сут)}$, достигая на отдельных участках $3 \text{ г С/(м}^2 \cdot \text{сут)}$ и более. Такие показатели обусловлены поступлением с глубин биогенных элементов. При

этом максимальные значения ПП наблюдаются в зонах локализации циклонических вихрей и приостровных апвеллингов в пределах Курильского течения. Продукционными процессами охвачена практически вся мощность эвфотического слоя.

В самом верхнем, поверхностном, слое составляет от 0,03 до 0,5 г $C/(m^3 \cdot \text{сут})$, достигая максимальных значений в районах, прилегающих к проливам Курильской гряды, где практически все органическое вещество, создаваемое в поверхностном слое, можно считать новой продукцией. В слое максимума хлорофилла ПП не превышает 0,34 г C/m^3 , а новая продукция составляет – 80-100% от общего количества.

Восточно-Сахалинский шельф также характеризуется повышенными значениями ПП по сравнению с центральной частью моря. В среднем значения ПП составляют около 1 г $C/(m^2 \cdot \text{сут})$, достигая на отдельных участках 3 г $C/(m^2 \cdot \text{сут})$. Протекающие во всем эвфотическом слое продукционные процессы обусловлены наличием вдольберегового апвеллинга, при этом разная степень его интенсивности и соответственно интенсивность обогащения верхних слоев вод биогенными элементами, приводит к очаговому распределению величин ПП. Величина ПП и на поверхности и в слое максимума фитопигментов варьирует от 0,05 до 0,14. Соотношение новообразованной продукции и продукции рециклинга составляет около 60/40%, соответственно.

Повышенные значения ПП северо-западной части Охотского моря определены процессами, происходящими в районе банки Кашеварова, где более 80% новообразованной продукции создает избыток органического вещества. Наличие здесь интенсивного циклонического вихря приводит к ослаблению апвеллинга и формированию на глубине 8-12 м пикноклина, над которым происходит бурное развитие фитопланктона.

В северо-восточной части Охотского моря повышенные значения ПП (более 1 г $C/(m^2 \cdot \text{сут})$) обусловлены выносом холодных, богатых биогенными

элементами вод из залива Шелихова. Местами благодаря подъему вод за счет циклонического вихря первичная продукция достигает 3-10 г С/ (м²·сут).

Большая часть Камчатского побережья характеризуется значениями ПП более 1 г С/м², определяемыми прибрежными апвеллингами, поставляющими в поверхностный горизонт кислородонасыщенные воды.

2.4. Донные отложения

Разрушение и растворение скелетов радиолярий начинается сразу же после гибели организма. По данным П. Де Вевера с коллегами [De Wever et al., 1994; 2014] не более 30-50% от общей продукции в приповерхностном слое водного столба достигает морского дна. Наибольшая деструкция характерна для тропических морей со специфическими гидрологическими и гидрохимическими условиями, а также литогенезом донных осадков [Boltovskoy et al., 1996]. Субарктические и арктические моря, где в силу суровых климатических условий преобладает терригенный тип осадконакопления с минимальным преобразованием первичного осадочного материала и менее агрессивными физико-химическими условиями его захоронения, являются наиболее благоприятными природными объектами для проведения палеореконструкций. Рассмотрим особенности современного осадконакопления Охотского моря.

Накопление донных осадков моря контролируется в общих чертах морфологией дна и глубиной моря. Как и для большинства высокоширотных морских бассейнов четко прослеживается циркумконтинентальная зональность, выраженная в смене литологических типов грубозернистых отложений периферии бассейна на тонкозернистые в его центре [Астахов, 1998; Добровольский, Залогин, 1982] (рисунок 2.5 – а). Основными физическими процессами, контролирующими поступление осадочного материала, являются речной сток, абразия берегов (в том числе льдами) и

эрозия морского дна. Перемещение обеспечивается в результате приливно-отливных явлений в шельфовой зоне, системы течений и ледового разноса.

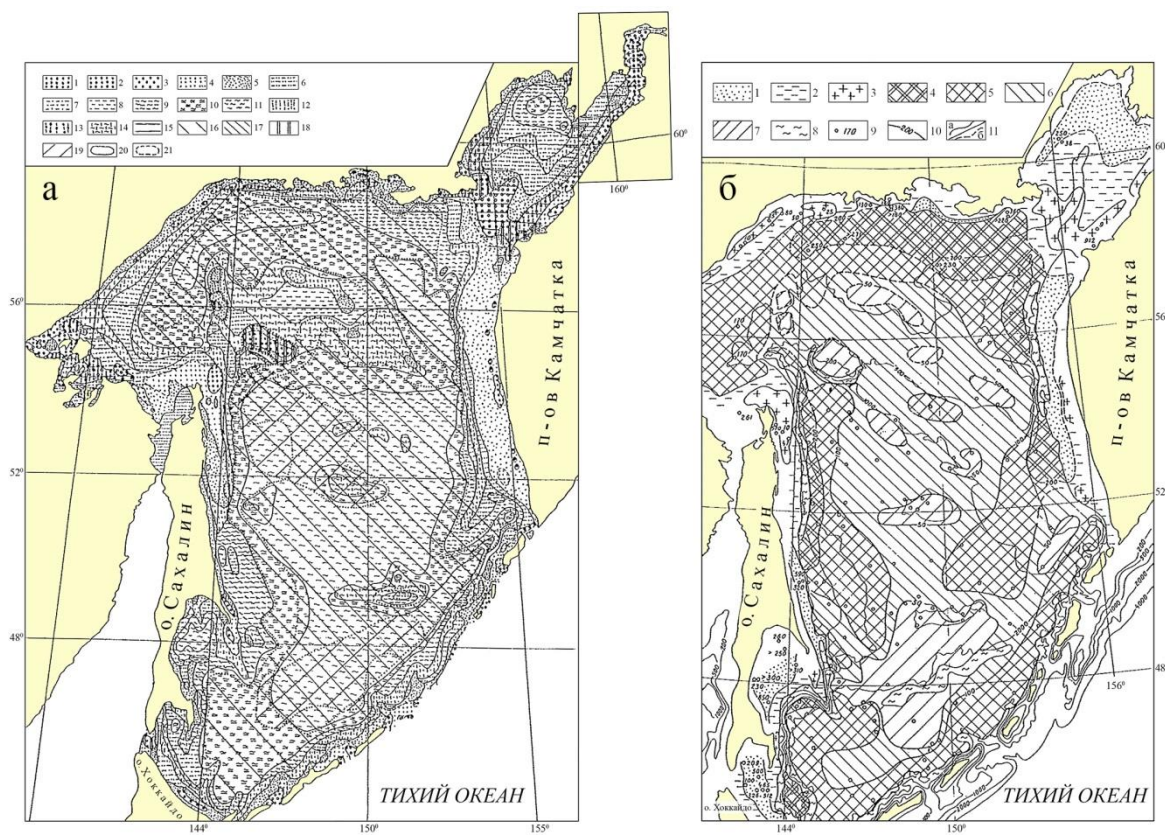


Рисунок 2.5. Карта донных отложений (а) [Астахов, 1998] и скорости накопления отложений (б) [Сваричевский, 1998] в Охотском море в голоцене.

а: литологические (гранулометрические) типы отложений, где 1-4 – отложения, содержащие более 70% фракций диаметром более 0.1 мм [1 – гравийно-галечные отложения (крупные псефиты), 2 и 3 – соответственно гравийные (1-10 мм) и мелкогалечные отложения (мелкие псефиты), 4 – пески (псаммиты) крупно- и среднезернистые (с преобладающими фракциями 1.0-0.5 и 0.50-0.25 мм)], 5 – пески мелкозернистые (с преобладающей фракцией 0.10-0.25 мм), 6 – пески алевроитовые, 7 – алевроиты песчаные, 8 – алевроиты (более 70% составляют фракции 0.10-0.01 мм), 9 – алевроиты пелитовые, 10 – пелиты алевроитовые, 11 – пелиты (более 70% составляют фракции диаметром менее 0.01 мм), 12 – микиты алевроит-пелитовые, 13 – микиты псефитовые, 14 – микиты алевроит-пелитовые, 15 – маломощные (менее 10 см) горизонты гравийно-галечных отложений, залегающих на отложениях иного состава; вещественно-генетические типы отложений: 16 – слабосиликатные отложения (10-30% SiO_2 аморфного), 17 – кремнистые отложения (более 30 % SiO_2 аморфного), 18 – слабосиликатные отложения (10-30% карбоната кальция), 19 – слабомарганцовистые отложения (более 0.2% Mn), 20 – границы между литологическими типами отложений, 21 – границы между вещественно-генетическими типами отложений.

б: литодинамические обстановки на внешнем шельфе: 1 – аккумулятивные, 2 – транзитные, 3 – эрозионные; скорости накопления отложений (мм/тыс. лет): 4 – более 200, 5 – 100-200, 6 – 50-100, 7 – менее 50; 8 – районы склонов с аномальными скоростями седиментации; 9 – станции и скорости накопления отложений (мм/тыс. лет) (для шельфа); 10 – изобаты (м); 11 – изолинии скоростей накопления отложений (а – установленные, б – предполагаемые).

Практически весь терригенный материал, поступающий с речными водами с суши, а также в результате разноса плавающими льдами улавливается в шельфовой зоне. В центральную часть моря выносятся лишь небольшая часть глинистых взвешенных частиц, материал ледового разноса здесь фиксируется появлением псаммитовых и гравийно-галечных терригенных разностей [Лисицын, 1994; Арчиков, 1986]. Основными шельфовыми районами разгрузки являются побережье Южного Сахалина, о. Хоккайдо и Сахалинский залив [Современное осадкообразование..., 1997]. Значительное количество материала поступает из северной части моря в результате абразии берегов залива Шелихова [Арчиков и др., 1982; Астахов, 2001]. Вклад в поставку терригенного материала берегами Западной Камчатки минимален. Несмотря на то, что основная масса первичной продукции сосредоточена в шельфовой области [Шунтов, 2001], высокая степень разбавления осадка терригенным материалом и усиление растворения за счет распреснения шельфовых вод минимизируют здесь долю биогенного осадконакопления [Жузе, 1962; Саидова, 1960; Беляева, Бурмистрова, 2003].

Биогенное осадконакопление широко распространено в центральной части моря и на северном шельфе [Астахов и др., 1988] и проявляется в накоплении кремнистого (диатомовые водоросли, спикулы губок и скелеты радиолярий [Безруков, 1960; Астахов и др., 1988]) и карбонатного (раковины моллюсков, баянусов, фораминифер и кокколиты, [Саидова, 1960]) биогенного материала. Низкая подвижность придонных вод при полном отсутствии волновых процессов и ограниченное поступление терригенной взвеси создают для этого весьма благоприятные условия.

Кроме того, минимальные для Охотского моря содержания растворенного кислорода в придонных водах и флюидная активность локальных участков дна создают специфические условия осадконакопления в районе впадины Дерюгина и трога Кашеварова, где осадочный материал накапливается при участии хемогенных и/или биогенных процессов. Это

находит отражение в формировании аутигенных минералов (баритов, полиметаллических сульфидов) и гидрогенных и гидротермальных [Батурин и др., 2011; Михайлик и др., 2009] железомарганцевых корок [Астахова и др., 1993].

Процессы осадконакопления в Охотском море осложнены и поступлением вулканогенного материала в виде пемзы и вулканического пепла мелкопесчаной и алевритовой размерности [Сахно и др., 2010; Горшков, 1967]. Наибольшему воздействию фактора вулканогенного осадконакопления подвержены районы Курильских островов, а также некоторые глубоководные части [Деркачев и др., 2004].

Немаловажным фактором формирования современного вещественного состава осадков Охотского моря являются скорости их накопления. Согласно рассчитанным показателям [Астахов, 1998] для голоцена выделяются следующие литодинамические обстановки (рисунок 2.5 – б): аккумулятивные бассейны со скоростями накопления осадков, превышающими 200 мм/тыс. лет (северный континентальный шельф, северо-восточный шельф Сахалина и Камчатки), транзитные участки дна с вариациями в пределах от 30 до 200 мм/тыс. лет (устье реки Амур, центральная часть бассейна и Охотской котловины) и районы развития эрозионных процессов дна, где скорости накопления осадков минимальны – менее 20-30 мм/тыс. лет (возвышенности центральной части бассейна, локальные участки дна в Охотской котловине и восточного шельфа Сахалина). Кроме того, в районах наиболее интенсивного поступления с шельфа терригенного материала на шельфе, материковом склоне или его подножии осадки накапливаются с аномально высокими скоростями.

Таким образом, обзор природных условий Охотского моря позволяет сделать вывод о наличии благоприятных условий для развития микропланктона в различных частях бассейна. При этом современные условия осадконакопления способствуют сохранности остатков

микрофоссилий и, как следствие, актуализируют применение микропалеонтологических методов палеореконструкций региона. Наиболее перспективной при этом является центральная часть бассейна со своеобразным гидрологическим режимом, ледовой обстановкой, обилием питательных веществ и благоприятными седиментационными условиями.

Глава 3. Материал исследования и методика радиоляриевго анализа

Фактический материал. Материалом для исследований послужили осадки керна MR 06-04 PC-7R, который был отобран гидropopршневым трубчатым пробоотборником из центральной части Охотского моря (51° 17' с.ш., 149° 12' в.д., глубина моря 1256 м) во время Российско-Японской экспедиции 2006 года на японском судне «Мирай» (рисунок 3.1).

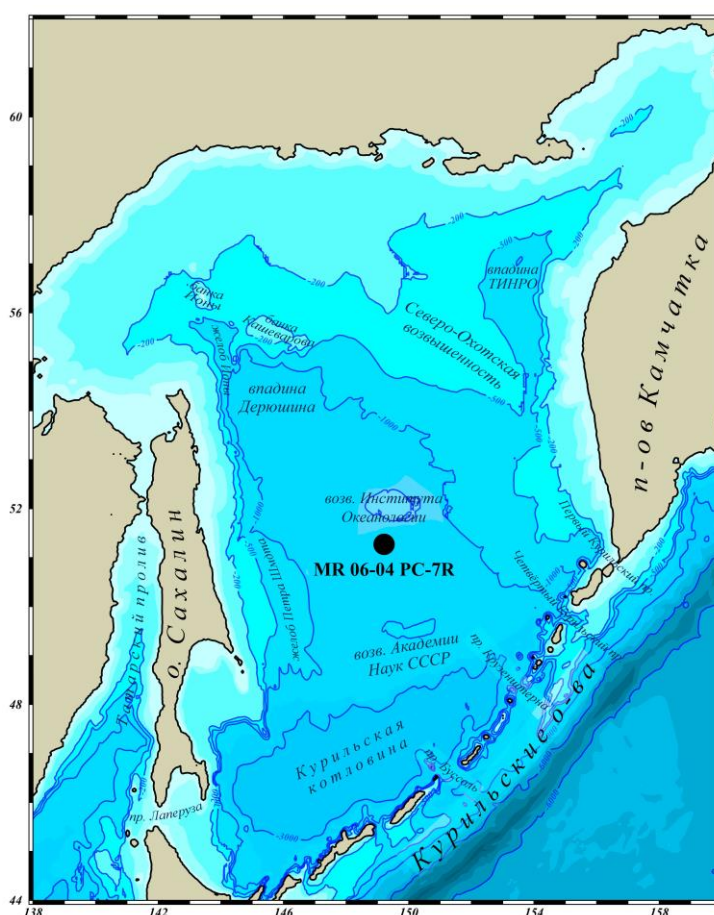


Рисунок 3.1. Местоположение изученного керна

Точка отбора расположена в пределах низменной равнины, разделяющей возвышенность Института океанологии и Академии наук СССР, со слабоволнистым рельефом аккумулятивного типа. На юге

встречаются крутосклонные, по-видимому, вулканические постройки [Сваричевский, 1998].

Осадочный разрез, вскрытый керном MR 06-04 PC-7R (интервал 0-630 см), представлен чередованием осадков разного типа (рисунок 3.2). В основном это терригенные осадки (пелит и алевроит-пелитовый) с небольшой примесью карбонатных микроорганизмов и терригенно-диатомовые осадки [Derkachev et al., 2012].

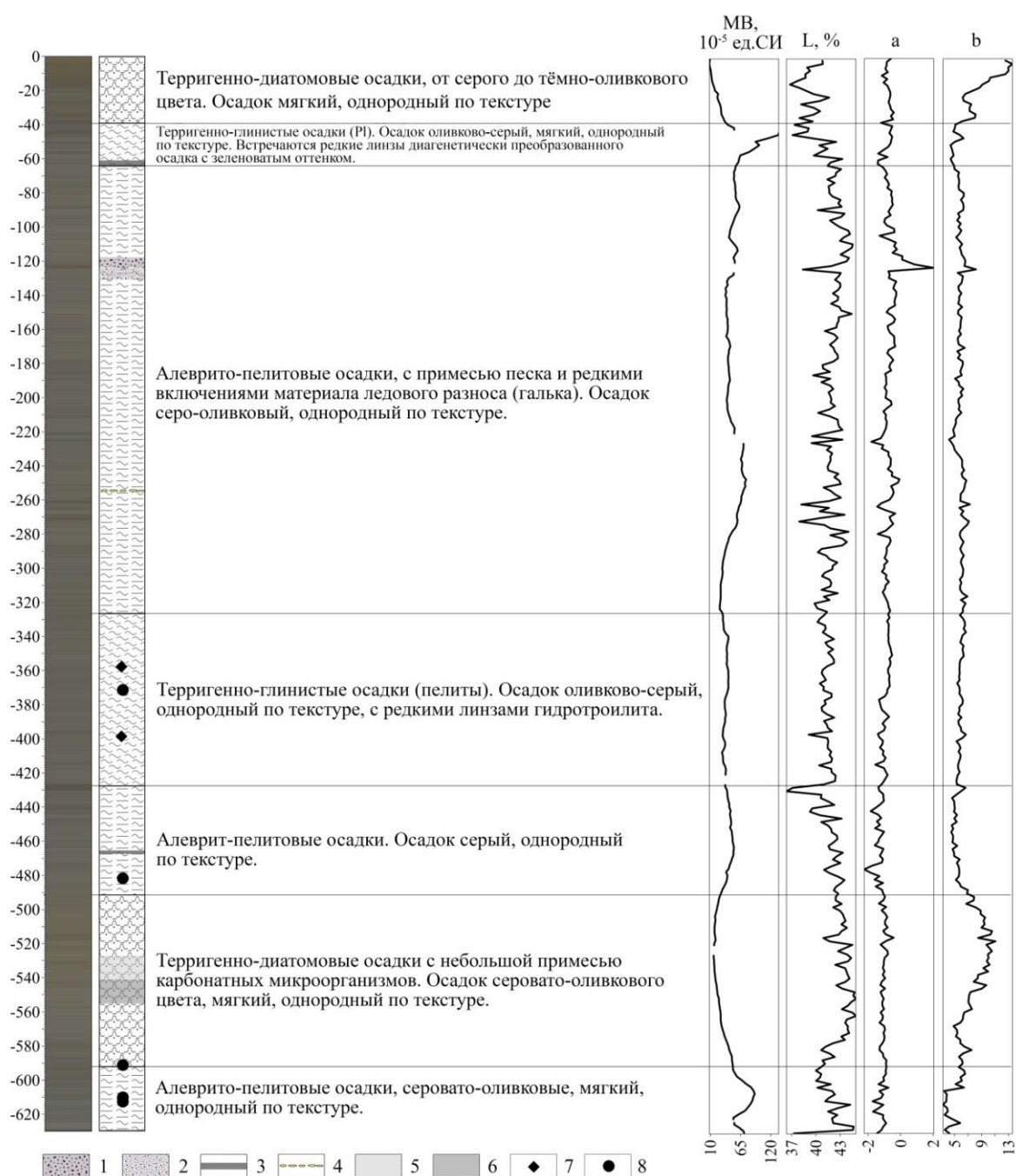


Рисунок 3.2. Литологическая схема керна MR 06-04 PC-7R

1 - прослой вулканический пепла K2 песчано-алевритовой размерности розовато-серый; 2 - следы вулканического материала K2; 3 - уплотнённый горизонт диагенетически преобразованного осадка; 4 - серо-жёлтые линзы (2-3 мм) тонкой вулканокластики MR 1 с примесью терригенного материала; 5 – слабо биотурбированный осадок; 6 – сильно биотурбированный осадок; 7 – фрагменты ракушки; 8 – галька (материал ледового разноса). Привлечённые данные рейсового отчета: MB – значения магнитной восприимчивости, L, a, b – цветовые координаты в CIELab-диапазоне [Cruise Report..., 2006].

Методы. В пробах донного осадка, отобранных из керна, были определены таксономический состав и численность радиолярий. Для этого материал изучен по сантиметровым интервалам с шагом в 1-3 см, всего было изучено 296 образцов из первых 630 см керна (таблица 3.1; Приложение В).

Таблица 3.1.

Использованные в работе данные

	Параметр	Число определений
данные радиоляриевых анализов	ОСР	296
	САР	296
	ВБ	296
	ВР	296
	количество таксонов	160
геохимические и литологические данные	Ba _{bio}	624
	Opal	631
	Chlorin	617
	CaCO ₃	608
	TOC	607
	d ¹³ C _{org}	618
	цветность (модель CIELab)	927
	IRD	629

Пробоподготовка. Лабораторная обработка образцов для изучения радиолярий выполнена согласно стандартной методике [Abelmann, 1988;

Abelmann et al., 1999]: проба воздушно-сухого осадка (навеска 2 г) заливалась 30-ти процентной перекисью водорода на 12 часов, после чего добавлялись 100 мл дистиллированной воды и 1 г триполифосфата натрия. Полученная смесь кипятилась в течение 60 минут. После остывания, взвесь осадка разводилась дистиллированной водой до нейтрального pH и промывалась через сито с размером ячейки 40 мкм (фракция осадка >40 мкм, позволяет надежно учесть содержание и соотношение основных видов радиолярий).

На следующем этапе пробоподготовки полученная взвесь осадка разводилась водой до 100 мл и тщательно взбалтывалась. С помощью мерной пипетки 10 мл взвеси помещалось в чашку Петри, где в растворе желатина 0.06% находились предметные стекла. Для удаления влаги через 30 минут в чашку помещалась полоска фильтровальной бумаги шириной 3-5 мм. Сухой остаток, покрывающий предметные стекла, подвергался консервированию с помощью высокопреломляющей смолы NAPHRAX (индекс преломления - 1.65).

Анализ таксономического состава и численности радиолярий. Идентификация и подсчет численности радиолярий в приготовленном препарате проводился с использованием микроскопа Микмед-2.вар.2, при увеличении $\times 200$ или $\times 400$ методом прямого подсчета. Подсчитанное общее количество скелетов радиолярий затем пересчитывалось на один грамм сухого осадка по следующему алгоритму: внутренняя площадь чашки Петри, делилась на площадь препарата и умножалась на общее количество скелетов радиолярий. Далее полученное значение умножалось на количество добавленной взвеси, поделенной на навеску сухого осадка. В результате была получено общее содержание радиолярий (ОСР) в 1г сухого осадка. Ниже приведена формула определения ОСР.

$$\text{ОСР (№\#Рад. 1 г сух. ос.}/10^3) = S_{\text{ч.п.}}/S_{\text{пр.}} \times N_{\text{рад.}} \times N_{\text{взв.}} / N_{\text{вес сух. ос.}},$$

где $S_{\text{ч.п.}}$ – внутренняя площадь чашки Петри, (см²); $S_{\text{пр.}}$ – площадь препарата, (см²); $N_{\text{рад.}}$ – общее количество скелетов радиолярий, (экз.); $N_{\text{взв.}}$ – количество добавленной взвеси, (мл.); $N_{\text{вес сух. ос.}}$ – навеска сухого осадка, (г.).

Попутно был определён структурный состав ассоциаций радиолярий с подсчетом соответствующих экземпляров (учитывались как целые скелеты радиолярий, так и те фрагменты, которые можно было диагностировать, но не менее половины скелета). Также подсчитывались скелеты плохой сохранности, невозможные для определения. В результате получены точные числовые характеристики изучаемой ассоциации. Дополнительно учитывались количественные соотношения выявленных таксонов.

Для идентификации видового состава радиолярий были использованы таксономические сведения, описания и иллюстрации из публикаций Геккеля [Heackel, 1862; 1887], Клеве [Cleve, 1901], Йоргенсена [Jørgensen, 1905], Попофского [Popofsky, 1908; 1912], Хейса [Hays, 1965], Бенсона [Benson, 1966], Нигрини [Nigrini, 1968; 1970], Кругликовой [1969; 1977], Петрушевской [Petrushevskaya, 1967; 1971; 1975], Петрушевской и Козловой [Petrushevskaya, Kozlova, 1972], Клинга [Kling, 1973], Нигрини и Мур [Nigrini, Moore, 1979], Коле [Caulet, 1986], Бьёрклунда и др. [Bjørklund et al., 1976; 1998], Александрович [Alexandrovich, 1992], Морли и Нигрини [Morley, Nigrini, 1995], Болтовского [Boltovskoy, 1998], Такахаша [Takahashi, 1991], а также многочисленные статьи, ссылки на которые приведены в приложении А.

Также в качестве дополнительного параметра на основе собственных и привлеченных из литературных источников данных была рассчитана скорость аккумуляции радиолярий (САР) – число скелетов радиолярий в 1 см³ донного осадка, накопленного за 1 тыс. лет [Okazaki et al., 2003]. Актуальность привлечения этого, дополнительного, параметра объясняется большой вариативностью процентных содержаний, полученных в мировой практике при обработке различных фракций осадков (наиболее часто используемые 40, 45, 50, 63 и 90 мкм – при этом, с увеличением фракции мелкие формы радиолярий теряются) и, как следствие, затрудненным сопоставлением результатов.

Использована следующая формула расчета САР:

$$\text{САР (№\# Рад.} \times 10^3/\text{см}^2 \text{ тыс. лет)} = c \times \rho \times v,$$

где c – численность радиолярий в осадке, (экз./г); ρ – плотность сухого осадка, (г/см³), v – линейная скорость осадконакопления, (см/тыс. лет).

Для оценки видового разнообразия (ВР) тафоценозов радиолярий были использованы индексы разнообразия. ВР характеризуется видовым богатством (ВБ) (или плотностью видов), описываемым общим числом имеющихся видов, и выравненностью, отражающей равномерность распределения видов по их обилию в сообществе, а также положение их в структуре доминирования.

Для изучения ВР ассоциаций радиолярий был использован индекс Шеннона [Shannon, Weaver, 1949]:

$$H = -\sum p_i \log_2 p_i,$$

где величина p_i – доля особей i -го вида. В выборке истинное значение p_i неизвестно, но оценивается как p_i/N , где p_i – численность особей i -го вида, а N – численность всех особей в данном образце.

Фотографирование скелетов радиолярий осуществлялось с помощью фотонасадок и цифровых фотокамер для световых микроскопов. Дополнительная информация о строении скелетов радиолярий для более точной видовой диагностики получена с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ). Образец для фотографирования в СЭМ напылялся углеродом, для обеспечения хорошего контраста электромикроскопического изображения.

Дополнительно были привлечены опубликованные данные по геохимическим индикаторам биопродуктивности – содержаниям органического углерода (ТОС), %; хлорина (chlorin), $\mu\text{g/g}$; биогенного бария (Ba_{bio}), кол-во в секунду; аморфного кремнезема (Opal), %; карбоната кальция (CaCO_3), %; доли фракции с размером частиц 0,063-2 мм (далее IRD), %; соотношениям изотопного состава стабильного углерода

органического вещества ($\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$), ‰ и цветности осадка [Gorbarenko et al., 2007, 2010, 2012; Chebykin et al., 2015; Cruise Report ..., 2006].

Для возрастной интерпретации данных адаптирована опубликованная возрастная модель [Gorbarenko et al., 2010, 2012; Yanchenko, Gorbarenko, 2015; Gorbarenko et al., 2017] с дополнениями. Возраст границ МИС (орбитальные изменения климата) указан согласно кислородно-изотопными стадиями, выделенным Д. Мартинсоном [Martinson et al., 1987] на основе разделения стандартной кислородно-изотопной кривой на стадии, соответствующие ледниковым (четным) и межледниковым (нечетным) этапам циклического развития четвертичного материкового оледенения (таблица 3.2).

Таблица 3.2.

Кислородно-изотопные стадии [по Martinson et al., 1987]

Кислородно-изотопные стадии	1	2	3	4	5				
					5,1	5,2	5,3	5,4	5,5
Граница возраста, тыс. лет	14,7	28	58,9	73,9	85	95	110,7	117	129,5

Контрольные точки керна PC-07R, были определены при корреляции тысячелетних событий изменений среды Охотского моря (таблица 3.3), с соответствующим возрастом начала интерстадиалов и стадиалов зафиксированных в записях сталагмитов пещер Хулу (Китай) [Wang et al., 2001; 2008] и ледяного керна Гренландии [NGRIP Member, 2004].

При расчете линейной скорости седиментации (см/тыс. лет) были использованы реперные точки керна PC-7R с возрастом начала стадиалов и интерстадиалов (HEEA, C и CI/GI) [NGRIP member, 2004; Wolff et al., 2010; Wang et al., 2001; 2008].

Полученные результаты, а также привлеченные литературные данные были объединены в цифровую аналитическую базу, обработанную с

помощью графических и статистических методов и приемов: корреляционного и кластерного анализа в программной среде Statistica 8.

Графический материал подготовлен с помощью пакетов программ Golden Soft – Grapher 10, Surfer 12, Photoshop CS6.

Таблица 3.3.

Контрольные точки керна PC-07R

Граница события	Горизонт керна, см	Календарный возраст, тыс. лет	Граница события	Горизонт керна, см	Календарный возраст, тыс. лет
	0	0	CI/GI 13	184	49,2
Диатомовые илы	13	5,5	CI/GI 14	196	54,2
PB	38	11,7	HEEA 5a	200	55,1
YD	43	12,8	CI/GI 16	208	57
B/A	48	14,7	CI/GI 17	220	59,2
HEEA 1	60	17,5	HEEA 6	226	61
CI/GI 2	86	23,3	CI/GI 18	238	64,1
HEEA 2	93	24,6	CI/GI 19	274	72,3
CI/GI 3	110	27,8	HEEA 7	279	73,5
CI/GI 4	116	29,5	CI/GI 20	292	76,5
HEEA 3	120	30,47	HEEA 7a	300	77,5
CI/GI 5	129	32,5	CI/GI 21	337	84,5
CI/GI 6	134	33,7	HEEA 8	350	87
CI/GI 7	139	35,5	C 23	419	105
CI/GI 8	146	38,2	C 24	449	111
HEEA 4	152	39,5	C 25	471	116,5
CI/GI 10	156	41,5	C 26	499	120,6
CI/GI 11	160	43,3	C 27	566	126
CI/GI 12	170	46,8	LIG	600	129
HEEA 5	176	48	WMI I II	630	135

В таблице указаны границы начала событий. B/A - потепление Bølling-Allerød; YD - похолодание Younger Dryas; HEEA – интервалы похолодания климата, Генрич-эквивалентные события (Heinrich event equivalent anomalies); CI/GI – интервалы потепления климата (Chinese/Greenland Interstadials); C23 - C27 - холодные события; LIG - начало последнего межледникового (Last Interglacial); WMI II - интервал ослабления интенсивности муссонов (weak monsoon interval).

Таким образом, отобрано и изучено 296 образцов донного осадка, в которых определены таксономический состав и численность радиолярий,

сформирована обширная цифровая база данных, включающая сведения о радиоляриях (ОСР, САР, ВБ, ВР, процентное содержание и скорости аккумуляции таксонов), скоростях осадконакопления, геохимических индикаторах биопродуктивности и литологических характеристиках осадка. База данных обработана методами математической статистики.

Глава 4. Радиоларии, как показатели изменений природных условий Охотского моря в позднем плейстоцене и голоцене

В результате анализа проб осадка керна PC-7R определено 160 таксонов радиоларий, относящихся к 97 родам и 21 семейству (Приложение А). Несмотря на столь богатое видовое разнообразие, наблюдается резко выраженное доминирование всего нескольких таксонов относительно состава ассоциации. К ним относятся: *Cycladophora davisiana* (Ehrenberg), *Amphimelissa setosa* (Cleve), *Lychnocanoma nipponica* (Nakaseko) *sakaii* (Morley, Nigrini), *Stylochlamydidium venustum* (Bailey), группа *Actinomma leptoderma/boreale*, *Stylodictya validispina* Jørgensen, *Spongotrochus glacialis* (Popofsky), *Siphocampe arachnea* Ehrenberg, *Ceratospyris borealis* (Bailey), Plagoniidae spp. (виды родов *Phormacantha* и *Plectacantha*), группа *Dictyophimus hirundo* (Haeckel)/*crisiae* Ehrenberg и др. (Приложение Б). Их относительное содержание составляет более 10% от состава ассоциации. Около 120 таксонов имеют очень низкое процентное содержание – менее 5%.

Как установлено многими исследователями, таксономический состав современной фауны радиоларий Охотского моря оставался практически идентичным, начиная с позднего плейстоцена [Nimmergut, Abelman, 2002; Abelman, Nimmergut, 2005; Okazaki et al., 2003, 2004, 2005; Матуль и др., 2001, 2002, 2003, 2009; Itaki et al., 2008 и др.]. При этом экологическая структура сообществ нынеживущих радиоларий отражает соотношение представителей различных экологических групп радиоларий, выделяемых по их отношению к температуре, солености, глубине обитания, количеству питательных веществ и другим факторам среды. В первом пункте главы приведены опорные экологические и биогеографические сведения о современных таксонах, идентифицированных в осадках керна, на основе

опубликованной информации. Сведения о радиоляриях в масштабах Мирового океана в целом и Охотского моря в частности приведены по работам: Abelman, 1992; Abelman et al., 1999; Abelman, Gowing, 1997; Abelman, Nimmergut, 2005; Anderson, 1983; Anderson et al., 1989; Bjorklund, 1974; Bjorklund, Ciesielski, 1994; Bjorklund et al., 1998; Bjorklund, Kruglikova, 2003; Blueford, 1983; Boltovskoy, Riedel, 1980; Boltovskoy, Riedel, 1987; Boltovskoy, 1998; Boltovskoy et al. 2003; Casey, 1977; Casey et al., 1979; Cortese et al., 2003; Dolven, Bjorklund, 2001; Fukumura, 2002; Hays, Morley, 2003; Hülsemann, 1963; Ishitani, Takahashi, 2007; Ishitani et al., 2008; Itaki, Takahashi, 1995; Itaki et al., 2003, 2008; Kling, 1976, 1979; Kling, Boltovskoy, 1995; Ling et al., 1971; Ling, 1974; Matsuzaki et al., 2016; Matul et al., 2002, 2009, 2015, 2016; Molina-Cruz, Bernal-Ramirez, 1996; Molina-Cruz et al., 1999; Moore, 1978; Morley, 1980; Morley, Hays, 1983; Morley, Stepien, 1985; Nigrini, 1970; Nigrini, Moore, 1979, Nimmergut, Abelman, 2002; Nishimura et al., 1997; Okazaki et al., 2003, 2004; Schröder- Ritzrau, 1995; Swanberg, Eide, 1992; Takahashi, 1997, 2000; Takizawa, 1982; Tibbs, 1967; Wailes, 1937; Wang et al., 2006; Welling et al., 1996; Yamashita et al. 2002; Бараш и др. 2006, Кругликова, 1969, 1975; Петрушевская, 1967.

4.1. Современное распространение и экология видов радиолярий

Одними из немногих радиолярий, которые могут выжить в верхнем слое морской воды, подверженной сильным сезонным изменениям, является представители группы Spongodiscidae. К ним относится вид *Spongotrochus glacialis*, доминирующий в южных высокоширотных районах и обитающий в поверхностных водах с вариациями температуры от -1 до 11°C (в теплых и низко соленых водах). Также этот вид является наиболее распространенным в планктоне в Арктике. Еще один представитель группы Spongodiscidae –

Slylochlamyidium vetiustum – обнаружен в холодных (2°C) и соленых (33,8‰) антарктических поверхностных водах. Отмечено его массовое захоронение в поверхностных осадках под антарктическим циркумполярным течением с диапазоном температуры $5\text{--}18^{\circ}\text{C}$ и солености 34,0–34,8 ‰. Кроме того, это один из доминирующих таксонов в Беринговом море, в центральной субарктической и северо-западной частях Тихого океана. Встречается и в центральной экваториальной части Тихого океана.

В современной северо-западной Пацифике и Охотском море виды *S. glacialis* и *S. venustum* обитают в пределах поверхностной водной массы. Летом встречается в верхних 50 м, однако, весной и осенью обитают на глубине до 150–200 м. При анализе поверхностных осадков Охотского моря было выявлено доминирование *S. venustum* в восточной части моря (рисунок 4.1.1).

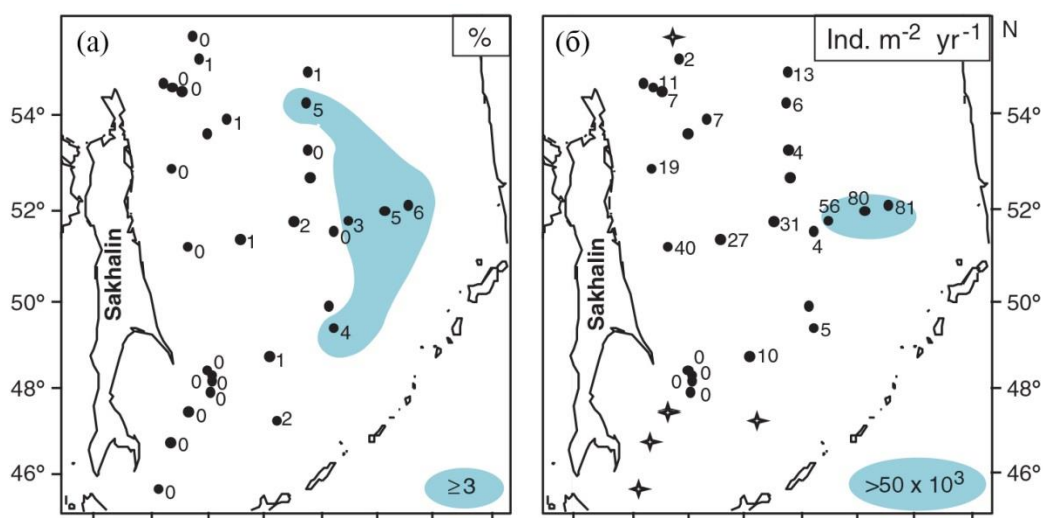


Рисунок 4.1.1. Распределение *Slylochlamyidium vetiustum* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

Согласно исследованиям [Anderson, 1983; Anderson et al., 1989] *S. venustum* имеет растительноядный или всеядный тип питания. Хэйс и Морли [Hays, Morley, 2003] установили, что максимум продукции вида в северо-

восточной части Охотского моря наблюдается в весенний сезон с апреля по июнь и непосредственно связан с продукцией фитопланктона, в основном с диатомовыми водорослями. Согласно [Nimmergut, Abelman, 2002] только ювенильные формы *S. venustum* и *S. glacialis* обитают в Охотском море в поверхностных водах (0-50м), где экологические условия неблагоприятны для обитания многих видов радиолярий (например, низкие температура и соленость, сильные сезонные изменения среды). Spongodiscidae при этом более зависимы от наличия/отсутствия морского льда, чем виды, обитающие на промежуточных глубинах. По мнению [Okazaki et al., 2003] высокое содержание *S. venustum* и *S. glacialis* может указывать на свободные ото льда поверхностные воды, низкое – наоборот, свидетельствует о наличии морского льда. Позднее [Abelman, Nimmergut, 2005] высказали предположение, что увеличение числа *S. venustum* может указывать на более стабильные условия на поверхности моря в геологическом прошлом, характеризующиеся менее выраженными сезонными изменениями в сочетании с увеличением сезонной продукции фитопланктона в фотическом слое.

Lithomelissa setosa – характерный вид для восточной субарктической Пацифики, Берингова моря. Доминирует в Атлантике и в центральном круговороте Норвежского моря, где происходит смешение теплых и холодных вод. В Гренландском море и в Арктике этот вид отсутствует или встречаются лишь единичные экземпляры. Исследование седиментационных ловушек из западной субарктической Пацифики и Берингова моря показало, что максимум содержания *L. setosa* характерен для весеннего сезона. Ямашита с соавторами [Yamashita et al., 2002] предположили, что *L. setosa* может быть показателем апвеллинга ввиду его ассоциации с высокими концентрациями хлорофилла-а. Болтовской с коллегами [Boltovskoy et al., 2003] также предположили, что вид *L. setosa*, тесно связан с высокой биологической продуктивностью или с органическими частицами,

поступающими из прибрежных районов. Исследования планктона вокруг Японских островов показали, что вид *L. setosa* обитает в данном районе на небольших глубинах (0-100 м), а профили распространения *L. setosa* коррелируют с высокими концентрациями хлорофилла-а.

Для Охотского моря сведения о распространении *L. setosa* в планктоне на данный момент отсутствуют. Этот вид с гетеротрофным типом питания является одним из доминантов в ассоциации радиолярий, обнаруженной в поверхностных донных осадках в западной части Курильского бассейна (рисунок 4.1.2).

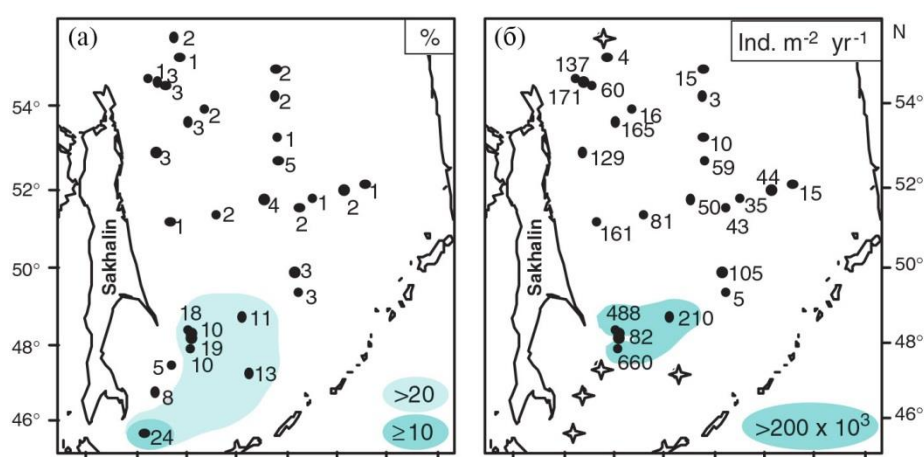


Рисунок 4.1.2. Распределение *Lithomelissa setosa* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

По мнению [Abelmann, Nimmergut, 2005] высокие содержания *L. setosa* в данном районе могут обуславливаться свойствами водных масс, поступлением нутриентов с притоком теплых вод Японского моря, приходящих в Охотское море через пролив Соя, и влиянием вод Северной Пацифики. Приток теплых вод из Японского в Охотское море усиливается весной и способствует раннему прогреву, перемешиванию водных масс и раннему цветению фитопланктона. Изучение седиментационных ловушек из западной части субарктической Пацифики показало, что увеличение

концентрации вида *L. setosa* (основного доминанта) происходило одновременно с ростом содержания органического углерода (ТОС), поступающего из прибрежных районов. На основе значительной динамики снижения концентраций *L. setosa* от прибрежных районов к пелагиали [Itaki et al., 2008] было высказано предположение, что в Охотском море данный вид является мелководным и обитает на глубине до 200 м.

В группу *Actinomma leptoderma/boreale* включены виды *A. boreale*, *A. leptoderma leptoderma* и *Actinomma* sp. (ювенильная форма), обитающие в широком диапазоне глубин: в Японском море на глубинах более 2000 м, в Арктике и Норвежских фьордах – подповерхностных водах (около 50-300 м). В Охотском море распространены в диапазоне от 0 до 200 м.

Rhizoplegma boreale – широко распространенный вид в холодноводной среде северных и южных высокоширотных океанических областей. В Охотском море вид *R. boreale* населяет в основном глубины, относящиеся к нижней части дихотермального слоя между 150 и 200 м. Кроме того, по данным планктонных ловов и седиментационных ловушек в Охотском море было выявлено, что оппортунистическое поведение данного вида также влияет на его распространение (рисунок 4.1.3). Хотя в Охотском море ареал обитания *R. boreale* ограничивается глубиной первых 200 м, данный вид сезонно меняет свое широтное распределение и мигрирует в пределах подповерхностного и дихотермального слоя в разные районы моря. Максимум его продукции в летний сезон обнаруживается в юго-восточной, а весной – в западной части моря. Подобные сезонные различия также были выявлены при изучении седиментационных ловушек в северо-восточной и западной частях Охотского моря. Условия окружающей среды, послужившие причиной подобного распределения и миграций, недостаточно известны. [Abelmann, Nimmergut, 2005] предположили, что вид *R. boreale* следует определенным стратегиям выживания и питания, населяя конкретные экологические ниши.

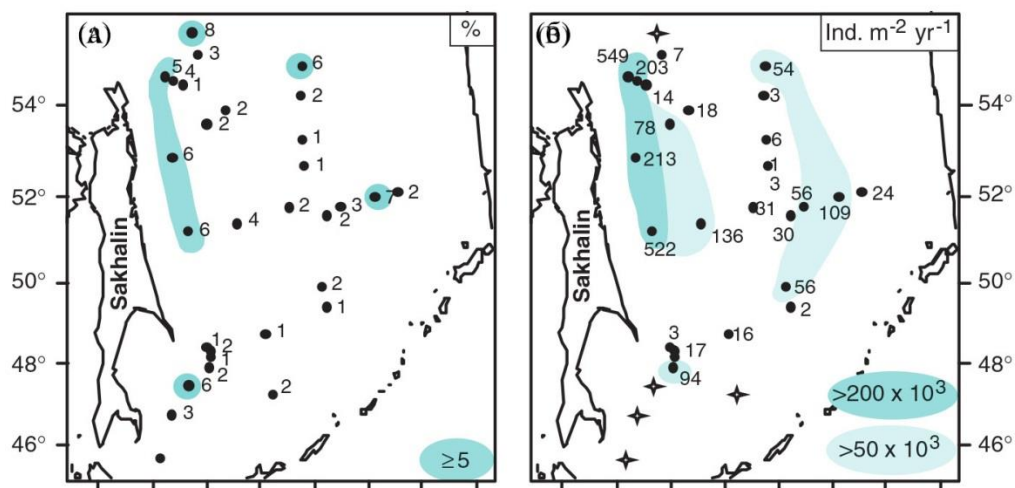


Рисунок 4.1.3. Распределение *Rhizoplegma boreale* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

Antarctissa (?) *sp. 1* – субарктический таксон. Встречается в Охотском море и в северной Пацифике на глубинах 50-200 м, в Беринговом море – в диапазоне глубине 150-400 м. В Охотском море повышенные концентрации *Antarctissa* (?) *sp. 1* отмечаются исключительно в летний сезон и только в западной части моря (рисунок 4.1.4). Его распределение в планктоне согласуется с записями по радиоляриям из поверхностных осадков. Формирование морского льда западной части моря происходит более активно, чем в юго-восточной части моря, где относительно теплое Камчатское течение обуславливает зимой условия открытого океана. Таким образом, наличие ледового покрова зимой в западной части Охотского моря способствует формированию дихотермального слоя летом в этом районе. [Abelmann, Nimmergut, 2005] на основе данных планктонных ловов и седиментационных ловушек установили, что *Antarctissa* (?) *sp. 1* обитает в водах Охотского моря в зоне температурного минимума от 50 до 200 м. Предположено, что дихотермальный слой является экологической нишей для *Antarctissa* (?) *sp. 1*, обитающего в холодном подповерхностном слое и питающегося бактериями или относительно свежим фитодетритом,

поступающими сюда из высокопродуктивной морской поверхностной водной массы.

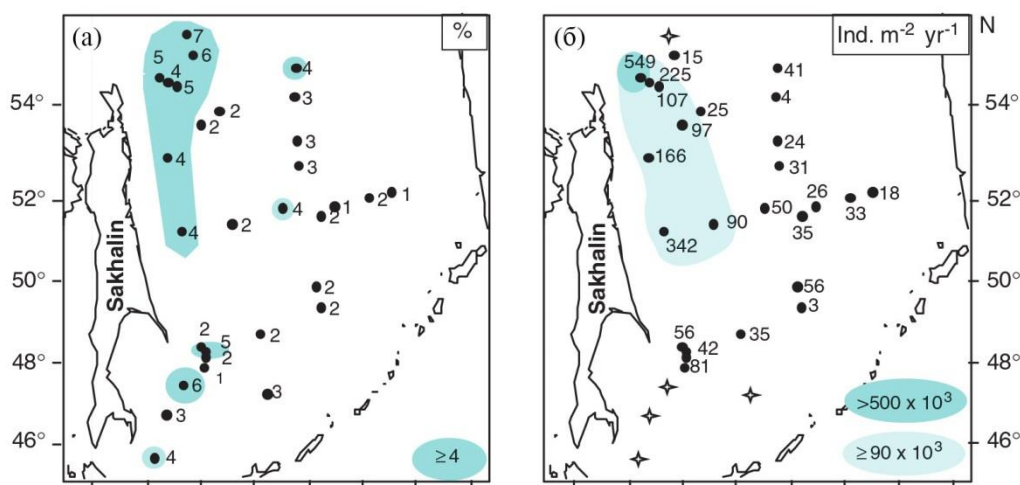


Рисунок 4.1.4. Распределение *Antarctissa (?) sp. 1* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(a) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

Ceratospyris borealis – субарктический вид. Встречается в Северной Пацифике, Японском и Охотском морях. Является одним из доминантов в Беринговом море, но при этом не обнаружен в Арктике. Согласно данным планктонных ловов и седиментационных ловушек, в Японском море *C. borealis* был найден на глубинах 80-300м. В Охотском море вид обитает в широком диапазоне глубин – от подповерхностной до промежуточной водной толщи (50-500 м). Его наибольшие концентрации здесь сосредоточены вокруг дихотермального слоя (50-200 м). На основе данных седиментационных ловушек из восточной субарктической Пацифики, было выявлено, что рост продукции *C. borealis* преимущественно совпадал с цветением фитопланктона (главным образом с диатомовыми водорослями *Neodenticula seminae*) и развитием бактериопланктона в шельфовых областях в летний и осенний сезон (август - октябрь). Согласно [Nimmergut, Abelmann, 2002] это может быть связано с распространением гетеротрофных организмов, численность которых увеличивалась в ответ на цветение

диатомовых водорослей в Охотском море. По мнению [Takahashi, 1997; Nimmergut, Abelman, 2002; Heys, Morley, 2003; Okazaki et al., 2003, 2004] *C. borealis* может использоваться как индикатор продуктивности, однако, довольно широкий диапазон глубин его обитания может свидетельствовать об оппортунистическом поведении (рисунок 4.1.5). Abelman, Nimmergut [2005] считают, что в зависимости от разновидности источников поступления питательных веществ, а также соперничества с другими представителями зоопланктона, данный вид способен перемещаться от подповерхностных до промежуточных глубин, питаясь детритом и бактериями. Бараш с соавторами [2006] высказали предположение, что вид *C. borealis* может выступать возможным маркером низкотемпературных подповерхностных слоев воды, приходящей в Охотское море из северо-западной части Северной Пацифики.

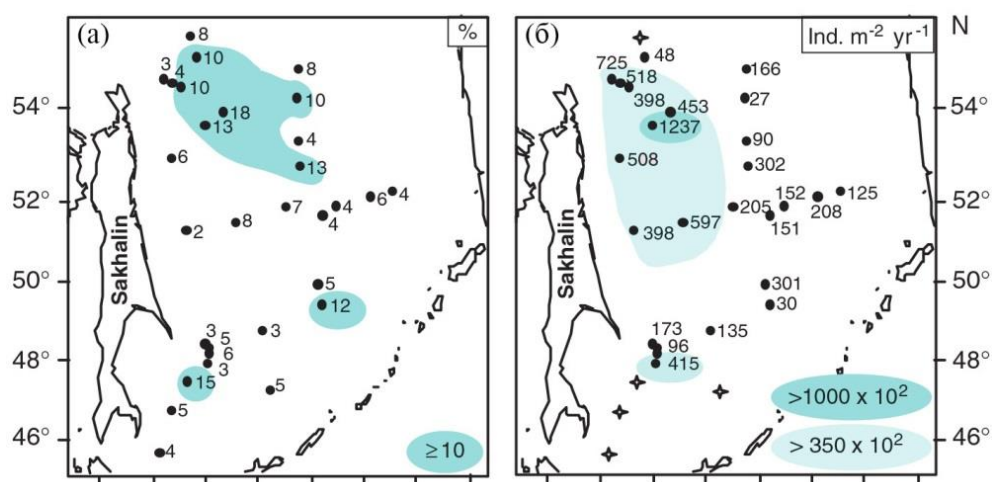


Рисунок 4.1.5. Распределение *Ceratospyris borealis* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelman, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

В *Pseudodictyophimus gracilipes* включены внутривидовые таксоны *Pseudodictyophimus gracilipes bicornis*, *Pseudodictyophimus gracilipes gracilipes*, *Pseudodictyophimus gracilipes multispinus* и *Pseudodictyophimus* sp. *P. gracilipes* – космополит. Широко распространен в Мировом океане и обитает в большом диапазоне глубин: в Арктике от 0 до 300 м, в северо-

восточной части Тихого океана – от 50 до 100 м, в центральной части Северной Пацифики – от 100 до 200 м, в Охотском море – от 100 до 300 м, в западной экваториальной части Тихого океана – от 120 до 200 м, на севере Восточно-Китайского моря – от 300 до 700 м. [Welling et al., 1996; Ishitani, Takahashi, 2007; Ishitani et al., 2008] считают, что данный вид – типичный представитель группы «тропического погружения» – имеет высокие концентрации в высоких широтах на глубинах от 0 до 200м, а в низких широтах на глубине более 200 м.

Cycladophora davisiana – космополит. Широко распространен в различных районах Мирового океана. В Норвежско-Гренландском бассейне обитает на больших глубинах (более 500 м) в холодных ($-0,4-0,8^{\circ}\text{C}$), соленых водах ($\sim 34,9\%$), с высоким содержанием растворенного кислорода (>7 мл/л). С глубиной его численность увеличивается. В Северном Ледовитом океане *C. davisiana* обнаруживается повсеместно в комплексах радиолярий. По данным планктонных ловов и седиментационных ловушек максимальные концентрации вида в Арктическом бассейне обнаружены в море Бофорта на глубинах не менее 500м. В современных осадках Северной Пацифики наибольшие концентрации *C. davisiana* приурочены к глубоководным зонам пограничных течений Ойясио на западе и Калифорнийского на востоке. Здесь происходит активное перемешивание и взаимодействие с водными массами прибрежного происхождения. *C. davisiana* является типичным, но не многочисленным представителем фауны радиолярий Берингова моря, где изучение поверхностных осадков показало, что его процентное содержание увеличивается с глубиной, но не превышает 10% от состава ассоциации даже в глубоководных участках моря (глубже 2000м). В Японском море *C. davisiana* является типичным представителем глубоководного комплекса радиолярий, обитает преимущественно на глубинах более 1000м в холодных ($0-0,5^{\circ}\text{C}$) и соленых ($<34,1\%$) водах с высоким содержанием растворенного кислорода (>5 мл/л). В районах Японского моря, где в современных осадках

обнаружены высокие концентрации *C. davisiana*, приповерхностные водные массы слабо стратифицированы, дихотермальный слой отсутствует, а на глубинах ниже 200 м до дна преобладают гомогенные водные массы.

По мнению [Ling, 1974; Kruglikova, 1975, 1999; Morley, Hays, 1983, Okazaki et al., 2003; Матуль, 2015, 2016] Охотское море является типичным местообитанием *C. davisiana* (рисунок 4.1.6). Согласно данным планктонных ловов и седиментационных ловушек, максимум содержания вида обнаруживается на глубине 200-500 м в пределах верхней части промежуточной водной массы, воды которой характеризуется стабильными гидрологическими параметрами в течение года: низкой температурой (1-2°C), соленостью (33,4-34,3‰) и высоким содержанием растворенного кислорода (~ 5 мл/л).

Р. Кейси с соавторами [Casey et al., 1979] считают, что некоторые виды и группы радиолярий занимают разные экологические ниши и принадлежат к разным частям цепи питания, бактерио- и детритофаги должны доминировать на больших глубинах, нежели виды, питающиеся «свежей» пищей. Исходя из этого Ниммергут и Абельманн [Nimmergut, Abelman, 2002] высказали предположение о том, что продукция *C. davisiana* зависит от пищевых предпочтений (вероятно данный вид является бактерио- и детритофагом) и/или сезонности поступления питательных веществ на промежуточные глубины. При этом экологическую нишу вида сверху ограничивает сильная летняя приповерхностная стратификация вод, и на значительные глубины поступает преимущественно разлагающийся бактериопланктоном фитодетрит. [Okazaki et al., 2003] на основе исследований двух седиментационных ловушек выявили хорошую корреляцию между аккумуляцией *C. davisiana* и общим содержанием органического углерода. Установлена высокая прямая корреляция между содержанием *C. davisiana* и количеством взвешенного терригенного материала (kk 0.67 и 0.61), а также с концентрацией алюминия (kk 0.72 и

0.63). Сделан вывод о том, что главными факторами высокой продукции вида, вероятно, выступают физические условия вод Охотского моря, поступление нутриентов с континентального шельфа, адвекция сезонного морского льда и его последующее таяние. В дальнейшем [Okazaki et al., 2004; Abelman, Nimmergut, 2005] на основе исследований планктона предположили, что численность *C. davisiana*, обитающего на промежуточных глубинах, слабо зависит от усиления или ослабления приповерхностной стратификации вод и от наличия или степени развития дихотермального слоя в Охотском море.

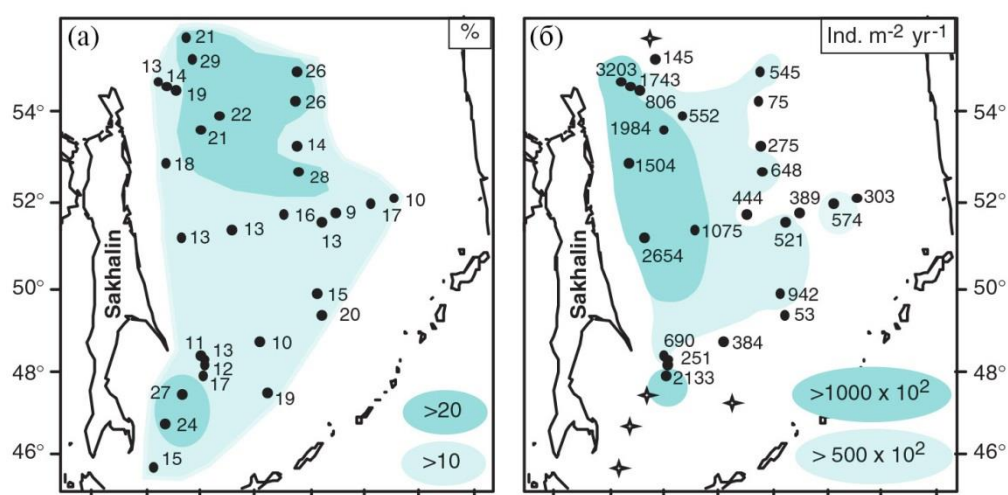


Рисунок 4.1.6. Распределение *Cycladophora davisiana* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelman, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

В группу *Dictyophimus hirundo/crisiae* включены таксоны *Dictyophimus* sp.1, *D. hirundo* и *D. crisiae* – характерные для глубоководных комплексов радиолярий Охотского моря (нижней части охотоморской промежуточной водной массы и более глубоких слоев на глубине 500-1000 м) и Тихого океана. *D. hirundo* – космополит, по мнению [Abelman, Nimmergut, 2005] может быть использоваться в качестве индикатора для палеореконструкций глубоководных условий. В Охотском море повышенная численность вида отмечена в летний и осенний сезоны, и связана с образованием первичной

продуктивности на шельфе Сахалина. [Nimmergut, Abelman, 2002; Abelman, Nimmergut, 2005] считают, что такое увеличение продукции вида в эти периоды может быть обусловлено максимумом продуктивности феоценозов и повышенным экспортом фитодетрита. Высокие скорости аккумуляции вида отмечены в центральной и в юго-западной частях Охотского моря, где глубины превышают 1000м (рисунок 4.1.7).

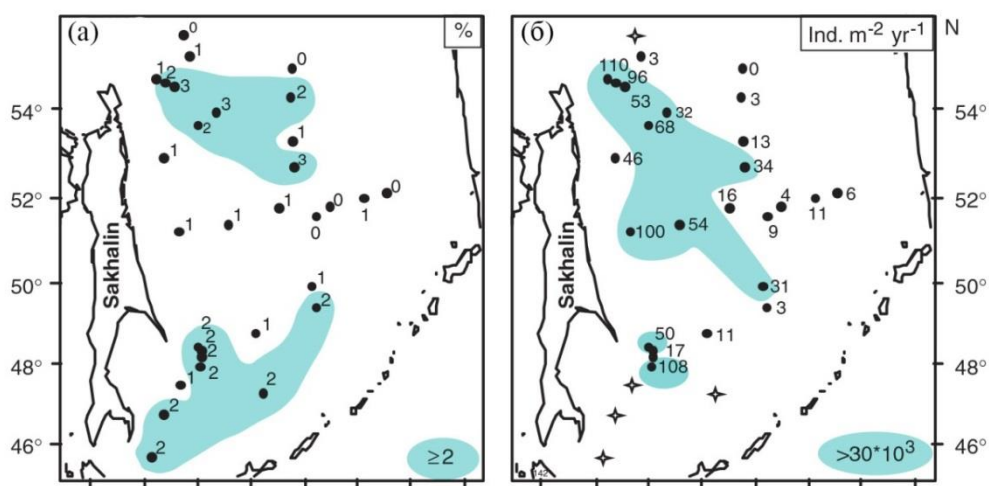


Рисунок 4.1.7. Распределение *Dictyophimus hirundo* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelman, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

Тот факт, что обилие *D. hirundo* зависит от летнего пика продуктивности в Охотском море, подтверждается результатами исследований седиментационных ловушек в северо-восточной части моря, где максимум продуктивности отмечается в конце лета и продолжается вплоть до начала декабря. В поверхностных донных осадках максимум процентного содержания *D. hirundo* сосредоточен в северной и южной частях Охотского моря и отражает тесную связь с глубиной вод. По мнению [Casey, 1977; Nimmergut, Abelman, 2002; Abelman, Nimmergut, 2005; Itaki, 2008], распространение *D. hirundo* связано со специфическими гидрографическими условиями среды, характеризующимися процессами перемешивания, транспортировки кислорода на большие глубины и поставкой питательных

веществ (фитодетрита) из высокопродуктивных поверхностных вод в глубинные водные массы.

Ввиду высокой морфологической изменчивости представителей родов *Phormacantha* и *Plectacantha* и отсутствия значимых критериев для определения данных видов была сформирована группа Plagoniidae spp. Наибольшую долю в группе Plagoniidae spp. составляют два таксона *Plectacantha oikiskos* и *Phormacantha hystrix*. Plagoniidae spp. преобладают в высокоширотных неритических средах, таких как шельфовые области Антарктики (Бассейн Пауэлл и пролив Брансфилд) и прибрежные воды Норвегии, характеризующиеся высокой биологической продуктивностью, а также определенной морфологией, такой как фьорды и крутые шельфовые склоны [Jørgensen, 1905, Wailes, 1937, Abelman, 1992; Nishimura et al., 1997; Nimmergut, Abelman, 2002].

В Охотском море Plagoniidae spp. обитают в широком диапазоне глубин – от 0 до 1000 м (рисунок 4.1.8). В основном питаются фитодетритом, образовавшимся в высокопродуктивных поверхностных водах на шельфовых склонах, и/или бактериями, связанными с поставкой органического вещества из-за повышенной гетеротрофной активности в течение лета. Согласно [Abelman, Nimmergut, 2005] Plagoniidae spp. являются индикаторами современной высокопродуктивной системы в Охотском море, характеризующейся главным образом взаимодействием двух факторов: высокой поставки нутриентов, стимулирующей продукцию фитопланктона в течение лета, и сильной стратификации вод, способствующей высокой гетеротрофной активности и усилению экспорта фитодетрита в течение летнего сезона.

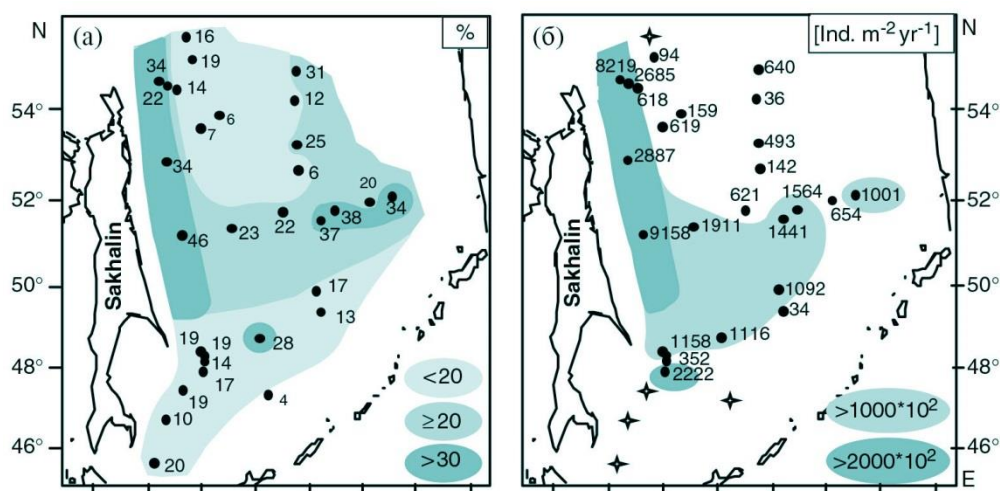


Рисунок 4.1.8. Распределение *Plagoniidae* spp. в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

Siphocampe arachnea – космополит, широко распространённый в Мировом океане, обитает на различных глубинах. *S. arachnea* является одним из доминантов в Беринговом и Охотском морях, обитает на глубинах от 0 до 1000 м (рисунок 4.1.9), в Северной – от 300 до 2000 м (с максимумом содержания на глубине около 300 м), и Субарктической Пацифики. Исследования седиментационных ловушек из субарктической Пацифики и Берингова моря показали, что *S. arachnea*, подобно *L. setosa*, питается фитодетритом и /или бактериями, а максимум его содержания приходится в весенний сезон. В норвежско-гренландских морях и в Северной Атлантике содержание *S. arachnea* не высокое, менее 10%. В южных высокоширотных районах *S. arachnea* является обильным таксоном на глубине более 100 м и присутствует в переходных и субантарктических водах. [Bjørklund, Kruglikova, 2003; Itaki et al., 2003] считают, что вид неприспособлен к обитанию в условиях Северного Ледовитого океана из-за его отсутствия в арктических морях (Чукотском и Бофорта).

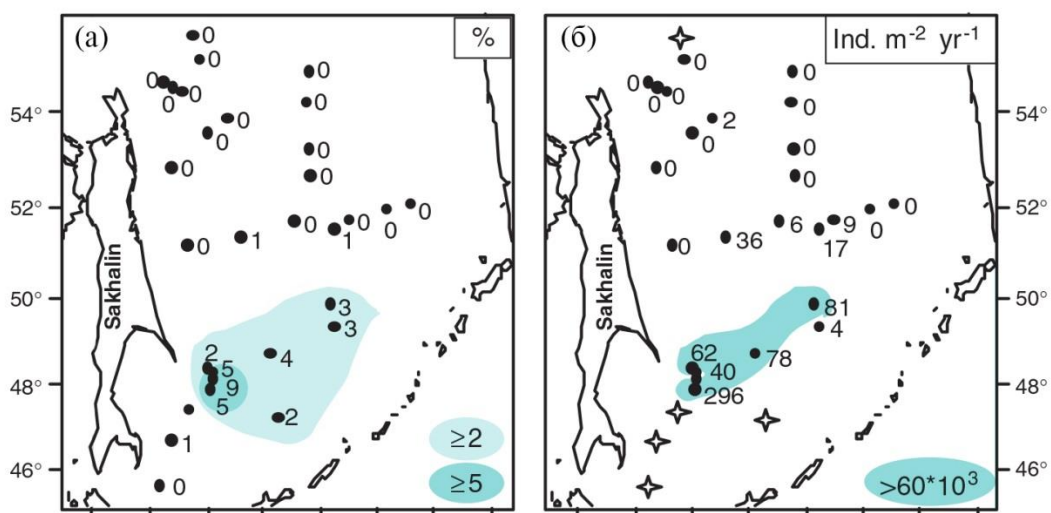


Рисунок 4.1.9. Распределение *Siphosampe arachnea* в поверхностных осадках Охотского моря [Abelmann, Nimmergut, 2005].

(а) – процентное содержание, (б) – скорость аккумуляции.

О виде *Druppatractus variabilis* опубликовано мало экологической информации. Известно, что он обитает на значительных глубинах (400-700м) в относительно теплых (4-8°C) и соленых (34,5‰) водах Калифорнийского залива. Низкие концентрации *D. variabilis* в пробах донного осадка, отобранных с глубины менее 800, и их рост с увеличением глубины отбора позволил [Itaki et al., 2008] сделать вывод о том, что ареал обитания вида может быть связан с нижней частью ОПВМ и теплыми тихоокеанскими глубинными водами.

Приведенные данные о глубине обитания радиолярий сведены в одну таблицу (таблица 4.1) для упрощения интерпретации и систематизации собственных данных.

Глубина обитания таксонов радиолярий в Охотском море

Радиолярии	Глубина обитания	Литературные источники
<i>Spongotrochus glacialis</i>	0-200 м (максимум 0-50 м)	Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Stylochlamyidium venustum</i>	0-200 м (максимум 0-50 м)	Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Lithomelissa setosa</i>	0 - 200 м	T. Itaki et al., [2008]
<i>Actinomma leptoderma/boreale</i>	0 - 200 м	T. Itaki et al., [2008]
<i>Rhizoplegma boreale</i>	50-200 м (максимум 150 - 200 м)	Nimmergut, Abelmann, [2002]; Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Antarctissa (?)</i> sp.1	50 - 200 м	Nimmergut, Abelmann, [2002]; Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Ceratospyris borealis</i>	50 - 500 м (максимум 50 - 200 м)	Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Pseudodictyophimus gracilipes</i>	100 - 300 м	Okazaki et al., [2004]
<i>Cycladophora davisiana</i>	200-1000 м (максимум 200 - 500 м)	Nimmergut, Abelmann, [2002]; Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Dictyophimus hirundo/crisiae</i>	200 - 1000 м (максимум 500 - 1000 м)	Abelmann, Nimmergut, [2005]; Okazaki et al., [2004]
Plagoniidae spp.	0-1000 м (максимум 200 - 500 м)	Abelmann, Nimmergut, [2005]
<i>Siphocampe</i>	0 - 1000 м	Kling, Boltovskoy, [1995]

<i>arachnea</i>		
<i>Druppatracus variabilis</i>	1000 – 1200 м	T. Itaki et al., [2008]

Сведения о глубине обитания таксонов радиолярий и картина их количественного распределения в осадках указывают на то, что в Охотском море радиолярий обитают широком диапазоне глубин, от поверхности до ~ 1000м. Популяции же современных массовых видов обнаруживаются в основном на глубинах 200 – 500 м.

4.2. Распределение видов и видовых групп радиолярий в центральной части Охотского моря за последние 135 тысяч лет

Согласно адаптированной возрастной модели изученные осадки керна MR 06-04 PC-7R (0-630 см) охватывают несколько морских изотопных стадий (МИС): 1 – 6 (0-135 тыс. лет). Вскрытая осадочная толща включает сведения о двух межледниковых (МИС 5 и 1), двух ледниковых (МИС 4 и 2) и одной переходной, относительно теплой (МИС 3) стадиях. Границы стадий расположены на следующих горизонтах керна: 6/5 (129,5 тыс. лет) – 600 см, 5/4 (74 тыс. лет) – 288 см, 4/3 (59 тыс. лет) – 218 см, 3/2 (28 тыс. лет) – 112 см, 2/1 (14,7 тыс. лет) – 47 см.

На основе экологической информации (таблица 4.1), выделены группы радиолярий, преимущественно обитающие в Охотском море в пределах: 1) поверхностной водной массы, 2) подповерхностной водной массы (дихотермального слоя), 3) в промежуточной и глубинной водных массах. Рассмотрим особенности распределения относительного содержания (%) и скоростей аккумуляции (экз./см²/тыс. лет) таксонов радиолярий в осадках

керна согласно возрастной модели с привлечением дополнительных данных (IRD и стек палеопродуктивности).

Группа 1. Радиоларии поверхностного слоя водной толщи. В группу включены взрослые и ювенильные формы видов *Spongotrochus glacialis* и *Stylochlamydidium venustum*.

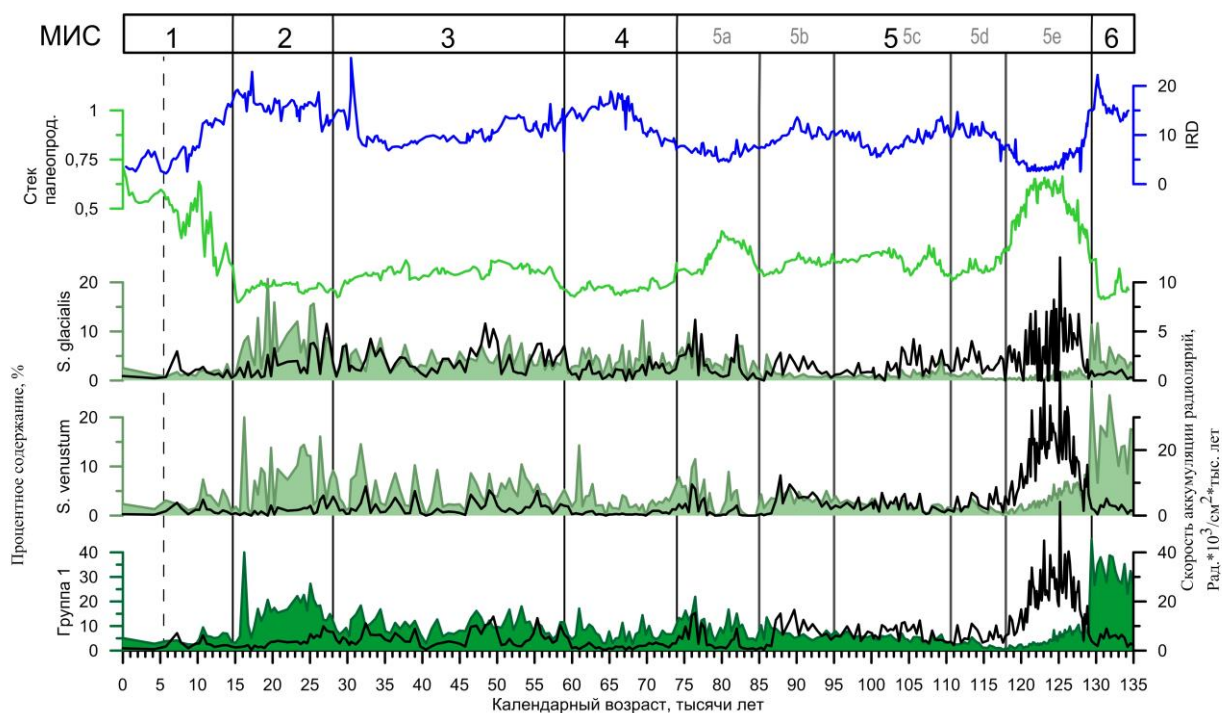


Рисунок 4.2.1. Процентное содержание и скорости аккумуляции радиоларий поверхностной водной массы Охотского моря, стек палеопродуктивности и записи материала ледового разноса (IRD) за последние 135 тыс. лет. На графиках заливкой показано процентное содержание таксонов радиоларий, линией – их скорости аккумуляции.

Записи процентного содержания *Spongotrochus glacialis* и *Stylochlamydidium venustum*, демонстрируют практически идентичное распределение: высокие значения отмечены в холодные МИС (6 и 2), низкие – в межледниковые МИС (5 и 1). Распределение скоростей аккумуляции для видов также во многом синхронно: высокие значения характерны для МИС 5е, 5а и МИС 3 (рисунок 4.2.1).

Процентное содержание группы наиболее согласуется с записями содержания IRD в осадке керна. Увеличение содержания видов радиолярий наблюдается во время ледниковых МИС: в конце ледниковой МИС 6 (35-45% от состава ассоциации), и в течение МИС 2 (15-20%). Во время межледниковых периодов (МИС 1 и МИС 5) относительное содержание данной группы видов не превышает 3-5% от состава ассоциации.

Скорость аккумуляции (СА) видов группы значительно отличается от тренда процентного содержания и более зависит от продуктивности региона. При высоких значениях процентного содержания группы (ледниковые МИС 6 и 2) СА демонстрируют крайне низкие значения (рисунок 4.2.1) и постепенно возрастают в период с середины МИС 5с до окончания МИС 5b, и во время МИС 3.

Группа 2. Радиолярии подповерхностного слоя водной толщи. В группу включены следующие таксоны – *Lithomelissa setosa*, *Actinomma leptoderma/boreale*, *Rhizoplegma boreale*, *Ceratospyris borealis* и *Pseudodictyophimus gracilipes*.

Процентное содержание *Lithomelissa setosa* низкое и достигает в период межледниковой МИС 5 только 5%. В промежутке от МИС 4 до МИС 1 встречены только единичные экземпляры данного вида (Рис. 4.2). Кривые распределения СА и процентного содержания *L. setosa* в целом синхронны.

Процентное содержание группы *Actinomma leptoderma/boreale* невысокое. В ледниковые МИС 6 и МИС 4, а также во второй половине МИС 3 колеблется в пределах 5-6%, в то время, когда содержание других доминирующих таксонов снижается. Во время максимума последнего оледенения (МИС 2 – 23,1-17,5 тыс. лет назад) содержание *A. leptoderma/boreale* достигает максимальных концентраций (23%). СА данной группы видов имеет повышенные значения во время МИС 5 (особенно МИС

5е), во второй половине МИС 3 и в течение МИС 2. В целом можно отметить сходство в распределении значений СА и процентного содержания группы.

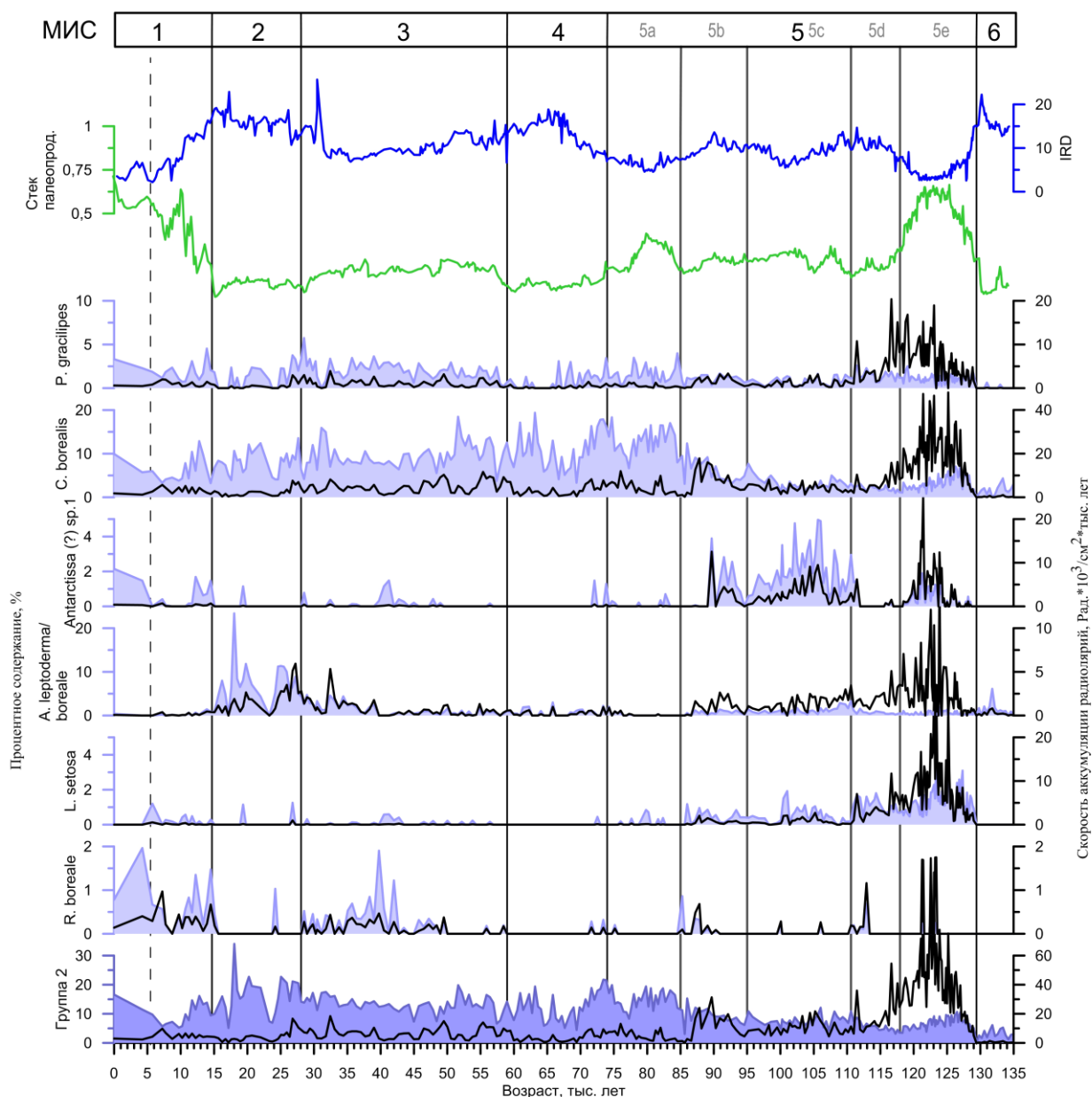


Рисунок 4.2.2. Процентное содержание и скорости аккумуляции радиоларий подповерхностной водной массы Охотского моря, стек палеопродуктивности и записи материала ледового разноса (IRD) за последние 135 тыс. лет. На графиках заливкой показано процентное содержание таксонов радиоларий, линией – их скорости аккумуляции.

Процентное содержание вида *Rhizoplegma boreale* относительно невелико. Единичные экземпляры обнаружены в течение МИС 5, процентное содержание достигает 1-2% во время второй половины межстадиальной МИС 3, а так же время голоцена МИС 1 (Рис. 4.2). Кривые распределения СА и процентного содержания вида в целом синхронны (рисунок 4.2.2).

Представители *Antarctissa* (?) sp. 1 обнаружены в небольших количествах (первые 5%) только во время межледниковий МИС 5 (в подстадии 5е, 5с, 5b) и МИС 1. Значения СА и процентное содержание изменяются аналогично.

Для *Ceratospyris borealis* записи процентного содержания распределены весьма неоднородно. В конце МИС 6 и в течение последующей МИС 5, (вплоть до конца МИС 5b), наблюдается низкие значения – не более 10%. С наступлением МИС 5а, а также во время МИС 4, 3 и 2 процентное содержание значительно увеличивается вплоть до 15-20%. А в голоцене (МИС 1) вновь снижается до 5-10%. Наибольшие величины СА *C. borealis* фиксируются в пределах МИС 5е, повышенные – в МИС 5b и в МИС 3. Крайне низкие – во время относительно теплой МИС 5а и ледниковые МИС 6 и 2, когда процентное содержание вида, наоборот, имело довольно высокие значения (15-20%) (Рис. 4.2). Кривые распределения СА и процентного содержания значительно различаются.

Процентное содержание *Pseudodictyophimus gracilipes* низкое, в среднем 2-3% от состава ассоциации, увеличивается до 5% на границе МИС 3 и 2. Вариативность распределения СА гораздо выше процентного содержания за счет пиковых значений в МИС 5, поэтому на данном этапе синхронность или асинхронность в распределении признаков сложно отследить.

Повышенные значения *процентного содержания* группы наблюдаются в период МИС 5b – МИС 1. Во время межледниковья МИС 5е - 5с, а также во время среднего голоцена оно существенно ниже, преимущественно за счет увеличения доли других видов радиолярий (рисунок 4.2.2).

Кривые скорости аккумуляции и процентного содержания группы значительно различаются. Распределение СА лучше согласуется с показателем палеопродуктивности региона. Это находит отражение в их повышенных значениях во время теплых МИС и пониженных – в холодные МИС.

Группа 3. Радиоларии промежуточной и глубинной водной массы. В группу включены следующие таксоны – *Cycladophora davisiana*, *Dictyophimus hirundo/crisiae*, *Plagoniidae* spp., *Siphocampe arachnea* и *Druppatracus variabilis*.

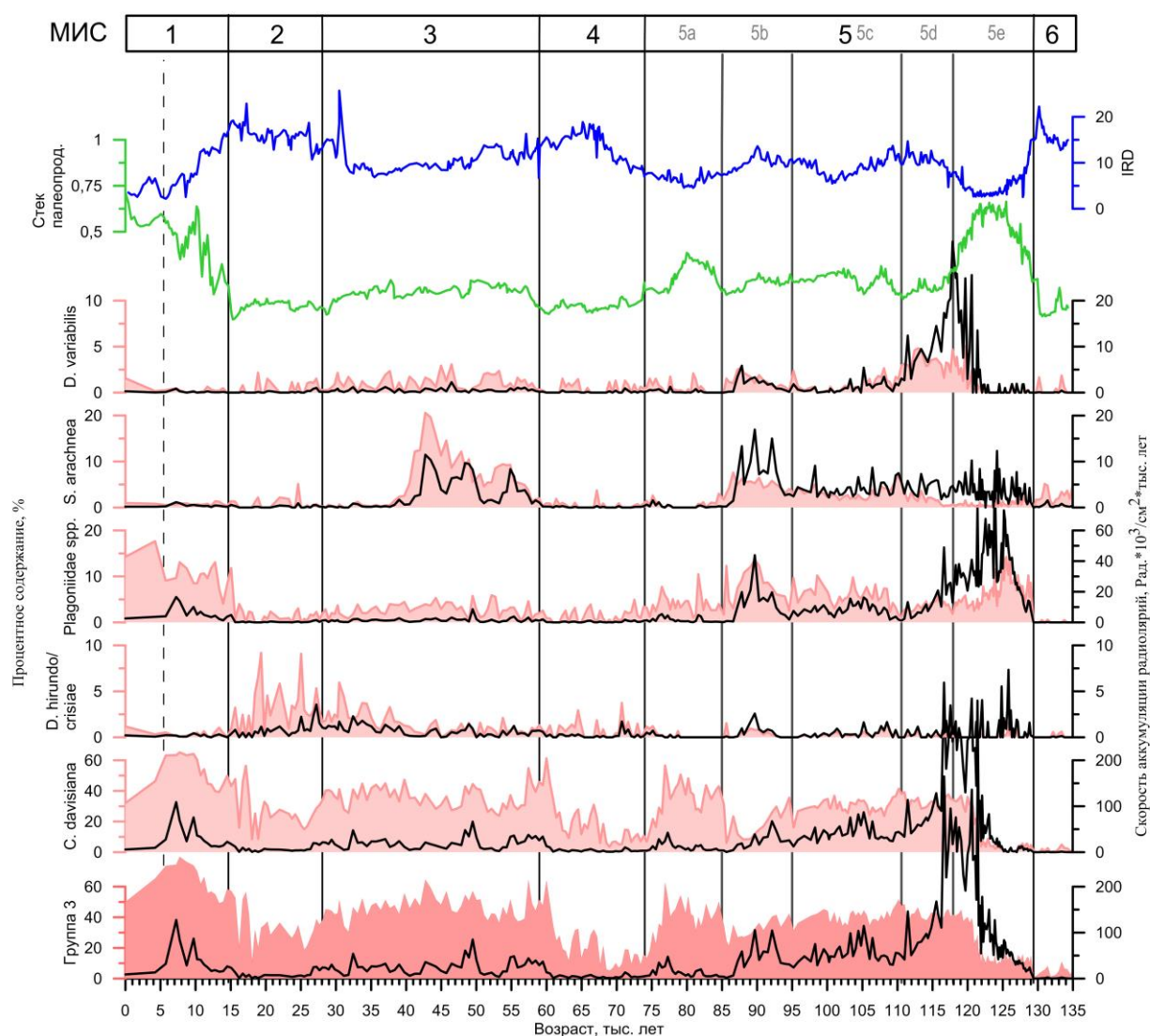


Рисунок 4.2.3. Процентное содержание и скорости аккумуляции радиоларий промежуточной и глубинной водной массы Охотского моря, стек

палеопродуктивности и записи материала ледового разноса (IRD) за последние 135 тыс. лет. На графиках заливкой показано процентное содержание таксонов радиолярий, линиями – их скорости аккумуляции.

Согласно полученным данным *Cycladophora davisiana* является основным доминирующим видом. Распределение его относительного содержания и скорости аккумуляции в осадках керна весьма неоднородно. Процентное содержание вида с конца ледниковой МИС 6 и практически до финальной стадии оптимума межледниковья МИС 5е (135-122 тыс. лет назад) не превышало 5% от состава ассоциации, СА в этот период также имели практически нулевые значения. В конце МИС 5е содержание вида возросло до 30-40% и столь высокие значения сохранялись вплоть до середины МИС 5b (121,4-90 тыс. лет назад). Начиная с середины МИС 5b и до конца подстадии (90-87 тыс. лет назад) происходило снижение его относительного содержания вплоть до 10%. В течение теплой подстадии МИС 5a (85,5-76 тыс. лет назад) наблюдается рост процентного содержания *C. davisiana* до 40-50% от состава ассоциаций. Далее на границе МИС 5 / МИС 4 содержание вида значительно снижается до 5-7%. При переходе от суровых условий оледенения МИС 4 к более мягким условиям межстадиальной МИС 3 процентное содержание *C. davisiana* снова возрастает до 50-60%, и в течение всей МИС 3 составляет приблизительно 40%. В течение последующей ледниковой МИС 2 оно значительно варьирует – снижается в начале МИС 2 до 20-30%, но затем резко увеличивается в период максимума последнего оледенения до 50% и сохраняется на данном уровне в период начального и среднего голоцена. Последующий спад с 65 до 32% в позднем голоцене (последние 5.5 тысяч лет) совпадает с началом роста содержания биогенного кремнезема как следствия увеличения численности диатомовых водорослей. Такая деградация содержаний *C. davisiana*, возможно объясняется увеличением доли видов радиолярий, рост продукции которых непосредственно зависит от уровня продуктивности фитопланктона

(Plagoniidae spp., *C. borealis*) (рисунок 4.2.3). Записи СА *C. davisiana* хорошо согласуются с трендами изменения продуктивности, показывая увеличение доли *C. davisiana* во время теплых МИС (за исключением начала МИС 5e) при более мягких ледовых условиях, и уменьшение – во время холодных МИС 2, 4 и 6 при более суровых ледовых условиях. В силу значительного различия в размахе вариации на графиках можно обнаружить лишь частичное сходство в распределении показателей процентного содержания и скоростей аккумуляции *C. davisiana*.

Процентное содержание группы *Dictyophimus hirundo/crisiae* не превышает 10% от состава ассоциации. Во время ледниковой МИС 6 и последующей межледниковой МИС 5 концентрации *D. hirundo/crisiae* малы (не более 1%). С начала холодной МИС 4 и на протяжении межстадиальной МИС 3 содержание представителей группы увеличивается до 3-6%. Во время последующего ледникового интервала МИС 2 (68 см ~ 19,74 тыс. лет и 94 см ~ 24 тыс. лет) отмечается максимум процентного содержания вида (9%), при снижении содержаний других доминирующих таксонов. Далее, на протяжении последующего межледниковья МИС 1 процентное содержание вновь снижается до 0-1%. СА на всем интервале керн имеют очень низкие значения, незначительно возрастающие только в МИС 5e и в конце МИС 3 (рисунок 4.2.3). Кривые распределения СА и процентного содержания *D. hirundo/crisiae* в целом синхронны.

Процентное содержание группы Plagoniidae spp. достигает максимальных значений 10-17% только во время межледниковий МИС 5 (особенно в МИС 5e и МИС 5b) и МИС 1. Во время оледенений МИС 6, 4 и 2 содержание Plagoniidae spp. не превышало 2-4% от состава ассоциации радиолярий. СА Plagoniidae spp. согласуются с записями относительного содержания, увеличиваясь в теплые МИС 5 (в конце МИС 5e, а также в МИС 5b) и МИС 1 и снижаясь практически до нулевых значений в более холодные МИС 6, 4 - 2. Графическое отображение распределения значений

процентного содержания и скоростей аккумуляции демонстрирует в целом прямую связь между этими показателями.

Процентное содержание *Siphocampe arachnea* в течение МИС 5е – МИС 5b составляет в среднем 5-7%. Максимум – около 20% наблюдается в первой половине МИС 3. Во время МИС 6, 4, 2 и голоцена МИС 1 оно не превышало 2-4% от состава ассоциации радиолярий. Записи распределения СА *S. arachnea* показывают аналогичные тренды с распределением его процентного содержания. На фоне низких значений, близких к нулю выделяется 2 максимума СА во время МИС 5b и в МИС3.

Относительное содержание вида *Druppatracus variabilis* начиная с конца ледниковой МИС 6 и вплоть до заключительного этапа оптимума межледникового МИС 5е имеет очень низкие значения (0-2,5%), которые возрастают до 5% в период окончания МИС 5е и сохраняются на этом уровне до завершения подстадии МИС 5d. Начиная с последующей МИС 5с по МИС 1 включительно, процентное содержание вида не превышает первые проценты. Тренды СА изменяются синхронно с трендами процентного содержания. Максимум СА *D. variabilis* наблюдается в конце МИС 5е.

Следует отметить, что и СА и процентное содержание видов *D. variabilis* и *C. davisiana* были очень низкими в начальный этап оптимума последнего межледникового МИС 5е (рисунок 4.2.3). Продукция ОПВМ тогда сильно сокращалась и на условия промежуточных глубин в центральной части Охотского моря существенно влияли более теплые тихоокеанские водные массы. Кроме того, важным является и то, что содержание и СА этих видов синхронно возрастали в финальную стадию сильного межледникового оптимума МИС 5е, когда происходило ослабление доминирующего влияния тихоокеанских водных масс на обстановку Охотского моря и возникала дихотермальная структура современного охотоморского типа. В это время происходило усиление формирования ОПВМ, что может указывать на прямую связь продукции *D. variabilis* с поступлением питательных веществ

на промежуточные глубины при формировании ОПВМ и обратную – с привносом глубинных тихоокеанских вод. Однако, начиная с МИС 5с и до конца МИС 1, наблюдается очень низкое содержание *D. variabilis* при наличии современной охотоморской стратификации, интенсивной продукции ОПВМ и ослаблении влияния теплых тихоокеанских водных масс на промежуточные глубины центральной части Охотского моря.

Процентное содержание и скорости аккумуляции группы демонстрируют синхронность в кривых распределения и увеличиваются в теплые МИС 5, 3 и 1 (за исключением начала МИС 5е) при более мягких ледовых условиях, а уменьшаются во время холодных МИС 2, 4 и 6 при более суровых ледовых условиях (рисунок 4.2.3).

Вымершие виды

В результате радиоляриевого анализа в осадках керна помимо видов радиолярий, для которых опубликована более или менее надежная экологическая и биогеографическая информация, идентифицированы и вымершие в Охотском море виды – *Amphimelissa setosa* и *Lychnocanoma nipponica sakaii*.

Amphimelissa setosa обнаружен в интервале 630-292 см ~ 134.3-76 тыс. лет. Максимум относительного содержания (65%) приходится на период оптимума межледниковья МИС 5е (рисунок 4.2.4). С наступлением холодной подстадии МИС 5d, содержание вида значительно снижается до 10-15% и остается на данном уровне практически до конца подстадии МИС 5b. В ее конце относительное содержание вида резко падает до 0,5-1%. Последние экземпляры *A. setosa* были найдены на границе МИС 5/4 (292 см ~ 76 тыс. лет назад). Согласно опубликованным данным, последние находки экземпляров вида в Охотском море обнаруживаются в пределах ледниковой МИС 4 и соответствует по разным данным: 85 тыс. лет [Okazaki et al., 2005], 72 тыс. лет [Matul et al., 2002] и 64 тыс. лет [Matul et al., 2009].

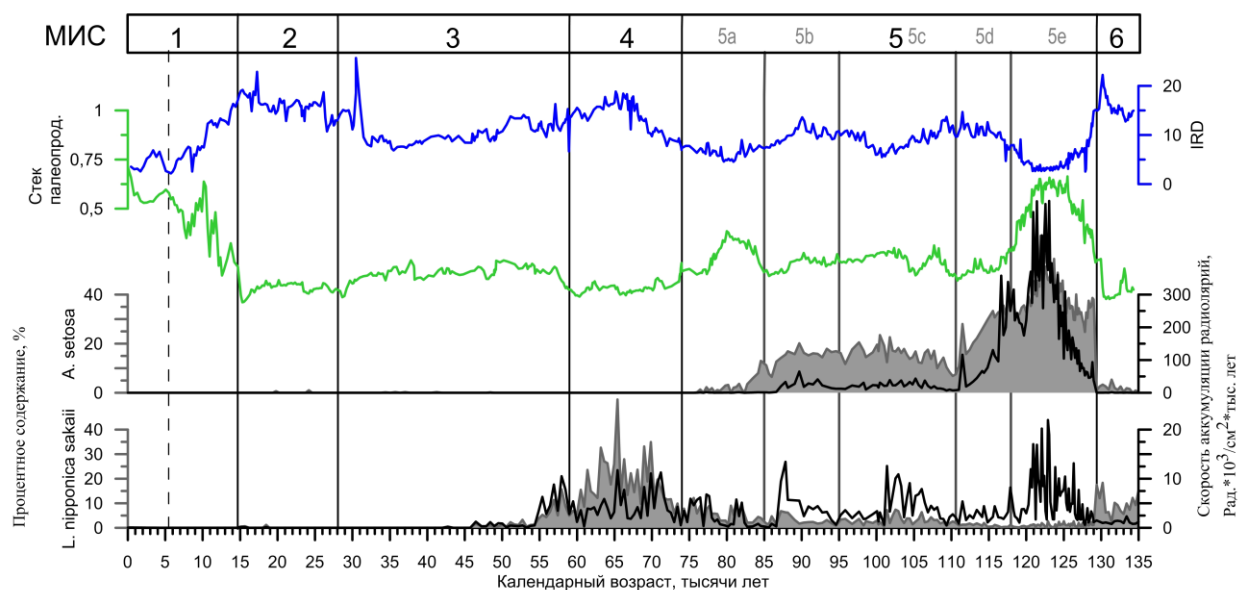


Рисунок 4.2.4. Процентное содержание и скорости аккумуляции вымерших видов радиолярий в Охотском море, стек палеопродуктивности и записи материала ледового разноса (IRD) за последние 135 тыс. лет. На графиках заливкой показано процентное содержание таксонов радиолярий, линией – их скорости аккумуляции.

Записи СА вида несколько отличаются от его процентного содержания, демонстрируя, однако, довольно схожие тенденции. В начале оптимума межледниковья МИС 5е СА вида увеличиваются более плавно по сравнению с резко возрастающим процентным содержанием. Максимальных значений СА достигают в конце МИС 5е, затем они резко снижаются в течение последующей подстадии МИС 5d. Далее, до окончания МИС 5а СА плавно снижаются (рисунок 4.2.4). Современное же распространение вида *A. setosa* ограничено Арктическим и Северным морями [Кругликова, 1989], где он является мелководным [Itaki et al., 2003]. В субарктической области Северной Атлантики, *A. setosa* обитает преимущественно в подповерхностной продуктивной, хорошо перемешанной, холодной и соленой водной массе с выровненными по вертикали параметрами и высоким содержанием биогенных элементов [Matul, Abelmann, 2005].

Lychnocanoma nipponica sakaii идентифицирован осадках, сформировавшихся в период с окончания МИС 6 до середины МИС 3 (135-46,4 тыс. лет), с максимумом относительного содержания (52%) во время оледенения МИС 4 (~ 72-60 тыс. лет) (рисунок 4.2.4). Это согласуется с опубликованными данными о нахождении последних экземпляров *L. nipponica sakaii* в Охотском море в пределах МИС 3: 28 тыс. лет [Matul et al., 2002], 34 тыс. лет [Matul et al., 2009], 47-49 тыс. лет [Okazaki et al., 2003], 47-48 тыс. лет [Okazaki et al., 2005], и 56-57 тыс. лет [Okazaki et al., 2003; Takahashi et al., 2000]. Максимальное содержание вида в Охотском море зафиксировано в слое донного осадка, накопившегося около 72 тыс. лет назад [Matul et al., 2002].

Записи СА *L. nipponica sakaii* существенно отличаются от распределения процентного содержания. Так, например, в МИС 6 и 4, на фоне высокого процентного содержания вида его СА имели крайне низкие значения. Интерпретация записей распределения *L. nipponica sakaii* осложнена практически полным отсутствием в современной литературе сведений о его экологии.

Следует отметить, что в период оледенения МИС 4, когда был отмечен максимум процентного содержания *L. nipponica sakaii*, содержание *C. davisiana* – основного доминирующего вида стремилось к нулю (Рис.4.3 и 4.4). Далее, в финальную стадию оледенения при переходе к более мягким климатическим условиям МИС 3, содержание *L. nipponica sakaii* постепенно снижалось, а *C. davisiana* – возрастало. В распределении этих двух видов прослеживается практически зеркальная тенденция (соотношение минимум – максимум и последующее вымирание одного из участников), которая предположительно могла возникнуть вследствие либо конкуренции этих видов (предположительно населявших одну экологическую нишу), либо из-за климатических изменений. При этом условия среды Охотского моря стали не пригодны для жизнедеятельности вида *L. nipponica sakaii*.

Анализ распределения рассмотренных количественных показателей радиолярий, а также некоторых палеохарактеристик их среды обитания на основе графиков, показал определенную линейную синхронность в поведении некоторых из них. Это позволило применить некоторые методы математической статистики для объяснения внутривидовых связей.

4.3. Комплексы радиолярий (на основе R-кластерного анализа)

Распределение количественных показателей радиолярий и некоторых геохимических характеристик палеосреды были проверены на соответствие закону нормального распределения (ЗНР) с помощью критерия Колмогорова-Смирнова. Как показали расчеты, распределение полученных данных довольно близко к нормальному, однако, проведение математического моделирования требует некоторых простейших математических преобразований (Рис. 4.3.1). Возможность приведения компонентов базы данных к ЗНР позволяет использовать корреляционный и кластерный анализы для ее обработки.

Определение силы и направленности линейных связей было выполнено с помощью расчета корреляционной матрицы. При этом использованы данные по таксонам, достигающим $>1\%$ концентрации хотя бы в нескольких пробах. Для облегчения ее интерпретации полученных результатов была проведена кластеризация параметров с помощью одноименного статистического метода.

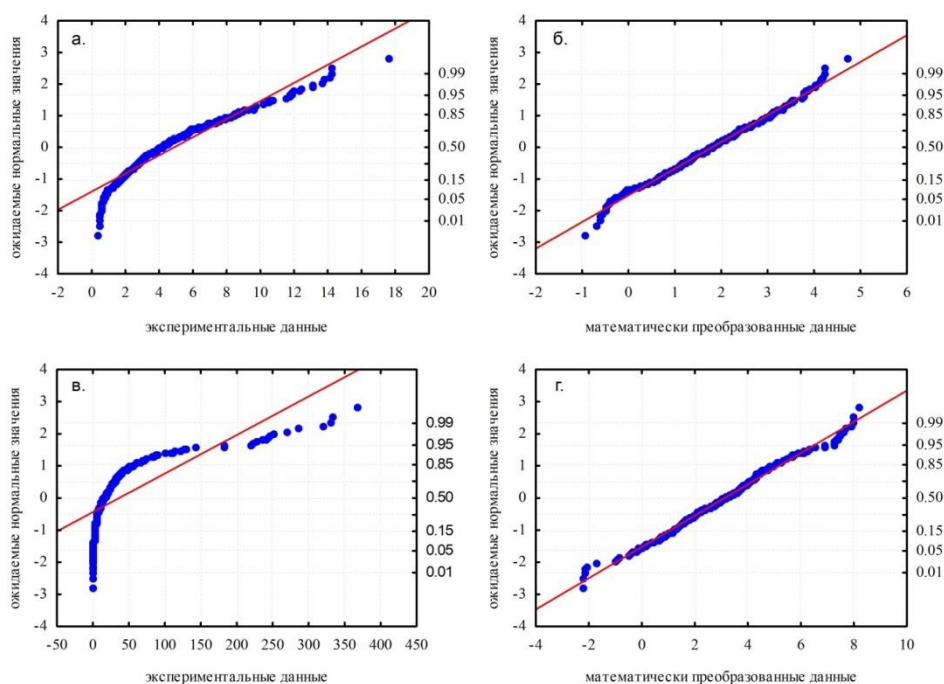


Рисунок 4.3.1. Распределение экспериментальных данных на вероятностной бумаге до и после математических преобразований на примере процентного содержания *Plagoniidae* spp. (а, б) и скорости аккумуляции *Cycladophora davisiana* (в, г).

Комплексы радиолярий на основе R-кластерного анализа их скоростей аккумуляции

Кластеризация корреляционных связей таксонов выделила три группы (рисунок 4.3.2; Приложение Г, таблица 2).

Комплекс 1. Представители группы (рисунок 4.3.3) наименее связаны с другими видами радиолярий, и практически не имеют с ними значимых КК. Согласно литературным данным, на распространение группы видов *D. hirundo/crisiae*, входящих в комплекс, влияют специфические условия среды, характеризующимися процессами перемешивания, транспортировки кислорода и поставки питательных веществ из высокопродуктивных поверхностных вод на большие глубины [Casey, 1977; Nimmergut, Abelmann, 2002; Abelmann, Nimmergut, 2005; Itaki, 2008].

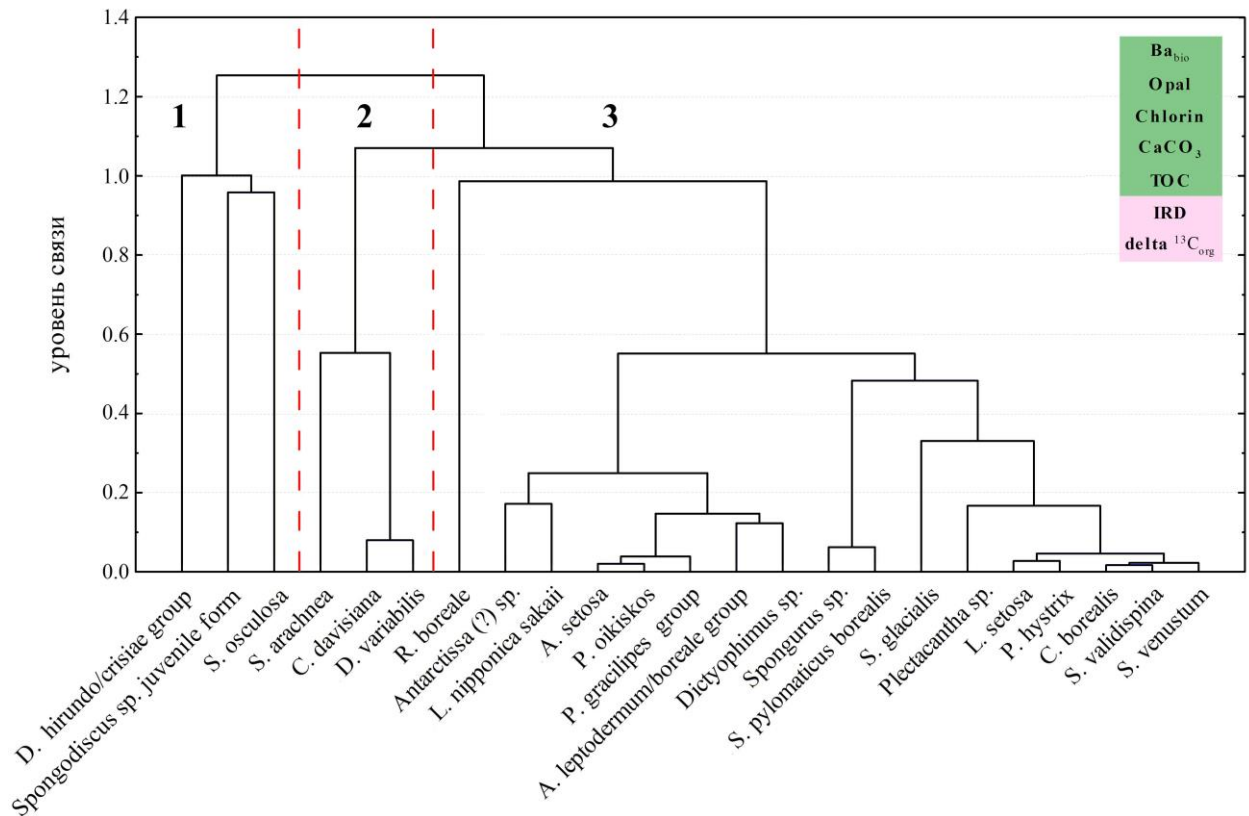


Рисунок 4.3.2. R-кластерная дендрограмма связи между таксонами радиолярий на основе значений их СА.

Экологические предпочтения других представителей группы в настоящее время мало изучены. Положительные КК с Ba_{bio} и $CaCO_3$ и отрицательные — с $\delta^{13}C_{org}$ — свидетельствуют о том, что на продукцию радиолярий комплекса влияет поступление нутриентов с высокопродуктивной поверхности моря и его шельфа на большие глубины преимущественно в составе терригенной органики.

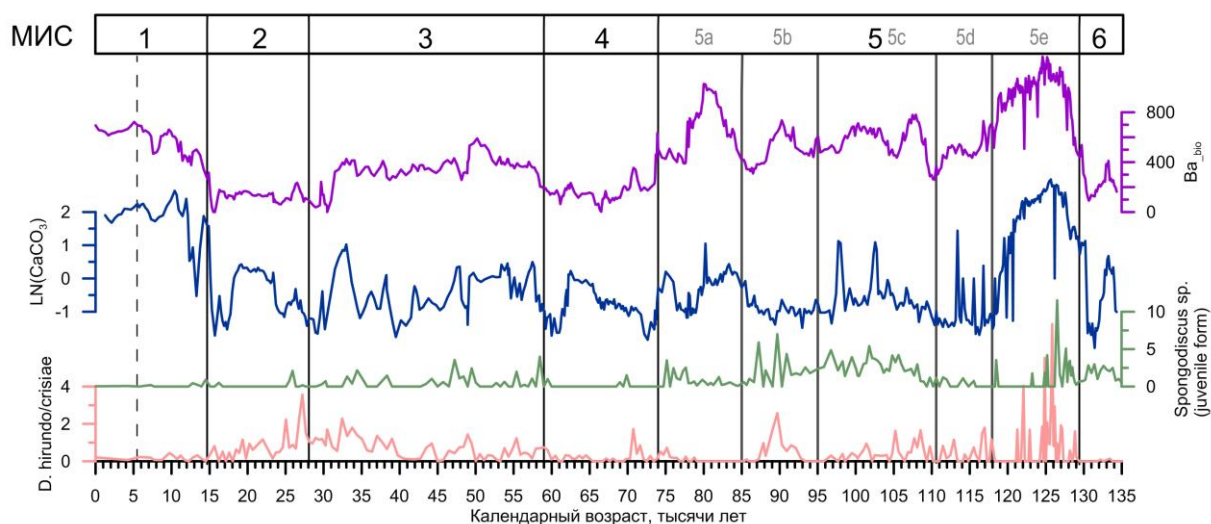


Рисунок 4.3.3. Скорости аккумуляции радиолярий Комплекса 1; содержание в осадке керна Ba_{bio} , $CaCO_3$.

Комплекс 2. Включает таксоны, обитающие в Охотском море преимущественно на мезопелагических глубинах и имеющие гетеротрофный тип питания (питаются бактериями и/или фитодетритом) (рисунок 4.3.4). Представители данной группы обладают устойчивыми линейными связями между собой. Также выявлены положительные КК таксонов с Ba_{bio} и $Oral$, и отрицательные – с IRD и $\delta^{13}C_{org}$. Следовательно, необходимым условием для продукции радиолярий данного комплекса, подобно Комплексу 1, является поступление достаточного количества нутриентов в промежуточные и глубинные водные массы Охотского моря с высокопродуктивной поверхности моря и его шельфовых областей.

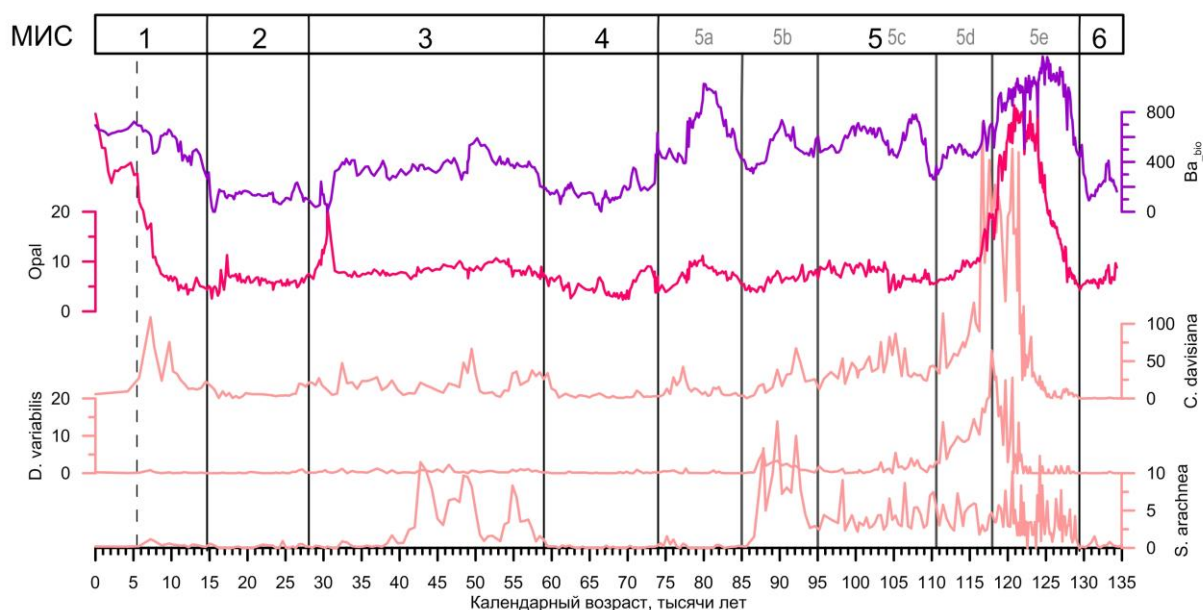


Рисунок 4.3.4. Скорости аккумуляции радиолярий Комплекса 2; содержание в осадке керна Ba_{bio} , Opal.

Комплекс 3. Характеризуется наиболее тесными внутригрупповыми связями. Представители комплекса, за исключением вымерших видов (*L. nipponica sakaii* и *A. setosa*), обитают в Охотском море преимущественно в пределах поверхностной и подповерхностной водной массы (рисунок 4.3.5). Некоторые из них (*C. borealis*, Plagoniidae spp. (*Phormacantha hystrix*, *Plectacantha* sp., *Plectacantha oikiskos*)) при этом способны перемещаться в водной толще на различные глубины в зависимости от наличия благоприятных условий для их жизнедеятельности. Между представителями комплекса обнаружены устойчивые корреляционные связи. Их продукция, предположительно, напрямую связана с объемом органического вещества (фитодетрита, образовавшегося в поверхностных водах на шельфовых склонах, и бактерий). Это подтверждается прямыми корреляционными связями радиолярий комплекса с индикаторами палеопродуктивности и обратными связями – с IRD и $\delta^{13}C_{org}$. Следует отметить, некоторую обособленность вида *R. boreale* в кластерной дендрограмме, что, возможно,

объясняется оппортунистическим типом поведения – способностью сезонно изменять свое географическое распределение, мигрируя в пределах подповерхностного слоя в разные районы моря.

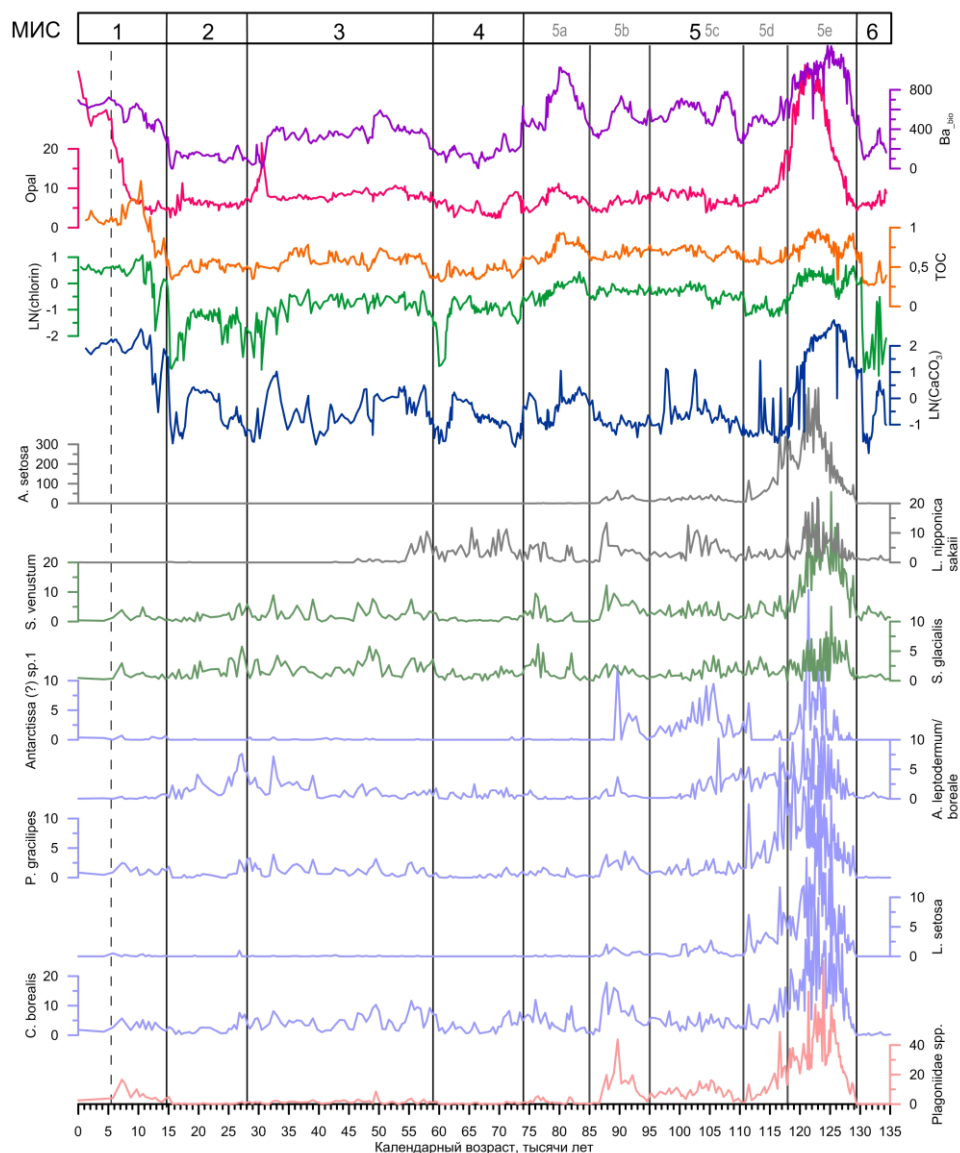


Рисунок 4.3.5. Скорости аккумуляции радиолярий Комплекса 3; содержание в осадке керн Ba_{bio} , Opal, chlorin, TOC, $CaCO_3$.

В настоящее время условия окружающей среды, послужившие причиной подобного распределения и миграций данного вида, пока недостаточно изучены. С *R. boreale* обладают прямыми корреляционными связями с индикаторами палеопродуктивности и обратными – с IRD. С

$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ значимых КК не было выявлено. Это может указывать на то, что продукция данного вида зависит от поступления органики в водную толщу и ледовых условий региона.

Кластеризация корреляционных связей между скоростями аккумуляции радиолярий выявила три комплекса, в разной степени зависящих от наличия питательных веществ, увеличения доли терригенной органики, поступающей в водную толщу, и ледовых условий региона.

Комплексы радиолярий на основе R-кластерного анализа относительного содержания видов

Аналогично, кластерная обработка значений относительного содержания таксонов радиолярий позволила выделить обособленные три группы (рисунок 4.3.6; Приложение Г, таблица 1).

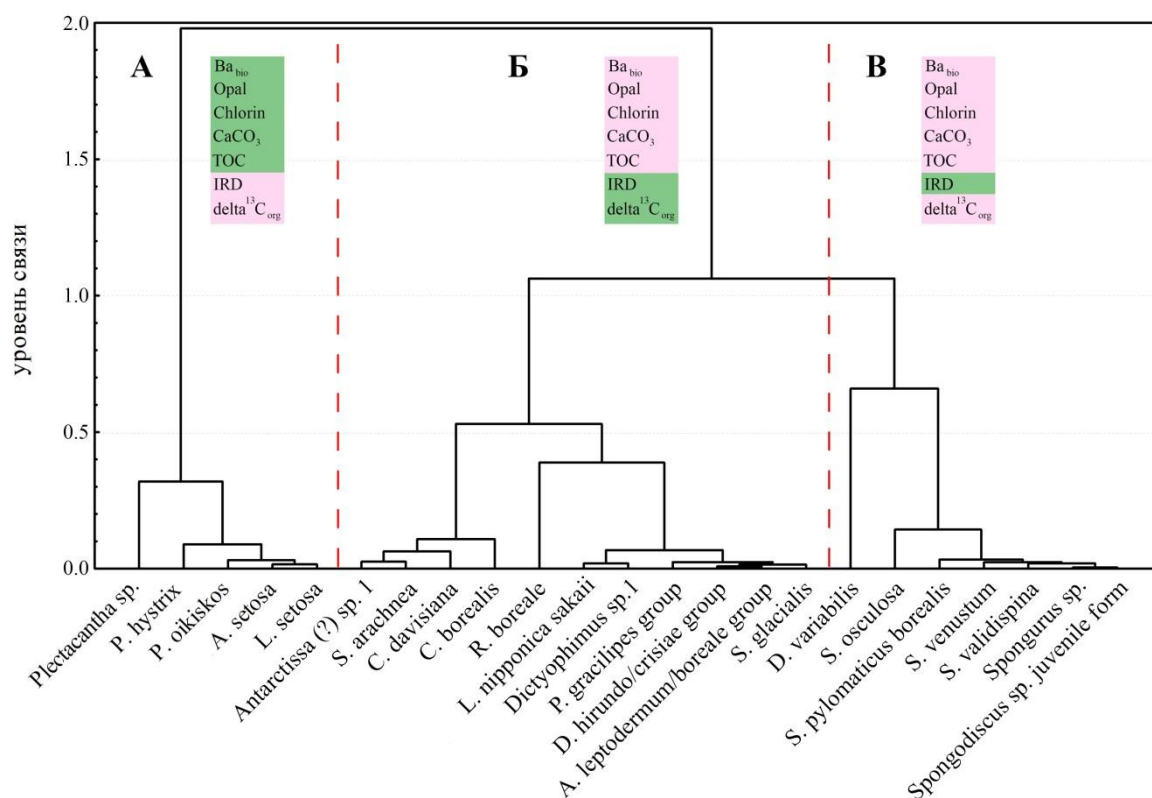


Рисунок 4.3.6. R-кластерная дендрограмма связи между таксонами радиолярий на основе значений их процентного содержания.

Комплекс А. Для всех представителей группы характерны прямые корреляционные связи с индикаторами палеопродуктивности и обратные – с IRD и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ (рисунок 4.3.6). Это виды, обитающие в пределах подповерхностной водной массы и на промежуточных глубинах Охотского моря (*Lithomelissa setosa* и группа Plagoniidae – *Phormacantha hystrix*, *Plectacantha oikiskos*). Кроме того, сюда включен вид *A. setosa*, вымерший в Охотском море приблизительно 76 тыс. лет назад (рисунок 4.3.7). Все таксоны комплекса объединены устойчивыми прямыми корреляционными связями между собой.

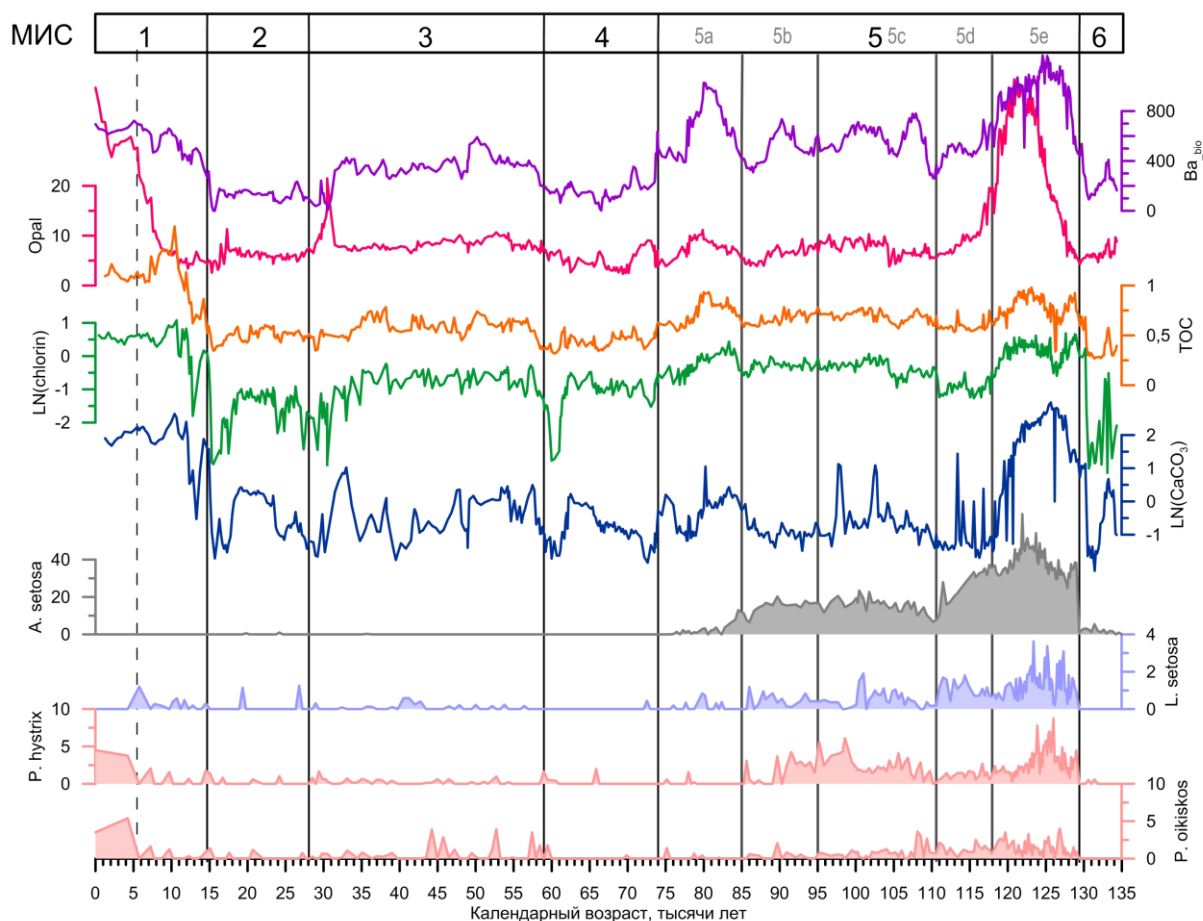


Рисунок. 4.3.7. Процентное содержание радиолярий Комплекса А; содержание в осадке керна Ba_{bio} , Opal, chlorin, TOC, CaCO_3 .

Жизнедеятельность радиолярий комплекса, обитающих в настоящее время, контролируется действием преимущественно двух факторов. К первому можно отнести интенсивную поставку нутриентов, приводящую к росту продукции фитопланктона в течение лета. Вторым является стратификация вод, стимулирующая гетеротрофную активность. Следствием запущенных процессов является повышенный экспорт фитодетрита, образовавшегося в поверхностных водах на шельфовых склонах, и бактерий в нижележащую водную толщу. Таким образом, информация о современных экологических и биогеографических условиях среды обитания таксонов Комплекса А, их корреляционные связи с индикаторами палеопродуктивности, IRD и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, позволяют предположить, что наиболее благоприятными условиями для жизнедеятельности радиолярий в прошлом являлись мягкие ледовые условия, подобные современным, и высокая продуктивность среды.

В **Комплекс Б** вошли таксоны, имеющие прямые корреляционные связи с IRD и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ и обратные связи – с индикаторами палеопродуктивности (рисунок 4.3.6). Это радиолярии, обитающие в Охотском море от поверхностных до промежуточных глубин (*Spongotrochus glacialis*, группа *Actinomma leptodermum/boreale*, *Ceratospyris borealis*, *Pseudodictyophimus gracilipes*, *Cycladophora davisiana*, группа *Dictyophimus hirundo/crisiae* и *Siphocampe arachnea*) (таблица 4.1). Также общность межвидовых корреляционных связей позволяет включить в комплекс *Lychnocanoma nipponica sakaii*, вымерший в Охотском море примерно 44 тыс. лет назад (рисунок 4.3.8). Практически между всеми представителями группы существуют устойчивые прямые корреляционные связи, за исключением слабых для нескольких видов: *Antarctissa* (?) sp. 1, *S. arachnea* и *C. davisiana*.

В настоящее время представители комплекса в той или иной мере приспособлены к суровым климатическим условиям, имеют гетеротрофный

тип питания (питаются бактериями или относительно свежим фитодетритом) и оппортунистическое поведение (миграция в водной толще по глубине и перемещение в пределах подповерхностного слоя в зависимости от наличия благоприятных условий для их жизнедеятельности). Все это в совокупности с корреляционными связями с индикаторами палеопродуктивности, IRD и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ позволяет предположить о наличии нескольких взаимосвязанных факторов, определявших благоприятные условия для радиолярий Комплекса Б. Так, суровые ледовые условия оледенений, слабое перемешивание приповерхностного водного слоя и интенсивное формирование холодных, соленых, обогащенных растворенным кислородом промежуточных водных масс, способствовали поступлению кислорода и нутриентов в составе терригенной водной взвеси из шельфовых областей. Это, в свою очередь, обеспечивало необходимое количество питательных веществ для жизнедеятельности радиолярий, обитающих на подповерхностных и промежуточных глубинах.

Необходимо отметить присутствие *Spongotrochus glacialis* в составе Комплекса Б. Являясь представителем семейства *Spongodiscidae* (Комплекс В) и имея схожие экологические предпочтения с некоторыми его таксонами, *Spongotrochus glacialis* при этом проявляет более выраженную корреляцию с видами Комплекса Б, а также аналогичную им связь с IRD и с $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ (приложение). Это и объясняет его положение в кластерной дендрограмме.



Рисунок 4.3.8. Процентное содержание радиоларий Комплекса Б; содержание в осадке керн IRD; соотношение $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$.

Комплекс В объединил таксоны, имеющие прямую корреляционную связь только с IRD и обратную – с показателями палеопродуктивности и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$. В группу вошли представители *Spongodiscidae*, обитающие в пределах поверхностной водной массы Охотского моря (*Spongopyle osculosa*, *Spongurus pylomaticus*, *Stylochlamyidium venustum*, *Stylodictya validispina*, *Spongodiscus* sp. (ювенильные формы)) (рисунок 4.3.9). Практически между всеми членами комплекса выявлены устойчивые прямые корреляционные связи.

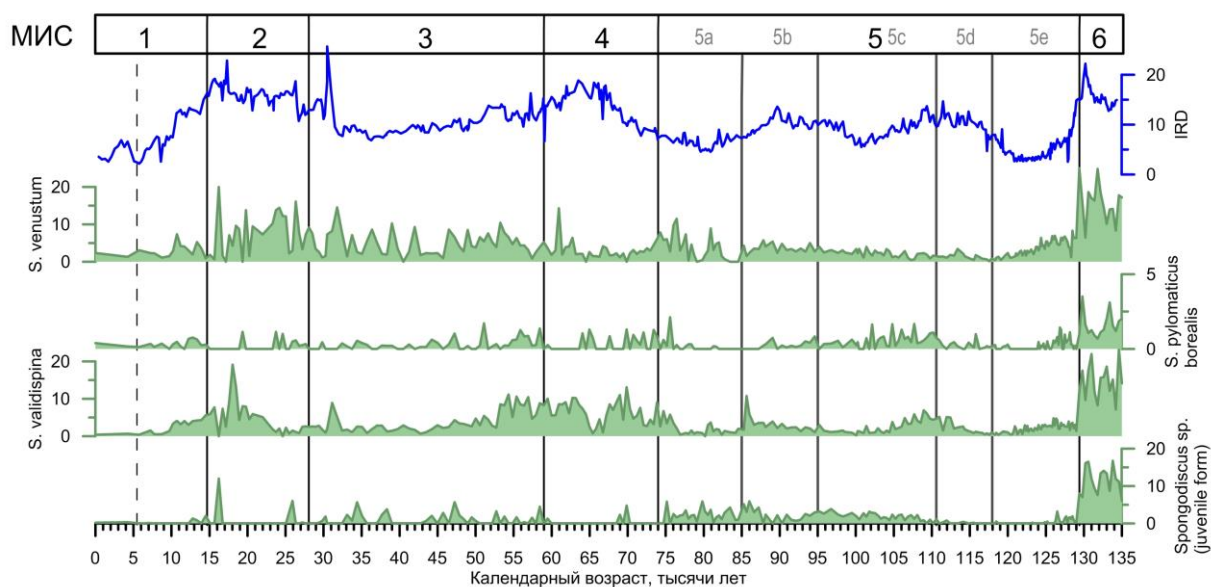


Рисунок 4.3.9. Процентное содержание радиолярий Комплекса В и IRD.

КК с индикаторами палеопродуктивности, IRD и $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, а также сведения об экологии радиолярий Комплекса могут указывать на то, что увеличение доли видов происходило при более стабильных условиях на поверхности моря. Периоды геологического прошлого, когда сезонные изменения были менее выражены, сезонное таяние льда или приток талой воды способствовали распространению вод с низкими температурами и соленостью. Это определяло небольшой, но, вероятно, достаточный для жизнедеятельности радиолярий поверхностного слоя, рост сезонной продукции фитопланктона в фотическом слое.

Выводы

1. *Производство рассмотренных радиолярий независимо от глубины их обитания находится в непосредственной взаимосвязи с количеством питательных веществ (биомассы бактерий и фитодетрита), образовавшихся в высокопродуктивной морской поверхностной водной массе, а также с поступлением нутриентов в водные массы из шельфовых областей в составе терригенной водной взвеси.*

2. *Процентное содержание видов радиолярий зависит не только от количества питательных веществ, но и от изменений доли других видов в комплексе радиолярий, которые следуют определенным стратегиям выживания и питания, населяя конкретные экологические ниши, следовательно, определяются более сложными связями в изменениях палеосреды всей водной толщи.*

3. *Комплексное применение таких показателей, как скорость аккумуляции видов радиолярий и их процентное содержание позволяет получить более масштабное представление об общих изменениях среды и климата и вариациях внутри сообществ радиолярий Охотоморского региона.*

Глава 5. Изменения ассоциаций радиолярий вследствие орбитальных осцилляций климата и среды Охотского моря

Отклик сообществ радиолярий на орбитальные осцилляции среды и климата Охотоморского региона в течение последних пяти морских изотопных стадий (МИС) рассмотрен на основе вариаций численности (общее содержание радиолярий – ОСР), скоростей аккумуляции (САР), количества таксонов (видовое богатство – ВБ) и видового разнообразия (ВР) ассоциаций радиолярий. В качестве показателя ВР применен индекс Шеннона (H). Также произведен анализ соотношений относительного содержания доминирующих видов и их скоростей аккумуляции (СА). Сопоставлены данные по радиоляриям и вещественному составу осадков (рисунок 5.1).

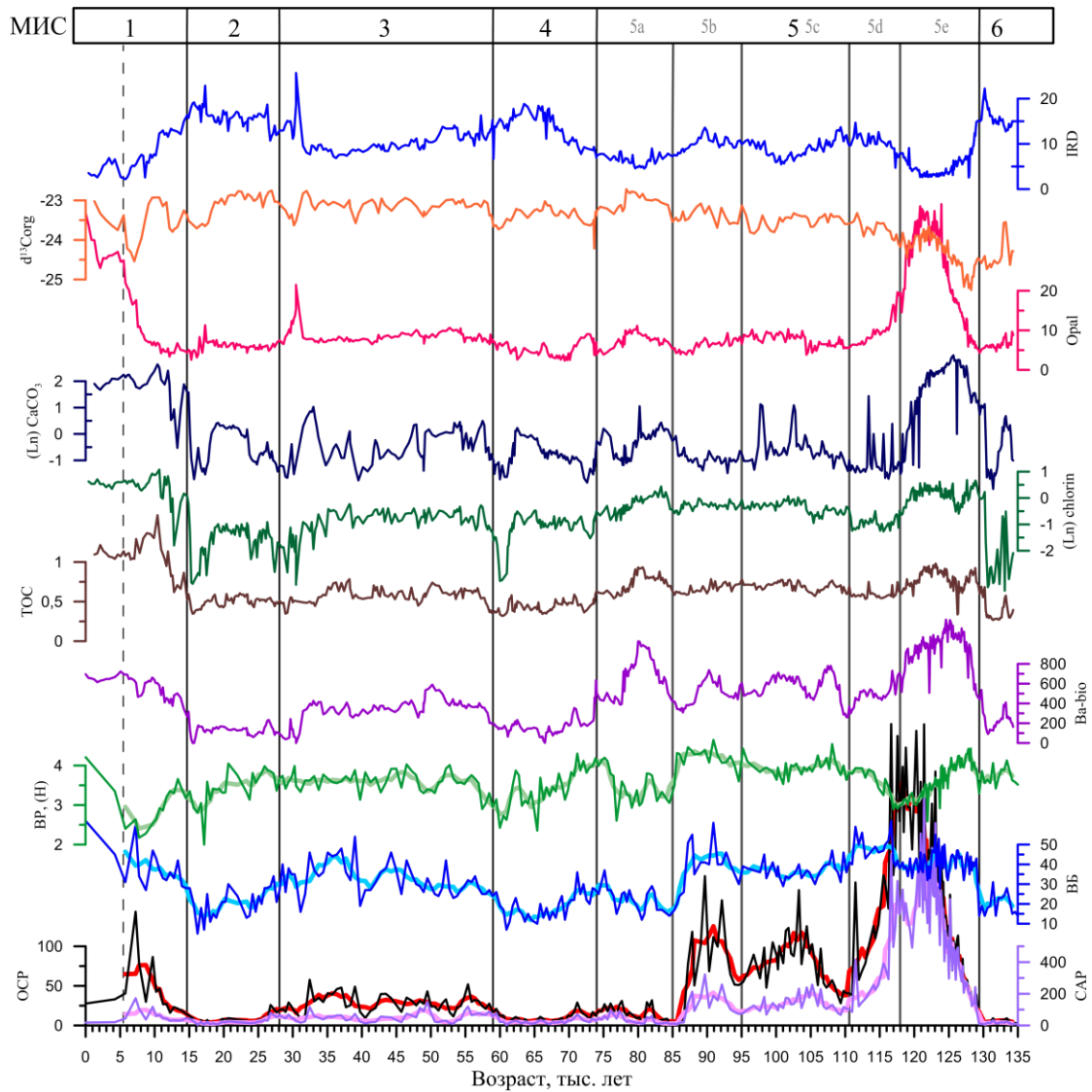


Рисунок 5.1. Орбитальные изменения ОСР, САР, ВБ, ВР сообществ радиолярий и показателей вещественного состава на шкале календарного возраста.

Привлечены данные корреляционного анализа для определения силы и направленности линейной связи между используемыми показателями.

Анализ корреляционных связей между ОСР, САР и ВБ ассоциаций радиолярий и вещественными показателями (Ba_{bio} ; TOC; $CaCO_3$; Opal; chlorin; $\delta^{13}C_{org}$ и IRD) палеоусловий среды выявил зависимость численности радиолярий и их видового богатства от наличия питательных веществ и увеличения доли терригенной органики, поступающей в водную толщу (значимые отрицательные КК с $\delta^{13}C_{org}$). Наглядно это продемонстрировано

на гистограммах, где видно, что наиболее тесно численность радиолярий связана с содержанием опала и биогенного бария, а видовое богатство их сообществ практически в равной степени зависит от всех компонентов продуктивности (рисунок 5.2).

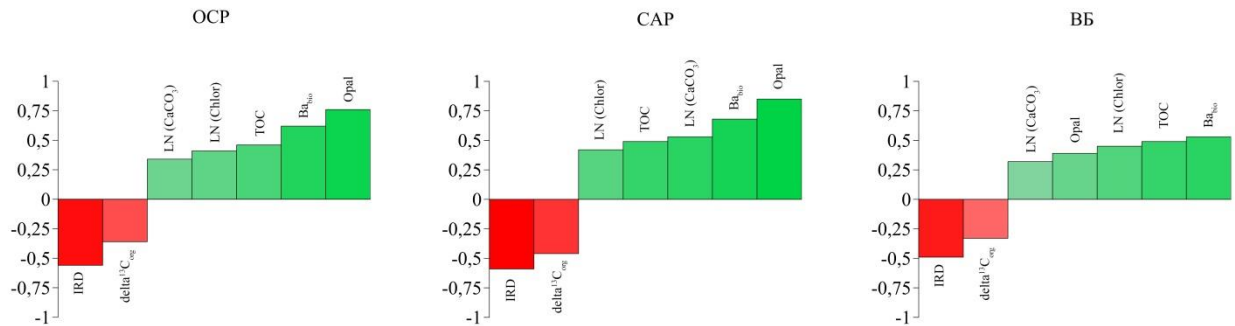


Рисунок 5.2. Гистограммы коэффициентов корреляции OCP, CAP и BB с показателями палеопродуктивности: Ba_{bio}; TOC; CaCO₃; Opal; chlorin; $\delta^{13}C_{org}$ и IRD.

Ассоциация радиолярий в период оледенения **МИС 6 (630 – 600 см ~ 135 – 129,5 тыс. лет)** характеризуется стабильно низкой численностью - OCP (1,65 до $9 \cdot 10^3$ экз./г осадка), CAP (0,4 – $2,65 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет), но довольно высоким биоразнообразием сообществ радиолярий этого периода (H = 3,3 до 4,1; структурный состав насчитывает 52 таксона). Выраженно доминирование видов семейства Spongodiscidae spp. (*S. venustum* – 25,7%, *S. validispina* – 23,1%, ювенильные формы Spongodiscidae – 16,8%, *S. glacialis* – 11,6%), а также вида *L. nipponica sakaii* (18,3%) (рисунок 5.3). Тем не менее скорости их аккумуляции (Рад. $\cdot 10^3$ /см²·тыс. лет) в пределах интервала невысокие и достигают для *S. venustum* – 6,27, *S. validispina* – 3,76, ювенильных форм Spongodiscidae – 2,99, *S. glacialis* – 1,09, *L. nipponica sakaii* – 2,33.

За период МИС 6 не выявлено значимых КК между основными показателями радиолярий и вещественного состава осадков. При этом, OCP и BB в МИС 6 наиболее согласуются с изменением содержания Ba_{bio} (таблица 5.1). Другие показатели палеопродуктивности (вещественного состава осадков) показывают менее ясные связи с основными характеристиками

радиолярий. Наиболее низкие значения ОСР и ВБ наблюдаются в конце предпоследнего оледенения МИС 6. Суровая ледовая обстановка в Охотском море в этот период оказывала подавляющее влияние на продуктивность моря и, соответственно, на численность и видовое богатство сообществ радиолярий (рисунок 5.1).

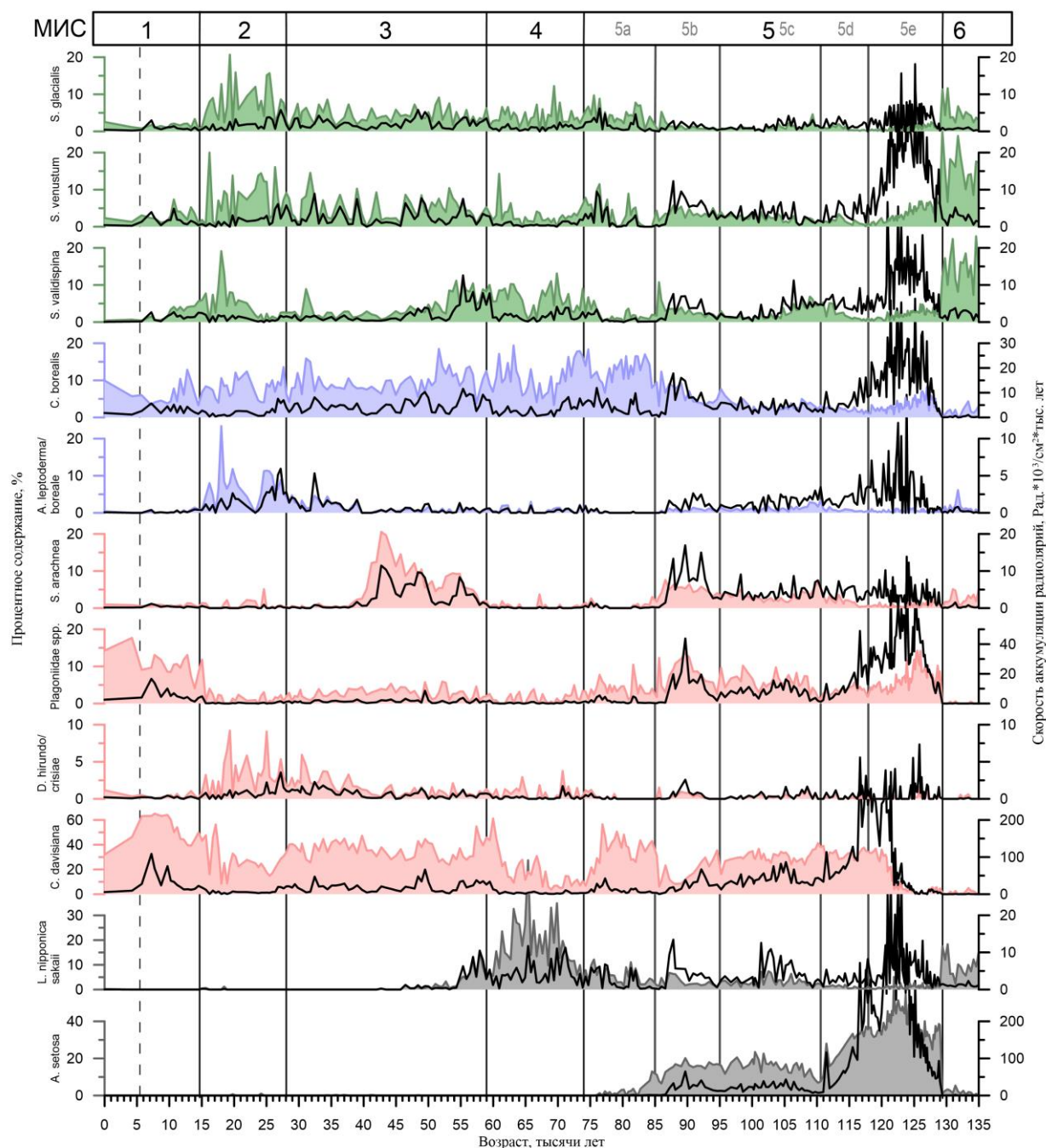


Рисунок. 5.3. Процентное содержание и скорость аккумуляции доминирующих видов радиолярий в керне PC-7R. На графиках заливкой

показано процентное содержание таксонов радиолярий, линий – их скорости аккумуляции.

Таблица 5.1.

Коэффициенты корреляции показателей радиолярий с палеопрокси по МИС.

МИС	Показатели радиолярий	Chlorin	CaCO ₃	TOC	Ba _{bio}	Opal	IRD	d ¹³ C _{org}
1 (N=15)	ОСР	0,30	0,24	0,55	0,13	-0,02	-0,37	-0,30
	ВБ	0,39	0,24	0,38	0,26	0,54	-0,39	-0,12
	САР	0,26	0,23	0,53	-0,02	-0,24	-0,19	-0,20
2 (N= 27)	ОСР	-0,24	-0,33	-0,13	-0,14	-0,25	-0,54	0,31
	ВБ	-0,02	-0,19	0,00	-0,04	-0,46	-0,42	0,47
	САР	-0,27	-0,38	-0,15	-0,15	-0,23	-0,52	0,30
3 (N= 53)	ОСР	0,09	-0,04	0,19	0,22	-0,23	-0,31	0,06
	ВБ	0,06	-0,13	0,18	-0,08	0,06	-0,21	0,01
	САР	-0,23	-0,05	-0,20	0,08	-0,25	-0,06	-0,31
4 (N= 34)	ОСР	0,04	-0,33	0,44	0,64	0,36	-0,63	-0,25
	ВБ	0,15	-0,35	0,46	0,69	0,31	-0,69	-0,31
	САР	0,14	-0,28	0,44	0,55	0,26	-0,55	-0,15
5a (N= 23)	ОСР	-0,45	-0,34	-0,23	-0,11	-0,33	0,07	-0,19
	ВБ	-0,32	-0,27	-0,27	-0,07	-0,36	0,25	-0,10
	САР	-0,59	-0,42	-0,50	-0,41	-0,47	0,24	-0,41
5b (N= 18)	ОСР	0,21	-0,59	0,23	0,61	0,51	0,78	0,25
	ВБ	0,31	-0,47	0,22	0,49	0,30	0,50	0,19
	САР	0,19	-0,61	0,16	0,57	0,47	0,76	0,27
5c (N= 33)	ОСР	0,40	0,22	0,31	0,19	0,22	-0,64	0,04
	ВБ	-0,06	0,12	0,06	0,07	-0,23	0,28	0,08
	САР	-0,15	0,14	-0,20	-0,03	-0,36	-0,32	0,09
5d (N= 14)	ОСР	-0,22	0,80	0,70	0,71	0,84	-0,43	-0,42
	ВБ	-0,24	0,57	0,55	0,72	0,45	-0,14	-0,32
	САР	-0,17	0,89	0,79	0,72	0,80	-0,42	-0,44
5e (N= 64)	ОСР	-0,04	-0,41	0,13	-0,01	0,72	-0,42	0,74
	ВБ	0,04	0,19	0,06	0,13	0,01	-0,04	0,00
	САР	0,12	-0,13	0,33	0,17	0,80	-0,60	0,76
6 (N= 15)	ОСР	0,14	0,08	0,11	0,50	0,16	-0,46	0,49
	ВБ	0,03	0,02	0,00	0,41	0,06	-0,40	0,41
	САР	0,05	-0,05	-0,03	0,29	0,00	-0,36	0,25

N – объем выборки.

В течение последующего межледникового **МИС 5 (600 – 288 см ~ 129,5 – 74 тыс. лет)** ассоциации радиолярий характеризуется максимально

высокими значениями ОСР ($380,96 \cdot 10^3$ экз./г осадка), САР ($5576,31 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет), ВБ и разнообразным таксономическим составом (определено 156 таксона). ВР значительно варьирует – от 2,6 до 4,6. Низкие значения ВР наблюдаются в то время, когда ярко выражено доминирование двух видов *A. setosa* (максимум - 64%) и *C. davisiana* (56,5%). При снижении же их концентраций – ВР сообществ радиолярий увеличивается. Высокое процентное содержание демонстрируют таксоны Plagoniidae spp. (32%), *C. borealis* (18,3%), *L. nipponica sakaii* (12%), Spongodiscidae spp. (*S. venustum* – 11,5%, *S. validispina* – 10,7%, ювенильные формы Spongodiscidae – 16,8%, *S. glacialis* – 9,7%). Их скорости аккумуляции также высоки: 97,24; 48,04; 21,95; 43,86; 32,37; 11,52 и 12,53, соответственно. Для *A. setosa* и *C. davisiana* пиковые значения СА лежат на уровнях 586,03 и 368,91 Рад. $\cdot 10^3$ /см²·тыс. лет, соответственно (рисунок 5.2).

Изменения ОСР и ВБ показывают тесную связь с изменениями ледовых условий, которые в значительной мере влияют на продуктивность моря (рисунок 5.1). ОСР в течение МИС 5 наиболее согласуется с такими индексами палеопродуктивности, как Ba_{bio} , Орал и ТОС, что подтверждается значимыми КК (таблица 5.1). МИС 5 объединяет несколько подстадий.

Интервал керна, относящегося к оптимуму межледниковья **МИС 5e (600 – 474 см ~ 129,5 – 117 тыс. лет)** характеризуется максимально высокими значениями ОСР ($380,6 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и САР ($5576,31 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет). Структурный состав ассоциаций насчитывает 138 таксонов. Резко выражено доминирование вида *A. setosa* (максимум – 63,9%) – индикатора хорошего вертикального перемешивания водного слоя на глубине до 300 м, имеющего выровненную невысокую температуру и соленость [Matul, Abelman, 2005]. Группа Plagoniidae spp. (22,3%) – индикатор высокой продуктивности бактерио- и фитопланктона демонстрирует схожую картину распределения показателей. Также можно отметить увеличение доли тихоокеанских видов (*C. borealis*, *D. hirundo/crisiae*). Содержание же *C. davisiana* – индикатора формирования

гляциальной ОПВМ [Матуль, 2009] – в начале подстадии было очень низким – всего 0,3%, но в ее конце оно увеличилось до 37,7%. Низкое содержание вида в этот период может свидетельствовать о сокращении продукции ОПВМ [Матуль, 2009]. Судя по соотношению относительного содержания видов *A. setosa* и *C. davisiana* стратификация вод в Охотском море в эту подстадию могла значительно ослабевать.

На границе МИС 6 / МИС 5е наблюдается устойчивый, ярко выраженный рост ОСР, который продолжался вплоть до 508 см ~ 121,4 тыс. лет. Одновременно с начавшимся на границе стадий увеличением ОСР и САР происходил активный рост видового разнообразия ($H = 3,2 - 4,4$) и ВБ ассоциации радиолярий (с 14 до 46 видов в образце). Начиная с середины и до окончания МИС 5е (интервал 500-474 см ~ 121 – 117 тыс. лет) отмечены максимальные значения ОСР, при этом индекс видового разнообразия снижается с 4,4 до 2,9 за счет доминирования *A. setosa* и *C. davisiana*. ВБ с наступлением оптимума межледникового МИС 5е, возросло до 40-50 видов в образце, и подобные высокие значения ВБ наблюдаются вплоть до границы подстадий МИС 5b/5a.

В период МИС 5е выявлены положительные КК ОСР с Opal и $d^{13}\text{C}_{\text{org}}$ и отрицательные – с CaCO_3 и IRD . В течение подстадии в центральной части Охотского моря существовали мягкие ледовые условия, подобные современным [Gorbarenko et al., 2017]. При переходе от оледенения МИС 6 к межледниковью МИС 5е, происходило активное таяние морского льда и увеличение продуктивности вод, что в свою очередь приводило к увеличению видового разнообразия и продукции радиолярий.

Осадки относительно холодной подстадии **МИС 5d (474 – 446 см ~ 117 – 110,7 тыс. лет)** характеризуются высокими значениями ОСР в начале подстадии (до $189,7 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и постоянным и довольно резким снижением вплоть до ее конца (до $38 \cdot 10^3$ экз./г осадка). САР также значительно снижается с 3302,41 до $219,52 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет. В

эту подстадию отмечается прямая корреляция ОСР и ВБ ассоциаций радиолярий с содержаниями CaCO_3 , ТОС, Ba_{bio} и Opal (таблица 5.1).

Структурный состав ассоциаций насчитывает 95 таксонов. Однако, при столь богатом видовом разнообразии (H возрастает от 2,9 до 3,9), ярко выражено доминирование только двух таксонов – *C. davisiana* (до 39%) и *A. setosa* (до 35,5%), остальные виды не превышают 5% от числа ассоциации. СА основных доминантов составляют 368,91 и 357,70 Рад.* $10^3/\text{см}^2$ *тыс. лет, соответственно.

Ледовые условия в центральной части Охотского моря в течение подстадии становятся более суровыми, по сравнению с предыдущей. Заметно снижается продуктивность вод, на что указывают пониженные концентрации Ba_{bio} , ТОС, CaCO_3 , chlorin. Следствием становится снижение и продукции радиолярий. Климатические изменения при этом оказывают незначительное влияние на их видовое разнообразие (рисунок 5.3).

Интервал **МИС 5с (446 – 376 см ~ 110,7 – 95 тыс. лет)** – относительно теплая подстадия. Для нее характерны высокие значения общей численности радиолярий ОСР (до $171 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и САР (до $806,58 \cdot 10^3$ экз./г осадка/ см^2 *тыс. лет), ВБ (30-40 видов в образце) и видового разнообразия ($H = 3,5 - 4,5$). Ассоциация данного интервала насчитывает 103 таксона. Аналогично предыдущему интервалу керна, здесь выражено доминирование *C. davisiana* (максимум - 41%). Содержание *A. setosa* несколько снижается (23,5%), их СА составляют 86,81 и 43,40 Рад.* $10^3/\text{см}^2$ *тыс. лет, соответственно. Процентное содержание остальных таксонов не превышает 7% (рисунок 5.1; 5.3).

В начале подстадии ледовые условия существенно не менялись, но начиная со второй ее половины отмечается смягчение ледовых условий. Продуктивность вод заметно увеличилась, особенно заметно возросли концентрации Ba_{bio} , ТОС, CaCO_3 и chlorin. В период МИС 5с выявлены прямые корреляционные связи ОСР с содержанием хлорина и обратные с IRD (таблица 5.1). Подобные изменения климата и условий среды, вероятно,

опосредованно поспособствовали росту продукции радиолярий, видовое разнообразие и видовое богатство ассоциаций которых в течение МИС 5с оставались по-прежнему довольно высокими.

В течение относительно холодной подстадии **МИС 5b (376 – 342 см ~ 95 – 85 тыс. лет)** наблюдаются высокие значения ОСР (до $188,8 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и САР (до $945,56 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет) и разнообразный таксономический состав ассоциации радиолярий (встречено 94 таксона). Доминируют: *C. davisiana* (максимум - 35,6%), *A. setosa* (20%), *Plagoniidae* spp. (20%), *C. borealis* (12%), *S. validispina* (10,8%) (рисунок 5.2). Их скорости аккумуляции также высоки: 67,25; 64,86; 43,85; 17,83; 7,60 Рад.*10³/см²*тыс. лет, соответственно.

С начала и до середины подстадии наблюдается интенсивный рост ОСР (от 54,8 до $188,8 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и САР (от 67,06 до $945,56 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет). Вместе с увеличением численности радиолярий возрастает их видовое богатство (от 40 до 60 таксонов в образце) и видовое разнообразие ($H = 4,0-4,6$). Во второй половине МИС 5b наблюдается резкое сокращение ОСР (до $2,5 \cdot 10^3$ экз./г осадка) и САР (до $17,87 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет), видового разнообразия ($H = 3,0$) и ВБ (до 17 таксонов в образце) (рисунок 5.1). В это время наблюдается синхронное сокращение скорости аккумуляции вышеназванных доминантов.

В течение этой относительно холодной подстадии выявлены прямые корреляционные связи ОСР с Ba_{bio} , Орал и IRD (таблица 5.1). Высокие значения ОСР и ВБ согласуются с повышенным содержанием Ba_{bio} . ТОС, chlorin, CaCO₃ при этом, наоборот, имели низкие значения, что может быть указывать на суровую ледовую обстановку в этот период. Подтверждением этого являются повышенные значения IRD.

С наступлением последующего относительного потепления **МИС 5a (342 – 288 см ~ 85 – 73,9 тыс. лет)** вплоть до границы МИС 5/4 постепенно увеличивались значения ОСР (от 2,5 до $31,8 \cdot 10^3$ экз./г осадка), САР (от 26,67 до $293,08 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет), ВБ (от 17 до 37 видов в образце) и

видового разнообразия ($H = 3,0 - 4,2$). Интервал содержит 69 таксонов радиолярий. Возрастала доля: *C. davisiana* (максимум - 56,5%), *C. borealis* (17%), *L. nipponica sakaii* (12%), Plagoniidae spp. (13,5%), *S. venustum* (11,5%), *S. glacialis* (9,7%), в это же время происходит постепенное выклинивание из комплексов радиолярий вида *A. setosa* (13%). Их СА составляют 42,46; 11,95; 6,79; 5,43; 9,48; 6,17; 2,07 Рад.* 10^3 /см²*тыс. лет, соответственно.

Значения видового богатства и разнообразия сообществ радиолярий подстадии находятся в противофазе с распределением основного доминирующего вида *C. davisiana* (рисунок 5.1; 5.3).

Продуктивность исследуемого региона в начале МИС 5а значительно возрастает, о чем свидетельствует увеличение содержания в осадках ТОС, CaCO₃, chlorin, Ba_{bio}, Opal, снижающиеся к ее окончанию. IRD, наоборот, в начале МИС 5а снижается до очень низких значений и слабо увеличивается во второй половине подстадии 5а. ОСР и ВБ заметно связаны с изменениями ледовых условий, оказывающими влияние на продуктивность моря. Вероятно, их увеличение ОСР и ВБ в начале подстадии объясняется смягчением ледовых условий и ростом продуктивности. Вторая половина МИС 5а, характеризуется лучшей корреляцией ОСР с концентрацией Ba_{bio} (рисунок 5.1).

Ассоциация радиолярий в период **МИС 4 (286 – 220 см ~ 73,9 – 59,6 тыс. лет)** характеризуется стабильно низкой численностью. ОСР варьирует в пределах от 1,9 до 28,9* 10^3 экз./г осадка, САР – от 7,46 до 176,24* 10^3 экз./г осадка/см²*тыс. лет. Таксономический состав фауны обедненный, включает до 59 таксонов. Основными доминантами являются: *C. davisiana* (до 61%) и *L. nipponica sakaii* (до 52%). Высокое процентное содержание так же имеют таксоны: *Lychnocanium* sp. (до 20%), *C. borealis* (до 19%), *S. venustum* (до 14%), *S. validispina* (до 13%), *S. glacialis* (до 12%), *Tholospira* sp. (до 14%). При этом их СА невысокие: 13,26; 11,3 – для основных доминантов и 5,55; 8,27; 3,46; 4,15; 2,55; 6,18 Рад.* 10^3 /см²*тыс. лет, соответственно, для остальных таксонов. Следует отметить, что на протяжении стадии

распределение процентных содержаний двух основных доминантов *C. davisiana* и *L. nipponica sakaii* практически зеркально: на границе МИС 5/4 для *C. davisiana* оно снижается до 5 - 6 %, и столь низкие значения сохраняются вплоть до рубежа МИС 4/3. Относительное обилие вида *L. nipponica sakaii* в этот период достигает максимума в 52% (рисунок 5.3). Видовое богатство и разнообразие сообществ радиолярий также как и во время МИС 5а, находятся в противофазе с распределением основного доминанта – *C. davisiana*.

Показатели ОСР, САР и ВБ положительно коррелируют с содержанием Ba_{bio} , ТОС и Орал (таблица 5.1). Другие индексы палеопродуктивности показывают менее ясные связи с основными характеристиками радиолярий. Наиболее низкие значения ОСР, САР и ВБ наблюдаются в середине МИС 4. Ледовая обстановка в это время была довольно суровой (на что указывает увеличение содержания IRD) и оказывала подавляющее влияние на продуктивность моря и, соответственно, на продукцию радиолярий. Об этом говорят отрицательные КК показателей радиолярий и IRD (таблица 5.1).

Ассоциация радиолярий в течение **МИС 3 (218 - 110 см ~ 59,2 – 28,6 тыс. лет)**, по сравнению с предыдущей, характеризуется заметным увеличением общей численности (ОСР варьирует в пределах от 8,5 до $57,7 \cdot 10^3$ экз./г осадка; САР – от 34,70 до $422,43 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет), и разнообразным таксономическим составом (обнаружено около 83 таксонов). ВБ варьирует от 16 до 54 видов в образце, индекс разнообразия составляет 2,9 в начале стадии и увеличивается до 4,0 к ее середине (рисунок 5.1). Основными доминантами являются: *C. davisiana* (до 54,8%), *C. borealis* (до 18,4%), *L. nipponica sakaii* (до 16%), *S. venustum* (до 14,5%), *S. validispina* (до 11%), *S. glacialis* (до 9%), *A. leptoderma/boreale group* (до 4,7%). Их СА составляют: 66,43; 11,61; 10,5; 8,92; 12,6; 5,8; 7,18 Рад.*10³/см²*тыс. лет, соответственно. В пределах стадии эти таксоны имеют высокое процентное содержание, но в сравнении с предыдущей МИС 4, их доля в комплексе несколько снижается за счет участия других видов. Например,

увеличиваются содержания следующих таксонов - *S. arachnea* (до 20,6%), *Plagoniidae* spp. (до 6%), *D. hirundo* (до 6%), СА этих таксонов – 11,48; 8,6 и 2,28 Рад.*10³/см²*тыс. лет.

На основе корреляции с записями IRD и индексами палеопродуктивности (рисунок 5.3) можно говорить о том, что изменения ОСР, САР и ВБ во время МИС 3 реагировали на смягчение ледовых условий в центральной части Охотского моря и слабо – на повышние первичной продукции.

Ассоциации радиолярий в интервале **МИС 2 (108 – 47 см ~ 28 – 14,7 тыс. лет)** характеризуются стабильно низкими значениями ОСР (1,4 – 25,8*10³ экз./г осадка), САР (8,41 – 190,13*10³ экз./г осадка/см²*тыс. лет). Довольно разнообразен таксономический состав – определено 76 таксонов. На протяжении стадии ВБ ассоциаций радиолярий снижается: если на границе МИС 3/2 обнаруживалось около 30 таксонов в образце, то в период максимума последнего оледенения оно не превышало 5-7. Видовое разнообразие на начальном этапе стадии последнего оледенения довольно высокое (Н = 3,7), а во время его максимума оно значительно снижалось (Н = 2,0). В это же время резко возросло процентное содержание *C. davisiana* (до 56,4%), однако СА вида были низкими – около 3,7 Рад.*10³/см²*тыс. лет. Кривая видового разнообразия в период МИС 2 находится в противофазе с кривой распределения процентного содержания основного доминанта - *C. davisiana* (рисунок 5.1; 5.3). По сравнению с предыдущей относительно теплой МИС 3 на фоне снижения доли видов - *C. borealis* (до 13,5%) и *S. arachnea* (до 5%), возрастает содержание следующих таксонов: *A. leptoderma/boreale* group (23,5%), *S. glacialis* - 20,5%, *S. venustum* - 20%, *S. validispina* - 19%, *Plagoniidae* spp. (12%), *D. hirundo* (9%), *Stylatractus* (?) *pyriformis* (Bailey) (9,5%). СА этих таксонов – 7,58; 0,92; 7,63; 5,77; 6,1; 2,54; 4,84; 3,56; 0,18 Рад.*10³/см²*тыс. лет, соответственно (рисунок 5.2).

В целом в период стадии записи ОСР, САР и ВБ характеризуются очень низкими значениями. В Охотском море в это время преобладала

суровая ледовая обстановка, оказывающая подавляющее влияние на продуктивность моря и на продукцию радиолярий. Это подтверждается отрицательными КК показателей радиолярий и IRD (таблица 5.1). Продуктивность поверхностных вод Охотского моря, согласно имеющимся данным палеопрокси была низкой, но значения таких, характеризующие ее, параметров как chlorin, TOC и CaCO_3 слегка увеличиваются от начала стадии МИС 2 к ее середине (рисунок 5.3).

МИС 1 (47 - 0 см ~14.7 - 0 тыс. лет) Ассоциации радиолярий характеризуются высокой общей численностью (ОСР варьирует от 15 до $143,8 \cdot 10^3$ экз./г осадка; САР – от 73,61 до $621,06 \cdot 10^3$ экз./г осадка/см²·тыс. лет) и довольно разнообразным таксономическим составом (87 таксон). При переходе от последнего оледенения к голоцену резко возрастает ВБ (от 7 до 42 видов в образце) и видовое разнообразие ($H = 2,9 - 3,6$) (рисунок 5.1). Основными доминантами являются *C. davisiana* (до 65%), *Plagoniidae* spp. (до 23%) и *C. borealis* (до 12,8%). Их СА достигают – 108,85; 16,61 и 5,68 Рад.*10³/см²*тыс. лет, соответственно. Видовое разнообразие сообществ радиолярий, как и в большинстве предыдущих МИС, обратно зависит от обилия вида *C. davisiana* - при увеличении содержания которого оно снижается, и наоборот (рисунок 5.1; 5.3).

Записи изменений ОСР и ВБ ассоциаций радиолярий в начале МИС 1 (при наступлении В/А потепления, YD похолодания и последующего потепления Pre-Boreal (PB)) лежат в противофазе с показателем ледовых условий IRD, пониженные значения которого, возможно, связаны со смягчением ледовых условий в центральной части Охотского моря. Также в этот временной промежуток стадии отмечены повышенные концентрации Ba_{bio} , TOC, chlorin, CaCO_3 , которые, коррелируют с резким увеличением первичной продукции. Наиболее тесная связь ОСР в период МИС 1 выявлена с содержанием TOC (таблица 5.1).

В период дегляциации в начале МИС 1 происходила активная разгрузка материала ледового разноса, являющегося одним из основных

поставщиков питательных веществ в водную толщу с шельфовых областей. Интенсивный рост первичной продуктивности сопровождался согласным увеличением ОСР, САР и ВБ в период ранней дегляциации. После среднего голоцена (отмечается резким ростом содержания Opal) ОСР и САР снижаются одновременно с увеличением ВБ и биоразнообразия ассоциаций, при довольно высоком уровне продуктивности и мягких ледовых условиях такая тенденция сохраняется вплоть до настоящего времени (рисунок 5.1). Вероятно, это связано с интенсивным ростом продукции диатомовых водорослей – одних из основных потребителей растворенного в воде кремния, необходимого формирования скелетов радиолярий.

Выводы

1. Показано, что радиолярии чутко реагируют на орбитальные изменения климата и среды региона, а изменения их численности и видового богатства хорошо согласуются с вариациями содержаний ТОС, Va_{bio} и Opal.

2. В оледенения суровая ледовая обстановка оказывала подавляющее влияние на продуктивность моря и на продукцию радиолярий. Структурный состав ассоциаций и выраженное доминирование таксонов поверхностного и промежуточного слоёв (Комплекс Б, В) указывают на слабовыраженные сезонные изменения среды. При этом небольшое увеличение сезонной продукции фитопланктона и поступление в водную толщу терригенной органики при формировании промежуточных водных масс, в совокупности обеспечивали радиолярий необходимым количеством питательных веществ.

3. В межледниковья смягчение ледовых условий и увеличение продуктивности вод приводили к увеличению видового богатства и продукции радиолярий. Наиболее благоприятные условия для жизнедеятельности радиолярий обеспечивались усилением экспорта фитодетрита и бактерий в водную толщу в результате роста продукции

фитопланктона в фотическом слое, конвекции поверхностных и подповерхностных вод и стимулирующей гетеротрофную активность стратификации. Эти факторы находят отражение в структурном составе ассоциаций и выраженном доминировании таксонов, обитающих преимущественно в пределах подповерхностной водной массы и на промежуточных глубинах (Комплекс А).

4. Увеличение видового богатства ассоциаций радиолярий и плавный, но очень интенсивный рост их продукции в периоды дегляциаций (МИС 6 / МИС 5е и МИС 2 / МИС 1) связаны с короткими зимними сезонами с гораздо меньшим распространением льдов, длительными продуктивными периодами и активным привносом терригенного вещества.

5. Изменения видового разнообразия ассоциации радиолярий на орбитальной шкале имеют некоторые особенности, суть которых в том, что вариации этих показателей являются откликом на нестабильные условия климата и не всегда зависят от численности радиолярий. То есть климатические колебания являются одной из немаловажных причин изменений в сообществах радиолярий.

6. Результаты радиоляриевого анализа не противоречат ранее опубликованным выводам и дополняют их за счёт выявления корреляционных связей микропалеонтологических сведений с многочисленными данными о вещественном составе осадков.

Глава 6. Изменения ассоциаций радиолярий вследствие тысячелетних колебаний климата и среды Охотского моря

Многочисленные данные по геохимии, литологии и палеонтологии для различных регионов мира показывают, что климатические характеристики обладают некоторой повторяемостью и последовательностью. Эти циклы представляют собой интервалы времени, в пределах которых колебания хотя бы приблизительно статистически стационарны, а между этими интервалами – колеблются. За последние три десятка лет появилось немало работ, посвященных изучению климатических циклов тысячелетних масштабов: в осадках Северной Атлантики [Heinrich, 1988; Bond et al., 1993], в ледяных ядрах Гренландии [Dansgaard et al., 1993; NGRIP Member, 2004; Wolff et al., 2010], в сталагмитах пещер Китая [Wang et al., 2001, 2008] и др. Подобные исследования проводились и для охотоморского региона [Gorbarenko et al., 2004; 2007; 2010, 2012, 2017].

Ранее на основе записей показателей продуктивности, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ и IRD для исследуемого ядра PC-7R было выполнено сопоставление тысячелетних циклов изменений среды Охотского моря с данными циклов Восточно-Азиатских муссонов [Wang et al., 2001; 2008] и циклов в записях ледяных ядер Гренландии [NGRIP Member, 2004; Wolff et al., 2010]. Корреляция основана на предположении [Gorbarenko, Goldberg, 2005; Seki et al., 2004], что в Охотском море продуктивность повышается/снижается во время теплых интерстадиалов/холодных стадиалов, подобно орбитальным климатическим изменениям [Gorbarenko et al., 2007; 2010, 2012, 2017].

Несмотря на обширный накопленный материал по радиоляриям в планктоне и в донных осадках Охотского моря, исследований с высоким хроностратиграфическим разрешением, направленных на изучение отклика сообществ радиолярий на тысячелетние вариации климата и среды крайне

мало. Для устранения дефицита такой информации в данной главе рассмотрена реакция сообществ радиолярий на быстрые изменения климата на основе таких показателей: ОСР, САР, ВБ и ВР, вариации процентного содержания доминирующих видов и скорости аккумуляции доминирующего вида *C. davisiana*. Для этого в работе использована адаптированная опубликованная возрастная модель керна PC-7R [Gorbarenko et al., 2010, 2012; Yanchenko, Gorbarenko, 2015; Gorbarenko et al., 2017] (таблица 3.3, рисунок 6.1). Также привлечены высокоразрешающие данные индикаторов палеосреды за последние 135 тысяч календарных лет, выявленные в Охотском море ранее (рисунок 6.2).

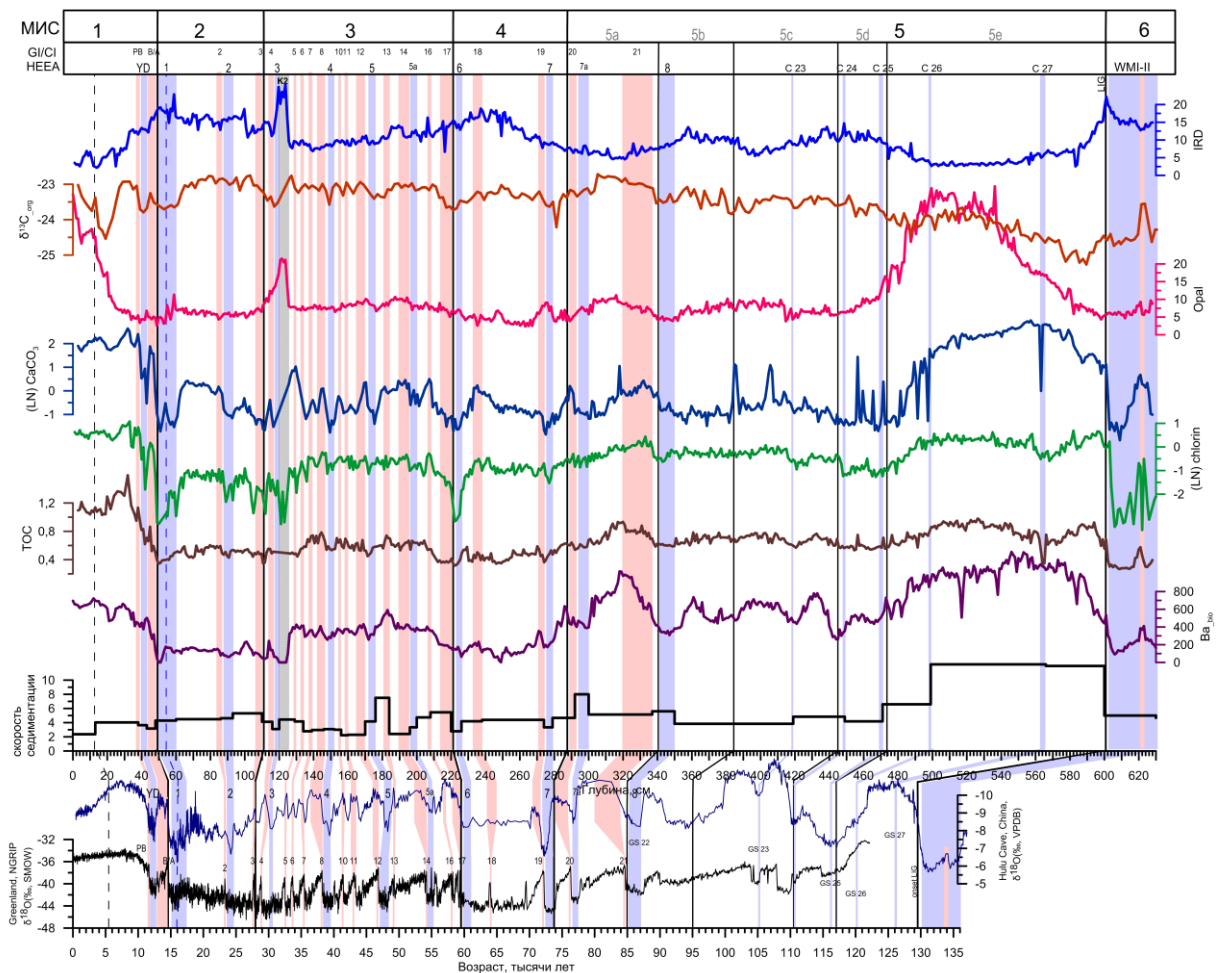


Рисунок. 6.1. Возрастная модель керна PC-7R.

Скорость седиментации осадков керна; содержания: chlorin, Ba_{bio}, TOC, CaCO₃, Opal; $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ и IRD, в осадках керна PC-7R на шкале глубин (см), сопоставленные с изменениями $\delta^{18}\text{O}$ ледяного керна Гренландии [Wolff, 2010] и $\delta^{18}\text{O}$ сталагмитов пещеры

Хулу (Китай) [Wang, 2001, 2008]. Используются данные возрастных моделей [Gorbarenko et al., 2012; 2017 и Yanchenko, Gorbarenko, 2015].

В верхней строке показаны морские изотопные стадии (МИС) с возрастом границ по [Martinson et al., 1987]. Вертикальными голубыми областями отмечены похолодания климата - НЕЕА (Н) или (С); розовыми областями – интервалы потепления климата CI/GI (Chinese/Greenland Interstadials); LIG - начало последнего межледникового (Last Interglacial); WMI II - интервал ослабления интенсивности муссонов (Weak Monsoon Interval).

В окончание предпоследнего оледенения МИС 6 (135 - 130 тыс. лет назад) характеризуется очень низкими значениями ОСР и ВБ и довольно высоким ВР сообществ. Записи изменений ОСР, САР и ВБ радиолярий в этот период согласуются с условиями палеосреды Охотского моря, характеризующимися низкой продуктивностью и высокими значениями IRD. Доминируют представители семейства Spongodiscidae spp. (рисунок 6.2; 6.3). В период 135 - 130 тыс. лет назад в рассматриваемом регионе преобладали холодные климатические условия. В записях $\delta^{18}\text{O}$ сталагмитов из пещер Китая, в данный период был выделен интервал ослабления интенсивности муссонов Weak Monsoon Interval (WMI) II [Cheng et al., 2006, 2009; Wang et al., 2008]. Вполне вероятно, что региональное похолодание климата во время, сопровождаемое усилением зимних Восточно-Азиатских муссонов, способствовало интенсификации пространственного и сезонного морского ледяного покрова в Охотском море. Это вызывало снижение первичной продуктивности и приводило к низким значениям численности радиолярий. Приблизительно 133 тыс. лет назад в пределах этого холодного периода WMI-II ВБ и ВР сообществ радиолярий несколько увеличивается, а изменения показателей палеопродуктивности и содержания IRD свидетельствуют о росте продуктивности и смягчении ледовых условий. Вероятно, это было вызвано региональным потеплением климата (рисунок 6.2.).

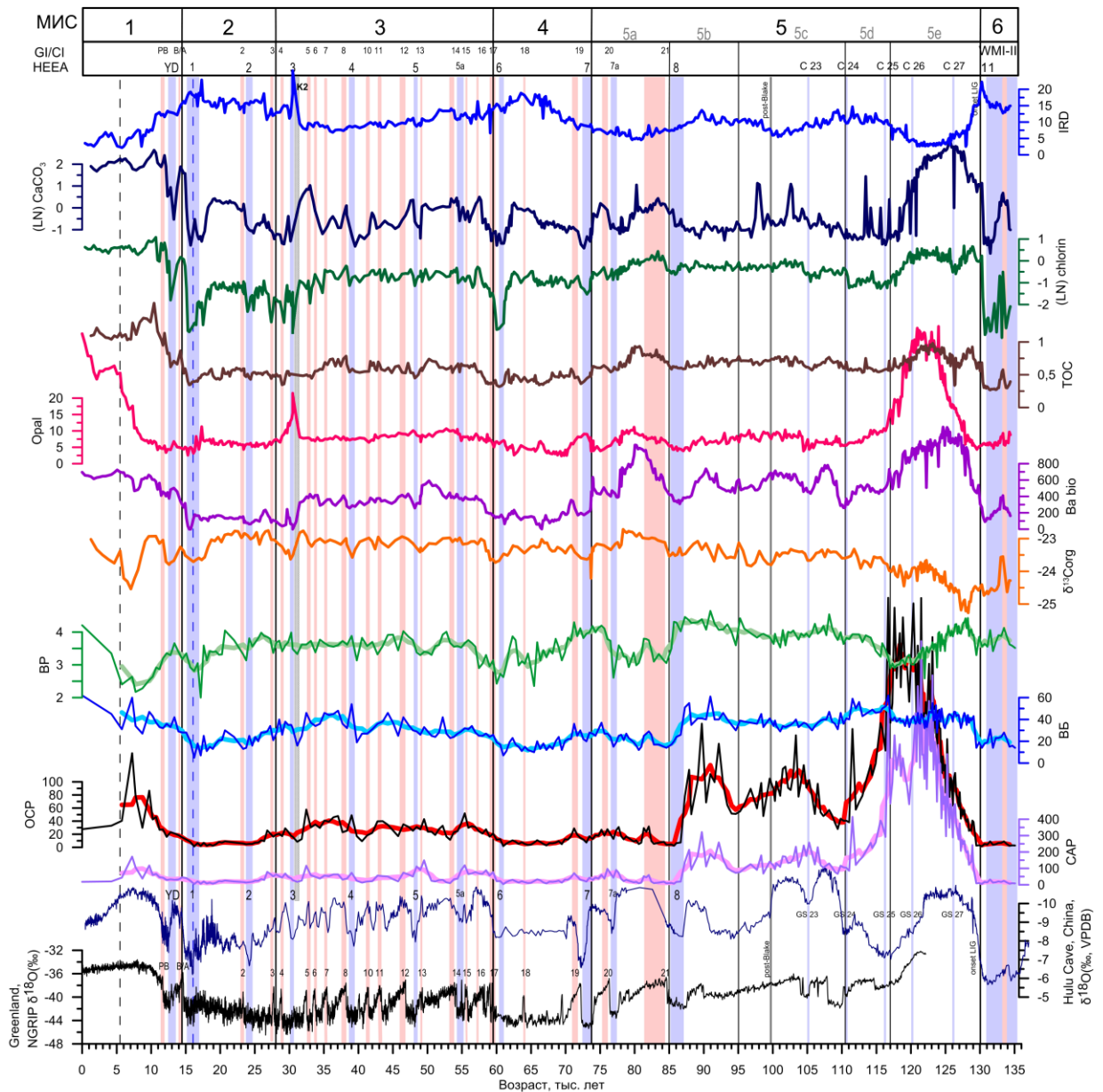


Рисунок. 6.2. OCP, CAP, ББ и ВР радиоларий; содержание Ba_{bio} , TOC, chlorin, $CaCO_3$, Opal, $\delta^{13}C_{org}$ и IRD в осадках керна PC-7R, сопоставленные с изменениями $\delta^{18}O$ ледяного керна Гренландии [Wolff, 2010] и $\delta^{18}O$ сталагмитов пещеры Хулу (Китай) [Wang, 2001, 2008].

Границы МИС и интервалы потеплений/похолоданий климата региона отмечены подобно рис. 6.1.

Данные спелеотерм Китая также демонстрируют некоторое ослабление зимней муссонной активности в середине WMI-II [Cheng et al., 2009; Wang et al., 2008], которое можно наблюдать в Охотском море. Записи SST (температура морской поверхности) из керна Берингова моря SO201-2-85KL

аналогично указывают на некоторое потепление климата в это время [Мах et al., 2014].

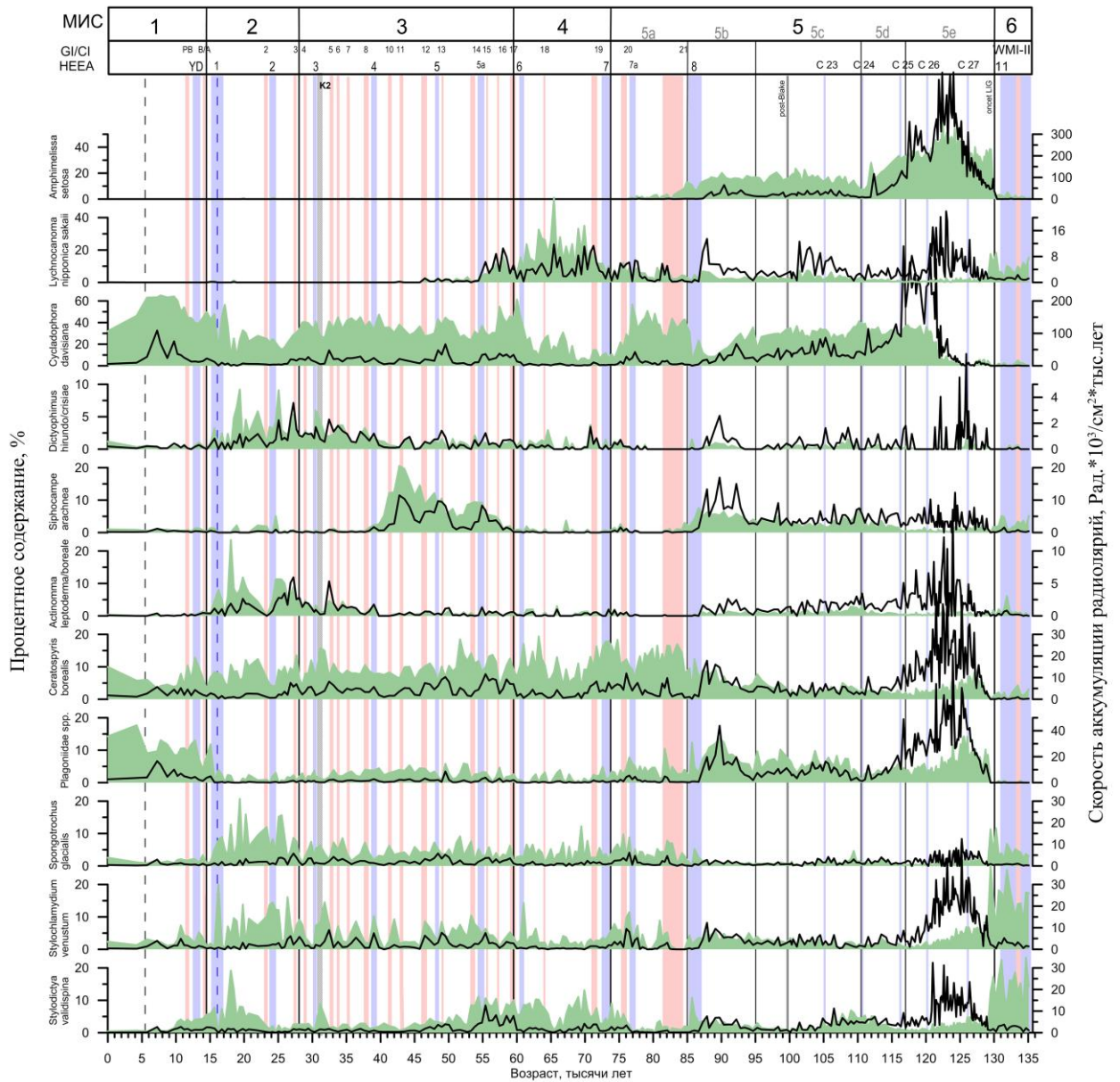


Рисунок. 6.3. Процентное содержание и скорости аккумуляции доминирующих таксонов радиолярий в керне PC-7R.

Границы МИС и интервалы потеплений/похолоданий климата региона отмечены подобно рис. 6.1.

В конце периода WMI-II (~132-130 тыс. лет назад) ОСР и САР очень низкие, заметно снижалось ВБ и ВР ассоциаций радиолярий. Этот период соотносится с холодным событием НЕЕА11, которое отразилось в записях продуктивности морской среды уменьшением содержания ТОС, Va_{bio} ,

chlorin, CaCO_3 и резким увеличением содержания IRD. Максимум IRD непосредственно вокруг границы МИС6/МИС5е вероятно связан с усилением таяния морского льда в начале оптимума межледникового МИС 5е ($\text{LIG}_{\text{onset}}$) (129,6 тыс. лет назад). В это время в ассоциациях радиолярий произошли значительные изменения: значительно увеличивается ОСР, САР, ВБ и ВР, резко выражено доминирование *A. setosa* и *Plagoniidae* spp. Продукция фитопланктона на этапе перехода от оледенения к межледниковью, отраженная в записях хлорина, ТОС и CaCO_3 демонстрирует сильную и немедленную реакцию на внезапное потепление летних поверхностных вод, несмотря на значительное влияние морского льда и стратификацию поверхностных вод.

Последующее холодное событие С27 (126 тыс. лет назад) в записях радиолярий отчетливо не выделяется. С начала оптимума межледникового и до начала С27 продолжался устойчивый рост ОСР и САР, который в момент события С27 незначительно снижался; ВБ и ВР ассоциаций радиолярий в период 129,6 – 126 тыс. лет назад оставалось стабильно высокими. Перед началом холодного события С27 содержания ТОС и хлорина кратковременно снижаются, и увеличиваются параллельно с пиком содержания CaCO_3 в его конце.

Наряду с интенсивным ростом ОСР и САР в период между холодными событиями С27 и С26 (126 - 120,6 тыс. лет назад) снижалось ВР радиолярий, при выраженном доминировании *A. setosa* и увеличении содержания *C. davisiana*, начиная с 122 тыс. лет назад (рисунок 6.3). Наибольший рост ОСР и самые высокие показатели продуктивности, а также «легкие» значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, свидетельствующие о возросшей доле морской органики, в сочетании с минимальными значениями IRD указывают на то, что, вероятно, в этот период произошел климатический оптимум LIG (рисунок 6.2).

В период между С26 и С25 (120,6 - 116,5 тыс. лет назад) записи ОСР и САР показывают стабильно максимальные значения, снижаясь перед началом С25. Доминируют два вида *A. setosa* и *C. davisiana*. Большинство

показателей палеопродуктивности в этот период непрерывно снижались с параллельным увеличением IRD, что указывает на окончание межледникового оптимума и начало последнего оледенения (рисунок 6.2).

В период между событиями C25 и C24 (116,5 – 111 тыс. лет назад) OCP и CAP резко снижаются, однако, ВБ и ВР растет. Отмечен одиночный пик численности радиолярий и увеличение числа видов перед началом холодного события C24, сопровождаемые повышением концентрации биогенного бария. По-прежнему доминируют виды *C. davisiana* и *A. setosa*. Относительное содержание *C. davisiana* составляет около 30%. Содержание же *A. setosa* значительно снижается перед началом C24, на фоне увеличения содержания IRD и уменьшения продуктивности морской среды, о чем свидетельствуют записи палеопрокси. Записи изменений $\delta^{18}\text{O}$ сталагмитов из пещер Китая во время холодного события C25 более выраженные, чем в последующее холодное событие C24, в отличие от изменений $\delta^{18}\text{O}$ ледяного керна Гренландии во время стадиялов GS25 и GS24 (рисунок 6.2). Изменения среды Охотского моря, связанные с холодным событием C25 и началом последнего оледенения были менее выраженными, чем похолодание в течение следующего C24, что указывает на то, что на регион влияли как восточноазиатская муссонная активность, так и климатические изменения в северном полушарии.

Записи OCP и CAP показывают значительное снижение численности радиолярий в период со 115 до 109,5 тыс. лет назад (с одиночным пиком на 111,5 тыс. лет назад), достигая минимальных значений после события C24. Далее, тренд OCP показывает рост численности радиолярий вплоть до события C23 (105 тыс. лет назад) на фоне смягчения ледовой обстановки региона, согласно записям IRD. В период C26 – C23 изменения OCP и CAP наиболее согласуются с записями содержания Ba_{bio} (рисунок 6.2). Похолодание климата региона, отразившееся в снижении продуктивности среды Охотского моря при наступлении стадияла C23, в записях радиолярий не было отражено. Перед началом же и во время C23 несколько

увеличивается процентное содержание и скорость аккумуляции *C. davisiana* на фоне пониженных значений $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$. Далее в промежуток от 105 до 94 тыс. лет назад ОСР и САР имели высокие значения, которые затем плавно снижались. В то же время ВБ и ВР было довольно высоки, без значительных вариаций.

Последующее увеличение ОСР, САР, ВБ и высокое ВР ассоциаций радиолярий в промежуток между 92 и 87 тыс. лет назад согласуются с повышенными значениями Ba_{bio} . В этот период отмечено повышение процентного содержания группы видов *Plagoniidae* spp. – индикаторов продуктивности в современных комплексах радиолярий Охотского моря – которое вероятно, происходило вследствие увеличения поставки нутриентов на различные глубины Охотского моря за счет роста первичной продукции и вентиляции водной толщи.

Далее в период 87 - 85 тыс. лет назад отмечено резкое сокращение ОСР, САР ВБ и ВР ассоциаций радиолярий, а также скорости аккумуляции вида *C. davisiana*. Его процентное содержание – напротив, значительно увеличивается (до 40%) при одновременном снижении доли других доминантов (*A. setosa*, *L. nipponica sakaii*, *S. arachnea*, *S. venustum*, *Plagoniidae* spp). Эти изменения, вероятно, объясняются значительным снижением продуктивности в центральной части моря из-за суровых климатических условий и увеличения поставки терригенной органики на промежуточные глубины (пониженные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) в период экстремально холодного события НЕЕА 8.

В период МИС 5а, примерно с 84,5 тыс. лет, начинается постепенный рост ОСР, ВБ и ВР ассоциаций радиолярий, который, возможно, был обусловлен увеличением продуктивности данного района вследствие наступления длительного потепления GI/CI 21 (рисунок 6.2).

В период 81,5 - 80,5 тыс. лет наблюдается незначительное увеличение ОСР. Высокие значения процентного содержания *C. davisiana*, наблюдавшиеся до этого времени значительно снизились (до 25%),

сопровождаясь ростом ВБ и ВР ассоциаций и увеличением содержания видов *L. nipponica sakaii*, *C. borealis*, *S. glacialis*, *S. venustum*, Plagoniidae spp. Эти изменения могут быть связаны с наступлением интерстадиала 21. Изменение кривых $\delta^{18}\text{O}$ для сталагмитов из пещер Китая и льдов Гренландии при GI/CI 21 в значительно различается: плавное в первом случае и резкое во втором. Это вероятно, связано с характером изменений центров атмосферной циркуляции на северо-востоке Азии и на прилегающей части Тихого океана, определяющих муссонную деятельность и ослабление зимних муссонов (Wang, 2001). Подобный плавный характер изменения ледовых условий и продуктивности Охотского моря показывают записи IRD, $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$, Ba_{bio} и ТОС. Содержание хлорина в это время демонстрирует более интенсивный рост с началом события GI/CI 21, это опосредованно связано с повышением продукции карбонатных кокколитофорид, которые быстрее реагируют на изменения климата и ледовой обстановки.

В пределах подстадии МИС 5а скорость аккумуляции *C. davisiana* имеет повышенные значения в период 77,6-77,3 тысячи лет назад. С наступлением холодного события GS/CS 21 (эквивалентного НЕЕА 7а) (77,5 - 77 тыс. лет назад) относительное содержание *C. davisiana* возрастает до 56,6%, что вероятно было обусловлено снижением ВБ и ВР ассоциаций радиолярий и сопровождалось снижением содержания видов *C. borealis*, *L. nipponica sakaii*, *S. glacialis* и *S. venustum*. Показатели продуктивности в это время значительно снижались, а содержание IRD и доля терригенной органики (пониженные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) – увеличивались. Вероятно, такие изменения палеосреды региона происходили вследствие завершения длительного потепления GI/CI 21 и наступления холодного стадиала НЕЕА 7а, имеющего более резкий характер в записях восточноазиатских муссонов (Wang, 2001) по сравнению со стадиалом GS 21 льда Гренландии.

Последующее незначительное повышение ОСР, САР и существенное для ВБ и ВР в период 76, 5 - 75 тыс. лет назад вероятно связано с ростом продуктивности региона. Это подтверждается увеличением содержаний

Ba_{bio}, ТОС и CaCO₃ во время теплого события, которое соотносится с GI 20 во льдах Гренландии, но имеет более плавный характер в записях керна, аналогичный Китайскому интерстадиалу CI 20. В этот период резко снижается процентное содержание *C. davisiana* с 29 до 16% при значительном увеличении ВБ и видового разнообразия ассоциаций радиолярий, а также увеличении доли видов *L. nipponica sakaii*, *S. glacialis* и *S. validispina*. Распределение скорости аккумуляции вида *C. davisiana* имеет сходную тенденцию с изменением ОСР и показывает значения, подобные отмеченным во второй половине длительного GI/CI 21.

В начале МИС 4 в период 73,5 – 72,6 тысяч лет назад ОСР, САР, ВБ, процентное содержание и скорости аккумуляции *C. davisiana* имеют низкие значения. Это может быть связано со значительным снижением продуктивности данного района при усилении влияния морских льдов вследствие наступления холодного события GS/CS 20 (HEEA 7).

Далее, в период с 72,3 по 70,5 тыс. лет назад наблюдается рост ОСР, САР, ВБ и ВР ассоциаций радиолярий и продуктивности региона, что может быть связано с потеплением GI/CI 19. Процентное содержание и скорости аккумуляции *C. davisiana* увеличиваются незначительно, ввиду того, в это время возрастало абсолютное и относительное содержание вида *L. nipponica sakaii*.

Последующие низкие значения ОСР, САР и ВБ радиолярий наблюдавшиеся вплоть до 61,7 тысяч лет назад, возможно связаны с суровой ледовой обстановкой и низкой продуктивностью во время МИС 4.

Интерстадиал GI/CI 18 (64,1 тыс. лет назад) в записях палеоиндикаторов выражен слабо. Ассоциации радиолярий отреагировали на потепление GI/CI 18 незначительным увеличением ВР. ОСР, САР и ВБ оставались по-прежнему на низком уровне.

Низкие значения ОСР, САР, резкое снижение ВБ и ВР ассоциаций радиолярий в конце МИС 4 в период 61,1 - 60 тыс. лет назад могут быть связаны с резким спадом продуктивности в это время (о чем свидетельствуют

записи хлорина, ТОС, CaCO_3). Вероятно, он обусловлен наступлением экстремально холодного события НЕЕА 6 (рисунок 6.2; 6.3). В этот период отмечено резкое увеличение относительного содержания вида *C. davisiana* (до 61,3%), поступления терригенной органики (пониженные значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) и снижение относительного содержания вида *L. nipponica sakaii* и ВР ассоциаций радиолярий.

В начале МИС 3 синхронное увеличение ОСР, САР, ВР и ВБ ассоциаций, а также высокое процентное содержание *C. davisiana* в период 59,2 – 56 тысяч лет назад, могут быть связаны со смягчением ледовых условий и увеличением продуктивности региона при наступлении потеплений GI/CI 17-15. При этом рост ОСР, САР, ВБ и ВР ассоциаций радиолярий и продуктивности региона более плавный, аналогично характеру и форме изменений $\delta^{18}\text{O}$ карбоната сталагмитов из пещер Китая (рисунок 6.2; 6.3).

Последующее снижение ОСР, САР, ВБ и ВР радиолярий, и скорости аккумуляции *C. davisiana* наблюдается с началом стадиала GS/CS 15 (НЕЕА 5а) в период 55,1 – 54,4 тыс. лет назад при одновременном снижении продуктивности региона.

Увеличение ВР ассоциаций, отмеченное 53,4 – 52,7 тыс. лет назад, возможно было связано с ростом продуктивности региона во время продолжительного интерстадиала GI/CI 14. При этом изменения индексов продуктивности имеют более плавный характер, аналогичный изменениям $\delta^{18}\text{O}$ карбоната сталагмитов из пещер Китая CI 14.

Потепление региона GI/CI 13 (49,2 тыс. лет назад) способствовало росту продуктивности региона (увеличение концентраций Ba_{bio} и CaCO_3) и увеличению доли терригенной органики, поступающей в водную толщу (снижение концентрации $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$), необходимой для жизнедеятельности радиолярий, обитающих на промежуточных глубинах. Это нашло отклик в записях радиолярий в виде незначительного увеличения ОСР, САР и ВБ, скоростей аккумуляции и относительного содержания *C. davisiana*.

В период 48,5 – 47,5 тыс. лет назад при относительно стабильных значениях ОСР, САР и ВБ, ВР значительно возрастает, на фоне снижения относительного содержания основного доминанта *C. davisiana*. Изменения сообществ радиолярий происходили одновременно с выраженным сокращением продуктивности региона (снижение концентраций Ba_{bio} , ТОС, $CaCO_3$, chlorin) во время холодного события GS/CS 13 (НЕЕА 5).

В период с 46,8 – 46 тыс. лет назад наблюдаются низкие значения ОСР, САР, ВБ и ВР, которые постепенно возрастают, вероятно, в результате постепенного роста продуктивности региона во время потепления климата GI 12. Изменения скоростей аккумуляции и относительного содержания *C. davisiana* выражены слабо.

В течение 43,3 – 41 тыс. лет назад отмечены слабые вариации показателей радиолярий и индексов палеопродуктивности. Временное разрешение исследования позволяет предположительно выделить на данном отрезке керна коротко-периодические события, соотносящиеся с интерстадиалами Гренландии и Китая GI/CI 11 и 10.

39,5 тыс. лет назад отмечаются повышенные значения ОСР, САР, ВБ и ВР ассоциаций радиолярий сопровождаются понижением продуктивности региона, которое связано с наступлением холодного события НЕЕА 4.

В течение последующих пяти тысяч лет (37,8 – 32,9 тыс. лет назад), предположительно синхронных с интервалами потепления климата региона CI 8 - 5 отмечаются небольшие вариации высоких значений показателей радиолярий, сопровождаемые повышением продуктивности региона.

Увеличение ОСР, САР, ВБ и ВР ассоциаций, а также скоростей аккумуляции и относительного содержания *C. davisiana* в конце МИС 3 (30,47 – 30 тыс. лет назад), происходило на фоне суровой ледовой обстановки и сокращения продуктивности, связанных с наступлением стадиала GS/CS 5 (НЕЕА 3), данный интервал керна содержит пепловый прослой K2.

На границе МИС 3/2 (29,5 - 27,8 тыс. лет назад) отмечено незначительное увеличение показателей ОСР, САР, ВБ, ВР ассоциаций

радиолярий, которое сопровождается ростом продуктивности региона. Предположительно эти вариации объясняются теплыми событиями GI/CI 4 и 3. На фоне увеличения доли морской органики (записи $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$) снижалось относительное содержание вида *C. davisiana*. Такая тенденция распределения показателей радиолярий и палеопродуктивности сохраняется до 26,7 тыс. лет назад.

В течение периода 24,6 – 23,7 тыс. лет назад ОСР, САР и скорости аккумуляции *C. davisiana* достигали минимальных значений. ВБ и ВР ассоциаций радиолярий снижались. В это же время несколько увеличивалось относительное содержание видов *C. davisiana* (до 22%), *S. venustum* и *S. arachnea*. Такие изменения показателей радиолярий могут быть связаны с суровой ледовой обстановкой и спадом продуктивности во время экстремально холодного события НЕЕА 2.

Последующее увеличение ВБ и ВР ассоциаций, начавшееся 23,4 тыс. лет назад и сопровождаемое ростом продуктивности Охотского моря (повышенные концентрации chlorin и CaCO_3), происходило вследствие наступления потепления GI/CI 2. Однако, значения ОСР, САР, скоростей аккумуляции вида *C. davisiana* оставалось по-прежнему очень низкими на фоне увеличения обилия видов группы Spongodiscidae (*S. glacialis*, *S. venustum*, *S. validispina*) и *C. borealis*. Высокие значения IRD и видовой состав радиолярий в этот период указывают на суровую ледовую обстановку (рисунок 6.2; 6.3).

Очень низкая численность радиолярий, сокращение ВБ и ВР сообществ радиолярий в период 19,9 – 15,1 тыс. лет назад на фоне низкой продуктивности и суровых ледовых условий региона совпадают с максимумом последнего оледенения и холодным событием GS/CS 2 (НЕЕА 1). Во время первой половины НЕЕА 1 показатели радиолярий имеют очень низкие значения (ОСР, САР, ВБ и ВР). Выраженное сокращение продуктивности, увеличение IRD и «тяжелые» значения $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ свидетельствуют о суровой климатической обстановке данного периода. При

этом одновременно с сокращением ВБ и ВР ассоциаций отмечается резкое увеличение процентного содержания вида *C. davisiana* (до 56,5%). Несколько возростала доля таксонов *A. leptoderma/ boreale*, *S. glacialis*, *S. validispina*, *C. borealis*, указывающих на преобладание суровых ледовых условий, слабое перемешивание приповерхностного слоя воды, стратификацию и интенсивное формирование промежуточных водных масс Охотского моря во время оледенений. Это определяло поступление кислорода и нутриентов в составе терригенной водной взвеси из шельфовых областей на промежуточные глубины Охотского моря.

Характерные изменения среды Охотского моря и показателей радиолярий произошли во второй половине НЕЕА 1. Примерно с 16,1 тыс. лет назад началось увеличение ОСР, ВБ и ВР ассоциаций. При этом записи $\delta^{18}\text{O}$ сталагмитов из пещер Китая фиксируют наиболее сильные зимние муссоны, а показатели палеопродуктивности – ее низкие значения (рисунок 6.2). Видимо во время холодного события НЕЕА 1, эквивалентного “Mystery Interval” [Denton et al., 2006], Охотское море также характеризовалось резкими и сильными изменениями палеосреды, которые влияли на продукцию радиолярий.

Устойчивый рост ОСР (главным образом за счет увеличения продукции *C. davisiana*) и ВБ ассоциаций радиолярий продолжался во время сильного и резкого увеличения продуктивности при потеплении Б/А, похолодании YD и Пребореального (Р/В) периода голоцена. Это сопровождалось смягчением ледовых условий в центральной части Охотского моря (рисунок 6.2; 6.3).

Выводы

Тысячелетние вариации климата, также как и орбитальные, находят отклик в изменениях ОСР, САР, ВБ и ВР ассоциаций радиолярий, контролируемых динамикой продуктивности фотического слоя. В целом,

ОСР, САР, ВБ и ВР уменьшаются во время холодных стадиялов и плавно возрастают во время последующих интерстадиялов.

Во время МИС 5b-4 тысячетные минимумы продуктивности, ассоциирующие со стадиялами (GS/CS), сопровождались значительным уменьшением ОСР, ВБ и ВР радиолярий. Последующие увеличения продуктивности во время интерстадиялов (GI/CI) приводили к более плавному росту ОСР, ВБ и ВР. Такой тип изменений показателей радиолярий во времени более сходен с изменениями $\delta^{18}\text{O}$ карбоната сталагмитов из пещер Китая, нежели $\delta^{18}\text{O}$ льда Гренландии. Вероятно, изменчивость продуктивности и характеристик радиолярий (ОСР, ВБ и ВР) преимущественно определялись изменениями зимних муссонов Восточной Азии, влиявших на среду и ледовый покров Охотского моря.

Во время МИС 3 вариации ОСР, ВБ и ВР, вызванные сокращением продуктивности на протяжении более интенсивных похолоданий климата GS/CS 15, 12, 8 и 4 (НЭЕА 5a, 5, 4 и 3), выражены менее заметно. Последующие продолжительные интерстадиялы GI/CI 17, 16, 14 и 8 приводили к плавному и значительному увеличению показателей численности, видового богатства и разнообразия радиолярий, что вероятно, было связано с ростом продуктивности и поступлением органики в водную толщу.

Заключение

В результате проведенных исследований показана пригодность радиоляриевых методов как одного из способов получения высокоразрешающих сведений о палеоклиматических изменениях Охотоморского региона. Радиолярии являются высокочувствительными индикаторами. Изменения их численности, видового богатства и структурного состава опосредованно отражают изменения ледовой обстановки, динамики водных масс, атмосферных процессов и продуктивности морских вод в масштабах как орбитальных вариаций климата, так и тысячелетних. При этом данные, полученные в ходе радиоляриевых анализов 296 проб донных отложений керна из центральной части Охотского моря, показали высокую интерпретируемость и корреляцию с биогеохимическими и литологическими данными. Выявлено богатое видовое разнообразие сообществ радиолярий, определено 160 таксонов, относящихся к 97 родам и 21 семейству. Продемонстрирована актуальность комплексного применения таких показателей, как скорости аккумуляции видов и их процентное содержание, позволяющего получить более масштабное представление об общих изменениях среды и климата Охотоморского региона. Установлено время исчезновения ископаемых видов *Amphimelissa setosa* и *Lychnocanoma nipponica sakaii* в центральной части Охотского моря – соответственно, 76 и 46,4 тыс. лет назад, а также период расцвета вида *Lychnocanoma nipponica sakaii* (72 – 60 тыс. лет назад, с максимумом на 65,5 тыс. лет назад).

На примере осадков керна из центральной части Охотского моря показана пригодность использования методов статистики для изучения микропалеонтологических остатков, выявлены и описаны статистически значимые связи между показателями радиолярий и некоторыми характеристиками вещественного состава позднеплейстоценовых и

голоценовых осадков Охотского моря. Это позволит более точно проводить палеореконструкции условий изменения климата региона.

Список литературы

1. *Арчиков Е.И.* Проблемы теоретической и прикладной геоморфологии берегов Дальневосточных морей. Владивосток: Изд-во Дальневосточного университета. 1986. 124 с.
2. *Арчиков Е.И., Бровко П.Ф., Рыбаков В.Ф., Шуйский Ю.Д.* Абразионный фактор поступления осадочного материала в Охотское море // Современное осадконакопление и четвертичный морфолитогенез Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1982. С. 165-177.
3. *Астахов А.С.* Литохимия осадков материковой окраины востока Азии. Владивосток: Дальнаука. 2001. 240 с.
4. *Астахов А.С.* Позднечетвертичное осадконакопление на шельфе Охотского моря. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1986. 140 с.
5. *Астахов А.С.* Современное и позднечетвертичное накопление отложений и литодинамика // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия. С- Пб.: Гидрометеиздат, 1998. Т. IX, Вып. 1. С. 19-21.
6. *Астахов А.С., Вагина Н.К., Горбаренко С.А., Демиденко Е.Л., Шаповалов В.В., Бирюлина М.Г.* Скорости голоценового осадконакопления в Охотском море // Тихоокеанская геология. 1988. № 4. С. 3-14.
7. *Астахова Н.В., Обжиров А.И., Астахов А.С., Горбаренко С.А.* Аутигенные карбонаты в зонах газовых аномалий окраинных морей Востока Азии // Тихоокеанская геология. 1993. № 4. С. 34-40.
8. *Афанасьева М.С., Амон Э.О., Болтовской Д.* Экология и биогеография радиолярий: новый взгляд на проблему. Часть 1. Экология и тафономия // Литосфера. 2005. №. 3. С. 31-56.
9. *Афанасьева М.С., Амон Э.О.* Симметрия в скелетах радиолярий // Литосфера. 2014. №. 2. С. 39-49.

10. *Бараш М.С., Бубенищикова Н.В., Казарина Г.Х., Хусид Т.А.* О палеоокеанологии центральной части Охотского моря в течение последних 200 тыс. лет (по микропалеонтологическим данным) // *Океанология*. 2001. Т. 41. № 5. С. 755-767.
11. *Бараш М.С., Матуль А.Г., Казарина Г.Х., Хусид Т.А., Абельман А., Бибо Н., Нюрнберг Д., Тидеман Р.* Палеоокеанология центральной части Охотского моря в среднем плейстоцене (350-190 тысяч лет назад) по микропалеонтологическим данным // *Океанология*. 2006. Т. 46. № 4. С. 537-549.
12. *Бараш М.С., Хусид Т.А., Матуль А.Г., Чеховская М.П., Бибо Н., Нюрнберг Д., Тидеман Р.* Распределение бентосных фораминифер в позднечетвертичных отложениях впадины Дерюгина (Охотское море) // *Океанология*. 2008. Т. 48. №1. С. 113–122.
13. *Басов И.А., Горбаренко С.А., Хусид Т.А.* Гидрология Охотского моря в последнее ледниковье по данным фораминиферового анализа // *Доклады РАН*. 2000. Т. 375. № 5. С. 680-684.
14. *Батурин Г.Н., Дубинчук В.Т., Рашидов В.А.* Особенности распределения микроэлементов в железомарганцевых корках со дна Охотского моря // *Докл. АН*. 2011. Т. 440. № 2. С. 213-219.
15. *Безруков П.Л.* Донные отложения Охотского моря // *Труды института океанологии АН СССР*. 1960. Т. 32. С. 15-95.
16. *Беляева Н.В., Бурмистрова И.И.* Планктонные фораминиферы в осадках Охотского моря // *Океанология*. 2003. Т.43. №2. С. 219-227.
17. *Бубенищикова Н.В., Нюрнберг Н., Горбаренко С.А., Лембке-Ейне Л.* Изменения зоны кислородного минимума Охотского моря за последние 50 тысяч лет по бентосным фораминиферам и биогеохимическим данным // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 1. С. 99-113.
18. *Васильев А.С., Храпченков Ф.Ф.* Планирование океанологического эксперимента (на примере Охотского моря) // *Метеорол. и гидрол.* 1994. № 8. С. 64-70.

19. *Верхунов А.В.* Развитие представлений о крупномасштабной циркуляции Охотского моря // Сапожников В.В. (Отв. ред.). Комплексные исследования экосистемы Охотского моря. Экология морей России. М.: Изд-во ВНИРО. 1997. С. 8-19.
20. *Волохин Ю.Г., Астахов А.С., Ващенко Н.Г.* Голоценовое кремненакопление в Охотском море // Литология и полезные ископаемые. 2004. № 3. С. 304-326.
21. *Горбаренко С.А., Гольдберг Е.Л.* Оценки изменения первичной продукции Охотского и Берингова морей и северо-западной части Тихого океана за максимум последнего оледенения и голоцен // Докл. АН. 2005. Т 405. № 5. С. 673-676.
22. *Горбаренко С.А., Чеховская М.П., Соутон Дж.Р.* О палеосреде центральной части Охотского моря во время последнего оледенения голоцена // Океанология. 1998. Т. 38. № 2. С. 305-308.
23. *Горшков Г.С.* Вулканизм Курильской островной дуги. М.: Наука, 1967. 287 с.
24. *Дашко Н.А.* Метеорологический режим // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1998. Т. IX, Вып. 1. С. 25-75.
25. *Деркачёв А.Н., Николаева Н.А., Горбаренко С.А.* Особенности поставки и распределения кластогенного материала в Охотском море в позднечетвертичное время // Тихоокеанская геология. 2004. Т. 23. № 1. С. 37-52.
26. *Добровольский А.Д., Залогин Б.С.* Моря СССР. М.: Изд-во Московского университета, 1982. 192 с.
27. *Догель В.А.* Общая протистология. М., «Сов. наука». 1951. 603 с.
28. *Догель В.А., Решетняк В.В.* К фауне радиолярий дальневосточных морей // Тр. проблемных и тематических совещаний. Вып. 6. М.: ЗИН АН СССР, 1956. С. 72-76.

29. *Догель В.А., Решетняк В.В.* Материалы по радиоляриям северо-западной части Тихого океана // Исследования дальневосточных морей СССР. Вып. 3. М., Л.: Наука, 1952. С. 5-36.
30. *Дударев О.В., Боцул А.И., Аникеев В.В., Якунин Л.П., Колесов Г.М.* Современное осадконакопление в эстуарии р. Амур // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. № 3. С. 30-43.
31. *Жабин И.А.* Вентиляция промежуточных вод в Охотском море // Метеорол. и гидрол. 1999. № 12. С. 77-87.
32. *Жузе А.П.* Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Наука, 1962. 258 с.
33. *Захарков С.П., Босин А.А., Горбаренко С.А.* Содержание хлорина в морских осадках как индикатор палеопродуктивности // Вестник ДВО РАН. 2007. № 1. С. 52-58.
34. *Кругликова С.Б.* Радиолярии // Атлас микроорганизмов в донных осадках океанов (диатомеи, радиолярии, силикофлагелляты, кокколиты). М.: Наука. 1977. С. 13-17. Таблицы 86-145.
35. *Кругликова С.Б.* Радиолярии в поверхностном слое осадков Охотского моря // Океанология. 1975. Т. 15. № 1. С. 116-122.
36. *Кругликова С.Б.* Радиолярии в поверхностном слое осадков Тихого океана // Тихий океан. Биология. Микрофлора и микрофауна в осадках Тихого океана. М.: Наука. 1969. С. 48-72.
37. *Круц А.А., Лучин В.А.* Вертикальная структура толщи вод Охотского моря // Известия ТИНРО. 2013. Т. 175. С. 234–253.
38. *Лисицын А.П.* Ледовая седиментация в Мировом океане. М.: Наука, 1994. 448 с.
39. *Лучин В.А.* Гидрологический режим // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия. С-Пб.: Гидрометеоиздат, 1998. Т. IX, вып. 1. С. 92-128.
40. *Лучин В.А., Круц А.А.* Характеристики ядер водных масс Охотского моря // Известия ТИНРО. 2016. Т. 184. С. 204-218.

41. *Маркина Н.П., Чернявский В.И.* Количественное распределение планктона и бентоса в Охотском море // Известия ТИНРО. 1984. Т. 109. С. 109–119.
42. *Матвеев В.И.* Гидрохимические условия биологической продуктивности Охотского моря. Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Владивосток: ФГУП «ТИНРО-Центр», 2006. 24 с.
43. *Матуль А.Г.* Четвертичная биостратиграфия и палеоокеанология Охотского моря и других субарктических районов. М: ГЕОС. 2009. 182 с.
44. *Матуль А.Г., Абельман А.* Четвертичная водная структура Охотского моря по данным радиолярий // Доклады РАН. 2001. Т. 381. № 2. С. 259-261.
45. *Матуль А.Г., Абельман А., Герзонде Р., Нюрнберг Д., Тидеман Р., Кругликова С.Б.* Позднечетвертичное распределение вида радиолярий *Cycladophora davisiana* как отражение вероятной вентиляции промежуточной воды Северной Пацифики во время последнего ледникового максимума // Океанология. 2015. Т. 55. № 1. С. 103–112.
46. *Матуль А.Г., Абельман А., Нюрнберг Д., Тидеман Р.* Стратиграфия и крупные изменения палеоокеанологии Охотского моря за последний миллион лет по данным о радиоляриях // Океанология. 2009. Т. 49. № 1. С. 101-109.
47. *Матуль А.Г., Горбаренко С.А., Мухина В.В., Лесков В.Ю.* Четвертичные микропалеонтологические и литофизические записи осадков из северной части Охотского моря // Океанология. 2003. Т. 43. № 4. С. 583-592.
48. *Мелекесцев И.В., Брайцева О.А., Пономарева В.В., Сулержицкий Л.Д.* Крупнейшие эксплозивные извержения на Камчатке за последние 10 тысяч лет // Вестник РФФИ. 1997. № 1. С. 21-29.
49. *Михайлик П.Е., Деркачев А.Н., Чудаев О.В., Зарубина Н.В.* Железомарганцевые корки подводных возвышенностей трога Кашеварова (Охотское море) // Тихоокеанская геология. 2009. Т. 28. № 1. С. 32-43.
50. *Моисеев П.А.* Биологические ресурсы Мирового океана. М.: ВО "Агропромиздат". 1989. 368 с.

51. *Морошкин К.В.* Водные массы Охотского моря. М.: Наука. 1966. 66 с.
52. *Мухина В.В., Матиль А.Г.* Позднечетвертичная диатомовая стратиграфия и палеоокеанология Охотского моря (впадина Дерюгина) во время последнего ледникового максимума // *Океанология*. 2009. Т. 49. № 4. С. 604–612.
53. *Налетова И.А., Сапожников В.В., Метревели М.П.* Особенности распределения первичной продукции в летний период и оценка суммарной продукции в Охотском море // *Комплекс. исслед. экосист. Охотского моря*. М.: ВНИРО, 1997. С. 98–103.
54. *Петров А.Г., Плотников В.В., Якунин Л.П.* Ледовые условия и методы их прогнозирования // *Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия*. С-Пб.: Гидрометеиздат, 1998. Т. IX, Вып. 1. С. 291–340.
55. *Петрушевская М.Г.* Радиолариевый анализ. Л.: Наука. 1986. 200 с.
56. *Петрушевская М.Г.* Радиоларии Nassellaria в планктоне Мирового океана // *Радиоларии Мирового океана. Исследования фауны морей*. 1971. №. 9(17). С. 5–294.
57. *Петрушевская М.Г.* Радиоларии отряда Nassellaria Мирового океана // *Определители по фауне СССР, издаваемые Зоологическим институтом Академии наук. Ленинград: Наука, 1981. 405 с.*
58. *Петрушевская М.Г.* Радиоларии отрядов Spumellaria и Nassellaria Антарктической области (по материалам Советской Антарктической экспедиции). В кн.: *Исслед. фауны морей. Л., вып. 4 (12) (Результаты биол. исслед. Сов. Антаркт. экспедиции (1955–1958 гг.) вып. 3)*. 1967. С. 5–186.
59. *Пушкарь В.С., Черепанова М.В.* Диатомовые комплексы и корреляция четвертичных отложений северо-западной части Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 2008. 174 с.
60. *Пшенёва О.Ю., Горбаренко С.А.* Отклик придонных условий центральной части Охотского моря на орбитальные и тысячелетние

изменения климата за последние 130 000 лет по данным бентосных фораминифер // Докл. АН. 2013. Т 452. № 4. С. 449–452.

61. Саидова Х.М. Закономерности распределения фораминифер в донных отложениях Охотского моря // Тр. ИО АН СССР. 1960. Т. 32. С. 96-157.

62. Сахно В.Г., Деркачев А.Н., Мелекесцев И.В., Разжигаева Н.Г., Зарубина Н.В. Вулканические пеплы в осадках Охотского моря: идентификация по микро- и редкоземельным элементам // Докл. АН. 2010. Т. 434. № 2. С. 204-211.

63. Сваричевский А.С. Физико-географический очерк // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия. СПб.: Гидрометеиздат, 1998. Т. IX, Вып. 1. С. 6-22.

64. Современное осадкообразование в окраинных морях Восточной Азии / Под редакцией Ф.Р. Лихта. Владивосток: Дальнаука, 1997. 302 с.

65. Удинцев Г.Б. Рельеф дна Охотского моря // Труды Института Океанологии АН СССР. 1957. Т. XXII. С. 3-76.

66. Фролов Ю.С. Новые фундаментальные данные по морфометрии мирового океана // Вестник ЛГУ, серия геологическая и географическая. 1971. № 6. С. 85-90.

67. Хусид Т.А., Бараш М.С., Бибо Н., Нюрнберг В., Тидеманн Р. О позднечетвертичных изменениях придонной среды юго-восточного склона Охотского моря по бентосным фораминиферам // Океанология. 2005. Т. 45. № 3. С 440-446.

68. Хусид Т.А., Басов И.А. Позднечетвертичная гидрологическая история Охотского моря по фораминиферам // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 1999. Т. 7. № 6. С.41-52.

69. Цой И.Б., Шастина В.В. Кайнозойские комплексы кремнистого микропланктона из отложений хребта Терпения (Охотское море) // Тихоокеанская геология. 2000. Т. 19. №. 4. С. 105-115.

70. Цой И.Б., Шастина В.В. Кайнозойский кремнистый микропланктон из отложений Охотского моря и Курило-Камчатского желоба. Дальнаука, 2005. 181 с.
71. Чернявский В.И. Циркуляционные системы Охотского моря // Известия ТИНРО. 1981. Т. 105. С. 13-19.
72. Чеховская М. П., Басов И. А., Горбаренко С. А. Позднечетвертичные планктонные фораминиферы северо-восточного окончания Курильской котловины (Охотское море, ст. В34-98) // Стратиграфия. Геологическая корреляция. 2001. Т. 9. №. 4. С. 99-112.
73. Шунтов В.П. Биология дальневосточных морей России. Владивосток: Изд-во Тихоокеанского научно-исследовательского рыбохозяйственного центра (ТИНРО-центр). 2001. 580 с.
74. Шунтов В.П. Межгодовая динамика в составе и структуре пелагических сообществ Охотского моря // Вест. ДВО РАН. 1995. №6. С. 80-89.
75. Якунин Л.П., Плотников В.В. Ледовые условия и методы их прогнозирования // Гидрометеорология и гидрохимия морей. Охотское море. Гидрометеорологические условия. С-Пб.: Гидрометеиздат, 1998. Т. IX, Вып. 1. С. 291-338.
76. Янченко Е.А. Особенности распределения ассоциаций радиолярий в поверхностных осадках Охотского моря // Вестник ДВО РАН. 2012. № 3. С. 90-97.
77. Abelman A. Freeze-drying simplifies the preparation of microfossils // Micropaleontology. 1988. Vol. 34. P. 361.
78. Abelman A., Brathauer U., Gersonde R., Sieger R., Zielinski U. Radiolarian-based transfer function for the estimation of sea surface temperatures in the Southern Ocean (Atlantic sector) // Paleooceanography. 1999. Vol. 14. P. 410-421.

79. *Abelmann A., Nimmergut A.* Radiolarians in the Sea of Okhotsk and their ecological implication for paleoenvironmental reconstructions // *Deep-Sea Research II*. 2005. Vol. 52. P. 2302-2331.
80. *Abelmann, A.* Radiolarian taxa from Southern Ocean traps (Atlantic sector) // *Polar Biology*. 1992. Vol. 12. P. 373–385.
81. *Abelmann, A., Gowing, M.M.* Spatial distribution pattern of living polycystine radiolarian taxa-baseline study for paleoenvironmental reconstructions in the Southern Ocean (Atlantic sector) // *Marine Micropaleontology*. 1997. Vol. 30. P. 3–28.
82. *Aberdeen E.* Radiolarian fauna of the Caballos formation, Marathon basin, Texas // *Journal of Paleontology*. 1940. P. 127-139.
83. *Alexandrovich J.* Radiolarians from sites 794, 795, 796, and 797 (Japan Sea). In: *Pisciotta KA, Ingle JC Jr, von Breymann MT, Barron J, et al. (Eds.), Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*. 1992. Vol. 127/128. Pt. 1. P. 291-307.
84. *An Z.* The history and variability of the East Asian paleomonsoon climate // *Quaternary Science Reviews*. 2000. Vol. 19. P. 171-187.
85. *Andersen K. K., Azuma N., Barnola J. M., Bigler M., Biscaye P., Caillon N., ... & Flückiger J.* North Greenland Ice Core Project members: High-resolution record of Northern Hemisphere climate extending into the last interglacial period // *Nature*. 2004. Vol. 431(7005). P. 147-151. <https://doi.org/10.1038/nature02805>
86. *Anderson O.R.* Radiolaria. Springer, Berlin, 1983. 355 pp.
87. *Anderson O.R., Bennett P., Dror A., Bryan M.* Experimental and observational studies of radiolarian physiological ecology: Trophic activity and symbiont primary productivity of *Spongaster tetras tetras* with comparative data an predatory activity of some Nassellaria // *Marine Micropaleontology*. 1989. Vol. 14(4). P. 267–273.
88. *Artemova A.V., Gorbarenko S.A., Vasilenko Yu.P., Shi X., Liu Y., Chen M.* Palaeoceanography changes in the Okhotsk Sea during late Pleistocene and

- Holocene according to diatoms // Quaternary International. 2017. Vol. 459. P. 175–186.
89. *Benson R.N.* Recent Radiolaria from the Gulf of California. Ph.D. Thesis, University of Minnesota. 1966. 578 pp.
90. Biological Board of Canada, *Wailes G.H.* Canadian Pacific Fauna: 1. Protozoa, 1a. Lobosa, 1b. Reticulosa, 1c. Heliozoa, 1d. Radiolaria. – University of Toronto Press for the Biological Board of Canada. 1937.
91. *Bjørklund K.R.* Radiolaria from the Norwegian Sea, Leg 38 of the Deep Sea Drilling Project. In: Talwani M., Udintsev G., et al. (Eds.), Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. 1976. Vol. 38. P. 1101-1168.
92. *Bjørklund K.R., Ciesielski P.F.* Ecology, morphology, stratigraphy and the paleoceanographic significance of *Cycladophora davisiana davisiana*. Part I: Ecology and Morphology // Marine Micropaleontology. 1994. Vol. 24(1). P. 71-88.
93. *Bjørklund K.R., Cortese G., Swanberg N., Schrader H.J.* Radiolarian faunal provinces in surface sediments of the Greenland, Iceland and Norwegian (GIN) Seas // Marine Micropaleontology. 1998. Vol. 35. P. 105-140.
94. *Bjørklund K.R., Kruglikova S.B.* Polycystine radiolarians in surface sediments in the Arctic Ocean basins and marginal seas // Marine Micropaleontology. 2003. Vol. 49. P. 231-273.
95. *Blueford J.R.* Distribution of Quaternary Radiolaria in the Navarin Basin geologic province, Bering Sea // Deep-Sea Research. 1983. Vol. 30(7A). P. 763–781.
96. *Boltovskoy D.* Classification and distribution of South Atlantic Recent polycystine Radiolaria // Palaeontologia Electronica. 1998. Vol. 1(2). P. 116.
97. *Boltovskoy D., Kogan M., Alder V.A., Mianzan H.* First record of a brackish radiolarian (Polycystina): *Lophophaena rioplataensis* n. sp. in the Rio de la Plata estuary // Journal of Plankton Research. 2003. Vol. 25(12). P. 1551–1559.

98. *Boltovskoy D., Oberhänsli H., Wefer G.* Radiolarian assemblages in the eastern tropical Atlantic: patterns in the plankton and in sediment trap samples // *Journal of Marine Systems*. 1996. Vol. 8(1-2). P. 31-51.
99. *Boltovskoy D., Riedel W.R.* Polycystine radiolaria from the southwestern Atlantic Ocean plankton // *Revista Espanola de Micropaleontologia*. 1980. Vol. 12(9). P. 99–146.
100. *Boltovskoy D., Riedel W.R.* Polycystine radiolarian of the California Current region: seasonal and geographic patterns // *Marine Micropaleontology*. 1987. Vol. 12(1). P. 65–104.
101. *Bosin A., Gorbarenko S., Xuefa S., Liu Y., & Zou J.* Regionalized primary paleoproduction variability in the sea of Okhotsk during late Pleistocene and Holocene // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015. Vol. 114. P. 534-540.
102. *Brandt K.A.H.* 1905. Zur Systematik der koloniebildenden Radiolarien.
103. *Brunelle B.G., Sigman D.M., Cook M.S., Keigwin L.D., Haug G.H., Plessen B., ... & Jaccard S.L.* Evidence from diatom-bound nitrogen isotopes for subarctic Pacific stratification during the last ice age and a link to North Pacific denitrification changes // *Paleoceanography*. 2007. Vol. 22(1). PA1215.
104. *Bubenshchikova N., Nürnberg D., Lembke-Jene L., & Pavlova G.* Living benthic foraminifera of the Okhotsk Sea: Faunal composition, standing stocks and microhabitats // *Marine Micropaleontology*. 2008. Vol. 69(3-4). P. 314-333.
105. *Bubenshchikova N., Nürnberg D., Tiedemann R.* Variations of Okhotsk Sea oxygen minimum zone: Comparison of foraminiferal and sedimentological records for latest MIS 12–11c and latest MIS 2–1 // *Marine Micropaleontology*. 2015. Vol. 121. P. 52-69.
106. *Bulatov N.V., Kurennaya L.A., Muktepavel S., Aleksanina M.G., Gerbek E.E.* Eddy water structure in the southern Sea of Okhotsk and its seasonal variability (results of satellite monitoring) // *Oceanology*. 1999. Vol. 39. P. 29–37.
107. *Bütschli O.* 1882a. Radiolaria. In *Klassen und Ordnungen des Thier-Reichs*. H.G. Bronn (Eds.). Vol. 1(1). P. 332-478. pl. 17-32.

108. *Bütschli O.* 1882b. Beitrage zur Kenntnis der Radiolarienskelette, insbesondere der Cyrtida. *Z. Wiss. Zool.* Vol. 36. P. 485-540. pl. 31-33.
109. *Campbell A., Clark B.* Radiolaria from Upper Cretaceous of Middle California // *Geol. Soc. Amer. Spec. Pap.* 1944. Vol. 57. P. 1–61.
110. *Casey R., Gust L., Leavesley A., Williams D., Reynolds R., Duis T., Spaw J.M.* Ecological niches of radiolarians, planktonic foraminiferans and pteropods inferred from studies on living forms in the Gulf of Mexico and adjacent waters // *Transactions, Gulf Coast Association of Geological Societies.* 1979. Vol. 29. P. 218-223.
111. *Casey R.E.* Distribution of polycystine Radiolaria in the oceans in relation to physical and chemical conditions. In: *Funnell B.M., Riedel W.R. (Eds.), The Micropaleontology of the Oceans.* Cambridge University Press, Cambridge. 1977. P. 151–159.
112. *Caulet J.P.* A refined radiolarian biostratigraphy for the Pleistocene of the temperate Indian Ocean // *Marine Micropaleontology.* 1986. Vol. 11. P. 217-229.
113. *Cayeux L.* 1894. Les preuves de l'existence d'organismes dans le terrain précambrien. *La Société.*
114. *Chebykin E.P., Gorbarenko S.A., Stepanova O.G., Panov V.S., Goldberg E.L.* Geochemical multielement signatures of glacial and interglacial facies of the Okhotsk Sea deepwater sediments during the past 350 kyr: a response to global climate changes at the orbital and millennial scales // *Paleoceanography.* 2015. Vol. 30. P. 303–316. [http:// dx.doi.org/10.1002/2014PA002718](http://dx.doi.org/10.1002/2014PA002718).
115. *Chen M.H., Tan Z.Y.* Radiolarian distribution in surface sediments of the northern and central South China Sea // *Marine Micropaleontology.* 1997. Vol. 32. P. 173–194.
116. *Cheng H., Edwards R.L., Broecker W.S., Denton G.H., Kong X., Wang Y., Zhang R., Wang X.* Ice age terminations // *Science.* 2009. Vol. 326(5950). P. 248–252.
117. *Cheng H., Edwards R.L., Wang Y., Kong X., Ming Y., Kelly M.J., Wang X., Gallup C.D., Liu W.* A penultimate glacial monsoon record from Hulu Cave and

- two-phase glacial terminations // *Geology*. 2006. Vol. 34(3). P. 217-220.
<http://dx.doi.org/10.1130/G22289.1>.
118. *Cleve P.T.* Notes on some Atlantic Plankton-organisms. *Kongliga Svenska Vetenskaps // Akademiens Handlingar*. 1901. Vol. 34(1). P. 1-22.
119. *Conkright M.E., Locarnini R. A., Garcia H.E., O'Brien T.D., Boyer T.P., Stephens C., Antonov J.I.* World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics, and Figures, CD-ROM Documentation. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD. 2002. 17 pp.
120. *Cortese G., Bjørklund K.R.* The taxonomy of boreal Atlantic Ocean Actinommida (Radiolaria) // *Micropaleontology*. 1998. Vol. 44. P. 149-160.
121. *Cortese G., Bjørklund K.R., Dolven J.K.* Polycystine radiolarians in the Greenland-Iceland-Norwegian (GIN) Seas: species and assemblage distribution // *Sarsia: North Atlantic Marine Science*. 2003. Vol. 88(1). P. 65-88.
122. Cruise Report of MR06-04, R/V “Mirai”, 2006. *Harada N.* (Eds.). JAMSTEC, Japan. /http://www.godac.jamstec.go.jp/cruisedata/mirai/e/MR06-04_leg1.html.
123. *De Wever P., Azema J., Fourcade E.* Radiolaires radiolarites: production primaire, diagenese et paleogeographie. *Bulletin de la Societe Elf, Pau*. 1994. Vol. 18(1). P. 315-379.
124. *De Wever P., Dumitrica P., Caulet J. P., Nigrini C., Caridroit M.* Radiolarians in the sedimentary record. CRC Press. 2014. P. 1-533.
125. *Denton G.H.* The mystery interval 17.5 to 14.5 kyrs ago // *PAGES News Letter*. 2006. Vol. 14. P. 14-16.
126. *Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Gorbarenko S.A., Harada N., Sakamoto T., Iijima K., Sakhno V.G., Hua Hua Lv., Wang K.* Characteristics and ages of tephra layers in the central Okhotsk Sea over the last 350 kyr // *Deep-Sea Research I*. 2012. Vol. 61. P. 179-192.
127. *Derkachev A.N., Nikolaeva N.A., Portnyagin M.V.* Mineral composition of tephra layers in the Quaternary deposits of the Sea of Okhotsk: heavy minerals

associations and their geochemistry // *Geochemistry International*. 2016. Vol. 54(2). P. 167-196.

128. *Dolven J.K., Bjørklund K.R.* An Early Holocene peak occurrence and recent distribution of *Rhizoplegma boreale* (Radiolaria): a biomarker in the Norwegian Sea // *Marine Micropaleontology*. 2001. Vol. 42. P. 25-44.

129. *Dolven J.K., Bjørklund K.R., Itaki T.* Jørgensen's polycystine radiolarian slide collection and new species // *Journal of Micropalaeontology*. 2014. Vol. 33(1). P. 21-58.

130. *Dumitrica P.* Cretaceous and Quaternary Radiolaria in deep sea sediments from the Northwest Atlantic Ocean and Mediterranean Sea. In: Ryan W. et al. (Eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1973. Vol. 13. P. 829–901.

131. *Ehrenberg C.G.* 1854. *Mikrogeologie: Das Erden und Felsen schaffende Wirken des unsichtbar kleinen selbständigen Lebens auf der Erde*. L. Voss. Vol. 1.

132. *Ehrenberg C.G.* 1873. *Mikrogeologische Studien über das kleinste Leben der Meeres-Tiefgründe aller Zonen und dessen geologischen Einfluss*. Buchdr. der K. Akademie der Wissenschaften, in Kommission bei F. Dümmler.

133. *Ehrenberg C.G.* 1875. *Fortsetzung der mikrogeologischen Studien als Gesamt-Ubersicht der mikroskopischen Palaontologie gleichartig analysirter Gebirgsarten der Erde, mit specieller Rücksicht auf Polycystinen-Mergel von Barbados*. *Abhandlungen der Koniglichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin*. P. 1-226.

134. *Fukumura R.* Time Series Radiolarian Fluxes with Core Tops in the Bering Sea and the Central Subarctic Pacific Ocean. Diss. Master's Thesis, University of Kyushu, Fukuoka (in Japanese with English abstract). 2002.

135. *Gamble F.W.* 1909. *The radiolaria. A Treatise on Zoology*. Adam and Charles Black London. P. 94-153.

136. *Gebhardt H., Sarnthein M., Grootes P.M., Kiefer T., Kuehn H., Schmieder F., Röhl U.* Paleonutrient and productivity records from the subarctic North Pacific

for Pleistocene glacial terminations I to V // *Paleoceanography*. 2008. Vol. 23(4). PA4212. doi:10.1029/2007PA001513.

137. *Goldberg E.L., Gorbarenko S.A., Shaporenko A.D., Phedorin M.A., Artemova A.V., Bosin A.A., Zolotarev K.V.* SRXFA for element compositions of bottom sediments from the Okhotsk Sea // *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A*. 2005. Vol. 543(1). P. 280-283.

138. *Gorbarenko S., Velivetskaya T., Malakhov M., Bosin A.* Glacial terminations and the Last Interglacial in the Okhotsk Sea; Their implication to global climatic changes // *Global and Planetary Change*. 2017. Vol. 152. P. 51-63.

139. *Gorbarenko S.A.* Stable isotope and lithologic evidence of late-Glacial and Holocene oceanography of the Northwestern Pacific and its marginal Seas // *Quaternary Research*. 1996. Vol. 46(3). P. 230-250.

140. *Gorbarenko S.A., Artemova A.V., Goldberg E.L., Vasilenko Yu.P.* The response of the Okhotsk Sea environment to the orbital-millennium global climate changes during the Last Glacial Maximum, deglaciation and Holocene // *Global and Planetary Change*. 2014. Vol. 116. P. 76-90.

141. *Gorbarenko S.A., Goldberg E.L.* Assessment of variations of primary production in the Sea of Okhotsk, Bering Sea, and Northwestern Pacific over the Last Glaciation Maximum and Holocene // *Doklady Earth Sciences*. 2005. Vol. 405. P. 1380–1383 (translation from *Doklady Akademii Nauk*. Vol. 405. P. 673–676).

142. *Gorbarenko S.A., Goldberg E.L., Kashgarian M., Velivetskaya T.A., Zakharkov S.P., Pechnikov V.S., Bosin A.A., Psheneva O.Yu., Ivanova E.D.* Millennium scale environment changes of the Okhotsk Sea during last 80 kyr and their phase relationship with global climate changes // *Journal of Oceanography*. 2007. Vol. 63(4). P. 609-623.

143. *Gorbarenko S.A., Harada N., Malakhov M.I., Vasilenko Yu.P., Bosin A.A., Goldberg E.L.* Orbital and millennium-scale environmental and sedimentological changes in the Okhotsk Sea during the last 350 // *Global and Planetary Change*. 2010. Vol. 72(1-2). P. 79-85.

144. Gorbarenko S.A., Harada N., Malakhov M.I., Velivetskaya T.A., Vasilenko Yu.P., Bosin A.A., Derkachev A.N., Goldberg E.L., Ignatiev A.V. Responses of the Okhotsk Sea environment and sedimentology to global climate changes at the orbital and millennial scale during the last 350 kyr // *Deep-Sea Research II*. 2012. Vol. 61. P. 73-84.
145. Gorbarenko S.A., Khusid T.A., Basov I.A., Oba T., Southon J.R., & Koizumi I. Glacial Holocene environment of the southeastern Okhotsk Sea: evidence from geochemical and palaeontological data // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002. Vol. 177(3-4). P. 237-263.
146. Gorbarenko S.A., Psheneva O.Yu., Artemova A.V., Matul' A.G., Tiedemann R., Nürnberg D. Paleoenvironment changes in the NW Okhotsk Sea for the last 18 kyr determined with micropaleontological, geochemical, and lithological data // *Deep-Sea Research I*. 2010. Vol. 57(6). P. 797-811.
147. Gorbarenko S.A., Southon J.R., Keigwin L.D., Cherepanova M.V., & Gvozdeva, I.G. Late Pleistocene–Holocene oceanographic variability in the Okhotsk Sea: geochemical, lithological and paleontological evidence. *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. 2004. Vol. 209(1-4). P. 281-301.
148. Haeckel E. Die Radiolarien (Rhizopoda, Radiolaria). Eine Monographie. Georg Reimer, Berlin. 1862. Vol. 1. 586 pp.
149. Haeckel E. Entwurf eines Radiolarien–Systems auf Grund von Studien der Challenger-Radiolarien. *Jenaische Zeitschrift für Naturwissenschaften*, 15, n. ser. 1881. Vol. 8(3). P. 418-472.
150. Haeckel E. Report on the Radiolaria collected by the H.M.S. Challenger during the Years 1873-1876. Report on the Scientific Results of the Voyage of the H.M.S. Challenger, Zoology. 1887. Vol. 18. 1803 pp.
151. Haecker V. Tiefsee-Radiolarien. Spezieller Teil. Die Tripyleen, Collodarien und Mikroradiolarien der Tiefsee. *Wiss Ergeb der Deutschen Tiefsee-Expedition auf dem Dampfer "Valdivia" 1898-1899*. 1908. Vol. 14. P. 336-476.

152. *Harada N., Sato M., Sakamoto T.* Freshwater impacts recorded in tetraunsaturated alkenones and alkenone sea surface temperatures from the Okhotsk Sea across millennial-scale cycles // *Paleoceanography*. 2008. Vol. 23(3).
153. *Harada N., Sato M., Seki O., Timmermann A., Moossen H., Bendle J., ... & Gorbarenko S. A.* Sea surface temperature changes in the Okhotsk Sea and adjacent North Pacific during the last glacial maximum and deglaciation // *Deep Sea Research II*. 2012. Vol. 61. P. 93-105.
154. *Harris P.G., Zhao M., Rosell-Melé A., Tiedemann R., Sarnthein M., Maxwell, J.R.* Chlorin accumulation rate as a proxy for Quaternary marine primary productivity // *Nature*. 1996. Vol. 383(6595). P. 63–65.
<https://doi.org/10.1038/383063a0>
155. *Harting P.* Bijdrage tot de kennis der mikroskopische fauna en flora van de Banda-Zee. K. Akad. Wetensch. Amsterdam, Verh. 1863. Vol. 10. P. 1-34, pls. 1-3.
156. *Hays J. D.* Radiolaria and Late Tertiary and Quaternary history of Antarctic seas // *Antarctic Res. Ser., Biol. Antarctic Seas II*. 1965. Vol. 5. P. 125-184.
157. *Hays J.D., Martinson D.G., Morley J.J.* Biological and climatic consequences of a cold, stratified, high latitude ocean // *Quaternary Science Reviews*. 2013. Vol. 82. P. 78-92.
158. *Hays J.D., Morley J.J.* The Sea of Okhotsk: a window on the ice age ocean. *Deep-Sea Research I*. 2003. Vol. 50. P. 1481–1506.
159. *Heinrich H.* Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years // *Quaternary research*. 1988. Vol. 29(2). P. 142–152. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9).
160. *Hinde G.J.* Appendix I: Description of fossil Radiolaria from the rocks of Central Borneo. 1900. P. 1-51; P. 54-56, in Molengraaff G.A.F. (Eds.), *Borneo-Expedition: Geological exploration in Central Borneo 1893-1894*. Society for the Promotion of the Scientific Exploration of the Dutch Colonies, Brill E.J. and Gerlings H., Amsterdam, Leyden.

161. *Hülsemann K.* Radiolaria in plankton from the Arctic Drifting Station T-3, including the description of three new species // Arctic Institute of North America, Technical Paper. 1963. Vol. 13. P. 1-52.
162. *Huxley T.H.* Zoological notes and observations made on board HMS Rattlesnake // Annals and Magazine of Natural History. 1851. Vol. 8(48). P. 433-442.
163. *Ishitani Y., Takahashi K.* The vertical distribution of Radiolaria in the waters surrounding Japan // Marine Micropaleontology. 2007. Vol. 65(3-4). P. 113-136.
164. *Ishitani Y., Takahashi K., Okazaki Y., & Tanaka S.* Vertical and geographic distribution of selected radiolarian species in the North Pacific // Micropaleontology. 2008. P. 27-39.
165. *Itaki T.* Depth-related radiolarian assemblage in the water-column and surface sediments of the Japan Sea // Marine Micropaleontology. 2003. Vol. 47(3-4). P. 253-270.
166. *Itaki T., Bjørklund K.R.* Bailey's (1856) radiolarian types from the Bering Sea re-examined // Micropaleontology. 2006. Vol. 52(5). P. 449-463.
167. *Itaki T., Ikehara K.* Middle to late Holocene changes of the Okhotsk Sea Intermediate Water and their relation to atmospheric circulation // Geophysical research letters. 2004. Vol. 31(24). doi:10.1029/2004GL021384
168. *Itaki T., Ito M., Narita H., Ahagon N., Sakai H.* Depth distribution of radiolarians from the Chukchi and Beaufort Seas, western Arctic // Deep-Sea Research I. 2003. Vol. 50(12). P. 1507-1522.
169. *Itaki T., Khim B.K., Ikehara K.* Last glacial–Holocene water structure in the southwestern Okhotsk Sea inferred from radiolarian assemblages // Marine Micropaleontology. 2008. Vol. 67(3-4). P. 191-215.
170. *Itaki T., Komatsu N., Motoyama I.* Orbital- and millennial-scale changes of radiolarian assemblages during the last 220 kyrs in the Japan Sea // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007. Vol. 247(1-2). P. 115-130.

171. *Itaki T., Takahashi K.* Preliminary results on radiolarian fluxes in the central subarctic Pacific and Bering Sea // Proceedings of the Hokkaido Tokai University of Science and Engineering. 1995. Vol. 7. P. 37–47 (in Japanese, with English abstract).
172. *Itaki T., Uchida M., Kim S., Shin H.-S., Tada R., Khim B.-K.* Late Pleistocene stratigraphy and palaeoceanographic implications in northern Bering Sea slope sediments: evidence from the radiolarian species *Cycladophora davisiana* // Journal of Quaternary Science. 2009. Vol. 24(8). P. 856–865.
173. *Jacquet S.H.M., Dehairs F., Elskens M., Savoye N., & Cardinal D.* Barium cycling along WOCE SR3 line in the Southern Ocean // Marine Chemistry. 2007. Vol. 106(1-2). P. 33-45.
174. *Jimenez-Espejo F.J., García-Alix A., Harada N., Bahr A., Sakai S., Iijima K., Ohkouchi N.* Changes in detrital input, ventilation and productivity in the central Okhotsk Sea during the marine isotope stage 5e, penultimate interglacial period // Journal of Asian Earth Sciences. 2018. Vol. 156. P. 189-200.
175. *Jørgensen E.* The protist plankton and the diatoms in bottom samples. In: Nordgaard, O., Hydrographical and Biological Investigations in Norwegian Fjords, Beryens Mus. Skr. 1905. Ser. 1. P. 49-151; Ser. 7. P. 195-225.
176. *Katsuki K., Khim B.K., Itaki T., Okazaki Y., Ikehara K., Shin Y., ... & Kang C.Y.* Sea-ice distribution and atmospheric pressure patterns in southwestern Okhotsk Sea since the Last Glacial Maximum // Global and Planetary Change. 2010. Vol. 72(3). P. 99-107.
177. *Keigwin L.D.* Glacial-age hydrography of the far northwest Pacific Ocean // Paleoceanography. 1998. Vol. 13(4). P. 323-339.
178. *Khim B.K., Sakamoto T., Harada N.* Reconstruction of surface water conditions in the central region of the Okhotsk Sea during the last 180 kyrs // Deep Sea Research II. 2012. Vol. 61. P. 63-72.
179. *Kitani K.* An oceanographic study of the Okhotsk Sea-particularly in regard to cold waters // Bulletin Far Seas Fisheries Research Laboratory. 1973. Vol. 9. P. 45-77.

180. *Kling S.A* Vertical distribution of Polycystine radiolarians in the central North Pacific // *Marine Micropaleontology*. 1979. Vol. 4. P. 295-318.
181. *Kling S.A.* Radiolaria from the eastern North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 18. In: *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1973. Vol. 18. P. 617-641.
182. *Kling S.A.* Relation of radiolarian distributions to subsurface hydrography in the North Pacific // *Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts*. 1976. Vol. 23(11). P. 1043-1058.
183. *Kling S.A., Boltovskoy D.* Radiolarian vertical distribution patterns across the southern California Current // *Deep-Sea Research I*. 1995. Vol. 42 (2). P. 191-231.
184. *Lembke-Jene L., Tiedemann R., Nürnberg D., Kokfelt U., Kozdon R., Max L., Gorbarenko S. A.* Deglacial variability in Okhotsk Sea intermediate water ventilation and biogeochemistry: Implications for North Pacific nutrient supply and productivity // *Quaternary Science Reviews*. 2017. Vol. 160. P. 116-137.
185. *Ling H.Y.* Polycystine Radiolaria and Silicoflagellates from surface sediments of the Sea of Okhotsk // *Bulletin of the Geological Survey of Taiwan*. 1974. Vol. 24. P. 1-11.
186. *Ling H.Y.* Radiolaria: Leg 19 DSDP // *Creager J.C. et al. (Eds.). Initial Reports DSDP*. 1973. Vol. 19. P. 777-797.
187. *Ling H.Y., Stadum C.J., Welch M.L.* Polycystine Radiolaria from Bering Sea surface sediment // *Proceedings of the II Planktonic Conference, Edizioni Technoscienza, Roma*. 1971. P. 705–729.
188. *Martin S., Drucker R., Yamashita K.* The production of ice and dense shelf water in the Okhotsk Sea polynyas // *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1998. Vol. 103 (12). P. 27771-27782.
189. *Martinson D.G., Pisias N.G., Hays J.D., Imbrie J., Moore T.C., & Shackleton N.J.* Age dating and the orbital theory of the ice ages: Development of a high-resolution 0 to 300,000-year chronostratigraphy // *Quaternary research*. 1987. Vol. 27(1), 1-29.

190. Matsuzaki K.M., Itaki T., Kimoto K. Vertical distribution of polycystine radiolarians in the northern East China Sea // *Marine Micropaleontology*. 2016. Vol. 125. P. 66-84. doi:10.1016/j.marmicro.2016.03.004.
191. Matsuzaki K.M., Nishi H., Suzuki N., Cortese G., Eynaud F., Takashima R., ... & Sakai T. Paleoceanographic history of the Northwest Pacific Ocean over the past 740 kyr, discerned from radiolarian fauna // *Palaeogeography, palaeoclimatology, palaeoecology*. 2014. Vol. 396. P. 26-40.
192. Matsuzaki K.M., Suzuki N., Nishi H. Middle to upper Pleistocene polycystine radiolarians from Hole 902-C9001C, northwestern Pacific // *Paleontological Research*. 2015. Vol. 19(s1). P. 1-77. <http://dx.doi.org/10.2517/2015PR003>.
193. Matsuzaki K.M., Suzuki N., Nishi H., Hayashi H., Gyawali B.R., Takashima R., & Ikehara M. Early to Middle Pleistocene paleoceanographic history of southern Japan based on radiolarian data from IODP Exp. 314/315 Sites C0001 and C0002 // *Marine Micropaleontology*. 2015. Vol. 118. P. 17-33. doi:10.1016/j.marmicro.2015.05.001.
194. Matul A., Abelmann A. Pleistocene and Holocene distribution of the radiolarian *Amphimelissa setosa* Cleve in the North Pacific and North Atlantic: Evidence for water mass movement // *Deep-Sea Research II*. 2005. Vol. 52(16-18). P. 2351-2364.
195. Matul A., Abelmann A., Khusid T., Chekhovskaya M., Kaiser A., Nürnberg D., Tiedemann R. Late Quaternary changes of the oxygen conditions in the bottom and intermediate waters on the western Kamchatka continental slope, the Sea of Okhotsk // *Deep Sea Research II*. 2016. Vol. 125-126. P. 184-190. 10.1016/j.dsr2.2013.03.023
196. Matul, A., Abelmann, A., Tiedemann, R., Kaiser, A., & Nürnberg, D. (). Late Quaternary polycystine radiolarian datum events in the Sea of Okhotsk // *Geo-Marine Letters*. 2002. Vol. 22(1). P. 25-32.
197. Max L., Belz L., Tiedemann R., Fahl K., Nurnberg D., Riethdorf J.-R. Rapid shifts in subarctic Pacific climate between 138 and 70 ka // *Geology*. 2014. Vol. 42(10). P. 899–902. <http://dx.doi.org/10.1130/G35879.1>.

198. Max L., Lembke-Jene L., Riethdorf J. R., Tiedemann R., Nürnberg D., Kühn H., & Mackensen A. Pulses of enhanced North Pacific Intermediate Water ventilation from the Okhotsk Sea and Bering Sea during the last deglaciation // *Climate of the Past*. 2014. Vol. 10(2). P. 591-605.
199. Max L., Riethdorf J. R., Tiedemann R., Smirnova M., Lembke-Jene L., Fahl K., ... & Mollenhauer G. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic northwest Pacific during the past 15,000 years // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 2012. Vol. 27(3). doi:10.1029/2012PA002292
200. Meyen F.J.F. Über das Leuchten des Meeres und Beschreibung einiger Polypen und anderer niederer Thiere. Weber. 1834.
201. Molina-Cruz A., Bernal-Ramirez R. de G. Distribution of Radiolaria in surface sediments and its relation to the oceanography of the Iceland and Greenland Seas // *Sarsia: North Atlantic Marine Science*. 1996. Vol. 81(4). P. 315-328.
202. Molina-Cruz A., Welling L., Caudillo-Bohorquez A. Radiolarian distribution in the water column, southern Gulf of California, and its implication in thanatocoenose constitution // *Marine Micropaleontology*. 1999. Vol. 37(2). P. 149-171.
203. Moore Jr T.C. The distribution of radiolarian assemblages in the modern and ice-age Pacific // *Marine Micropaleontology*. 1978. Vol. 3(3). P. 229-266.
204. Morley J.J., Stepien J.C. Antarctic Radiolaria in late winter/early spring Weddell Sea waters // *Micropaleontology*. 1985. P. 365-371.
205. Morley J.J. Comparison of the Pleistocene records of the radiolarian *Cycladophora davisiana* at high-latitude sites of the Deep Sea Drilling Project. In: Ruddiman W., Kidd R.B., Thomas E., et al. (Eds.), *Initial Reports DSDP*. 1987. Vol. 94. P. 889-894.
206. Morley J.J., Hays J.D. Oceanographic conditions associated with high abundances of the radiolarian *Cycladophora davisiana* // *Earth and Planetary Science Letters*. 1983. Vol. 66. P. 63–72.

207. *Morley J.J., Heusser L.E., Shackleton N.J.* Late Pleistocene/Holocene radiolarian and pollen records from sediments in the Sea of Okhotsk // *Paleoceanography and Paleoclimatology*. 1991. Vol. 6(1). P. 121-131.
208. *Morley J.J., Nigrini C.* Miocene to Pleistocene radiolarian biostratigraphy of North Pacific Sties 881, 884, 885, 886, and 887. In: Rea D.K. et al. (Eds.), *Proceedings ODP, Scientific Results*. 1995. Vol. 145. P. 55-91.
209. *Müller J.* Über die Thalassicollen, Polycystinen und Acanthometren des Mittelmeeres. *Abh. Königl. Akad. Wiss. Berlin*. 1858. P. 1–62.
210. *Nigrini C.A.* Radiolaria from eastern tropical Pacific sediments // *Micropaleontology*. 1968. Vol. 14(1). P. 51-63.
211. *Nigrini C.* Radiolarian assemblages in the North Pacific and their application to a study of Quaternary sediments in Core V20-130 // *Geological Society of America Memoir*. 1970. Vol. 126. P. 139-183.
212. *Nigrini C.* Tropical Cenozoic Artostrobiidae (Radiolaria) // *Micropaleontology*. 1977. Vol. 23. P. 241-269.
213. *Nigrini C., Moore Jr. T.C.* A guide to modern radiolaria // *Cushman Foundation for foraminiferal research*. 1979. Special publication No. 16. 28 plates with descriptions and bibliography. P. S1-N106.
214. *Nimmergut A., Abelmann A.* Spatial and seasonal changes of radiolarian standing stocks in the Sea of Okhotsk // *Deep Sea Research I*. 2002. Vol. 49(3). P. 463-493.
215. *Nishimura A., Nakaseko K., Okuda Y.* A new coastal water radiolarian assemblage recovered from sediment samples from the Antarctic Ocean // *Marine Micropaleontology*. 1997. Vol. 30(1-3). P. 29-44.
216. *Nürnberg D., Dethleff D., Tiedemann R., Kaiser A., & Gorbarenko S. A.* Okhotsk Sea ice coverage and Kamchatka glaciation over the last 350 ka—Evidence from ice-rafted debris and planktonic $\delta^{18}\text{O}$ // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011. Vol. 310(3-4). P. 191-205.

217. Nürnberg D., Tiedemann R. Environmental change in the Sea of Okhotsk during the last 1.1 million years // *Paleoceanography*. 2004. Vol. 19(4). PA4011. doi:10.1029/2004PA001023.
218. Okazaki Y., Seki O., Nakatsuka T., Sakamoto T., Ikehara M., Takahashi K. *Cycladophora davisiana* (Radiolaria) in the Okhotsk Sea: a key for reconstructing glacial ocean conditions // *Journal of oceanography*. 2006. Vol. 62(5). P. 639-648.
219. Okazaki Y., Takahashi K., Itaki T., Kawasaki Y. Comparison of radiolarian vertical distributions in the Okhotsk Sea near the Kuril Islands and in the northwestern North Pacific off Hokkaido Island // *Marine Micropaleontology*. 2004. Vol. 51(3-4). P. 257-284.
220. Okazaki Y., Takahashi K., Katsuki K., Ono A., Hori J., Sakamoto T., Uchida M., Shibata Y., Ikehara M., Aoki K. Late Quaternary paleoceanographic changes in the southwestern Okhotsk Sea: evidence from geochemical, radiolarian, and diatom records // *Deep-Sea Research II*. 2005. Vol. 52(16-18). P. 2332-2350.
221. Okazaki Y., Takahashi K., Yoshitani H., Nakatsuka T., Ikehara M., Wakatsushi M. Radiolarians under the seasonally sea-ice covered conditions in the Sea of Okhotsk: flux and their implications for paleoceanography // *Marine Micropaleontology*. 2003. Vol. 49(3). P. 195-230.
222. Petrushevskaya M.G., Kozlova G.E. Radiolaria: Leg 14, Deep Sea Drilling Project. In: Hayes D.E. (Eds.), *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*. 1972. Vol. 14. P. 495-648.
223. Popofsky A. Die Radiolarien der Antarktis (mit Ausnahme der Tripyleen). *Deutsche Südpolar Expedition 1901-1903*. 1908. Vol. 10. Zool. Vol. 2(3). P.183-305.
224. Popofsky A. Die Sphaerellarien des Warmwassergebietes. *Deutsche Südpolar Expedition 1901-1903*. 1912. Vol. 13. Zool., Vol. 5(2). P. 73-159.
225. Popofsky A. Die Nassellarien des Warmwassergebietes. *Deutsche Südpolar-Expedition 1901-1903*. 1913. Vol. 14. P. 217-416.

226. *Renz G.W.* The distribution and ecology of Radiolaria in the central Pacific: plankton and surface sediments // *Bulletin of the Scripps Institution of Oceanography*. 1976. Vol. 22. P. 1-267.
227. *Reynolds R.A.* Radiolarians from the western North Pacific, Leg 57 Deep Sea Drilling Project. In: Huene R., Nasu, N., et al. (Eds.), *Initial Reports DSDP*. 1980. Vol. 56(57). P. 735-769.
228. *Riedel W.R., Sanfilippo A.* Cenozoic Radiolaria from the western tropical Pacific, Leg 7. In: *Initial Report of the Deep Sea Drilling Project*. 1971. Vol. 7. P. 1529-1671.
229. *Riethdorf J.-R., Nürnberg D., Max L., Tiedemann R., Gorbarenko S.A., & Malakhov M.I.* Millennial-scale variability of marine productivity and terrigenous matter supply in the western Bering Sea over the past 180 kyr // *Climate of the Past*. 2013. Vol. 9(3). P. 1345-1373.
230. *Rust D.* Beitrage zur Kenntniss der fossilen Radiol arien aus Gesteinen des Jura // *Palaeontographica*, Stuttgart. 1885. Vol. 31(3). P. 269-322.
231. *Rust D.* Beitrage zur Kenntnis der fossilen Radiolarien aus Gesteinen der Trias und der palaeozoischen Schichten // *Palaeontographica*, Stuttgart. 1892. Vol. 38(3). P. 107-179.
232. *Rust D.* Neue Beidige zur Kenntniss der Fossilen Radiolarien aus Gesteinen des Jura und der Kreide // *Palaeontographica*, Stuttgart. 1898. Vol. 45(3). P. 1-68.
233. *Sakamoto T., Ikehara M., Aoki K., Iijima K., Kimura N., Nakatsuka T., Wakatsuchi M.* Ice-rafted debris (IRD)-based sea-ice expansion events during the past 100 kyrs in the Okhotsk Sea // *Deep Sea Research II*. 2005. Vol. 52. P. 2275-2301.
234. *Sakamoto T., Ikehara M., Aoki K., Kimura N., Iijima K., Nakatsuka T., Wakatsuchi M.* Millennium scale sudden and abrupt sea-ice expansion events in the Sea of Okhotsk based on analysis of ice-rafted debris (IRD) in marine sediment cores // *Global and Planetary Change*. 2006. Vol. 53. P. 58-77.
235. *Schewiakoff W.* Die Acantharien des Golfes von Neapel. *Fauna Flora Golfes Neapel*. 1926. Vol. 37. P. 1-755.

236. *Schröder-Ritzrau A.* Aktuopaläontologische Untersuchung zu Verbreitung und Vertikalfluss von Radiolarien sowie ihre räumliche und zeitliche Entwicklung im Europäischen Nordmeer. Ph.D. Thesis, Berichte Sonder-forschungsbereich 1995. 313. Univ. Kiel 52. P. 1–99.
237. *Seki O., Bendle J. A., Harada N., Kobayashi M., Sawada K., Moossen H., Sakamoto T.* Assessment and calibration of TEX86 paleothermometry in the Sea of Okhotsk and sub-polar North Pacific region: implications for paleoceanography. *Progress in Oceanography*. 2014. Vol. 126. P. 254–266.
238. *Seki O., Ikehara M., Kawamura K., Nakatsuka T., Ohnishi K., Wakatsuchi M., Narita H., Sakamoto T.* Reconstruction of paleoproductivity in the sea of Okhotsk over the last 30 kyr // *Paleoceanography*. 2004. Vol. 19(1). PA1016. <http://dx.doi.org/10.1029/2002PA000808>.
239. *Shannon C.E., Weaver W.* The Mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, Urbana. 1949.
240. *Shiga K., Koizumi I.* Latest Quaternary oceanographic changes in the Okhotsk Sea based on diatom records // *Marine Micropaleontology*. 2000. Vol. 38(2). P. 91-117.
241. *Shrubsole W.H.* Notes on the Radiolaria of the London Clay // *Quarterly Journal of the Geological Society*. 1889. 45(1-4). P. 121-124.
242. *Squinabol S.* Le Radiolarie dei noduli selciosi nella Scaglia degli Euganei. (Contribuzione 1) // *Rivista italiana di paleontologia*. Milan. 1903. Vol. 9(4). P. 105-150.
243. *Stöhr E.* Die Radiolarienfauna der Tripoli von Grotte Provinz Girgenti in Sicilien // *Palaeontographica* (1846-1933). 1880. P. 69-124.
244. *Swanberg, N.R., Eide, L.K.* The radiolarian fauna at the ice edge in the Greenland Sea during summer, 1988 // *Journal of Marine Research*. 1992. Vol. 50(2). P. 297–320.
245. *Takahashi K.* Radiolaria: Flux, Ecology, and Taxonomy in the Pacific and Atlantic // Woods Hole Oceanographic Institution. Ocean Biocoenosis Series. 1991. No. 3. 269 pp.

246. *Takahashi K.* Time-series fluxes of Radiolaria in the eastern subarctic Pacific Ocean // *News of Osaka Micropaleontologists, Spec. Vol.* 1997. Vol. 10. P. 299-309.
247. *Takahashi K., Fujitani N., Yanada M., Maita Y.* Long-term biogenic particle fluxes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean, 1990–1995 // *Deep-Sea Research I.* 2000. Vol. 47(9). P. 1723–1759.
248. *Takahashi K., Honjo S.* Vertical flux of Radiolaria: a taxon-quantitative sediment trap study from the western tropical Atlantic // *Micropaleontology.* 1981. Vol. 27(2). P. 140-190.
249. *Takizawa T.* Characteristics of the Soya warm current in the Okhotsk Sea // *Journal of the Oceanographical Society of Japan.* 1982. Vol. 38(5). P. 281-292.
250. *Tan Z., Tchang T.R.* Studies on the Radiolaria of the East China Sea. II. Spumellaria, Nassellaria, Phaeodaria, Sticholonchea // *Studia Marine Sinica.* 1976. Vol. 11. P. 217-313 (in Chinese with English abstract).
251. *Tibbs J.F.* On some planktonic Protozoa taken from the track of Drift Station Arlis I, 1960-1961 // *Journal of Arctic Institute of North America.* 1967. Vol. 20. P. 247-254.
252. *Vasilenko Y.P., Gorbarenko S.A., Bosin A.A., Shi X.F., Chen M.T., Zou J.J., ... & Savenko M.P.* Millennial mode of variability of sea ice conditions in the Okhotsk Sea during the last glaciation (MIS 4–MIS 2) // *Quaternary International.* 2017. Vol. 459. P. 187-200.
253. *Vinassa de Regny P.E.* Radiolari Cretacei dell'Isola di Karpathos. *Mem. della reale Accad. Sc. Ist. Bologna.* 1901. Vol. 9. P. 497-512.
254. *Wang R., Xiao W., Qianyu Li Q., Chen R.* Polycystine radiolarians in surface sediments from the Bering Sea Green Belt area and their ecological implication for paleoenvironmental reconstructions // *Marine Micropaleontology.* 2006. Vol. 59(3-4). P. 135-152.
255. *Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., An Z.S., Wu J.Y., Shen C.C., Dorale J.A.* A high-resolution absolute-dated late Pleistocene Monsoon record from Hulu

- Cave, China // *Science*. 2001. Vol. 294(5550). P. 2345–2348.
<https://doi.org/10.1126/science.1064618>
256. Wang Y.J., Cheng H., Edwards R.L., Kong X., Shao X., Chen S., Wu J.Y., Jiang X., Wang X., An Z.S: Millennial- and orbital-scale changes in the East Asian monsoon over the past 224,000 years // *Nature*. 2008. Vol. 451(7182). P. 1090–1093. <https://doi.org/10.1038/nature06692>.
257. Wisniowski T. Beitrag zur Kenntnis der Mikrofauna aus den oberjurassischen Feuersteinknollen der Umgebung von Krakau. *Jahrb. Kaiserl-Königl-Geol. Reichsanstalt* Vol. 1889. 38(4). P. 657-702.
258. Wolff E.W., Chappellaz J., Blunier T., Rasmussen S.O., Svensson A.M. Millennial-scale variability during the last glacial: the ice core record // *Quaternary Science Reviews*. 2010. Vol. 29(21-22). P. 2828-2838.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.10.013>.
259. Yamashita H., Takahashi K., Fujitani N. Zonal and vertical distribution of radiolarians in the western and central Equatorial Pacific in January 1999 // *Deep Sea Research II*. 2002. Vol. 49(13-14). P. 2823-2862.
260. Yanchenko E., Gorbarenko S. Radiolarian responses of the central Okhotsk Sea to the global orbital and millennial scale climate oscillations over last 90 kyr // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015. Vol. 114. P. 601-610.
261. Zittel K.A. Ueber einige fossile Radiolarien aus der norddeutschen Kreide. *Zeitschrift der deutschen geologischen Gesellschaft*. 1876. Vol. 28. P. 75-86.
262. Zou J., Shi X., Zhu A., Chen M.T., Kao S., Wu Y., ... & Ge S. Evidence of sea ice-driven terrigenous detritus accumulation and deep ventilation changes in the southern Okhotsk Sea during the last 180 ka // *Journal of Asian Earth Sciences*. 2015. Vol. 114. P. 541-548.

Приложение А

Таксономические ссылки

Spumellaria

Lonchospaera spicata Popofsky

Popofsky, 1908, p. 218, pl. 24, fig. 2, pl. 25, fig. 2, 7.

Cenosphaera cristata Heackel

Petrushevskaya, 1967, p. 15. pl. 7, figs. 1, 2

Cenosphaera sp.

Petrushevskaya, 1967, p. 15. pl. 7, fig. 5

Styptosphaera spongiacea Haeckel

Takahashi, 1991, p. 189, pl. 6, figs. 6, 7, 9

Plegmosphaera sp.

Okazaki, 2003, pl. 1, fig. 9

Acanthospaera sp.

Hays, 1965, p. 169, pl. 2, fig. 1.

Actinomma boreale Cleve

Cortese, Bjørklund, 1998, p. 151, pl. 1, figs. 1-18

(табл. 1, рис. 3, 4)

Actinomma delicatulum (Dogiel, Reschetnjak)

Okazaki, 2004, pl. 2, figs. 1-3

Actinomma leptodermum (Jørgensen) *longispina* Cortese

Bjørklund, 1998, pl. 2, figs. 15-22

Actinomma leptoderma leptoderma (Jørgensen)

Bjørklund, 1998, p. 128, pl. 1, fig. 11

(табл. 1, рис. 1, 2)

Actinomma medianum Nigrini

Nigrini, Moore, 1979, p. S26, pl. 3, figs. 5, 6

Actinomma popofskii (Petrushevskaya)

Petrushevskaya, 1967, pl. 12, figs. 1-3

(табл. 1, рис. 5)

Actinomma sp.

Cortese, Bjørklund, 1998, pl. 3, figs. 7-8, 11-15

(?) *Actinosphaera acanthophora* (Popofsky)

Popofsky, 1912, p. 101, text-figure 13

Anomalacantha dentata (Mast)

Benson, 1966, p. 170, pl. 5, figs. 10-11

Cladococcus viminalis Haeckel

Bjørklund et al., 1976, p. 1131, pl. 1, figs. 10-12

Cromyechinus antarctica (Dreyer)

Petrushevskaya, 1967, p. 25, fig. 13, 14

Cromyechinus borealis (Cleve)

Takahashi, Honjo, 1981, p. 163, pl. 2, fig. 8

? *Elatomma penicillus* Haeckel

Takahashi 1991, p. 195, pl. 9, figs. 9–10

Heliosoma sp.

Takahashi, 1991, p. 69, pl. 9, figs. 6, 8

Hexacontium pachydermum Jørgensen

Dolven et al., 2014, p. 29, pl. 2, figs. 5–6

Hexacontium sp.

Takahashi, 1991, p. 201, pl. 12, fig. 12

Rhizoplegma boreale (Cleve)

Bjørklund, 1998, p. 128, pl. 1, fig. 8

(табл. 1, рис. 12, 13)

Sphaeropyle langii (Dreyer)

Morley, Nigrini, 1995, p. 86, pl. 2, figs. 2, 5, 7

Stylacontarium acqilonium (Hays)

Kling, 1973, p. 634, pl. 1, figs. 17-20, pl. 14, figs. 1-4

Druppatractus sp.

Dumitrica, 1973, p. 833, pl. 20, fig. 5

Druppatracus variabilis Dumitrica

Dumitrica, 1973, p. 833, pl. 6, fig. 4, pl. 20, fig. 6, 7
(табл. 1, рис. 6 – 8)

Stylochlamydium venustum Bailey

Takahashi, 1991, p. 217, pl. 20, fig. 11
(табл. 1, рис. 11)

Stylodictya aculeata Jørgensen

Nigrini, Moore, 1979, p. S101, pl. 13, figs. 3, 4

Stylodictya sp.

Takahashi, 1991, p. 215, pl. 19, figs. 12-13

Stylodictya tenuispina Jørgensen

Dolven et al., 2014, p. 39, Pl. 3, fig. 6a–c

Stylodictya validispina Jørgensen

Nigrini, Moore, 1979, p. S103, pl. 13, figs. 5a-5b
(табл. 1, рис. 21, 22)

Spongaster tetras Ehrenberg

Nigrini, Moore, 1979, p. 93, pl. 13, fig. 1

Spongophacus sp.

Okazaki et al., 2003, pl. 1, fig. 18

Spongodiscus sp.

Takahashi, 1991, p. 215, pl. 19, figs. 2-3

Spongopyle osculosa (Dreyer)

Takahashi, 1991, p. 217, pl. 20, figs. 1-4

Spongotrochus glacialis Popofsky

Nigrini, Moore, 1979, p. S115, pl. 15, fig. 2a-d
(табл. 1, рис. 18, 19)

Spongurus pylomaticus Riedel *borealis* (Kruglikova)

Nigrini, Moore, 1979, p. S65, pl. 8, figs. 3a, 3b
(табл. 1, рис. 20, 26)

Spongurus sp.

Abelmann, 1992b, p. 13, pl. 1, fig. 12

Larcopyle buetschlii Dreyer

Nigrini, Moore, 1979, p. S131, pl. 17, fig. 1a, 1b
(табл. 1, рис. 14, 15)

Larcopyle weddelium Lazarus

Matsuzaki, 2015, p. 34, figs. 6.34–6.36
(табл. 1, рис. 16)

Larcospira minor (Jørgensen)

Bjørklund, 1976, p. 1137, pl. 5, figs. 2-8

Larcospira quadrangula Haeckel

Takahashi, 1991 p. 223, pl. 23, figs. 11-12

Larcospira sp.

Bjørklund, 1998, p. 128, pl. 1, figs. 13, 14

Lithelius minor Jørgensen

Nigrini, Moore, 1979, p. S135, pl. 17, figs. 3, 4a, 4b
(табл. 1, рис. 23)

Lithelius nautiloides Popofsky

Nigrini, Moore, 1979, p. S137, pl. 17, fig. 5
(табл. 1, рис. 25)

Lithelius sp.

Boltovskoy, Riedel, 1980, p. 118, pl. 4, fig. 6

Tholospira cervicornis Haeckel

Takahashi, 1991, p. 221. pl. 22, figs. 7-9

Tholospira sp.

Takahashi, Honjo, 1981, p. 150, pl. 5, figs. 16-18

Phorticium polycladum Tan, Tchang

Matsuzaki et al., 2015, p. 32, figs. 6.13–6.14

Phorticium pylonium Haeckel

Matsuzaki et al., 2015, p. 32, figs. 6.11–6.12

Phorticium sp.

Haeckel, 1881, p. 964

Streblacantha circumtexta Jørgensen

Bjørklund, 1976, p. 1137, pl. 5, figs. 9-12
(табл. 1, рис. 17)

Dipylissa bensoni Dumitrica
Boltovskoy, 1998, p. 58, fig. 15.83

Tetrapyle octacantha Müller
Takahashi, Honjo, 1981, p. 171, pl. 6, figs. 5, 6

Tholoma sp.
Itaki et al, 2008, pl. 2, fig. 14

Acrosphaera spinosa (Haeckel)
Takahashi, Honjo, 1981, p. 144, pl. 1, fig. 6

Nassellaria

Acanthocorys castanoides Tan, Tchang
Tan, Tchang, 1976, p. 281, figs. 57a, 57b, 57c

Acanthocorys sp.
Renz, 1976, p. 155, pl. 6, fig. 20

Amphiplecta acrostoma Haeckel
Haeckel, 1887, p. 1223

Antarctissa (?) sp.1
Nimmergut, Abelman, 2002, pl. 1, figs. 6-8
(табл. 2, рис. 14)

Arachnocorys circumtexta Haeckel
Haeckel, 1862, Taf. 7, figs. 9-11

Arachnocorys sp. cf. *umbrelifera* Haeckel
Jørgensen, 1905, p. 137, pl. 18, fig. 107

Callimitra solocicribrata Takahashi
Takahashi, 1991, p. 100, pl. 27 figs. 10, 11

Campylacantha cladophora Jørgensen
Jørgensen, 1905, p. 129, fig. 47

Ceratocyrtis galeus (Cleve)
Petrushevskaya, 1967, pl. 52, fig. 2

Ceratocyrtis histicosa (Jørgensen)
Petrushevskaya, 1971, pl. 52, figs. 2-4

Ceratocyrtis sp.
Petrushevskaya, Kozlova, 1972, p.534, pl. 37, fig. 12

Cladoscenum ancoratum Haeckel
Takahashi, 1991, p.94, pl. 24, figs. 9-14

Cladoscenum sp.
Haeckel, 1887, p. 1148

Cladoscenum sp. cf. *C. tricolpium* Benson
Benson, 1966, pl. 25, figs. 10-11

Clathromitra sp. cf. *C. pterophormis* Haeckel
Haeckel, 1887, p. 1218, pl. 57, fig. 8

Dictyophimus hirundo(Haeckel)/*crisiae* Ehrenberg group
Itaki et al., 2008, pl. 1, figs. 1-3
(табл. 2, рис. 10, 11)

Dictyophimus histicosus Jørgensen
Jørgensen, 1905, pl. 16, fig. 89

Dictyophimus sp.
Abelmann, 1992, pl. 4, fig. 3

Dumetum rectum Popofsky
Popofsky, 1908, p. 265, Taf. 29, figs. 4, 5

Euscenium corynephorum Jørgensen
Petrushevskaya, 1971, p. 74, pl. 38, fig. 2

Lithomelissa laticeps Jørgensen
Jørgensen, 1905, p. 136, pl. 16, fig. 84

Lithomelissa hystrix Jørgensen
Jørgensen, 1905, pl. 16, fig. 85

Lithomelissa setosa Jørgensen
Takahashi, 1991, p. 227, pl. 25, figs. 16-22
(табл. 2, рис. 3, 5)

Lithomelissa aff. sp. B

Petrushevskaya, 1967, fig. 47

Lithomelissa thoracites Haeckel

Haeckel, 1862, p. 301, pl. 6, figs. 2-8

Lophophaena butschlii (Haeckel)

Petrushevskaya, 1971, pl. 58

Lophophaena clevei Petrushevskaya

Petrushevskaya, 1971, pl. 57, fig. 1

Lophophaena nadezdae Petrushevskaya

Petrushevskaya, 1971, pl. 60, figs. 1-4

Lophophaena sp.

Petrushevskaya, 1981, p. 88, fig. 81-83

Mitrocalpis araneafera Popofsky,

Nigrini, 1970, p. 169, pl. 3, figs. 1, 2

Peridium longispinum Jørgensen

Bjørklund, 1998, pl. 2, figs. 26-27

Peridium sp. cf. *P. spinipes* Haeckel

Takahashi, 1991, p. 229, pl. 26, figs. 4-6

Phormacantha hystrix (Jørgensen)

Takahashi, Honjo, 1981, p. 171, pl. 6, figs. 17-19

(табл. 2, рис. 24)

Plectacantha cremastoplegma Nigrini

Nigrini, 1968, pl. 1, figs. 3a-3c

(табл. 2, рис. 27)

Plectacantha oikiskos Jørgensen

Bjørklund, 1998, pl. 2, figs. 28-29

(табл. 2, рис. 23, 25)

Plectacantha sp.

Bjørklund, 1976, p. 1138, pl. 6, figs. 8-11

Pseudocubus obeliscus Haeckel

Takahashi, 1991, p. 229, pl. 26, fig. 1

Pseudodictyophimus gracilipes (Bailey)

Bjørklund, 1998, p. 130, pl. 2, figs. 7-8

(табл. 2, рис. 30, 31)

Pseudodictyophimus gracilipes bicornis (Ehrenberg)

Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 5, figs. 16-19

Pseudodictyophimus gracilipes gracilipes (Bailey)

Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 5, figs. 6-10, 14, 15

Pseudodictyophimus gracilipes multispinus (Bernstein)

Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 5, figs. 11-13

Pseudodictyophimus platycephalus (Haeckel)

Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 5, figs. 1-5

Pseudodictyophimus sp.

Petrushevskaya, 1981, p. 114, figs. 129-131

Pteroscenium pinnatum Haeckel

Takahashi, 1991, p. 249, pl. 36, figs. 8, 9

Sethopilium meuneri Schroder

Kruglikova, 1977, pl. 136, figs. 3-5

Triuslcus sp.

Petrushevskaya, 1981, p. 121, figs. 140-141

Enneaphormis enneastrum Haeckel

Petrushevskaya, 1971, pl. 32, figs. 4, 5

Lampromitra sp. cf. *L. erosa* Cleve

Cleve 1901, pl. 4, figs. 2, 3

(табл. 2, рис. 15)

Lamprotripus mawsonii (Riedel)

Petrushevskaya, Kozlova, 1972, p. 534, pl. 29, fig. 15

Cornutella profunda Ehrenberg

Takahashi, 1991, p. 113, pl. 35, figs. 3-9

(табл. 2, рис. 20)

Litharachnium tentorium Haeckel
Takahashi, 1991, p. 114, pl. 35, figs. 14-18
(табл. 2, рис. 38, 39)

Peripyramis circumtexta Haeckel
Takahashi, 1991, p. 113, pl. 35, figs. 10-13

Anthocyrtella (?) callopisma Caulet
Caulet, 1986, p. 227, pl. 1, figs. 1, 2

Artobotrys annulatus (Bailey)
Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 7, fig. 13

Artostrobos joergenseni Petrushevskaya
Bjørklund, 1998, p. 130, pl. 2, figs. 17-19

Artostrobos sp.
Petrushevskaya, 1971, p. 171

Carpocanarium papillosum (Ehrenberg)
Nigrini, Moore, 1979, p. N27, pl. 21, fig. 3

Conarachnium polyacanthum (Popofsky)
Takahashi, 1991, pl. 39, figs. 1-4

Corocalyptra cervus (Ehrenberg)
Takahashi, 1991, p. 112, pl. 33, figs. 9-12

Cycladophora davisiana (Ehrenberg) *cornutoides* (Petrushevskaya)
Takahashi, 1991, p. 259, pl. 41, figs. 12-16

Cycladophora davisiana Ehrenberg
Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 6, figs. 1-7
(табл. 2, рис. 8, 9)

Cycladophora robusta Lombardi
Lazarus, Alexandrovich, 1992, pl. 5, figs. 11, 12

Cycladophora sp.
Ehrenberg, 1847, p. 385

Cyrtolagena cuspidata (Bailey)
Petrushevskaya, 1971, fig. 89 (IV-VI)

Cyrtopera laguncula Haeckel

Takahashi, 1991, p. 119, pl. 40, figs. 3-6

(табл. 2, рис. 18, 19)

Eucyrtidium annulatum (Popofsky)

Benson, 1966, p. 506-508, pl. 34, figs. 13-14

Eucyrtidium acuminatum (Ehrenberg)

Nigrini, Moore, 1979, p. N27, pl. 24, fig. 3a, 3b

Eucyrtidium sp.

Petrushevskaya, 1981, p. 204, fig. 293

Lipmanella dictyoceras (Haeckel)

Takahashi, 1991, p. 257, pl. 40, fig. 17

Sethoconus (?) *tabulatus* (Ehrenberg)

Petrushevskaya, 1971, figs. 92 (X-XI)

Lychnocanoma nipponica (Nakaseko) *sakaii* Morley, Nigrini

Morley, Nigrini, 1995, p. 80–81, pl. 6, figs. 1, 4

(табл. 2, рис. 21, 22)

Lychnocanoma sp. cf. *L. grande* (Campbell and Clark)

Reynolds, 1980, p. 766, pl. 1, figs. 21, 22

Pterocorys ? sp.

Benson, 1966, p. 412-414; pl. 28, figs. 4-6

Pterocyrtidium dogieli (Petrushevskaya)

Petrushevskaya, 1971, pl. 110, fig. 2

Artobotrys borealis (Cleve)

Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 6, figs. 16, 17

(табл. 2, рис. 36, 37)

Botryostrobus aquilonaris (Bailey)

Nigrini, Moore, 1979, p. N99, pl. 27, fig. 1

Botryostrobus auritus/australis (Ehrenberg) group

Nigrini, 1977, p. 246, pl. 1, figs. 2-5

Botryostrobus sp.

Petrushevskaya, 1981, p. 267, figs. 403, 404

Lithocampe platycephala (Ehrenberg)
Bjørklund, Kruglikova, 2003, pl. 6, figs. 23-25

Phormostichoartus pitomorphus Caulet
Caulet, 1986, p. 850, pl. 3, figs. 3, 4, 9, 10, 12

Siphocampe arachnea (Ehrenberg)
Boltovskoy, 1998, p. 85, fig. 15.167
(табл. 2, рис. 32, 33)

Siphocampe lineata (Ehrenberg)
Boltovskoy, 1998, p. 85, fig. 15.169
(табл. 2, рис. 34, 35)

Siphocampe sp.
Petrushevskaya, Kozlova, 1972, p.605, pl. 24, fig. 1

Lamprocyrtis sp.
Kling, 1973, p. 651, pl. 5, figs. 12-14

Pterocanium korotnevi (Dogiel, Reshetnyak)
Nigrini, Moore, 1979, p. N39, pl. 23, figs. 1a, 1b

Pterocanium praetextum pmetextum (Ehrenberg)
Takahashi, 1991, p. 115, pl. 36, figs. 15-18

Pterocanium sp.
Petrushevskaya, 1981, p. 237, figs. 352, 353

Acrobotrys teralans Renz
Itaki, 2008, p. 142, pl. 4, fig. 1

Amphimelissa setosa (Cleve)
Bjørklund, 1998, p. 130, pl. 2, figs. 30-33
(табл. 2, рис. 1, 2)

Botryocampe inflata (Bailey)
Itaki, 2009, p. 55, pl. 23, figs. 28-31
(табл. 2, рис. 12, 13)

Botryocampe robusta (Kruglikova)
Kruglikova, 1977, pl. 96, fig. 38

Botryopyle dictyocephalus Haeckel

Riedel, Sanfilippo, 1971, p. 1602, pl. 1J, figs. 21-26; pl. 2J, figs. 16-18; pl. 3F, figs. 9-12

Ceratospyris borealis (Bailey)

Itaki, Bjørklund, 2006, pl. 1, figs. 3-8

(табл. 2, рис. 6, 7)

Liriospyris reticulata (Ehrenberg)

Nigrini, Moore, 1979, p. N13, pl. 19, figs. 4a, 4b

Lophospyris pentagona (Ehrenberg) *quadriforis* (Haeckel)

Takahashi, 1991, p. 233, pl. 28, fig. 5

Lophospyris sp. juvenile form group

Takahashi, 1991, p. 233, pl. 28, figs. 1-4

Semantrum quadrifore Haeckel

Haeckel, 1887, p. 958, pl. 92, fig. 5

Tholospyris gephyristes Hulsemann

Bjørklund et al., 1998, pl. 2, figs. 20, 21

Zygocircus productus (Hertwig) group

Takahashi, 1991, p. 101, pl. 27, figs. 13-14

Acanthodesmia micropora (Popofsky)

Petrushevskaya, 1971, fig. 135 (I-IX)

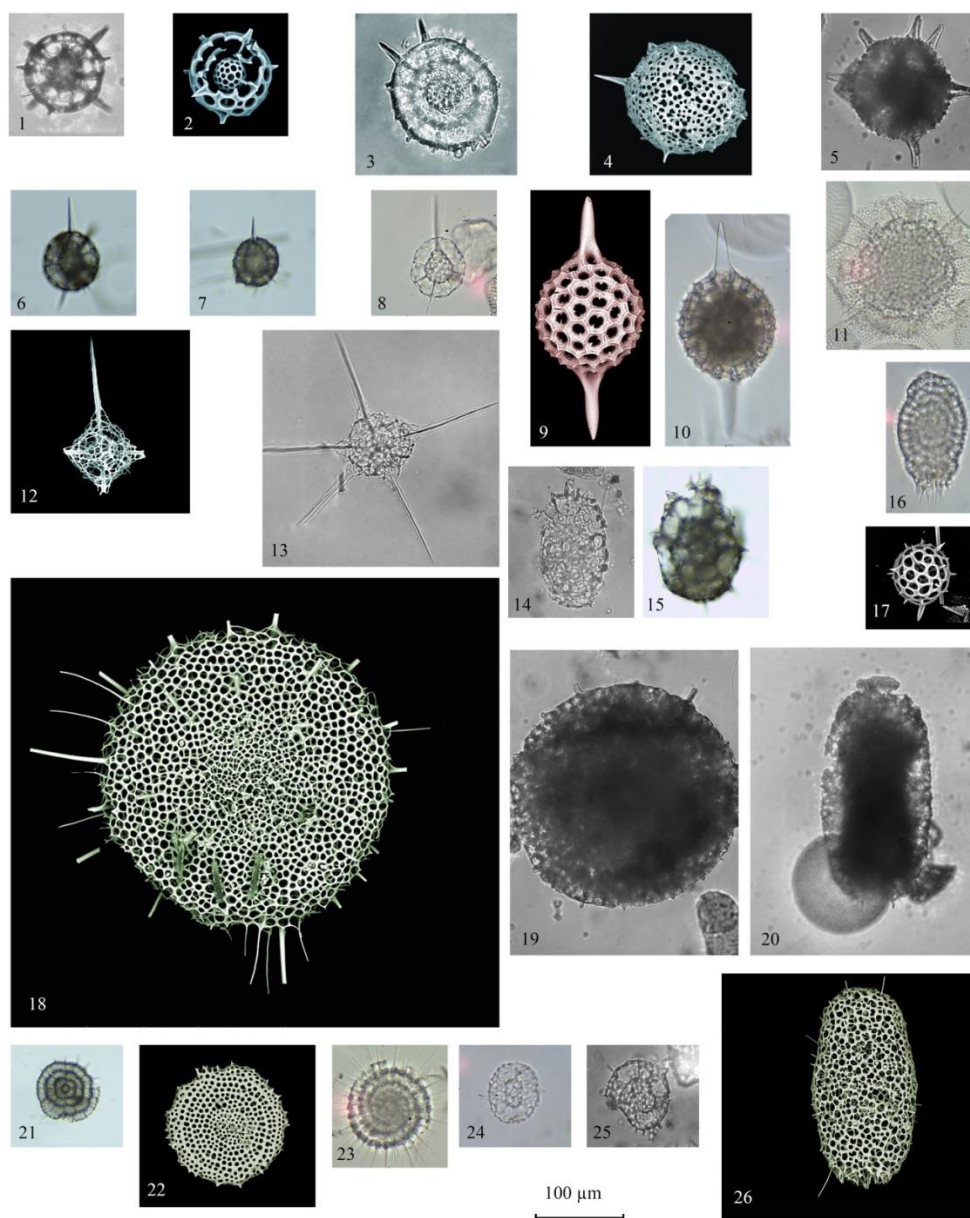
(табл. 2, рис. 16, 17)

Приложение Б

Фототаблицы

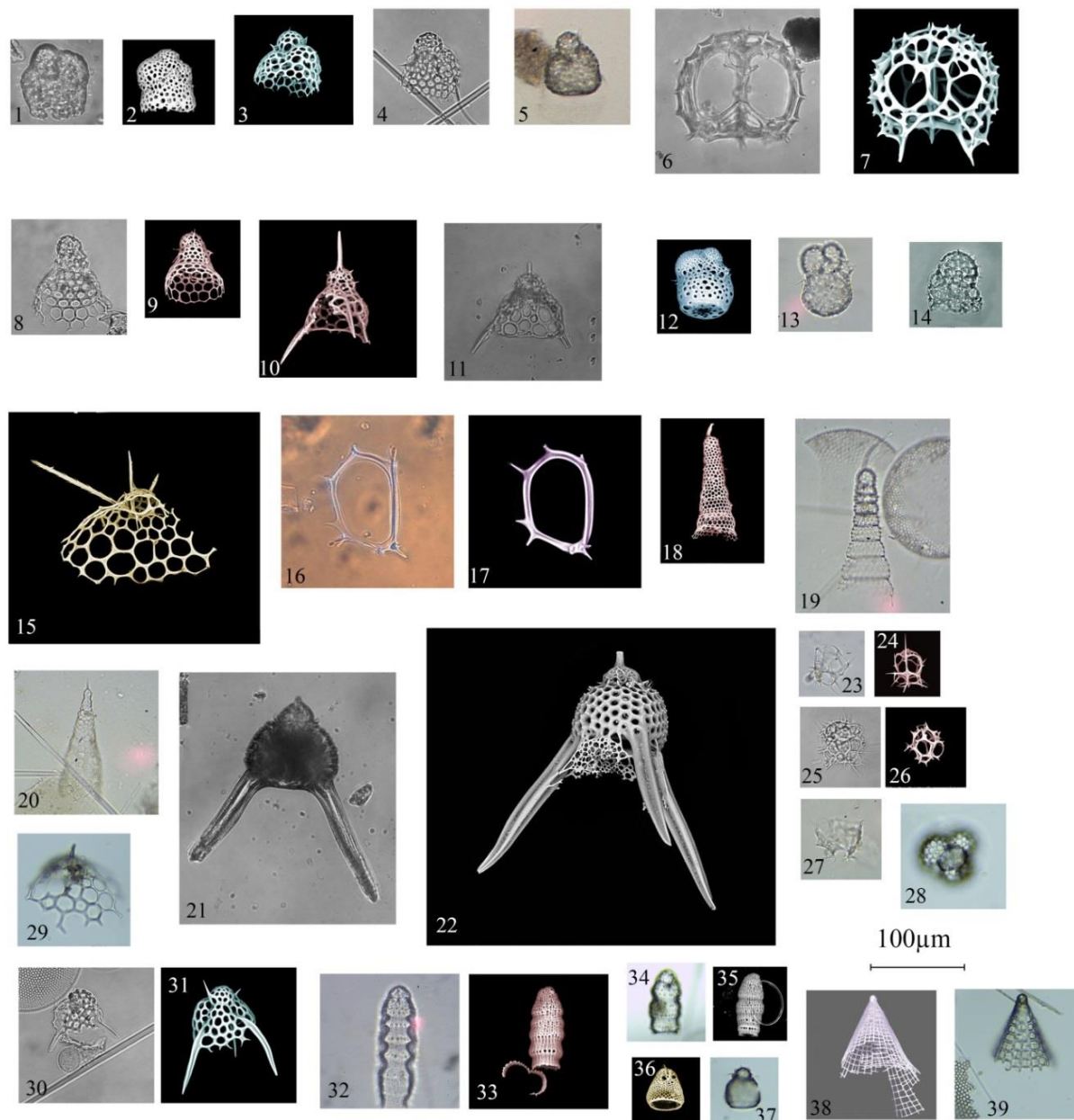
Таблица 1.

Фотографии радиолярий *Spermellaria* из керна донных осадков
Охотского моря



1, 2. *Actinomma leptoderma leptoderma* (Jørgensen); 3, 4. *Actinomma boreale* Cleve; 5. *Actinomma popofskii* (Petrushevskaya); 6 – 8. *Druppattracus variabilis* Dumitrica; 9, 10. *Stylatractus* sp.; 11. *Stylochlamydium venustum* Bailey; 12, 13. *Rhizoplegma boreale* (Cleve); 14, 15. *Larcopyle buetschlii* Dreyer; 16. *Larcopyle weddellium* Lazarus; 17. *Streblacantha circumtexta* Jørgensen; 18, 19. *Spongotrochus glacialis* Popofsky; 20, 26. *Spongurus pylomaticus* Riedel *borealis* (Kruglikova); 21, 22. *Stylodictya validispina* Jørgensen; 23. *Lithelius minor* Jørgensen; 24. *Pyloniidae* spp.; 25. *Lithelius nautiloides* Popofsky.

Фотографии радиолярий Nassellaria из керна донных осадков
Охотского моря



- 1, 2. *Amphimelissa setosa* (Cleve); 3–5. *Lithomelissa setosa* Jørgensen; 6, 7. *Ceratospyris borealis* (Bailey); 8, 9. *Cycladophora davisiana* Ehrenberg; 10, 11. *Dictyophimus hirundo*(Haeckel)/*crisiae* Ehrenberg; 12, 13. *Botryocampe inflata* (Bailey); 14. *Antarctissa* (?) sp.1; 15. *Lampromitra* sp. cf. *L. erosa* Cleve; 16, 17. *Acanthodesmia micropora* (Popofsky); 18, 19. *Cyrtopera laguncula* Haeckel; 20. *Cornutella profunda* Ehrenberg; 21, 22. *Lychnocanoma nipponica* (Nakaseko) *sakaii* Morley, Nigrini; 23, 25. *Plectacantha oikiskos* Jørgensen; 24. *Phormacantha hystrix* (Jørgensen); 26. Plagoniidae spp.; 27. *Plectacantha cremastoplegma* Nigrini; 28. *Trisulcus* sp.; 30, 31. *Pseudodictyophimus gracilipes* (Bailey); 32, 33. *Siphocampe arachnea* (Ehrenberg); 34, 35. *Siphocampe lineata* (Ehrenberg); 36, 37. *Artobotrys borealis* (Cleve); 38, 39. *Litharachnium tentorium* Haeckel.

Приложение В

**Основные параметры сообществ радиолярий и литолого-геохимические
характеристики осадков керна РС-7R**

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	ТОС, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
0	0,000		36,62	0,63			0,713	3,54		1,13	2,36	27,68	73,61	57,00	4,21
10	4,231	692	29,85	0,61	2,07	1,09	0,659	4,64	-23,75	1,13	2,36	33,03	88,40	42,00	3,35
14	5,748	691	20,94	0,55	2,23	1,10	0,568	2,58	-24,21	1,13	4,03	40,49	184,76	30,00	2,40
20	7,236	468	10,83	0,54			0,581	6,37	-24,23	1,07	4,03	143,75	621,06	56,00	2,64
22	7,732	483	9,50	0,28			0,540	7,60	-23,95	1,09	4,03	79,26	349,54	32,00	2,17
26	8,724	629	6,98	0,59			0,529	5,80	-23,09	1,18	4,03	29,84	141,85	27,00	2,28
30	9,716	607	6,11	0,88			0,531	7,46	-22,93	1,19	4,03	86,55	416,49	46,00	2,54
32	10,212	582	6,45	1,08	2,52	1,38	0,537	12,30	-22,93	1,22	4,03	42,49	208,41	43,00	2,64
34	10,708	563	5,28	-0,02			0,536	12,97	-23,15	1,23	4,03	46,54	231,43	36,00	2,92
36	11,204	455	4,59	0,49	2,10	0,95	0,557	12,40	-23,05	1,25	4,03	26,79	135,55	33,00	2,87
38	11,700	403	3,39	0,49	1,90	0,96	0,573	12,52	-23,71	1,27	3,64	27,32	126,26	32,00	3,20
40	12,233	376	4,36	-0,02	0,63	0,83	0,581	13,06	-23,79	1,27	3,64	16,00	74,07	35,00	3,36
42	12,786	502	6,77	-1,01	-0,53	0,71	0,597	12,72	-23,68	1,28	3,16	23,14	93,39	33,00	3,30
44	13,357	343	4,88	0,17	1,88	0,87	0,580	15,00	-23,25	1,25	3,16	21,18	83,39	41,00	3,66
46	13,929	316	5,07	-0,24	1,58	0,59	0,547	15,74	-23,51	1,26	3,16	18,64	74,17	29,00	3,40
48	14,500	37	2,58	-3,20	-0,94	0,40	0,558	18,25		1,37	4,29	15,08	88,29	32,00	3,17
50	15,071	0	5,01		-1,71	0,35	0,520	19,19		1,45	4,29	11,89	73,87	33,00	3,35
52	15,643	127	3,15		-0,97	0,40	0,517	18,14	-23,71	1,49	4,29	8,38	53,45	21,00	2,93
54	16,214	165	8,31	-2,93	-0,98	0,41	0,482	18,47	-23,65	1,45	4,29	1,35	8,41	7,00	2,81
56	16,719	162	4,35	-1,87	-1,43	0,45	0,495	18,82	-23,59	1,47	4,29	6,60	41,60	21,00	3,05
58	17,158	110	11,29	-1,91	-1,53	0,50	0,486	22,86	-23,65	1,51	4,29	2,11	13,68	7,00	2,00
60	17,597	130	6,83	-2,27	-1,07	0,52	0,398	16,21	-23,57	1,46	4,48	6,87	44,89	29,00	3,59
62	18,036	101	7,06	-1,30	0,01	0,51	0,350	16,38	-23,26	1,45	4,48	2,54	16,55	13,00	3,14
64	18,475	144	6,15	-1,12	0,25	0,59	0,431	14,86	-23,03	1,45	4,48	4,49	29,08	15,00	3,42
66	18,914	144	5,85	-0,99	0,42	0,45	0,366	15,97	-23,07	1,42	4,48	2,49	15,78	13,00	3,40
68	19,353	168	5,78	-1,30	0,32	0,45	0,473	15,00	-22,95	1,40	4,48	4,70	29,60	20,00	3,41
70	19,792	160	7,00	-1,25	0,25	0,45	0,411	16,51	-23,10	1,41	4,48	8,22	51,81	24,00	3,31
74	20,231	131	6,76	-1,36	0,21	0,55	0,528	15,78	-22,86	1,41	4,48	7,14	45,04	21,00	3,32
80	20,669	128	5,68	-1,00	-0,04	0,59	0,492	15,94	-22,78	1,41	4,48	9,14	57,91	32,00	4,05
84	21,986	133	4,34	-0,95	0,17	0,57	0,552	15,04	-22,86	1,42	4,48	7,41	47,12	27,00	3,75
86	23,303	104	5,25	-1,03	-0,12	0,49	0,486	15,58	-22,84	1,41	4,62	5,84	38,00	15,00	3,32
88	23,742	76	5,98	-2,32	-0,91	0,51	0,638	15,72	-22,90	1,43	4,62	4,70	30,95	14,00	3,14

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ва _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
90	24,181	62	6,26	-1,66	-1,05	0,43	0,612	16,30	-23,02	1,44	4,62	5,24	34,76	26,00	3,81
92	24,617	91	5,60	-2,25	-1,16	0,54	0,399	15,98	-22,96	1,45	5,31	5,30	40,80	18,00	3,56
94	25,050	111	6,39	-1,24	-0,76	0,51	0,257	16,67	-22,81	1,45	5,31	7,14	55,15	24,00	3,68
96	25,484	95	5,85	-1,19	-0,79	0,52	0,440	16,01	-23,18	1,43	5,31	7,24	55,02	24,00	3,81
98	25,918	178	6,11	-1,54	-0,66	0,50	0,374	17,01	-22,91	1,42	5,31	10,76	80,90	29,00	3,98
100	26,351	234	4,82	-1,33	-0,70	0,54	0,482	13,55	-22,78	1,40	5,31	9,41	70,19	30,00	3,88
102	26,785	162	5,86	-1,53	-0,66	0,51	0,369	11,75	-22,75	1,39	5,31	25,84	190,14	30,00	3,85
104	27,218	83	5,81	-2,80	-1,05	0,44	0,210	14,03	-23,03	1,40	5,31	21,25	157,69	36,00	3,79
106	27,652	104	7,16	-1,68	-1,42	0,48	0,252	12,19	-23,04	1,39	5,31	16,33	120,85	22,00	3,36
108	28,085	73	6,96	-1,87	-1,21	0,48	0,160	12,93	-23,15	1,39	5,31	19,52	144,10	29,00	3,67
110	28,519	38	8,37	-2,32	-1,62	0,35	0,183	14,29	-23,25	1,41	4,12	20,71	119,81	45,00	3,74
112	28,953	55	10,29	-1,54	-1,16	0,50	0,244	14,86	-23,46	1,42	4,12	17,08	99,67	28,00	3,41
114	29,386	139	12,36	-1,87	-0,39	0,55	0,324	13,67	-23,35	1,39	4,12	29,03	166,07	41,00	3,59
116	29,820	64	13,01	-1,78	-1,52	0,51	0,228	11,93	-23,63	1,36	3,09	23,90	100,36	39,00	3,69
118	30,253	43	15,45	-1,44			0,204	18,59	-23,52	1,38	3,09	17,52	74,91	40,00	3,99
124	30,470	94	14,33	-1,78			0,129	16,84		1,35	4,43	16,33	97,96	33,00	3,48
126	31,126	342	7,74	-1,02	0,63	0,48	0,059	8,08	-22,76	1,31	4,43	8,49	49,29	17,00	3,33
128	31,782	381	7,87	-0,91	0,84	0,48	0,023	9,66	-23,11	1,32	4,17	12,65	69,42	26,00	3,62
130	32,438	396	7,14	-1,23	0,62	0,45	0,025		-23,24	1,33	4,17	57,74	319,25	49,00	3,62
132	33,095	413	6,90	-0,62	-0,12	0,55	0,033	9,71	-23,09	1,32	4,17	30,49	167,73	39,00	3,73
134	33,751	290	7,06	-1,09	-0,88	0,59	0,042	8,71	-23,00	1,37	2,78	34,82	132,89	37,00	3,38
136	34,407	334	7,53	-0,42	-1,03	0,69	0,053	8,37	-23,12	1,38	2,78	29,57	113,21	37,00	3,77
138	35,063	363	7,77	-0,46	-0,54	0,73	0,064	7,23	-23,04	1,34	2,96	40,87	162,21	48,00	3,67
140	35,719	289	8,40	-0,80	-0,60	0,63	0,088	7,56	-23,10	1,33	2,96	39,09	154,15	48,00	3,58
142	36,375	357	7,27	-0,66	-0,91	0,63	0,085	7,62	-23,18	1,31	2,96	45,90	177,71	45,00	3,55
144	37,032	345	7,17	-0,23	0,07	0,78	0,074	8,01	-22,99	1,31	2,96	47,85	186,19	52,00	3,60
146	37,688	280	7,73	-0,26	-0,33	0,66	0,088	8,28	-23,17	1,31	3,08	23,03	92,63	40,00	3,73
148	38,344	288	7,52	-0,76	-1,35	0,59	0,104	8,45	-23,57	1,32	3,08	25,52	103,55	34,00	3,62
150	39,000	340	7,88	-0,97	-1,26	0,53	0,093	8,21	-23,10	1,34	3,00	49,03	196,47	48,00	3,88
152	39,748	334	6,48	-0,64	-1,18	0,55	0,098	9,64	-22,98	1,32	3,00	17,03	67,60	21,00	3,14
154	40,496	368	7,28	-0,44	-0,23	0,64	0,109	9,64	-23,08	1,32	3,00	9,35	37,04	30,00	3,83
156	41,243	329	8,85	-0,62	-0,59	0,59	0,107	9,88	-23,32	1,33	2,22	18,22	53,71	29,00	3,57

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ва _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
158	41,991	377	7,79	-0,53	-0,90	0,70	0,133	8,70	-22,95	1,32	2,22	22,11	64,83	34,00	3,70
160	42,739	341	8,50	-0,89	-0,77	0,58	0,112	8,44	-23,11	1,31	2,86	39,68	148,69	39,00	3,32
162	43,487	330	8,11	-0,97	-0,74	0,61	0,119	10,29	-23,26	1,31	2,86	39,95	149,65	42,00	3,57
164	44,235	339	8,39	-0,89	-0,95	0,62	0,098	8,81	-23,06	1,32	2,86	34,49	130,40	41,00	3,91
166	44,983	416	9,09	-0,60	-0,57	0,54	0,105	9,75	-22,94	1,34	2,86	25,84	98,65	41,00	3,92
168	45,730	431	8,65	-0,58	-0,07	0,68	0,105	10,92	-23,02	1,32	2,86	17,08	64,40	28,00	3,44
170	46,478	310	10,10	-0,68	0,36	0,53	0,108	11,20	-23,15	1,32	4,17	35,14	192,77	46,00	4,03
172	47,226	313	8,71	-0,86	-0,77	0,47	0,136	8,69	-23,29	1,33	4,17	31,36	173,30	37,00	3,86
174	47,869	311	8,35	-0,71	-0,83	0,57	0,110	9,72	-23,41	1,32	4,17	25,36	139,74	34,00	3,75
176	48,408	398	6,66	-0,46	-0,99	0,59	0,109	9,11	-23,28	1,32	7,50	31,19	309,45	32,00	3,38
178	48,946	429	7,62	-0,73	-0,39	0,60	0,112	9,53	-23,36	1,32	7,50	27,30	269,57	27,00	3,30
180	49,485	533	8,74	-0,95	0,06	0,56	0,109	11,03	-23,37	1,31	7,50	43,09	422,43	36,00	3,40
182	50,023	591	9,05	-0,86	-0,03	0,74	0,118	10,36	-23,15	1,30	7,50	24,00	234,29	33,00	3,38
184	50,562	537	9,44	-0,48	-0,03	0,70	0,119	12,08	-23,17	1,30	2,40	23,84	74,44	25,00	3,30
186	51,100	414	9,84	-0,60	0,07	0,61	0,122	13,37	-22,99	1,30	2,40	18,87	58,92	25,00	3,57
188	51,638	443	9,92	-0,70	0,05	0,61	0,117	13,38	-22,98	1,30	2,40	27,79	86,69	29,00	3,61
190	52,177	400	10,13	-0,54	0,32	0,53	0,124	13,54	-23,10	1,29	2,40	32,98	102,19	42,00	3,92
192	52,715	393	9,55	-0,51	0,33	0,61	0,115	11,19	-23,02	1,27	2,40	16,49	50,41	30,00	4,01
194	53,254	423	10,50	-0,50	0,11	0,64	0,116	10,72	-23,07	1,27	2,40	11,41	34,71	25,00	3,67
196	53,792	371	9,07	-0,93	-0,60	0,54	0,114	10,92	-22,97	1,28	3,33	22,98	98,07	27,00	3,56
198	54,331	351	8,20	-0,75	0,03	0,64	0,125	11,92	-23,17	1,30	3,33	24,71	106,80	30,00	3,57
200	54,857	369	8,22	-0,70	-0,15	0,64	0,105	11,35	-23,15	1,31	4,74	36,76	228,15	32,00	3,53
202	55,370	363	8,11	-0,97	-0,38	0,64	0,091	9,59	-23,09	1,32	4,74	51,95	324,94	35,00	3,66
204	55,883	360	8,31	-1,07	0,01	0,67	0,078	12,28	-23,08	1,31	4,74	29,84	185,77	33,00	3,76
206	56,396	373	8,50	-0,28	0,31	0,54	0,076	16,30	-23,17	1,30	4,74	32,28	198,71	37,00	3,67
208	56,909	358	8,00	-0,72	0,34	0,55	0,070	11,30	-23,01	1,30	5,45	30,98	219,41	31,00	3,55
210	57,422	304	6,97	-1,19	-0,55	0,45	0,068	11,81	-23,07	1,32	5,45	24,54	176,51	28,00	2,90
212	57,935	203	6,52	-1,11	-0,98	0,37	0,084	12,50	-23,38	1,36	5,45	21,03	156,10	27,00	3,04
214	58,448	198	6,96	-1,27	-0,77	0,36	0,077	13,18	-23,37	1,39	5,45	27,57	208,57	29,00	3,30
216	58,961	193	7,03	-1,63	-0,98	0,36	0,090	6,67	-23,66	1,39	5,45	16,38	124,53	26,00	2,96
218	59,474	168	6,21	-1,49	-1,17	0,36	0,092	13,70	-23,63	1,40	5,45	21,03	160,38	30,00	3,14
220	59,987	139	6,59	-2,40	-1,07	0,42	0,094	14,87	-23,73	1,40	2,78	11,73	45,48	21,00	2,43

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
222	60,500	144	6,06	-3,10	-1,20	0,32	0,093	14,91	-23,68	1,41	2,78	12,54	49,05	19,00	2,73
224	60,946	127	7,10	-2,86	-1,63	0,36	0,096	14,36	-23,46	1,42	2,78	1,89	7,46	7,00	2,63
226	61,391	102	5,51	-1,78	-1,15	0,50	0,096	13,95	-23,49	1,45	4,19	5,73	34,87	12,00	3,00
228	61,837	129	4,14	-1,17	-1,00	0,54	0,121	15,76	-23,51	1,49	4,19	8,33	52,06	20,00	3,50
230	62,282	190	5,07	-0,95	-0,59	0,38	0,118	15,21	-23,43	1,48	4,19	10,65	66,16	24,00	3,87
232	62,728	202	4,86	-0,79	-0,82	0,37	0,111	16,24	-23,33	1,43	4,19	8,43	50,59	19,00	3,75
234	63,174	188	4,63	-0,62	0,11	0,42	0,102	16,29	-23,21	1,42	4,19	5,30	31,47	15,00	2,98
236	63,619	157	3,66	-0,66	-0,05	0,48	0,087	16,62	-23,25	1,43	4,19	7,79	46,67	13,00	3,11
238	64,065	147	4,94	-0,78	-0,13	0,46	0,077	18,22	-23,44	1,43	4,39	5,14	32,29	15,00	3,04
240	64,511	156	4,28	-0,48	-0,19	0,43	0,073	15,39	-23,25	1,45	4,39	3,68	23,41	14,00	3,34
242	64,956	145	4,59	-0,86	-0,16	0,40	0,084	16,54	-23,22	1,46	4,39	4,16	26,67	11,00	2,89
244	65,402	60	4,28	-0,82	-0,47	0,37	0,092	17,92	-23,27	1,46	4,39	7,14	45,78	12,00	2,35
246	65,847	67	6,55	-0,89	-0,73	0,34	0,085	18,30	-23,24	1,46	4,39	10,81	69,13	21,00	3,69
248	66,293	2	6,19	-0,96	-0,90	0,36	0,080	16,94	-23,02	1,48	4,39	8,33	54,25	15,00	3,13
250	66,739	110	4,45	-1,11	-0,94	0,38	0,049	17,50	-23,13	1,47	4,39	5,24	33,88	20,00	3,45
252	67,184	118	3,25	-0,94	-0,63	0,40	0,055	14,92	-23,13	1,43	4,39	2,92	18,32	12,00	3,23
254	67,630	75	3,19	-0,97	-0,68	0,42	0,093	16,33	-23,31	1,44	4,39	6,33	40,02	17,00	3,46
256	68,075	112	2,97	-1,17	-0,76	0,53	0,118	12,94	-23,38	1,46	4,39	6,16	39,45	15,00	3,34
258	68,521	116	2,98	-0,89	-0,90	0,47	0,133	13,23	-23,38	1,45	4,39	7,19	45,76	20,00	3,80
260	68,967	117	2,61	-1,04	-0,76	0,47	0,126	12,84	-23,26	1,42	4,39	9,30	58,10	25,00	3,53
262	69,412	148	3,77	-0,82	-0,92	0,54	0,119	12,02	-23,30	1,42	4,39	4,87	30,37	12,00	3,14
264	69,858	207	3,29	-0,89	-0,98	0,48	0,122	10,42	-23,36	1,39	4,39	12,38	75,73	24,00	3,38
266	70,304	177	4,19	-0,95	-1,02	0,48	0,139	9,74	-23,44	1,40	4,39	11,84	72,89	23,00	3,83
268	70,749	200	4,40	-1,24	-1,02	0,48	0,133	10,68	-23,32	1,41	4,39	17,30	106,82	24,00	3,74
270	71,195	354	6,24	-0,92	-0,96	0,59	0,149	10,57	-23,21	1,39	4,39	28,92	176,25	38,00	4,30
272	71,640	257	6,98	-0,86	-0,98	0,45	0,156	9,32	-23,41	1,39	4,39	19,19	116,81	27,00	3,87
274	72,086	197	8,10	-1,19	-1,67	0,36	0,159	9,30	-23,59	1,40	3,33	14,60	68,30	31,00	4,12
276	72,532	199	8,98	-1,53	-1,32	0,45	0,173	8,78	-23,63	1,42	3,33	12,06	56,89	23,00	3,82
278	72,977	235	7,97	-0,93	-1,25	0,53	0,159	9,08	-23,50	1,40	4,67	7,30	47,64	23,00	3,95
280	73,417	355	3,87	-0,89	-1,39	0,54	0,160	8,70	-24,21	1,37	4,67	16,92	108,41	30,00	4,00
282	73,850	444	4,94	-0,75	-1,22	0,54	0,159	8,30	-23,49	1,36	4,67	12,54	79,54	30,00	4,19
284	74,283	502	6,82	-0,80	-0,74	0,61	0,174	7,83	-23,28	1,35	4,67	18,65	117,77	26,00	3,99

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
286	74,717	615	6,99	-0,52	-0,47	0,63	0,167	6,95	-23,38	1,34	4,67	17,68	110,52	33,00	4,13
288	75,150	437	5,27	-0,66	-0,42	0,61	0,169	7,78	-23,16	1,33	4,67	26,87	166,40	41,00	4,20
290	75,583	507	4,43	-0,30	0,07	0,64	0,135	7,11	-23,21	1,33	4,67	17,79	110,18	30,00	4,11
292	76,017	401	5,59	-0,62	-0,95	0,54	0,183	7,30	-23,34	1,32	8,00	27,68	293,09	31,00	3,79
294	76,450	456	6,83	-0,86	-0,74	0,57	0,182	6,48	-23,25	1,32	8,00	20,22	214,27	27,00	3,74
296	76,883	428	7,80	-0,50	-0,94	0,60	0,202	6,16	-23,16	1,32	8,00	12,81	135,21	19,00	2,61
298	77,282	389	6,70	-0,84	-1,01	0,57	0,203	8,39	-23,11	1,32	8,00	26,00	273,82	23,00	3,09
300	77,645	522	5,79	-0,61	-1,18	0,68	0,166	5,82	-23,28	1,31	5,14	30,98	209,47	29,00	3,60
302	78,008	523	6,47	-0,58	-0,43	0,64	0,180	6,27	-23,19	1,29	5,14	17,08	113,37	29,00	3,47
304	78,371	732	9,76	-0,48	-1,10	0,64	0,174	6,65	-22,72	1,26	5,14	12,28	79,58	24,00	3,26
306	78,735	674	9,51	-0,45	-0,90	0,63	0,204	6,61	-22,78	1,25	5,14	16,67	107,15	31,00	3,25
308	79,098	740	10,18	-0,35	-0,94	0,71	0,237	5,73	-22,82	1,25	5,14	14,00	90,03	26,00	2,93
312	79,824	757	10,08	-0,16	-0,33	0,75	0,209	5,88	-22,79	1,24	5,14	8,90	56,64	23,00	3,37
314	80,188	787	10,20	0,01	-0,25	0,91	0,195	4,59	-22,80	1,23	5,14	10,51	66,74	19,00	2,99
316	80,551	897	11,14	-0,07	-0,34	0,83	0,138	4,94	-22,85	1,23	5,14	4,99	31,55	15,00	3,06
318	80,914	1024	9,29	-0,13	1,05	0,92	0,147	5,17	-22,93	1,23	5,14	7,17	45,26	18,00	3,29
320	81,278	989	8,66	-0,20	0,03	0,93	0,149	5,06	-22,84	1,21	5,14	29,36	182,26	29,00	3,80
322	81,641	972	8,94	-0,04	-0,19	0,79	0,138	4,89	-22,98	1,22	5,14	23,65	148,07	29,00	3,79
324	82,004	964	8,23	0,05	-0,02	0,79	0,160	6,51	-22,99	1,24	5,14	31,84	202,71	33,00	3,75
326	82,367	842	7,71	0,05	-0,04	0,80	0,155	8,98	-23,00	1,24	5,14	9,80	62,67	29,00	3,46
328	82,731	758	8,04	0,25	-0,10	0,77	0,186	5,59	-22,98	1,26	5,14	5,33	34,44	20,00	3,10
332	83,457	622	6,72	0,44	0,43	0,77	0,192	7,21	-23,05	1,25	5,14	7,06	45,45	20,00	3,33
336	84,184	507	7,07	-0,04	0,16	0,69	0,197	7,86	-23,12	1,27	5,60	8,45	59,87	18,00	3,13
338	84,547	420	5,32	-0,44	-0,26	0,63	0,170	7,28	-23,54	1,27	5,60	3,75	26,68	16,00	3,05
342	85,273	342	4,68	-0,63	-0,82	0,61	0,170	8,07	-23,52	1,29	5,60	4,36	31,44	19,00	3,50
344	85,637	328	3,97	-0,48	-0,77	0,60	0,196	7,97	-23,48	1,31	5,60	2,44	17,87	23,00	4,31
346	86,000	309	4,50	-0,40	-0,66	0,60	0,194	8,91	-23,28	1,33	5,60	6,38	47,56	26,00	4,29
348	86,614	349	4,11	-0,18	-0,85	0,60	0,169	8,75	-23,51	1,33	5,60	7,40	55,15	30,00	4,02
350	87,227	381	4,88	-0,18	-1,03	0,59	0,181	9,13	-23,46	1,33	3,83	78,01	396,45	51,00	4,46
352	87,841	390	3,98	-0,50	-1,08	0,62	0,169	9,90	-23,30	1,31	3,83	118,40	596,71	57,00	4,36
353	88,148	499	6,88	-0,32	-0,92	0,64	0,162	10,25	-23,16	1,31	3,83	50,55	253,10	39,00	4,28
356	89,068	575	6,88	-0,07	-1,20	0,63	0,165	11,21	-23,08	1,34	3,83	101,10	517,60	45,00	4,30
358	89,682	642	8,10	-0,22	-0,98	0,65	0,173	13,60	-23,33	1,31	3,83	188,79	945,56	44,00	4,39

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№# Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
360	90,295	736	5,79	-0,34	-0,64	0,65	0,181	10,79	-23,15	1,30	3,83	68,50	342,46	43,00	4,08
362	90,909	610	6,80	-0,30	-0,93	0,66	0,184	10,43	-23,40	1,30	3,83	111,75	556,89	65,00	4,65
364	91,523	571	6,68	-0,42	-0,86	0,64	0,204	10,62	-23,69	1,29	3,83	99,58	493,70	46,00	4,26
366	92,136	519	6,10	-0,30	-1,12	0,69	0,200	9,91	-23,19	1,29	3,83	158,19	779,99	46,00	4,07
368	92,750	492	7,37	-0,26	-0,92	0,75	0,184	11,57	-23,42	1,29	3,83	97,31	481,88	48,00	4,08
370	93,364	465	6,04	-0,05	-0,92	0,74	0,142	10,15	-23,60	1,30	3,83	64,55	321,62	46,00	4,24
372	93,977	453	7,87	-0,22	-0,97	0,69	0,142	9,13	-23,56	1,30	3,83	51,58	256,04	40,00	4,00
374	94,591	441	7,29	-0,34	-0,95	0,72	0,154	10,59	-23,59	1,28	3,83	51,04	251,03	36,00	3,60
376	95,205	606	6,58	-0,07	-0,76	0,78	0,164	9,93	-23,13	1,27	3,83	54,82	267,07	44,00	4,42
378	95,818	488	8,58	-0,39	-1,03	0,72	0,162	10,74	-23,37	1,26	3,83	65,42	316,38	43,00	4,11
381	96,739	516	10,18	-0,15	-0,96	0,71	0,188	10,85	-23,82	1,28	3,83	89,42	438,00	42,00	3,97
384	97,659	476	7,51	-0,24	-0,46	0,69	0,174	10,42	-23,73	1,25	3,83	59,47	284,91	40,00	3,83
386	98,273	500	6,81	-0,31	1,06	0,65	0,180	9,83	-23,38	1,28	3,83	98,29	481,90	49,00	3,93
387	98,580	568	8,47	-0,19	-0,02	0,67	0,194	10,62	-23,50	1,32	3,83	47,68	240,45	39,00	3,95
390	99,500	634	9,40	-0,19	-0,30	0,71	0,188	7,70	-23,77	1,25	3,83	104,99	504,97	46,00	3,84
393	100,069	612	8,75	-0,48	-0,60	0,74	0,235	5,97	-23,74	1,25	3,83	88,23	423,41	40,00	3,64
394	100,259	684	9,25	-0,12	-0,69	0,73	0,226	6,02	-23,67	1,25	3,83	70,82	338,04	43,00	3,95
395	100,448	712	8,80	-0,32	-0,82	0,76	0,237	6,50	-23,55	1,24	3,83	100,34	476,33	39,00	3,80
398	101,017	682	9,05	-0,18	-0,68	0,77	0,231	6,08	-23,54	1,26	3,83	78,72	380,01	35,00	3,53
400	101,397	663	7,03	-0,11	-0,68	0,73	0,224	6,34	-23,44	1,25	3,83	119,80	576,03	38,00	4,06
402	101,776	650	10,31	0,07	-0,51	0,77	0,217	7,29	-23,43	1,26	3,83	123,26	593,09	37,00	3,59
404	102,155	625	8,88	-0,16	0,17	0,75	0,194	8,15	-23,45	1,27	3,83	90,83	441,37	38,00	4,01
406	102,534	599	8,09	-0,05	1,09	0,70	0,197	6,21	-23,32	1,26	3,83	87,58	423,94	38,00	3,98
408	102,914	670	8,90	-0,27	-0,47	0,72	0,221	7,23	-23,36	1,24	3,83	111,15	528,15	41,00	4,05
410	103,293	631	8,29	-0,09	-0,44	0,75	0,193	7,56	-23,38	1,23	3,83	171,05	806,58	41,00	3,90
412	103,672	560	9,86	-0,15	-0,58	0,68	0,207	7,66	-23,41	1,24	3,83	77,42	368,57	38,00	3,77
414	104,052	571	8,25	-0,08	-0,04	0,70	0,206	7,60	-23,40	1,26	3,83	101,64	491,47	40,00	3,96
416	104,431	480	4,46	-0,56	-0,50	0,63	0,219	9,27	-23,46	1,31	3,83	125,43	629,43	40,00	3,87
418	104,810	455	7,38	-0,54	-0,55	0,62	0,212	9,50	-23,67	1,33	3,83	91,04	462,66	41,00	3,95
420	105,207	436	4,93	-0,95	-0,94	0,59	0,207	8,90	-23,66	1,30	4,83	102,72	647,68	39,00	3,85
422	105,621	504	4,82	-0,67	-0,74	0,60	0,169	8,57	-23,57	1,31	4,83	78,50	497,56	34,00	3,98
424	106,034	635	7,14	-0,78	-0,82	0,62	0,190	11,20	-23,44	1,29	4,83	50,93	316,31	38,00	4,25
426	106,448	617	6,48	-0,79	-0,28	0,65	0,182	8,95	-23,42	1,26	4,83	97,10	590,71	42,00	3,95
428	106,862	743	6,48	-0,42	-0,75	0,68	0,173	9,69	-23,34	1,28	4,83	53,52	330,22	41,00	4,02

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10 ³)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
430	107,276	779	6,00	-0,47	-0,78	0,68	0,189	9,69	-23,56	1,30	4,83	47,79	299,62	43,00	4,19
432	107,690	781	6,01	-0,47			0,178	9,32	-23,34	1,31	4,83	51,79	328,53	43,00	3,91
434	108,103	718	6,22	-0,38	-1,31	0,73	0,171	10,71	-23,42	1,32	4,83	57,09	363,79	49,00	4,54
436	108,517	565	6,74	-0,58	-0,85	0,68	0,168	12,88	-23,40	1,30	4,83	48,98	308,77	42,00	4,14
438	108,931	588	8,33	-0,53	-0,93	0,70	0,178	12,85	-23,41	1,32	4,83	37,74	240,72	38,00	3,91
440	109,345	359	7,59	-0,58	-0,82	0,61	0,193	12,28	-23,50	1,33	4,83	28,00	179,59	34,00	3,76
442	109,759	298	5,74	-0,55	-1,14	0,64	0,204	11,55	-23,60	1,34	4,83	43,78	283,14	47,00	4,00
444	110,172	260	5,69	-0,36	-1,40	0,60	0,196	10,32	-23,60	1,37	4,83	40,62	269,62	37,00	3,64
446	110,586	301	5,98	-0,72	-1,38	0,58	0,170	9,70	-23,57	1,37	4,83	40,62	269,81	44,00	3,82
448	111,000	355	6,40	-1,15	-1,33	0,59	0,147	11,57	-23,53	1,37	4,18	38,22	219,53	42,00	3,79
450	111,478	439	6,28	-1,11	-1,22	0,57	0,132	11,20	-23,32	1,41	4,18	180,75	1067,58	62,00	3,93
452	111,957	521	6,47	-0,85	-1,46	0,57	0,122	12,31	-23,55	1,40	4,18	57,59	337,14	52,00	3,93
454	112,435	535	6,40	-1,10	-1,33	0,59	0,106	9,89	-23,91	1,35	4,18	68,93	390,35	55,00	3,93
456	112,913	472	8,16	-0,92	-1,25	0,54	0,095	9,61	-23,68	1,34	4,18	78,57	441,38	46,00	3,69
458	113,391	544	7,92	-0,78	-1,13	0,60	0,103	10,07	-23,73	1,33	4,18	99,84	555,96	48,00	3,90
461	114,109	500	9,01	-0,49	-0,92	0,59	0,093	9,97	-23,71	1,33	4,18	125,79	696,97	51,00	3,83
462	114,348	474	10,20	-1,00	-1,25	0,56	0,088	9,93	-23,56	1,31	4,18	109,93	604,34	51,00	3,71
464	114,826	458	8,88	-1,24	-1,35	0,55	0,088	11,02	-23,59	1,32	4,18	127,77	707,82	48,00	3,43
467	115,543	459	9,68	-1,16	-1,67	0,56	0,086	10,06	-23,65	1,33	4,18	189,76	1053,11	51,00	3,25
468	115,783	486	10,71	-1,05	-1,46	0,57	0,076	9,49	-23,74	1,32	4,18	181,47	1003,27	52,00	3,66
470	116,261	541	11,52	-1,24	-1,46	0,59	0,071	10,57	-23,78	1,32	4,18	147,77	817,80	55,00	3,46
472	116,652	730	15,06	-1,01	0,39	0,71	0,058	9,09	-23,98	1,32	6,59	380,96	3302,41	66,00	3,23
474	116,956	598	15,77	-0,83	-1,23	0,57	0,059	9,00	-24,01	1,28	6,59	189,95	1606,55	47,00	2,89
476	117,259	561	16,80	-0,62	-1,33	0,62	0,052	7,93	-23,86	1,31	6,59	220,14	1893,19	42,00	3,03
478	117,563	696	19,22	-1,13	-1,06	0,64	0,069	7,06	-24,11	1,30	6,59	365,90	3127,24	42,00	2,91
480	117,867	678	19,50	-0,57	-1,51	0,62	0,076	7,97	-24,18	1,27	6,59	258,20	2160,56	40,00	2,99
483	118,322	683	20,42	-0,37	-1,07	0,67	0,081	6,96	-23,94	1,27	6,59	326,97	2744,06	42,00	3,03
484	118,474	730	20,46	-0,34	-1,01	0,65	0,095	7,01	-24,06	1,27	6,59	244,36	2051,43	39,00	3,13
486	118,778	937	31,38	-0,06	0,07	0,78	0,098	6,12	-24,45	1,26	6,59	351,19	2907,31	42,00	3,14
488	119,081	803	26,28	-0,09	0,22	0,72	0,098	9,09	-24,02	1,24	6,59	275,50	2249,08	36,00	3,01
490	119,385	873	32,02	0,20	1,22	0,74	0,086	4,55	-24,21	1,23	6,59	275,50	2237,38	44,00	3,25
492	119,689	876	33,88	0,40	-1,17	0,57	0,091	4,29	-24,15	1,24	6,59	222,31	1808,80	36,00	3,31
494	119,993	989	37,47	0,29	1,25	0,76	0,093	4,62	-23,90	1,23	6,59	295,40	2394,96	43,00	3,02
496	120,296	981	37,81	0,25	1,37	0,77	0,123	4,24	-23,88	1,22	6,59	372,38	2979,76	44,00	3,00

Приложения В (продолжение)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№# Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
498	120,600	930	36,65	0,26	-1,27	0,74	0,122	4,25	-23,94	1,20	12,22	265,56	3908,93	38,00	3,13
500	120,764	985	41,37	0,56	1,48	0,86	0,130	2,66	-24,29	1,19	12,22	197,65	2884,89	39,00	3,20
502	120,927	982	38,61	0,40	1,68	0,88	0,114	3,20	-23,86	1,20	12,22	307,94	4510,06	46,00	3,22
504	121,091	1036	38,38	0,07	1,81	0,89	0,085	2,65	-23,93	1,20	12,22	269,88	3958,90	39,00	3,35
506	121,255	1008	39,24	0,29	1,88	0,90	0,103	3,01	-23,73	1,20	12,22	182,08	2662,75	38,00	3,20
508	121,418	1015	38,57	0,56	1,84	0,92	0,098	3,01	-24,04	1,20	12,22	380,60	5576,32	46,00	3,38
510	121,582	1012	39,58	0,29	2,06	0,88	0,107	2,79	-23,77	1,20	12,22	205,44	3013,08	45,00	3,53
512	121,745	961	40,03	0,45	2,27	0,91	0,109	3,92	-24,01	1,19	12,22	205,01	2989,58	42,00	3,52
514	121,909	957	38,63	0,27	2,24	0,93	0,091	2,65	-23,69	1,20	12,22	158,30	2320,60	32,00	2,59
516	122,073	507	31,58	0,14	1,81	0,86	0,100	3,12	-23,66	1,21	12,22	221,87	3286,67	41,00	3,40
518	122,236	1073	34,17	0,28	2,42	0,91	0,075	3,26	-24,02	1,20	12,22	148,78	2184,02	33,00	3,55
520	122,400	1043	36,23	0,33	2,37	0,81	0,062	3,05	-23,99	1,19	12,22	239,17	3474,83	40,00	3,40
522	122,564	988	37,44	0,26	2,19	0,91	0,066	3,29	-23,80	1,19	12,22	280,26	4068,01	49,00	3,38
524	122,727	1051	36,46	0,32	2,18	0,93	0,072	3,18	-23,94	1,17	12,22	209,76	3008,83	47,00	3,50
526	122,891	967	37,35	0,37	2,23	0,93	0,069	3,23	-23,89	1,17	12,22	208,47	2993,41	47,00	3,53
528	123,055	1007	34,34	0,47	2,36	0,96	0,059	2,80	-23,98	1,20	12,22	320,92	4689,89	54,00	3,69
530	123,218	1029	35,64	0,28	2,32	0,93	0,076	3,36	-24,26	1,21	12,22	173,87	2574,35	43,00	3,48
532	123,382	1033	34,19	0,31	2,38	0,86	0,074	2,78	-23,94	1,21	12,22	215,39	3196,36	41,00	3,63
534	123,545	1019	35,10	0,62	2,40	0,87	0,085	3,51	-24,09	1,22	12,22	195,49	2909,24	45,00	3,62
536	123,709	944	33,95	0,05	2,38	0,89	0,070	3,02	-24,07	1,21	12,22	128,45	1904,38	29,00	2,92
538	123,873	1060	31,21	0,03	2,49	0,87	0,079	3,65	-24,13	1,21	12,22	208,90	3100,98	43,00	3,96
540	124,036	1123	27,87	0,10	2,44	0,88	0,079	3,42	-24,32	1,22	12,22	182,95	2731,75	50,00	4,00
542	124,200	1156	26,75	-0,03	2,53	0,84	0,083	3,26	-24,16	1,23	12,22	181,22	2713,89	41,00	3,42
544	124,364	1190	28,33	0,36	2,52	0,90	0,083	3,88	-24,35	1,23	12,22	95,80	1440,29	49,00	3,93
546	124,527	1213	25,79	0,02	2,62	0,91	0,083	3,71	-24,27	1,24	12,22	138,83	2097,64	44,00	3,63
548	124,691	1022	27,38	0,23	2,65	0,75	0,087	3,46	-24,01	1,24	12,22	117,21	1774,27	36,00	3,75
550	124,855	1143	22,28	0,28	2,64	0,78	0,081	3,33	-24,43	1,24	12,22	125,86	1905,44	31,00	3,42
552	125,018	1243	20,78	0,11	2,70	0,75	0,079	3,75	-24,44	1,25	12,22	63,79	976,81	37,00	3,94
554	125,182	1216	19,70	0,30	2,86	0,73	0,097	4,59	-24,48	1,27	12,22	165,22	2556,22	44,00	3,91
556	125,345	1172	20,24	0,47	2,94	0,70	0,100	5,13	-24,60	1,26	12,22	103,80	1599,41	45,00	4,20
558	125,509	1051	17,60	-0,11	2,98	0,64	0,094	6,31	-24,38	1,27	12,22	69,56	1076,12	47,00	3,99
560	125,673	1059	17,12	-0,26	2,77	0,80	0,098	5,56	-24,42	1,27	12,22	106,40	1646,87	48,00	3,88
562	125,836	1108	17,16	-0,52	2,80	0,77	0,094	6,22	-24,53	1,26	12,22	102,54	1578,47	43,00	4,03
564	126,000	1075	16,85	-0,43			0,094	5,02	-24,65	1,27	12,00	63,61	968,10	41,00	3,87

Приложения В (окончание)

Н, см	Возраст, тыс. лет	Ba _{bio} (ICP-MS), ppm	Opal, %	LN(Chlor)	LN(CaCO ₃)	TOC, %	Стэк продуктивности	IRD (>63 mkm), %	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$	Плотность сух. ос., г/см ³	Скорость седиментации, см/тыс. лет	ОСР (№#Рад. 1 г сух. ос./10)	САР (№#Рад. · 10 ³ /см ³ · тыс. лет)	ВБ (№ # таксонов в образце)	ВР (инд. Шеннона)
566	126,167	1056	16,65	-0,18	2,81	0,35	0,084	6,07	-24,51	1,27	12,00	106,61	1621,24	49,00	4,02
568	126,333	1072	15,62	-0,50	2,78	0,61	0,098	7,11	-24,58	1,26	12,00	113,53	1711,89	52,00	4,23
570	126,500	1018	14,70	-0,33	2,60	0,67	0,137	6,29	-24,64	1,26	12,00	81,09	1223,66	44,00	4,25
572	126,667	1159	14,55	-0,24	2,54	0,68	0,147	5,92	-24,58	1,26	12,00	76,12	1148,15	48,00	3,95
574	126,833	1117	13,44	0,09	2,58	0,66	0,132	5,69	-24,92	1,25	12,00	62,71	941,85	47,00	4,19
576	127,000	1124	11,88	-0,21	2,29	0,66	0,131	6,30	-25,18	1,26	12,00	84,12	1267,77	40,00	3,97
578	127,167	925	10,08	0,13	2,21	0,71	0,093	6,67	-25,04	1,26	12,00	43,79	663,24	34,00	3,95
580	127,333	1020	13,00	0,33	2,58	0,82	0,099	6,57	-24,92	1,26	12,00	58,21	882,12	39,00	4,09
582	127,500	832	9,19	0,20	2,28	0,79	0,105	6,61	-24,87	1,26	12,00	49,98	758,03	45,00	4,28
584	127,667	924	8,53	0,03	1,78	0,74	0,116	2,55	-25,21	1,26	12,00	57,07	861,78	49,00	4,30
586	127,833	974	6,92	0,17	1,52	0,85	0,127	7,73	-25,11	1,27	12,00	42,65	649,80	45,00	4,42
588	128,000	897	7,98	0,44	1,18	0,90	0,130	7,99	-25,27	1,28	12,00	39,29	605,29	39,00	4,12
590	128,167	755	7,50	0,35	1,43	0,86	0,127	8,78	-24,92	1,28	12,00	43,01	660,45	47,00	4,43
592	128,333	652	7,32	0,56	1,54	0,87	0,134	9,55	-24,93	1,28	12,00	25,23	388,06	40,00	3,88
594	128,500	570	7,09	0,47	1,56	0,85	0,156	12,38	-24,63	1,29	12,00	27,11	418,68	44,00	4,04
596	128,667	527	6,27	0,64	1,37	0,82	0,168	13,56	-24,60	1,31	12,00	25,00	392,70	42,00	4,08
598	128,833	460	5,21	0,20	1,26	0,72	0,163	15,13	-24,46	1,33	12,00	40,82	653,35	43,00	3,90
600	129,000	537	5,10	-0,03	1,08	0,69	0,197	15,32	-24,58	1,35	5,00	38,65	261,79	45,00	3,92
602	129,400	266	5,61	0,23	1,13	0,68	0,211	22,24	-24,41	1,40	5,00	2,69	18,79	18,00	3,30
604	129,800	121	6,22		-1,65	0,30	0,223	19,23	-24,74	1,44	5,00	3,18	22,91	19,00	3,86
606	130,200	105	5,71	-3,26	-1,52	0,29	0,181	17,92		1,46	5,00	1,66	12,07	17,00	3,56
608	130,600	129	5,68	-2,61	-1,35	0,30	0,188	16,28	-24,69	1,46	5,00	5,19	37,88	19,00	3,64
610	131,000	125	6,27	-3,23	-2,09	0,27	0,193	14,45		1,47	5,00	4,22	31,00	21,00	3,55
612	131,400	164	5,68		-1,57	0,28	0,180	15,46	-24,55	1,46	5,00	9,08	66,36	32,00	4,06
614	131,800	220	6,39	-1,95	-1,26	0,29	0,165	14,98	-24,59	1,45	5,00	3,97	28,84	16,00	3,42
616	132,200	219	5,66	-3,26	-0,64	0,28	0,173	16,03	-24,55	1,44	5,00	4,68	33,70	25,00	3,69
618	132,600	250	6,84		-0,44	0,30	0,173	15,10	-24,42	1,40	5,00	6,63	46,46	26,00	3,90
620	133,000	385	8,23	-0,84	0,10	0,43	0,188	14,13	-23,57	1,31	5,00	6,83	44,88	26,00	3,88
622	133,400	410	9,27	-0,51	0,68	0,58	0,190	12,75	-23,55	1,26	5,00	9,01	56,82	28,00	4,13
624	133,800	269	5,61	-2,40	0,25	0,37	0,190	13,03	-24,09	1,32	5,00	5,16	33,94	25,00	3,87
626	134,200	255	6,52		0,34	0,30	0,167	13,69	-24,63	1,35	5,00	2,36	15,90	17,00	3,63
628	134,600	200	9,67	-2,27	-0,97	0,35	0,181	14,79	-24,28	1,40	5,00	3,04	21,35	17,00	3,58
630	135,000	145	8,57	-2,02	-1,88	0,40	0,188	15,41	-24,28	1,44	4,67	2,82	18,94	16,00	3,52

Приложение Г

Таблицы коэффициентов корреляции

Таблица1.

Коэффициенты корреляции между процентным содержанием радиолярий и некоторыми геохимическими параметрами

		K1					K2										K3							
		Plectacantha sp.	Phormacantha hystrix	Plectacantha oikiskos	Amphimelissa setosa	Lithomelissa setosa	Antarctissa (?) sp. 1	Siphocampe arachnea	Cycladophora davisiana	Ceratospyris borealis	Rhizoplegma boreale	Lychnocanoma nipponica sakaii	Dictyophimus sp.1	Pseudodictyophimus gracilipes	Dictyophimus hirundo/crisiae	Actinomma leptodermum/boreale	Spongotrochus glacialis	Druppattracus variabilis	Spongopyle osculosa	Spongurus pylomaticus borealis	Stylochlamydidium venustum	Stylocidictya validispina	Spongurus sp.	Spongodiscus sp. (Juvenile form)
	Ba _{bio}	0,50	0,54	0,27	0,70	0,53	-0,16	-0,25	-0,28	-0,29	-0,19	-0,54	-0,35	-0,31	-0,49	-0,43	-0,47	-0,03	-0,34	-0,26	-0,26	-0,42	-0,49	-0,43
	Opal	-0,16	0,23	0,30	0,77	0,41	-0,23	-0,27	-0,22	-0,34	-0,03	-0,37	-0,18	-0,14	-0,18	-0,21	-0,33	0,01	-0,21	-0,23	-0,21	-0,31	-0,31	-0,22
	Chlorin	0,22	0,41	0,20	0,53	0,33	-0,11	-0,12	-0,10	-0,16	-0,04	-0,38	-0,29	-0,25	-0,45	-0,41	-0,39	-0,16	-0,34	-0,28	-0,39	-0,48	-0,67	-0,58
	CaCO ³	0,59	0,54	0,20	0,68	0,54	-0,29	-0,27	-0,42	-0,18	0,02	-0,27	-0,06	-0,15	-0,14	-0,16	-0,21	-0,38	-0,23	-0,09	-0,04	-0,19	-0,26	-0,21
	TOC	-0,03	0,38	0,10	0,59	0,31	-0,09	-0,16	-0,01	-0,20	0,06	-0,51	-0,37	-0,16	-0,32	-0,32	-0,37	-0,17	-0,57	-0,37	-0,35	-0,51	-0,61	-0,62
	IRD	-0,17	-0,34	-0,20	-0,59	-0,41	0,14	0,19	0,10	0,15	0,09	0,52	0,34	0,21	0,42	0,46	0,43	0,08	0,64	0,39	0,36	0,49	0,51	0,48
	δ ¹³ C _{org}	-0,51	-0,44	-0,22	-0,53	-0,49	0,21	0,35	0,49	0,51	0,05	0,26	0,20	0,24	0,39	0,30	0,38	-0,02	-0,51	-0,16	-0,11	-0,06	-0,22	-0,18
K1	Plectacantha sp.	1	0,54	0,02	-0,03	0,38	-0,01	-0,16	-0,61	0,37	0,89	0,13	0,22	0,10	0,12	0,00	0,43	-0,64		0,07	0,66	0,43	-0,02	0,16
	Phormacantha hystrix	0,54	1	0,17	0,26	0,21	0,06	-0,23	-0,54	-0,25	0,28	-0,19	0,30	-0,22	-0,35	-0,26	-0,35	-0,29	-0,26	-0,14	0,05	-0,14	-0,21	-0,23
	Plectacantha oikiskos	0,02	0,17	1	0,28	0,31	-0,05	-0,01	-0,08	-0,08	0,36	-0,18	-0,02	-0,03	-0,13	-0,19	-0,10	0,08	0,88	0,02	-0,15	-0,07	-0,08	-0,14
	Amphimelissa setosa	-0,03	0,26	0,28	1	0,52	-0,40	-0,54	-0,44	-0,43	-0,44	-0,64	-0,20	-0,11	-0,25	-0,38	-0,60	0,09	-0,39	-0,40	-0,39	-0,42	-0,54	-0,52
	Lithomelissa setosa	0,38	0,21	0,31	0,52	1	-0,15	-0,35	-0,52	-0,29	-0,19	-0,32	-0,04	-0,13	-0,02	-0,12	-0,12	0,09	0,31	0,08	0,00	-0,06	-0,02	-0,22
K2	Antarctissa (?) sp. 1	-0,01	0,06	-0,05	-0,40	-0,15	1	0,03	0,08	-0,25	-0,02	0,22	0,14	-0,23	-0,11	0,04	-0,10	-0,11	-0,57	0,24	-0,29	-0,06	-0,11	0,02
	Siphocampe arachnea	-0,16	-0,23	-0,01	-0,54	-0,35	0,03	1	0,11	0,17	-0,18	-0,09	-0,03	0,12	-0,06	-0,09	0,16	0,05	0,03	-0,02	0,05	0,08	0,07	-0,01
	Cycladophora davisiana	-0,61	-0,54	-0,08	-0,44	-0,52	0,08	0,11	1	0,12	0,32	-0,12	-0,09	0,26	0,02	-0,01	-0,02	0,01	-0,40	-0,36	-0,30	-0,29	-0,36	-0,42
	Ceratospyris borealis	0,37	-0,25	-0,08	-0,43	-0,29	-0,25	0,17	0,12	1	-0,03	0,33	0,25	0,20	0,28	0,20	0,43	-0,21	-0,28	-0,08	0,07	0,09	-0,22	-0,18
	Rhizoplegma boreale	0,89	0,28	0,36	-0,44	-0,19	-0,02	-0,18	0,32	-0,03	1	-0,09	0,19	0,25	0,01	0,11	-0,02	-0,30	0,05	-0,23	0,02	-0,19	0,27	-0,07
	Lychnocanoma nipponica sakaii	0,13	-0,19	-0,18	-0,64	-0,32	0,22	-0,09	-0,12	0,33	-0,09	1	0,36	0,03	0,25	0,15	0,38	-0,13	0,66	0,35	0,10	0,36	0,81	0,40
	Dictyophimus sp.1	0,22	0,30	-0,02	-0,20	-0,04	0,14	-0,03	-0,09	0,25	0,19	0,36	1	0,05	0,31	0,45	0,49	-0,13	0,26	0,37	0,36	0,20	0,20	0,26
	Pseudodictyophimus gracilipes	0,10	-0,22	-0,03	-0,11	-0,13	-0,23	0,12	0,26	0,20	0,25	0,03	0,05	1	0,26	0,24	0,19	0,00	-0,26	-0,24	0,10	-0,09	-0,32	-0,20
	Dictyophimus hirundo/crisiae	0,12	-0,35	-0,13	-0,25	-0,02	-0,11	-0,06	0,02	0,28	0,01	0,25	0,31	0,26	1	0,70	0,66	-0,02	0,02	0,03	0,32	0,11	0,08	0,01
	Actinomma leptodermum/boreale	0,00	-0,26	-0,19	-0,38	-0,12	0,04	-0,09	-0,01	0,20	0,11	0,15	0,45	0,24	0,70	1	0,59	-0,07	-0,06	0,06	0,28	0,22	0,32	0,19
	Spongotrochus glacialis	0,43	-0,35	-0,10	-0,60	-0,12	-0,10	0,16	-0,02	0,43	-0,02	0,38	0,49	0,19	0,66	0,59	1	-0,08	0,02	0,26	0,30	0,28	0,55	0,36
K3	Druppattracus variabilis	-0,64	-0,29	0,08	0,09	0,09	-0,11	0,05	0,01	-0,21	-0,30	-0,13	-0,13	0,00	-0,02	-0,07	-0,08	1	-0,35	-0,08	-0,20	-0,07	-0,11	-0,07
	Spongopyle osculosa		-0,26	0,88	-0,39	0,31	-0,57	0,03	-0,40	-0,28	0,05	0,66	0,26	-0,26	0,02	-0,06	0,02	-0,35	1	0,69	0,50	0,71	0,66	0,41
	Spongurus pylomaticus borealis	0,07	-0,14	0,02	-0,40	0,08	0,24	-0,02	-0,36	-0,08	-0,23	0,35	0,37	-0,24	0,03	0,06	0,26	-0,08	0,69	1	0,41	0,62	0,52	0,55
	Stylochlamydidium venustum	0,66	0,05	-0,15	-0,39	0,00	-0,29	0,05	-0,30	0,07	0,02	0,10	0,36	0,10	0,32	0,28	0,30	-0,20	0,50	0,41	1	0,53	0,49	0,69
	Stylocidictya validispina	0,43	-0,14	-0,07	-0,42	-0,06	-0,06	0,08	-0,29	0,09	-0,19	0,36	0,20	-0,09	0,11	0,22	0,28	-0,07	0,71	0,62	0,53	1	0,60	0,74
	Spongurus sp.	-0,02	-0,21	-0,08	-0,54	-0,02	-0,11	0,07	-0,36	-0,22	0,27	0,81	0,20	-0,32	0,08	0,32	0,55	-0,11	0,66	0,52	0,49	0,60	1	0,76
	Spongodiscus sp. (Juvenile form)	0,16	-0,23	-0,14	-0,52	-0,22	0,02	-0,01	-0,42	-0,18	-0,07	0,40	0,26	-0,20	0,01	0,19	0,36	-0,07	0,41	0,55	0,69	0,74	0,76	1

Примечание – Значимость коэффициентов корреляции определялась по критерию Пирсона при вероятности ошибки $p < 0,05$. Цветом (и жирным шрифтом) отмечены коэффициенты корреляции: зеленым – значимые положительные, красным – значимые отрицательные связи между параметрами. K1, K2, K3 – комплексы радиолярий – первый, второй и третий, соответственно.

Коэффициенты корреляции между скоростями аккумуляции радиолярий и некоторыми геохимическими параметрами

		К1			К2			К3																
		Dictyophimus hirundo/cristae	Spongodiscus sp. (Juvenile form)	Spongopyle osculosa	Siphocampe arachnea	Cycladophora davisiana	Druppattracus variabilis	Rhizoplegma boreale	Antarctissa (?) sp.1	Lychnocanoma nipponica sakaii	Amphimelissa setosa	Plectacantha oikiskos	Pseudodictyophimus gracilipes	Actinomma leptodermum/boreale	Dictyophimus sp.1	Spongurus sp.	Spongurus pylomaticus borealis	Spongotrochus glacialis	Plectacantha sp.	Lithomelissa setosa	Phormacantha hystrix	Ceratospyris borealis	Stylodictya validispina	Stylochlamydidium venustum
	Ba _{bio}	-0,19	0,01	-0,01	0,00	0,15	0,12	-0,05	0,18	0,01	0,49	0,37	0,19	-0,02	0,16	0,24	0,16	-0,17	0,58	0,48	0,45	0,14	0,13	0,24
	Opal	-0,16	-0,18	-0,02	-0,11	0,19	0,14	0,03	0,09	-0,12	0,62	0,49	0,25	0,03	0,20	0,32	0,05	-0,20	0,43	0,54	0,40	0,08	0,03	0,15
	Chlorin	-0,19	-0,01	-0,03	-0,06	0,12	-0,06	0,18	0,13	-0,06	0,26	0,24	0,07	-0,15	0,04	0,10	0,02	-0,18	0,30	0,27	0,28	0,07	0,01	0,13
	CaCO ₃	-0,16	-0,20	-0,04	-0,20	-0,16	-0,20	0,04	-0,05	-0,20	0,18	0,09	-0,07	-0,17	0,00	0,10	-0,06	-0,24	0,72	0,25	0,23	-0,08	-0,04	0,10
	TOC	-0,08	0,02	-0,05	0,02	0,26	-0,01	0,23	0,16	-0,06	0,27	0,22	0,18	-0,03	0,06	0,06	0,06	-0,03	0,23	0,27	0,30	0,17	0,07	0,18
	IRD	0,07	-0,04	-0,01	-0,03	-0,22	-0,11	-0,10	-0,15	-0,05	-0,42	-0,31	-0,24	-0,04	-0,14	-0,16	-0,13	-0,01	-0,41	-0,41	-0,35	-0,22	-0,09	-0,26
	δ ¹³ C _{org}	0,30	0,07	-0,04	0,17	-0,01	-0,08	0,08	-0,01	0,13	-0,32	-0,25	-0,04	0,13	-0,06	-0,30	-0,13	0,38	-0,54	-0,30	-0,27	0,19	0,03	0,00
К1	Dictyophimus hirundo/cristae	1	0,22	0,13	0,33	0,16	0,09	0,25	0,20	0,04	-0,07	0,04	0,26	0,50	0,13	-0,15	0,03	0,58	-0,15	-0,07	0,05	0,52	0,28	0,44
	Spongodiscus sp. (Juvenile form)	0,22	1	0,11	0,46	0,20	0,05	-0,02	0,59	0,44	0,07	0,11	0,06	0,33	0,11	-0,10	0,20	0,21	-0,14	0,00	0,42	0,39	0,33	0,31
	Spongopyle osculosa	0,13	0,11	1	0,06	0,09	0,12	-0,04	0,05	0,02	0,03	-0,02	0,05	0,17	0,10	0,03	0,13	0,20	-0,06	0,01	0,02	0,04	0,04	0,05
К2	Siphocampe arachnea	0,33	0,46	0,06	1	0,34	0,31	0,07	0,44	0,39	0,18	0,20	0,37	0,30	0,27	-0,03	0,24	0,47	-0,12	0,14	0,36	0,68	0,56	0,55
	Cycladophora davisiana	0,16	0,20	0,09	0,34	1	0,73	0,20	0,32	0,17	0,70	0,69	0,80	0,46	0,37	0,27	0,41	0,24	-0,06	0,57	0,57	0,47	0,36	0,39
	Druppattracus variabilis	0,09	0,05	0,12	0,31	0,73	1	0,04	0,14	0,24	0,72	0,67	0,71	0,38	0,47	0,41	0,42	0,17	0,06	0,61	0,40	0,40	0,39	0,30
К3	Rhizoplegma boreale	0,25	-0,02	-0,04	0,07	0,20	0,04	1	-0,04	-0,03	-0,10	0,06	0,21	0,10	-0,03	-0,09	0,00	0,25	-0,10	-0,04	-0,04	0,30	0,10	0,26
	Antarctissa (?) sp.1	0,20	0,59	0,05	0,44	0,32	0,14	-0,04	1	0,42	0,31	0,37	0,22	0,31	0,24	0,00	0,25	0,09	-0,05	0,25	0,65	0,33	0,36	0,37
	Lychnocanoma nipponica sakaii	0,04	0,44	0,02	0,39	0,17	0,24	-0,03	0,42	1	0,18	0,09	0,15	0,18	0,14	-0,03	0,29	0,11	-0,12	0,18	0,25	0,46	0,54	0,39
	Amphimelissa setosa	-0,07	0,07	0,03	0,18	0,70	0,72	-0,10	0,31	0,18	1	0,79	0,67	0,34	0,46	0,44	0,35	-0,12	0,30	0,85	0,70	0,33	0,33	0,33
	Plectacantha oikiskos	0,04	0,11	-0,02	0,20	0,69	0,67	0,06	0,37	0,09	0,79	1	0,68	0,30	0,37	0,43	0,36	0,00	0,21	0,67	0,62	0,34	0,27	0,26
	Pseudodictyophimus gracilipes	0,26	0,06	0,05	0,37	0,80	0,71	0,21	0,22	0,15	0,67	0,68	1	0,50	0,49	0,27	0,34	0,28	0,04	0,60	0,48	0,56	0,40	0,51
	Actinomma leptodermum/boreale	0,50	0,33	0,17	0,30	0,46	0,38	0,10	0,31	0,18	0,34	0,30	0,50	1	0,38	0,11	0,22	0,33	-0,06	0,28	0,39	0,44	0,34	0,48
	Dictyophimus sp.1	0,13	0,11	0,10	0,27	0,37	0,47	-0,03	0,24	0,14	0,46	0,37	0,49	0,38	1	0,24	0,28	0,07	0,13	0,40	0,42	0,30	0,33	0,35
	Spongurus sp.	-0,15	-0,10	0,03	-0,03	0,27	0,41	-0,09	0,00	-0,03	0,44	0,43	0,27	0,11	0,24	1	0,58	-0,11	0,24	0,36	0,18	0,02	0,16	0,05
	Spongurus pylomaticus borealis	0,03	0,20	0,13	0,24	0,41	0,42	0,00	0,25	0,29	0,35	0,36	0,34	0,22	0,28	0,58	1	0,10	0,12	0,31	0,24	0,28	0,42	0,27
	Spongotrochus glacialis	0,58	0,21	0,20	0,47	0,24	0,17	0,25	0,09	0,11	-0,12	0,00	0,28	0,33	0,07	-0,11	0,10	1	-0,20	-0,08	-0,01	0,57	0,33	0,39
	Plectacantha sp.	-0,15	-0,14	-0,06	-0,12	-0,06	0,06	-0,10	-0,05	-0,12	0,30	0,21	0,04	-0,06	0,13	0,24	0,12	-0,20	1	0,36	0,28	-0,05	0,00	0,10
	Lithomelissa setosa	-0,07	0,00	0,01	0,14	0,57	0,61	-0,04	0,25	0,18	0,85	0,67	0,60	0,28	0,40	0,36	0,31	-0,08	0,36	1	0,55	0,28	0,34	0,34
	Phormacantha hystrix	0,05	0,42	0,02	0,36	0,57	0,40	-0,04	0,65	0,25	0,70	0,62	0,48	0,39	0,42	0,18	0,24	-0,01	0,28	0,55	1	0,38	0,39	0,43
	Ceratospyris borealis	0,52	0,39	0,04	0,68	0,47	0,40	0,30	0,33	0,46	0,33	0,34	0,56	0,44	0,30	0,02	0,28	0,57	-0,05	0,28	0,38	1	0,67	0,78
	Stylodictya validispina	0,28	0,33	0,04	0,56	0,36	0,39	0,10	0,36	0,54	0,33	0,27	0,40	0,34	0,33	0,16	0,42	0,33	0,00	0,34	0,39	0,67	1	0,61
	Stylochlamydidium venustum	0,44	0,31	0,05	0,55	0,39	0,30	0,26	0,37	0,39	0,33	0,26	0,51	0,48	0,35	0,05	0,27	0,39	0,10	0,34	0,43	0,78	0,61	1

Примечание – Значимость коэффициентов корреляции определялась по критерию Пирсона при вероятности ошибки $p < 0,05$. Цветом (и жирным шрифтом) отмечены коэффициенты корреляции: зеленым – значимые положительные, красным – значимые отрицательные связи между параметрами. К1, К2, К3 – комплексы радиолярий – первый, второй и третий, соответственно.