

А.Ю. Гладенков

РАЗВИТИЕ ДИАТОМОВЫХ КОМПЛЕКСОВ КАЙНОЗОЯ СЕВЕРНОЙ ПАЦИФИКИ И ИЗМЕНЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКОЙ ЭКОСИСТЕМЫ

Рассматриваются особенности распространения в Северо-Тихоокеанском регионе кайнозойских морских биогенных кремнистых толщ, в формировании которых принимали участие диатомовые водоросли. На основе анализа развития комплексов диатомей во времени и пространстве, изменений степени продуктивности, состава и экологической структуры ассоциаций сделаны выводы о перестройках в древних океанических экосистемах и возможных связях биотических и абиотических событий в кайнозое.

A.Yu. Gladenkov

DEVELOPMENT OF THE CENOZOIC NORTH PACIFIC DIATOM ASSEMBLAGES AND CHANGES IN OCEANIC ECOSYSTEM

The peculiarities of distribution of Cenozoic marine biosiliceous sediments in the North Pacific region formed with the participation of diatoms are examined. Inferences on reorganizations in past oceanic ecosystems and possible relations of the Cenozoic biotic and abiotic events are made based on analysis of temporal and spatial development of diatom assemblages, changes of their productivity, composition and ecological structure.

Главная масса зеленой жизни выражена в форме микроскопических одноклеточных организмов, сосредоточенных, в наибольшей своей части, на поверхности океана, в планктоне.

В.И. Вернадский

ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших задач изучения геологии Северо-Тихоокеанского региона является расшифровка его кайнозойской истории. Так как степень корректности такой расшифровки напрямую зависит от состояния стратиграфической базы, огромное значение имеет совершенствование региональных стратиграфических схем палеогена и неогена. В последние годы большая роль при этом отводится изучению морских планктонных микроорганизмов, и в частности, одной из групп кремнистого микропланктона – диатомовых водорослей. Высокая разрешающая способность диатомей при стратиграфических построениях, наряду с широким распространением их остатков в осадочных отложениях, позволяет с успехом использовать эту

группу для расчленения и корреляций кайнозойских толщ. Вместе с тем, изучение диатомовых водорослей предоставляет важную информацию для реконструкций океанологических, климатических и других событий прошлого, а также их сопоставления с перестройками в океанических экосистемах. Развитие ассоциаций диатомей, являющихся неотъемлемой частью морских экосистем, проходило на фоне смены режимов океанической циркуляции и осадконакопления, изменения степени продуктивности глубинных и поверхностных вод, их температур и т.д. Поэтому исследование характера развития диатомовых комплексов во времени и пространстве дает возможность подойти к выявлению последовательности и степени синхронности разномасштабных природных процессов, их взаимосвязи и влияния на формирование северотихоокеанской биоты в кайнозойское время.

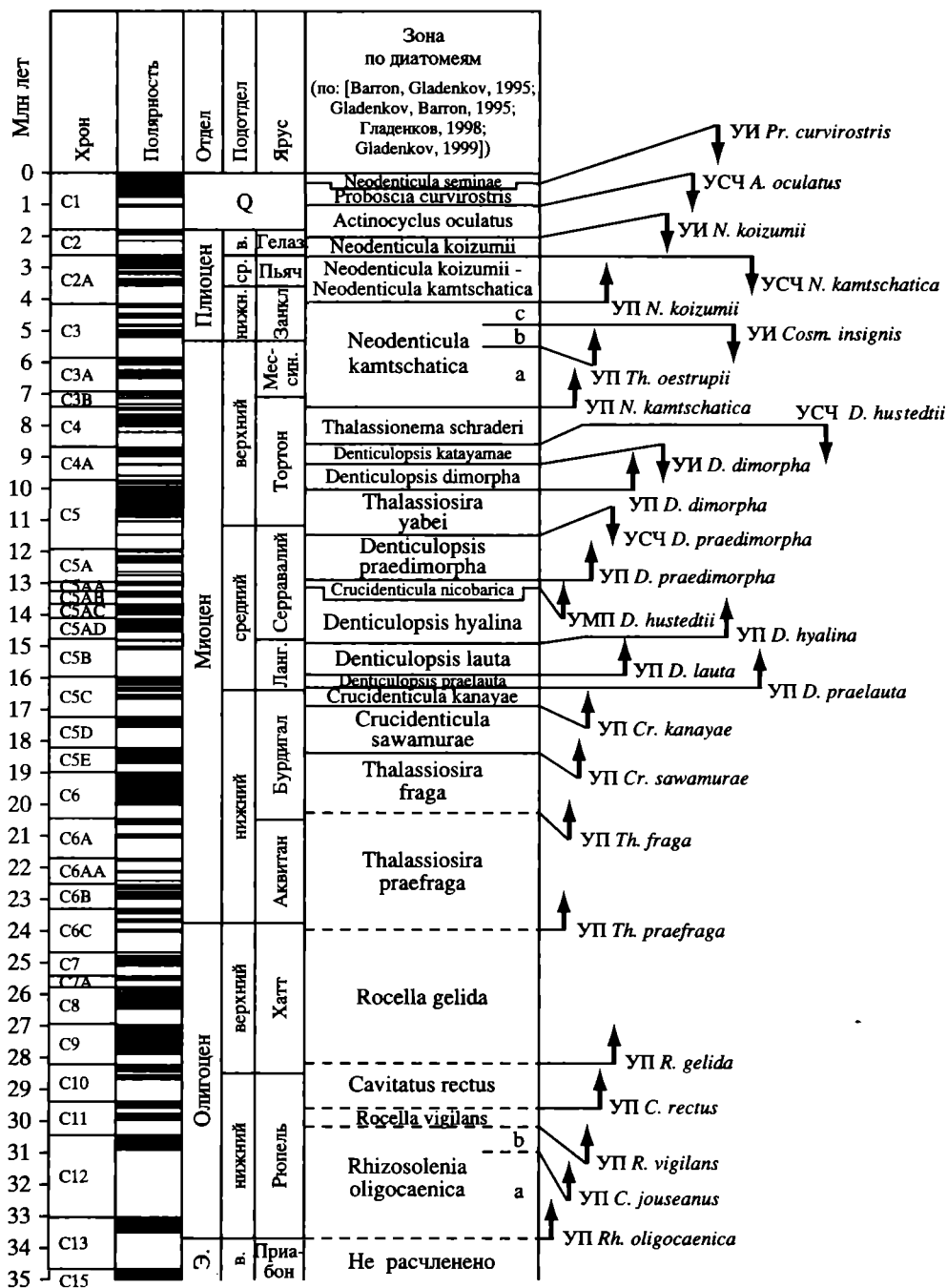
В данной статье затронуты несколько вопросов: особенности продуктивности диатомовой флоры и участие диатомовых водорослей в формировании кремнистых толщ Северо-Тихоокеанского региона, влияние климатических и палеогеографических условий на развитие диатомовых ассоциаций, а также палеобиогеографические аспекты.

Пользуясь случаем, хотел бы вспомнить лекции по курсам «Биостратиграфия» и «Проблемы и задачи палеонтологии», которые более 20 лет назад читал нам, тогда студентам-старшекурсникам кафедры палеонтологии геологического факультета МГУ, В.В. Меннер. В своих лекциях Владимир Васильевич постоянно указывал на необходимость палеобиографических реконструкций и изучения древних экосистем при расшифровке особенностей эволюции биосферы.

МЕТОДИКА И МАТЕРИАЛЫ

Зональная шкала кайнозоя по диатомеям

В пределах высоких–средних широт северной части Тихого океана и ее обрамления диатомеи являются одной из основных групп планктона, изучение которой дает возможность с большой точностью датировать возраст отложений, моложе эоценовых, а также осуществлять их обоснованные корреляции. Анализ палеонтологических комплексов, прежде всего из относительно полных разрезов скважин глубоководного бурения, позволил получить впечатляющие результаты по разработке и использованию вариантов дробной зональной океанической шкалы по диатомеям [Akiba, 1986; Koizumi, 1992; Barton, Gladenkov, 1995; Gladenkov, Barton, 1995; Yanagisawa, Akiba, 1998; Гладенков, 2001, 2003; и др.]. При проведении границ ее зональных и инфразональных подразделений используются датированные уровни – уровни появления или исчезновения отдельных видов (реже – резкого изменения их численности), для которых прослежена стратиграфическая последовательность и выдержанность. К настоящему времени показана возможность применения шкалы на практике в качестве реального инструмента для расчленения кайнозойских толщ в пределах всего региона. В целом, можно говорить о том, что на современном этапе изученности диатомей



обеспечивают высокую степень разрешаемости региональных стратиграфических шкал, сопоставимую с таковой шкал по группам известковых планктонных микроорганизмов. При характеристике шкалы по диатомеям необходимо отметить следующие существенные достижения последнего десятилетия.

1. Выделение зональных подразделений для олигоцена и нижнего миоцена [Gladenkov, Barton, 1995; Гладенков, 1998; Gladenkov, 1999], что значительно расширило диапазон применения используемой ранее шкалы (средний миоцен–квартер). В результате, к настоящему времени для расчленения олигоцена–квартера Северной Пацифики и ее обрамления разработана зональная шкала по диатомеям, состоящая из 23 зон (рис. 1), а также показана возможность ее применения в пределах региона.

2. Определение возраста десятков датированных диатомовых уровней в интервале 18,8–6,9 млн лет назад путем их прямой корреляции с палеомагнитной шкалой в океанических разрезах субарктической Пацифики [Barton, Gladenkov, 1995]. Ранее подобные датировки имелись для биостратиграфических уровней только начиная с самой верхней части позднего миоцена. Полученные результаты дали возможность на реальной основе датировать границы зональных подразделений миоцена, точно определить продолжительность зон, а также сопоставить их с международной стратиграфической шкалой.

Что касается зонального расчленения эоцена, то такая схема по диатомеям для Северо-Тихоокеанского региона еще отсутствует. Находки эоценовых диатомей редки, а проследить последовательную смену микрофлористических комплексов в единичных разрезах пока не удалось. Только для среднего–верхнего эоцена района Калифорнии намечена серия диатомовых лон [McLean, Barton, 1988]. В этом отношении большой интерес представляют находки эоценовых диатомей в породах, драгированных у побережья Восточной Камчатки. Выделенные здесь комплексы диатомей, для которых недавно намечено сопоставление с ассоциациями зональных подразделений среднего–позднего эоцена других регионов, относятся к наиболее древним из известных в кайнозое Северо-Западной Пацифики [Цой и др., 2000; Цой, 2003]. Несмотря на отсутствие корреляций с ассоциациями карбонатного планктона, данные по этим комплексам вносят важный вклад в направление разработки шкалы для эоцена.



Рис. 1. Зональная шкала по диатомеям для олигоцена–квартера Северной Пацифики, скоррелированная с геохронологической и палеомагнитной шкалами У. Берггрена и др. (Berggren et al., 1995), с добавлениями

Уровни: УП – появления, УИ – исчезновения, УМП – массового появления, УСЧ – резкого снижения численности. *Rh.* – *Rhizosolenia*, *C.* – *Cavitatus*, *R.* – *Rocella*, *Th.* – *Thlassionira*, *Cr.* – *Crucidenticula*, *D.* – *Denticulopsis*, *N.* – *Neodenticula*, *Cosm.* – *Cosmodiscus*, *A.* – *Actinocyclus*, *Pr.* – *Proboscia*; а–с – подзоны, Э. – эоцен, Q – четвертичная система, в. – верхний, ср. – средний, нижн. – нижний, ланг. – лангий, мессин. – мессиний, занкл. – занклиий, пьач. – пьаченций, гелаз. – гелазий

Роль диатомовых водорослей в морских экосистемах и использование ископаемых комплексов при реконструкциях обстановок и событий прошлого

Одной из особенностей морских экосистем является наличие планктона и планктонных биоценозов, аналоги которых отсутствуют в воздушной среде. Жизнь планктона определяет весь характер биогеоценоза океана, так как, во-первых, его флористическая часть представляет главнейшее звено биологической трансформации и обмена энергии и веществ, а, во-вторых, по биомассе и продукции он превалирует над всеми другими вместе взятыми группами организмов. Аккумулируя в процессе фотосинтеза значительную часть потока солнечной энергии, фитопланктон (преимущественно диатомей) создает первичную продукцию. Таким образом, масса и количество всех морских организмов в итоге зависят от продуцирования в зоне фотосинтеза, приуроченной к поверхностному водному слою. Одним из первых, кто осознал огромную роль, которую играют в развитии биосферы и нашей планеты в целом такие пленки и сгущения жизни, или участки, обогатенные жизнью, характерные для строения океана, был В.И. Вернадский. В работе «Биосфера» он подчеркивал, что именно в таких зонах протекают важнейшие биологические, химические, биохимические и седиментационные процессы [Вернадский, 1926]. В частности, в качестве основной формы концентрации жизни рассматривалась тонкая верхняя живая пленка планктона, которая покрывает поверхность океана и где сосредоточена главная масса одноклеточных фитопланктонных микроорганизмов.

Роль диатомей в морских экосистемах огромна. Во-первых, составляя по биомассе более 90% массы всех водорослей, они поставляют около 70% органического вещества, или первичной продукции, океана в целом [Лисицын, 1981] и служат первичным звеном в цепи пищевых связей. Во-вторых, в современных океанах и морях диатомей являются основными продуцентами биогенного кремнезема и наиболее распространенными кремнистыми планктонными организмами во взвеси вод. В конечном счете, количество аморфного кремнезема в поверхностных водах, извлекаемого фитопланктоном, отражает степень относительной продуктивности диатомовой флоры. В-третьих, диатомовые водоросли – главные поставщики биогенного кремнезема в донные осадки: на их долю приходится более 90% современного кремненакопления [Лисицын, 1978].

При проведении реконструкций обстановок и событий прошлого большое значение имеет понимание основных причин и механизмов, определяющих развитие и продуктивность флоры, а также особенности распространения, состава и экологической структуры диатомовых комплексов. Кроме того, надо учитывать, что процессы осадконакопления и формирования донных осадков определяют различия в количественных и качественных характеристиках ассоциаций в планктоне и осадках. Необходимо отметить, что развитие, степень продуктивности диатомей, а также состав флоры в конечном счете зависят от режима глобальной океанической циркуляции.

Продуктивность. В количественном отношении диатомей распределены в Мировом океане неравномерно, так как степень продуктивности и биомасса диатомовых в первую очередь зависят от насыщенности поверхностных вод кремниевой кислотой, нитратами, фосфатами и железом. Наибольшее обогащение фотической зоны этими элементами осуществляется за счет подъема к поверхности глубинных вод, в которых содержится огромный запас минеральных солей. Однако при имеющейся термической стратификации водной толщи с наличием термоклинного барьера подъем возможен только в зонах, где происходит интенсивное вертикальное перемешивание вод. Такой процесс в океанах в первую очередь происходит за счет дивергенций и циклонических круговоротов, а также в районах региональных апвеллингов прибрежных зон окраин материков (возникающих из-за сгонных явлений) и в апвеллинговых зонах, находящихся на стыке разнонаправленных поверхностных течений в экваториальных районах восточных частей океанов. Таким образом, места поступления глубинных вод к поверхности обусловлены общей циркуляцией и в целом протягиваются широтно. В Мировом океане прослеживаются три основных пояса массового развития и высокой продуктивности диатомей: два в высоких–средних широтах и один (выраженный слабее) – в экваториальной области [Lisitzin, 1972; Calvert, 1974; Лисицын, 1978; и др.], с которыми совпадают пояса высокой концентрации кремнистой взвеси. Наибольшая продуктивность фитопланктона характерна для холодноводных областей приантарктических районов, а также Северной Пацифики и прилегающих морей, для которых характерно интенсивное вертикальное перемешивание вод.

Таксономический состав ассоциаций в морских биоценозах. Подобно другим планктонным организмам, закономерности распространения диатомей и состав их ассоциаций определяются характеристиками выделяемых в структуре вод поверхностных водных масс, которым, в зависимости от положения климатических зон и деятельности течений, свойственны определенные режимы температур и солености. В Мировом океане в субмеридиональном направлении прослеживается несколько основных типов таких водных масс, разделенных переходными зонами (фронтами) [Степанов, 1974; и др.]. Основные черты температурного режима и циркуляции поверхностных вод в северной части Тихого океана определяются двумя основными областями атмосферного давления: Северо-Тихоокеанским максимумом и Алеутским минимумом. В Северной Пацифике формируются арктическая, субарктическая и субтропическая водные массы, которые соответствуют различным физико-географическим областям [Степанов, 1974; Лебедев и др., 1981; Sancetta, Silvestri, 1986; и др.] (рис. 2). Субарктическая и субтропическая массы разделены субарктическим фронтом – переходной зоной, которая, в целом, соответствует умеренной области. По комплексу характеристик поверхностные воды фронта занимают промежуточное положение между субарктическими и субтропическими водами, находясь в зоне их смешения. Результаты многочисленных исследований показали, что разным поверхностным водным массам соответствуют ассоциации диатомей определенного таксономического состава, а для переходных зон характерны смешанные

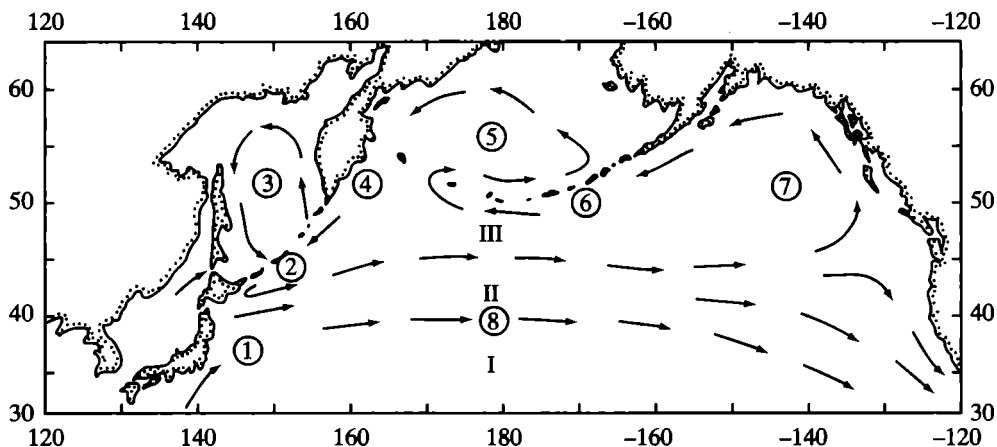


Рис. 2. Современная циркуляция вод и распределение поверхностных водных масс в северной части Тихого океана (по: [Sancetta, Silvestri, 1986])

I–III – водные массы: I – субтропическая, II – переходная (субарктический фронт), III – субарктическая; 1, 2, 4, 6, 8 – течения: 1 – Куроисио, 2 – Ойяисио, 4 – Восточно-Камчатское, 6 – Алеутское, 8 – Северо-Тихоокеанское; 3, 5, 7 – морские круговороты: 3 – Охотоморский, 5 – Берингово-Охотоморский, 7 – Аляскинский

составы комплексов. Использование метода ареалов при фитогеографическом районировании и сравнение флористических границ в Северной Пацифике с границами водных масс и крупномасштабными круговоротами вод указывают на совпадение типов ареалов с областями распространения поверхностных водных масс [Сёмина, 1974; Беклемишев, Сёмина, 1986; и др.].

Таким образом, широтные температурные различия можно рассматривать как первичный фактор фитогеографической дифференциации. Кроме того, в пределах каждой широтной зоны существуют определенные различия в «облике» диатомовых сообществ, обусловленных результатом деятельности течений и круговоротов (поверхностной циркуляции) и удаленностью от побережья (открытый океан, прилегающие моря, шельфовые зоны).

Биогенное кремненакопление и состав танатоценозов. В Мировом океане прослеживаются три пояса осадочного кремненакопления: приантарктический (где накапливается около 80% биогенного кремнезема океанов), северный высокоширотный и приэкваториальный [Lisitzin, 1972; Лисицын, 1978]. В целом, они совпадают с поясами высокой продуктивности диатомей и их концентрации в водной взвеси. К важнейшим факторам, определяющим состав танатоценозов, относится сохранность створок диатомей при осадконакоплении. Во многом она обусловлена растворением панцирей при их опускании сквозь толщу воды. В среднем из фотической зоны в донные осадки попадает лишь небольшой процент от общего количества панцирей [Лисицын, 1966, 1978; Calvert, 1974; и др.]. Поэтому ряд форм могут отсутствовать в составе танатоценозов, что приводит к несоответствию между количественными и качественными характеристиками комплексов в планкто-

не и осадках. В некоторых случаях растворение панцирей может также продолжаться и на дне бассейна под воздействием химически агрессивных по отношению к кремнезему глубинных вод. Такой процесс, например, происходит в Северной Атлантике, где донные воды формируются за счет двух разных источников, в результате чего являются недонасыщенными в отношении растворенного кремнезема [Baron, Baldauf, 1989; Baldauf, Baron, 1990]. Это приводит к тому, что накопление биогенных кремнистых осадков в этом регионе незначительно.

Важные выводы о закономерностях распределения комплексов диатомей в донных осадках Тихого океана, их роли в формировании осадков, а также возможности использования в палеоокеанографических реконструкциях были получены в ходе экологических и океанологических исследований, широко проводящихся с 60-х годов с прошлого века. Впервые экосистемный подход, учитывающий, в частности, связь между разновидностями поверхностных водных масс и определенными сочетаниями доминирующих форм диатомей, был применен в конце 50-х – начале 60-х годов А.П. Жузе [1957, 1959, 1962 и др.] для интерпретации танатоценозов Северо-Западной Пацифики и прилегающих морей. Результаты исследований, основанных на анализе качественных и количественных характеристик диатомей в донных осадках [Жузе, 1962, 1968; Kanaya, Koizumi, 1966; Жузе и др., 1969; Kanaya, 1969; и др.], показали, что:

1) в поверхностных осадках Тихого океана последовательно сменяются несколько комплексов диатомей (танатоценозов), в которых наблюдаются отчетливые изменения таксономического состава по мере продвижения с севера на юг и от открытых частей бассейнов к побережьям;

2) распространение и состав танатоценозов в пелагических осадках зависят от свойств поверхностных водных масс. Для различных климатических зон и соответствующих им водных масс характерна флора с определенным видовым составом и сочетанием доминант, что дает возможность проведения палеоокеанографических реконструкций;

3) в зонах смешения различных водных масс (как в районе субарктического фронта), наблюдается смешанный состав танатоценозов;

4) количественное распределение и концентрация диатомей в осадках зависят от их количества в планктоне данного района, а также определяются последующим влиянием: характером сохранности, степенью терригенного и органогенного разбавления, условиями фоссилизации.

Таким образом, в осадках Тихого океана были прослежены экологически разнородные комплексы диатомей, а также, в целом, выявлено соответствие между ассоциациями танатоценозов и определенных биоценозов диатомей в планктоне, что отражает свойства и характер распространения поверхностных водных масс. Дальнейшее развитие экосистемный подход получил при детальном палеоокеанографическом реконструкциях на основе интерпретации диатомовых комплексов в осадках высоких–средних широт Северной Пацифики и прилегающих морей с использованием статистических методик [Sancetta, 1979a, б, 1981, 1982, 1983; Sancetta, Silvestri, 1986 и др.]. В частности, в пределах региона были выделены девять «кластеров»

(провинций), характеризующихся определенным составом форм с их достаточно устойчивым процентным соотношением, что отражает формирование под влиянием неодинаковых океанологических обстановок и гидрологических режимов. Прослеживание распределения этих кластеров далее использовалось при анализе более древних ассоциаций с возрастом до 2,5 млн лет.

Значение диатомей при изучении морских экосистем кайнозоя. Из приведенного выше обзора следуют предпосылки для возможности интерпретации пространственного распространения кремнистых толщ и состава древних диатомовых ассоциаций с точки зрения расшифровки развития морских экосистем. С долей условности, в пределах океаноценоза может быть выделена экосистема (ЭС) поверхностных вод, охватывающая фотическую зону. Ее отличительная биотическая характеристика заключается в наличии фитопланктонных организмов. Исходя из особенностей распределения фитопланктона, в рамках «поверхностной» ЭС можно наметить более дробные системы, которые относительно отграничены друг от друга по широте (широтная зональность), морскими течениями (поверхностная циркуляция), в виду разной удаленности их от суши и т.д. Параметры окружающей среды в таких ЭС определяют различия в «облике» сообществ.

Опустившись на дно бассейна и попав в осадки, панцири диатомовых перемещаются из «поверхностной» ЭС через пелагиаль в ЭС бентали. Изменения в планктонных биоценозах и их пространственном распределении, связанные как с влиянием среды обитания, так и с эволюционным процессом, в определенной мере фиксируются в комплексах танатоценозов и тафоценозов. Из этого следует, что в последовательности морских толщ запечатлены характеристики «поверхностных» палеоэкосистем (ПЭС). Это дает основу для выявления происходивших в них изменений, а также оценки степени их синхронности и возможной связи с процессами различного характера и масштаба. Имеющийся материал по распространению и стратиграфическому положению кайнозойских диатомовых комплексов Северо-Тихоокеанского региона (зональное расчленение, возраст, корреляция и т.д.) является важной основой для выявления особенностей развития диатомовых ассоциаций во времени, а также условий их формирования и захоронения.

Это предоставляет возможность проведения на основе изучения диатомей экосистемного (палеоэкосистемного) анализа в двух аспектах. Первый связан с рассмотрением флоры с точки зрения ее развития в зоне фотосинтеза, т.е. в «поверхностной морской экосистеме», входящей в состав океанической системы. Второй аспект учитывает то, что развитие диатомей происходит в рамках жизни океана как целостной мегасистемы и поэтому находится в неразрывной связи с происходящими в ней глобальными процессами (циркуляция и перемешивание вод и т. д.). При таком подходе «поверхностная» ЭС, в которую диатомовая флора входит в качестве одной из составляющих, может рассматриваться как элемент океанической системы, изменения и перестройки в которой находят отражение в реакции ее составных частей.

Таким образом, древние комплексы диатомей в той или иной мере отражают состояние, характеристики и перестройки палеоэкосистем. Изучение состава и характера распространения разновозрастных ассоциаций дает возможность реконструировать ряд параметров древних систем, связанных с изменением положения их границ, температур поверхностных вод, характера седиментации, глубин бассейнов и др. Разумеется, так как объектом изучения являются следы древних экосистем, отраженные в составе фации и ориктоценозах, такой анализ не может претендовать на всесторонность и дает только приближенное представление об ЭС прошлого. Однако ископаемый материал позволяет наметить вполне определенный ход развития морских систем и высветить ряд особенностей такого развития.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Северная Пацифика как часть океанической экосистемы: специфика, структура и границы

Под «Северной Пацификой» понимается область, в настоящее время охватывающая средние и высокие широты Тихого океана, к северу от ~35–40° с.ш. (см. рис. 2). Этот сегмент можно рассматривать как часть единого океаноценоза или как часть тихоокеанской ЭС. Общая специфика этой части океана заключается в том, что в ней расположен субарктический циклонический круговорот с общим подъемом глубинных вод, что находит отражение в характеристиках поверхностных вод. В качестве южной границы «северотихоокеанской» системы выбран субарктический фронт, разделяющий субарктическую и субтропическую области. За восточную, западную и северную границы могут быть приняты побережья континентальных блоков Северной Америки и Азии, ограничивающие акваторию Северной Пацифики; по Берингову проливу на самом севере будет проходить граница с системой Северного Ледовитого океана. Определенная условность границ свидетельствует о полуоткрытости рассматриваемой ЭС. В пределах «поверхностной» ЭС могут выделяться более дробные единицы (открытая часть океана, окраинные моря, шельфовые зоны и т.д.), со своими спецификой и особенностями. Однако все они имеют и общие черты, в той или иной степени отражающие характеристики и тенденции развития, и рассматриваются в пределах единой системы.

Особенности развития диатомовых комплексов кайнозоя Северо-Тихоокеанского региона и события в океанических экосистемах

На основе изменений площадного распространения биогенных кремнистых толщ и темпов их накопления в кайнозое были выделены шесть основных периодов накопления кремнезема в донных осадках [Гладенков, 2003]; (рис. 3). Поэтому представляется удобным провести анализ развития диатомовых ассоциаций по отдельным интервалам геологической истории в рамках таких этапов.

| Млн лет | Орудел | | Хрон | Полярность | Зона по диатомеям | Этапы и подэтапы эволюционного развития диатомовой флоры | Периоды процесса биогенного кремне-накопления | Изменения в диатомовых комплексах | Характер биогенного кремне-накопления (БК) | Тектонические, океанологические, климатические и другие перестройки |
|---------|--------|-----------|------|------------|--|--|---|-----------------------------------|--|---|
| | Орудел | Подорудел | | | | | | | | |
| 0 | | Q | C1 | | <i>N. seminae</i> <i>Pr. curvirostris</i> <i>A. oculatus</i> | | | | | |
| 1 | | | C2 | | <i>N. koizumii</i> | | | | | |
| 2 | | | C2A | | <i>N. koizumii</i> <i>N. kamtschatica</i> | IV ⑦ | | X | ↑ Становление современного режима осадконакопления и продуктивности диатомовой флоры | Резкое похолодание; начало континентального оледенения; формирование "современного" галокина и субарктического фронта |
| 3 | | | C3 | | <i>Neodenticula kamtschatica</i> | | | T | | |
| 4 | | | C3A | | | | | T | | |
| 5 | | | C3B | | | | | T | | |
| 6 | | | C4 | | <i>Th-ma schraderei</i> | ⑥ | | T | | |
| 7 | | | C4A | | <i>D. katayamae</i> <i>D. dimorpha</i> | | | X | Начало формирования субарктических комплексов | Усиление тектонич. активности * в Берингово-морско-Алеутской и Камчатско-Сахалинской областях |
| 8 | | | C5 | | <i>Th. yabei</i> | | | T | | Появление IRD, интенсификация Аляскинского круговорота |
| 9 | | | C5A | | <i>D. praedimorpha</i> | III ⑤ | | X | | |
| 10 | | | C5B | | <i>Cr. nicobarica</i> | | | T | | |
| 11 | | | C5C | | <i>D. hyalina</i> | | | X | Начало изменений в составе и структуре ассоциации - дифференциация комплексов высоких-средних и более южных широт | Второй миоценовый климатический оптимум в районах с-з обрмления |
| 12 | | | C5D | | <i>D. lauta</i> | | | T | | |
| 13 | | | C5E | | <i>Cr. sawamurae</i> | | | X | Начало формирования типично неогеновой флоры | Первый миоценовый климатический оптимум (по разным группам фауны и флоры) и трансгрессия в районах с-з обрмления |
| 14 | | | C6 | | <i>Th. fraga</i> | | | T | | Складчато-блоковые тектонические движения в районе Камчатки |
| 15 | | | C6A | | <i>Thalassiosira praefraga</i> | II ④ | | T | | |
| 16 | | | C6AA | | | | | T | | |
| 17 | | | C6B | | | | | T | | |
| 18 | | | C6C | | | | | T | | |
| 19 | | | C7 | | <i>Rocella gelida</i> | ③ | | T | | |
| 20 | | | C8 | | | | | T | | |
| 21 | | | C9 | | | | | T | | |
| 22 | | | C10 | | <i>C. rectus</i> | | | T | | |
| 23 | | | C11 | | <i>R. uljanovi</i> | | | T | | |
| 24 | | | C12 | | <i>Rh. oligocaenica</i> | ② | | X | Появление космополитных элементов океанического планктона; начало развития в океанической части региона (с-з сектор) | Начало формирования "дрифта" Мейджи в с-з части субарктической Пацифики |
| 25 | | | C13 | | | | | T | | |
| 26 | | | C15 | | | I ① | | T | | |
| 27 | | | C16 | | <i>He расчленено</i> | | | T | | |
| 28 | | | C17 | | | | | T | | |

Средний эоцен – середина раннего олигоцена (~43–31 млн лет назад). Эоцен. Наиболее древние канозойские диатомовые ассоциации (среднего и позднего эоцена) установлены только в районах северо-западного и восточного обрамления Северной Пацифики [Barton et al., 1984; McLean, Barton, 1988; Долматова, 1985; Цой и др., 2000; Цой, 2003; и др.]. Из имеющихся данных следует, что присутствие диатомей прослеживается, начиная, по крайней мере, с конца лютетского века (~43 млн лет назад) среднего эоцена. В открытоокеанической части региона в эоценовое время имела место преимущественно карбонатная седиментация, с накоплением наннопланктонных и фораминиферовых илов [Rea et al., 1995]. Наиболее благоприятные условия для развития диатомей существовали в приконтинентальных апвеллинговых зонах. Неритические ассоциации развивались в прибрежных зонах или заливах окраинных морей (существовавших в районах Чукотки и Северо-Западной Камчатки), связь которых с водами открытого океана была незначительна. Вероятно, находки диатомей в Охотоморской области отражают этап развития морского бассейна, связанный с трансгрессией, которая фиксируется здесь в среднем эоцене [Эоцен..., 1991; Гладенков, Шанцер, 1993; и др.].

Влияние океанических вод было намного более значительным вблизи юго-восточного побережья Камчатки, где апвеллинг мог быть связан с деятельностью околосбереговых течений. Наиболее продуктивно кремнистый планктон во второй половине среднего эоцена – позднем эоцене развивался в районе восточной периферии Северной Пацифики – в зонах интенсивного апвеллинга у побережья Калифорнии под воздействием Палео-Калифорнийского течения [Barton et al., 1984; McLean, Barton, 1988]. Из анализа калифорнийских и восточнокамчатских диатомовых ассоциаций следует, что к концу среднего эоцена комплексы, для которых характерны низкоширотные океанические виды, сменялись комплексами, включающими относительно более холодноводные элементы, в частности, типичные для Норвежского моря, а также неритические формы.

Тепловодный характер древнейших эоценовых Северо-Тихоокеанских диатомовых ассоциаций указывает на обширность субтропической зоны, северная граница которой могла простираться до высоких широт. Появление в конце среднего эоцена различий с низкоширотными комплексами, вероятно, может говорить об усилении широтного термического градиента и сужении субтропической зоны. На это указывают и данные по карбонатному планктону, полученные при изучении разрезов северо-западного обрамления Пацифики. Несмотря на то, что комплексы планктонных фораминифер и наннопланктона бартонского и приабонского возраста прослеживаются в регионе до широт Северной Камчатки и Корякского нагорья, тепловодные элементы в них редки или практически отсутствуют [Беньямовский, Гладенков, 1996; Щербинина, 1997; Серова, 2001; и др.].



Рис. 3. Развитие комплексов диатомей и геологические события олигоцена–неогена в Северо-Тихоокеанском регионе (по: [Гладенков, 2003])

Необходимо отметить, что редкость находок или отсутствие остатков диатомовых в разновозрастных кремнистых толщах, развитых в различных структурно-фациальных зонах обрамления Северной Пацифики, могут не всегда отражать масштаб биогенного осадконакопления. Это связано с вторичными изменениями толщ при диагенезе и катагенезе в определенных термодинамических условиях, в результате чего происходили преобразования кремнезема. Такие преобразования могли явиться причиной исчезновения органогенной структуры и перехода опала (опал-А), из которого состоят панцири диатомей, в кристобалит (опал-СТ) и далее в кварц (халцедон). По мнению многих исследователей, широко развитые в регионе кремнистые породы кайнозоя, лишённые органогенной структуры или сохранившие ее реликты, представляют собой продукт переработки биогенных осадков [Hein et al., 1978, 1990; Гречин, 1976, 1987; Isaacs et al., 1983; Keller, Isaacs, 1985; и др.]. Исходя из этого, эоценовые кремнистые толщи, представленные, например, в нижней части каменской свиты Командорских островов (средний эоцен – низы верхнего эоцена?), ковачинской свите Западной Камчатки среднего – верхнего эоцена и верхнеэоценовой формации Эндрю Лэйк о-ва Адак Алеутской гряды, по генезису могут рассматриваться как биогенные осадки, утерявшие затем изначальную структуру кремнезема в результате переработки в активных тектонических зонах.

Начало раннего олигоцена. Диатомовые ассоциации конца позднего эоцена в регионе к настоящему времени не установлены, и проследить переходные комплексы от эоцена к олигоцену не удастся. С одной стороны, это может указывать на неблагоприятные условия развития флоры в данное время. С другой – перерывы в осадконакоплении вблизи границы эоцена и олигоцена могут свидетельствовать о размывах вследствие падения уровня океана и действия придонных течений. В начале раннего олигоцена комплексы диатомей развивались только в пределах северо-западного обрамления Пацифики. Наиболее представительные из них формировались в морских зонах, расположенных вдоль северо-восточной окраины Азиатского континента. Такие ассоциации изучены в разрезах Командорских островов, Японии и Курило-Камчатского желоба [Гладенков, 1998, 2003; Yanagisawa, Suzuki, 1987; Цой, 2002а, б; и др.]. Наиболее оптимальные условия для продуктивного развития диатомей и интенсивного накопления кремнистых осадков существовали в районе западного окончания Алеутской гряды (Командорские острова).

Начиная с раннего олигоцена, происходят затухание процесса кремнеземакопления у побережья Северной Америки и его интенсификация с увеличением ареала в приконтинентальных частях северо-западной и северной периферии Пацифики – в пределах окраин нынешних Охотского и, отчасти, Берингова морей. В первую очередь, это относится к Охотоморской области, где в разрезах Восточного Сахалина и Западной Камчатки широко представлены разнообразные кремнистые породы, для которых, однако, органогенная структура кремнезема, как правило, не характерна. Судя по редким находкам диатомей раннего олигоцена (которые в разрезах характеризуют отдельные уровни), их комплексы были приурочены к неритическим мор-

ским зонам. Вероятно, усиление кремненакопления могло быть связано с изменением в олигоцене палеогеографических условий в зоне перехода от океана к континенту, в частности, вследствие тектонических перестроек. По-видимому, в пределах относительно мелководных морских впадин, образовавшихся в результате нисходящих движений, имелись благоприятные условия для накопления кремнистых и кремнисто-глинистых осадков – во многом, как можно предполагать, за счет осаждения биогенного кремнезема.

В диатомовых ассоциациях начала раннего олигоцена фиксируется появление элементов планктона (*Rhizosolenia oligocaenica*, *Rh. antarctica*, *Thalassiosira mediacconvexa*, *Asteromhalus oligocenicus*, *Eurossia irregularis*, *Hemiaulus* и *Rouxia* spp. и др.), которые типичны для разновозрастных комплексов высоких южных широт, а также высоких широт Северной Атлантики, но не характерны для разновозрастных ассоциаций низких широт [Fenner, 1985; и др.]. Это может свидетельствовать об увеличении степени провинциализма диатомовых флор высоких–средних и низких широт. Такие изменения могли быть связаны с усилением широтных температурных градиентов между поверхностными водами и сужения субтропической зоны вследствие похолодания. На это указывают и данные по другим группам морских организмов. Холодноводной по сравнению с эоценовыми является древнейшая олигоценовая ассоциация радиолярий Северо-Тихоокеанского региона, которая наиболее сходна с комплексами высоких широт Северной Атлантики [Витухин, 2001; и др.]. Доказательством похолодания служит и почти полное отсутствие в олигоцене остатков карбонатного планктона. Данные по разрезам морского палеогена Хоккайдо, Сахалина, Камчатки, Корякского нагорья и субарктической Пацифики свидетельствуют, что наннопланктон и планктонные фораминиферы характерны для эоценовых горизонтов и практически отсутствуют в олигоценовых [Крашенинников и др., 1988; Okada, Kaiho, 1992; Опорный разрез..., 1994; Beaufort, Olafsson, 1995; Беньямовский, Гладенков, 1996; Щербинина, 1997; Басов, 1999; Серова, 2001; Гладенков, Щербинина, 2001]. Это указывает на сужение к началу олигоцена продуктивной зоны карбонатного осадконакопления со сдвигом ее северной границы по направлению к экватору.

Таким образом, в начале олигоцена в периферических частях Северо-Западной Пацифики процесс кремненакопления несколько усилился, что может свидетельствовать о большей степени продуктивности диатомей по сравнению с поздним эоценом (в открытом океане, однако, это практически не прослеживается). Состав ассоциаций указывает на похолодание и усиление контраста температур поверхностных вод районов высоких–средних широт и тропической области.

Вторая половина раннего олигоцена – начало раннего миоцена (~31–20 млн лет назад). ~31–30 млн лет назад диатомей появились в западной части субарктической Пацифики [Gladenkov, Barron, 1995]. Редкие остатки сохранившейся в преимущественно глинистых толщах указывают на низкую продуктивность и/или плохую сохраняемость при захоронении и fossilization. Однако, по-видимому, к этому времени может относиться начальная фаза перехода к доминированию в северной части Тихого океана

кремнистого фитопланктона в результате освоения экологических ниш, занимаемых здесь ранее фитопланктоном карбонатным. Диатомовые ассоциации продолжают также развиваться в неглубоководных зонах у побережья восточной окраины Азии (северной части Хоккайдо и Восточного Сахалина), однако их ареал здесь несколько сужается, возможно, вследствие падения уровня моря. В частности, они уже не характерны для района Командорских островов и Восточного Хонсю.

Судя по улучшению степени сохранности и увеличению численности остатков в разрезах западной части субарктической Пацифики, Курило-Камчатского желоба, Хоккайдо и Северо-Восточной Камчатки, условия для развития диатомей и захоронения их в осадках во второй половине раннего олигоцена с уровня ~30 млн лет назад стали более благоприятными. В конце раннего олигоцена широкое распространение получают типичные для позднего кайнозоя представители родов *Cavitatus*, *Kisseleviella*, *Rocella*, *Thalassionema* и др. Характерные элементы планктона, входящие в состав ассоциаций (*Cavitatus jouseanus*, *C. miocenicus*, *Coscinodiscus lewisianus*, представители рода *Rocella* и др.), относятся к космополитам олигоценовых океанов. В Северной Пацифике они появляются в той же стратиграфической последовательности, которая фиксируется в районах низких широт, в высоких широтах Северной Атлантики и Южном океане [Fenner, 1985]. В частности, это может указывать на связи поверхностных вод Северной Пацифики и более южных частей океана. Об ослаблении широтных температурных градиентов и отодвигании субтропической зоны к северу в конце раннего олигоцена свидетельствуют находки в субарктической Пацифике планктонных форм, типичных для низких широт, причем некоторые из них (*Cestodiscus kugleri*) имеют достаточно высокую численность [Gladenkov, Barton, 1995].

Диатомей позднего олигоцена характерны прежде всего для северо-западной и северной частей региона. В океаническом секторе интенсивность накопления биогенного кремнезема не увеличивается [Rea et al., 1993; Barton, 1998]. В разрезах первой половины верхнего олигоцена фиксируются интервалы, в которых остатки диатомовых или отсутствуют, или редки и имеют плохую сохранность. Не исключено, что это связано с периодическими изменениями уровня океана при общей тенденции к его понижению. Низкое стояние уровня моря могло приводить к размыву осадков и сокращению ареала ассоциаций. Однако находки диатомей в районах Берингова моря, Восточной Камчатки, Курило-Камчатского желоба, Охотоморской провинции, Северной Японии указывают на существование в отдельные периоды благоприятных условий для развития флоры, с тенденцией их улучшения во второй половине позднего олигоцена. Представители основной части комплексов позднего олигоцена (кроме его конца) являются сравнительно холодноводными. В их составе океанические элементы, типичные для одновозрастных ассоциаций низких широт, или отсутствуют (такие как *Rossiella symmetrica*, *Bogorovia veniamini*, *Thalassiosira primalabiata* и др.), или встречаются редко (например, *Coscinodiscus rhombicus*, *Azpeitia* spp. – во второй половине позднего олигоцена).

Относительно холодноводный характер комплексов (за исключением конца позднего олигоцена) отражает, вероятно, некоторое общее усиление широтных температурных градиентов между поверхностными водами тропическо-субтропической зоны и более северных районов. Однако для позднеолигоценовых ассоциаций как высоких, так и низких широт Мирового океана характерно распространение ряда общих планктонных форм – *Lisitzinia ornata*, *Rocella vigilans*, *R. gelida* и др. Это может указывать на определенную степень связи и взаимовлияния вод разных районов и отражать «упругую» реакцию морской биоты в экосистемах на изменения окружающей среды.

В начале раннего миоцена существенного увеличения темпов кремненакопления не наблюдается, однако в пределах зоны *Thalassiosira praefraga* прослеживается тренд улучшения сохранности диатомей, а также расширения ареала ассоциаций. Как правило, в комплексах, наряду с пелагическими, доминируют неритические виды (прежде всего, *Kisseleviella carina*). Тепловодные формы встречаются спорадически и в небольшом количестве. В составе ассоциаций исчезают или становятся единичными древние представители родов *Goniothecium*, *Hemiaulus*, *Pseudotriceratium*, *Rouxia*, *Pyxilla*, а также типичные для олигоцена *Lisitzinia* и *Rocella* spp. Появляется *Actinocyclus ingens* – вид, получающий впоследствии широкое распространение в миоцене. Фиксируются формы с раннемиоценовым интервалом стратиграфического распространения, характерные для высоких–средних широт (*Kisseleviella ezoensis*, *Rhizosolenia hotaense*). В целом, изменения в палеофитоценозах могут свидетельствовать о начале перехода к преимущественно неогеновой флоре и освоения экологических ниш новыми элементами.

Вторая половина раннего миоцена – начало среднего миоцена (~20–15 млн лет назад). Этот период характеризуется началом масштабного биогенного кремненакопления в Северо-Тихоокеанском регионе. Самая ранняя, а ч а л ь н а я, фаза усиления этого процесса может быть отнесена к середине раннего миоцена (~20–18 млн лет назад). В западной части субарктической Пацифики диатомей, игравшие незначительную роль в составе осадков, в верхней части зоны *Thalassiosira fraga* начинают становиться их существенной компонентой, а преимущественно глинистые и глинисто-карбонатные отложения – сменяться кремнистыми [Rea et al., 1993]. В интервале ~19–18 млн лет назад фиксируется некоторое увеличение интенсивности накопления биогенного кремнезема (БК) в осадках [Rea et al., 1993, 1995; Ваггон, 1998]. Темпы аккумуляции БК возрастают и в районе залива Аляска, где диатомей появляются с уровня ~18,5 млн лет назад. Увеличение количества диатомовых в осадках, наряду с улучшением их сохранности, отмечается также в разрезах обрамления, в частности, у восточного побережья Японии.

Для комплексов середины раннего миоцена характерны элементы океанического планктона, развитые как в одновозрастных ассоциациях низких широт, так и в высоких широтах Мирового океана. Часть из них унаследована с олигоцена (представители родов *Cavitatus*, *Azpeitia*, *Coscinodiscus* и др.), другая появляется в самом конце позднего олигоцена (*Thalassiosira*

praefraga) и в раннем миоцене (*Actinocyclus ingens*, *Thalassiosira fraga*, *Raphidodiscus marylandicus*, *Azpeitia praenodulifera*, *Nitzschia maleinterpretaria* и др.). В интервале зоны *Thalassiosira fraga* отмечено проникновение до широт о-ва Хонсю тепловодного океанического вида *Bogorovia barroni*, типичного для тропической зоны, в которой он появляется в более раннее время [Yanagisawa, 1995]. Таким образом, присутствие данных элементов в Северной Пацифике может свидетельствовать о сравнительно тепловодном характере раннемиоценовых ассоциаций и обширности субтропической зоны. Однако некоторые из этих форм встречаются относительно редко и во многих случаях прослеживаются на отдельных уровнях. Кроме того, ряд видов, типичных для приэкваториальных областей (*Thalassiosira spumellaroides*, *Rossiella paleacea*, *Actinocyclus hajosiae*, *Craspedodiscus elegans* и др.), в северной части Тихого океана практически отсутствует.

Вероятно, это было обусловлено двумя основными причинами. Во-первых, температуры поверхностных вод Северной Пацифики (в силу ее широтного положения) были ниже по сравнению с более южными районами, где формирование диатомовых ассоциаций шло под воздействием теплых приэкваториальных течений. Для северных широт прежде всего были характерны элементы планктона, являвшиеся убиквистами, или наиболее эврибиотными океаническими формами. Тем не менее, четкого обособления поверхностных ЭС в пределах всей средне-высокоширотной зоны еще не существовало, на что указывает и отсутствие в субарктических комплексах эндемичных пелагических форм. Во-вторых, так как большинство ассоциаций продолжали формироваться в приконтинентальных частях, они характеризовались меньшим количеством океанических элементов и развитием неритических диатомей, унаследованных с конца олигоцена и появившихся в раннем миоцене. Вероятно, проявлялись определенные черты провинциализма высоко-среднеширотной флоры, так как некоторые виды (*Kisseleviella magnaareolata*, *K. ezoensis*, *Rhizosolenia hotaense*, *Rh. norwegica*, *Coscinodiscus sawamurae*) в приэкваториальных районах неизвестны. Данные по бентосным группам тоже свидетельствуют о том, что, в отличие от позднего олигоцена, климат раннего миоцена был в целом более теплым и умеренным – в это время на широте Камчатки появились южнобореальные виды [Гладенков, Шанцер, 1993].

Конец раннего миоцена – начало среднего миоцена (~18–15 млн лет назад) характеризуется увеличением масштаба биогенного кремненакопления в регионе, в первую очередь, в его окраинных частях. С уровня ~18 млн лет назад диатомовые глины и илы, или близкие к ним осадки, начинают преобладать в Северо-Западной Пацифике. В заливе Аляска появляются кремнисто-глинистые илы, которые примерно на 80% сложены остатками диатомей и радиолярий удовлетворительной сохранности [Rea et al., 1993]. С уровня ~17,5 млн лет назад начинается накопление кремнистых толщ формации Монтерей у побережья Калифорнии [Barron, 1986; Barron, Baldauf, 1990 и др.]. В интервале 16–15 млн лет назад (зона *Denticulopsis lauta*) диатомиты, туфодиатомиты и связанные с ними породы, в которых органогенная структура кремнезема во многих случаях не изменена, начинают получать рас-

пространение в пределах всего региона. К этому периоду приурочена первая фаза масштабной экспансии биогенного кремненакопления в Северной Пацифике, сопровождавшаяся значительным увеличением продуктивности диатомей и улучшением степени их сохранности в осадках. Такие перестройки указывают на повышение в поверхностных водах концентрации питательных веществ, а также на изменение свойств и характера глубинных вод.

Состав диатомовых комплексов конца раннего и начала среднего миоцена свидетельствует об их относительно тепловодном характере. 18,4 млн лет назад в Северо-Западной Пацифике появляется род *Crucidenticula*, представители которого типичны для океанических ассоциаций конца раннего–среднего миоцена. Наиболее широко они распространены в низких широтах, где достигают максимального обилия. Их находки в районах высоких широт, наряду с другими теплолюбивыми элементами планктона (*Coscinodiscus lewisianus*, *Azpeitia* spp.), свидетельствуют о повышении температур поверхностных вод. Древнейший представитель *Crucidenticula* (*Cr. sawamurae*) проник в конце раннего миоцена примерно до 51° с.ш. в северо-западном секторе Пацифики и до 54° с.ш. – в ее северо-восточной части, а более молодой вид *Cr. kanayae* распространялся севернее 58-й параллели [Barron, Gladenkov, 1995; Детальное расчленение..., 1992]. Интересно, однако, что другой вид – *Cr. ikebei* – известен только в средних и высоких широтах обоих полушарий [Yanagisawa, Akiba, 1990; Harwood, Maruyama, 1992; Gladenkov, Barron, 1995]. Ареал нового рода *Mediaria*, который появился ~18 млн лет назад, приурочен к средним–высоким северным широтам. Такие факты свидетельствуют, что при достаточно устойчивой связи с комплексами низких широт во второй половине раннего миоцена просматривается тенденция обособления более северных планктонных ассоциаций. Это отражалось как в появлении черт провинциализма, так и в начале постоянного развития форм, получивших здесь в дальнейшем широкое распространение. Вблизи границы раннего и среднего миоцена в северотихоокеанских ассоциациях появляется род *Denticulopsis*. Его представители более холоднолюбивы по сравнению с таковыми рода *Crucidenticula* и преобладают прежде всего в планктоне северных широт. Появление таких видов, как *Nitzschia challengerii* (развит только в Северной Пацифике), *Denticulopsis praelauta* (отсутствует в тропических районах), *D. lauta* (широко распространен в средних–высоких широтах и редок в низких) указывает на возникновение в начале среднего миоцена элементов, имеющих преимущественно средне-высокоширотный ареал. Вероятно, к этому времени относится начало формирования ядра неогеновой диатомовой флоры данного региона и признаков ее провинциализма. Однако холодноводные элементы в океанических комплексах еще имели подчиненное значение, а в мелководных ассоциациях продолжали доминировать древние неритические формы. В целом, океанические и неритические комплексы средних–высоких широт Северной Пацифики достаточно схожи, свидетельствуя об однородности флоры в пределах этой области.

Средний–поздний миоцен (~15–6,5 млн лет назад). С начала среднего миоцена (с уровня ~15 млн лет назад) в регионе фиксируется основное изменение общего характера осадочного процесса в сторону преобладания биоген-

ного кремненакопления в результате «вспышки» продуктивности диатомовой флоры. Кремнистые осадки получают широкое распространение в океанической и окраинных частях Северной Пацифики. Феномен такой «экспансии» известен и изучается достаточно давно. Проблемам, связанным с причинами его возникновения, этапностью и т.д. – в первую очередь, в свете особенностей развития и продуктивности диатомовой флоры, – посвящено большое количество публикаций последних 25–30 лет.

С одной стороны, это объясняется тем, что за эти годы диатомовые ассоциации среднего миоцена – квартера были изучены достаточно детально как в наземных, так и в океанических разрезах. Значительный прогресс связан с обработкой материалов глубоководного бурения, проводящегося в Северной Пацифике с начала 70-х годов. Исследования разрезов скважин позволили получить представление о составе, распространении и стратиграфической последовательности третичных океанических толщ. В частности, было выявлено, что, начиная со среднего миоцена, пелагические фации сложены в основном осадками, сформированными за счет осаднения диатомей. В относительно полных разрезах была прослежена последовательная смена разновозрастных диатомовых комплексов, на основе чего разработаны варианты зональной океанической шкалы. Ее использование позволило подойти не только к детальному расчленению кайнозойских отложений, но и к выяснению особенностей развития ассоциаций во времени и пространстве.

С другой стороны, обобщение полученных при обработке материалов глубоководного бурения в Мировом океане результатов дало возможность выявить характер распространения и условия накопления кремнистых толщ, а также состав и продуктивность разновозрастных комплексов диатомей в других регионах. Было показано, что на протяжении кайнозоя картина распределения осадочных кремнистых отложений и темпы их накопления в океанах неоднократно менялись и во многом отличались от современной. К одной из отмеченных закономерностей относилось совпадение во времени снижения темпов накопления таких осадков (вплоть до прекращения их формирования) в одном регионе и их повышение в другом. Это дало основание предположить, что в прошлом происходили межрегиональные «перемещения» процесса кремненакопления («silica switch» или «silica shift»), связанные с океанологическими событиями [Keller, Barton, 1983; и др.]. Был сделан вывод, что «silica shift», прежде всего, являлся следствием изменений глубинной циркуляции Мирового океана и усиления контраста между свойствами донных вод в определенных регионах в результате океанографических перестроек [Keller, Barton, 1983; Barton, Baldauf, 1989; и др.].

Анализ имеющихся данных показывает, что с начала среднего миоцена в развитии диатомовых комплексов Северной Пацифики прослеживается несколько этапов. Несмотря на различия разновозрастных ассоциаций (обусловленных условиями формирования в разных частях бассейна), в изменениях их экологической структуры прослеживается схожая направленность. Основная общая тенденция развития заключается в появлении с уровня ~15 млн лет назад тренда увеличения продуктивности и площадного распро-

странения диатомовой флоры, а также в усилении провинциализма ассоциаций разноширотных районов.

Этот период характеризуется ростом темпов накопления биогенного кремнезема (БК) в осадках в результате увеличения продуктивности диатомей, которое прослеживается в разных районах [Rea et al., 1993, 1995; Rea, Sporeckx, 1995; Barton, 1998]. В западной части субарктической Пацифики удельная интенсивность накопления (УИН) БК значительно увеличивается (до 3,5 раз) к интервалу 12–11,5 млн лет назад, а затем – на уровне ~9 млн лет, – оставаясь после этого относительно постоянной до уровня ~6,5 млн лет. В заливе Аляска значения УИН БК удваиваются к отметке ~11,5–11 млн лет и остаются в таких пределах до конца позднего миоцена. В районе калифорнийской окраины фиксируются относительно высокая концентрация БК в осадках в интервалах 13,0–11,5 и 10–7,6 млн лет назад и существенное ее падение – в диапазонах 11,5–10 и 7,6–6,5 млн лет назад [Barton et al., 2002].

Несмотря на значительное количество тепловодных элементов в комплексах диатомей высоких–средних широт первой половины среднего миоцена, происходившие в них после отметки ~15 млн лет назад изменения указывают на начало тренда похолодания и усиления дифференциации с ассоциациями более южных районов. 14,9 млн лет назад появляются новые формы рода *Denticulopsis*, имеющие преимущественно высоко-среднеширотный ареал. С уровня ~14,5 млн лет массово развивающиеся в планктоне *Denticulopsis* постепенно вытесняют представителей *Crucidenticula*. Во второй половине среднего миоцена род *Denticulopsis* в основном осваивает экологическую нишу, занимаемую до этого более тепловодным родом *Crucidenticula* (исчезающим до конца среднего миоцена). Роль бореальных холодноводных элементов в комплексах внутротропической области еще повышается с уровня ~13 млн лет назад. Наиболее показательны в этом отношении для океанических ассоциаций – резкое возрастание численности *Denticulopsis hustedtii* s.ampl. и появление вслед за этим вида *D. praedimorpha*, не характерного для низких широт. Увеличивается также численность форм (родов *Thalassionema* и *Thalassiothrix*), типичных для зон апвеллингов; появляются новые (бореальные) неритические диатомеи (*Thalassiosira manifesta*). Роль древних, относительно тепловодных, видов, напротив, снижается, с дальнейшим их исчезновением на разных уровнях позднего миоцена. Вероятно, с этого времени начинается формирование арктобореальной ассоциации диатомей в субарктических районах, что может указывать на начальный этап дифференциации и повышение температурных градиентов между средними и высокими широтами [Орешкина, 1986, 1989].

Дальнейшее усиление биогеографической дифференциации происходит в начале позднего миоцена (зона *Denticulopsis dimorpha*). Исчезновение на уровне ~9,4 млн лет назад в экваториальной Пацифике *Denticulopsis hustedtii* s.ampl. маркирует фактическое прекращение миграции планктонных средне-высокоширотных элементов через тропическую зону с возможностью пересечения экватора [Barton, 1985, 2003]. С этого времени провинциализм тропических и северных ассоциаций Тихого океана возрастает, указывая на

усиление барьеров между поверхностными водными массами в результате увеличения контраста широтных температурных градиентов вследствие похолодания. Более молодой по сравнению с *Denticulopsis dimorpha* планктонный вид *D. katayamae*, который появляется в северных районах Пацифики ~9,3 млн лет назад и получает здесь широкое развитие в позднем миоцене, уже не характерен ни для низких широт, ни для Южного океана.

В интервале ~9,4–8,5 млн лет назад в океанических комплексах средних–высоких северных широт преобладают холодноводные элементы флоры (прежде всего, представители родов *Denticulopsis* и *Coscinodiscus*). В пределах зон *Denticulopsis dimorpha* и *Denticulopsis katayamae* появляются новые бореальные представители, исчезает ряд древних форм, сокращается количество тепловодных элементов, увеличивается процентное содержание видов-индикаторов зон апеллингов [Barton, 1980; Akiba, 1986; Орешкина, 1986, 1989; Barton, Gladenkov, 1995; и др.]. В шельфовых ассоциациях преобладают виды *Thalassiosira*, *Pyxidicula*, *Chaetoceros* [Орешкина, 1985, 1986, 1989]. В целом, структура ассоциаций во многом схожа с таковой в северных широтах современной Пацифики, указывая на формирование основных черт распределения поверхностных водных масс.

Изменения подобной структуры произошли в середине позднего миоцена (интервал ~8,5–7,5 млн лет). Для этого времени прежде всего характерно: почти полное исчезновение представителей рода *Denticulopsis*, что указывает на повышение температур; широкое развитие форм, характерных для зон апеллингов и смешения вод (в первую очередь, *Thalassionema schraderi*); увеличение численности относительно тепловодных элементов – за счет как древних, так и новых таксонов. В то же время отмечается появление некоторых новых, в том числе холодноводных, неритических и океанических видов (родов *Thalassiosira*, *Nitzschia*, *Pyxidicula*, *Cosmiodiscus* и др.). Важно отметить, что в интервале 8,4–7,9 млн лет назад фиксируются различия в комплексах средних широт восточной и западной частей региона [Barton, 2003]. На это указывает появление в ассоциациях северо-западного сектора Пацифики ряда характерных видов (*Porosira punctata*, *Thalassiosira singularis*, *Pyxidicula zabelinae*, *Cosmiodiscus insignis*), которые отсутствуют в одновозрастных комплексах ее восточного сектора [Barton, 1980, 2003]. После отметки ~8 млн лет назад более холодноводные неритические формы, типичные для прибрежных сообществ северо-западной части и Берингова моря, в районе Калифорнии не прослеживаются. Это свидетельствует о том, что формировавшиеся здесь поверхностные воды уже занимали промежуточное положение между субтропическими (развитыми к югу) и субарктическими (развитыми к северу и северо-западу) водными массами [Barton, 1980, 2003]. В целом, анализ диатомовых ассоциаций северо-западной и северной частей региона указывает на то, что в пределах обширной зоны от умеренных широт до ~60° с.ш. в интервале ~8,5–7,5 млн лет назад прослеживаются во многом схожие комплексы, экологическая структура которых характерна для современной области субарктического фронта [Орешкина, 1986, 1989, 1993]. Это указывает на возможность формирования близких к современным температурных градиентов между средними и приарктически-

ми широтами. Однако разделявшая субарктические и субтропические воды переходная зона была гораздо шире по сравнению с нынешней – ее граница находилась севернее на 10° или более [Ваггон, 1980, 2003; Орешкина, 1986, 1989; и др.].

С уровня ~7,5 млн лет назад в комплексах отмечается тенденция определенных изменений: происходит обеднение видового состава, резко снижают численность или исчезают ряд доминирующих и реликтовых форм (*Thalassionema schraderi*, *Cavitatus jouseanus* и др.), получают развитие холодноводные элементы. К важным событиям относится появление в Северной Пацифике первых представителей нового планктонного рода *Neodenticula* (*N. kamtschatica*) – типичного для северных широт, где он впоследствии получил очень широкое развитие.

Таким образом, начальная фаза этапа экологической перестройки ассоциаций, которая заключается в появлении и широком развитии бореальных элементов, приурочена к уровню ~15 млн лет. В результате, несмотря на отдельные интервалы с повышенным содержанием теплолюбивых форм во время потеплений, во второй половине среднего миоцена эти элементы становятся характерными и начинают преобладать. Перестройка, по-видимому, отражает существенные изменения во всей «поверхностной» ЭС Тихого океана, которые вели к обособлению различных ее частей в середине среднего миоцена, с установлением между ними широтных температурных барьеров и началом формирования переходных зон, т.е. установлением основных черт современной океанической циркуляции. Это явилось причиной прекращения миграций планктонных видов из средних–высоких широт через экватор и углубления различий фитоценозов разных зон. Провинциализм северотихоокеанской флоры усилился в начале позднего миоцена. Проявление в дальнейшем различий в комплексах средних широт восточной и западной частей региона, а также умеренной зоны и субполярных районов в середине позднего миоцена свидетельствует о формировании широкой переходной зоны и близких к современному температурным градиентам между субтропическими и субарктическими поверхностными водами.

Конец позднего миоцена – конец среднего плиоцена (~6,5–2,7 млн лет назад). Этот период отличается самыми высокими темпами накопления биогенных кремнистых осадков в пределах субарктической Пацифики, отмеченных на протяжении всего кайнозоя [Rea et al., 1993, 1995; Naug et al., 1995; Rea, Snoeckx, 1995; Ваггон, 1998]. В западной части, где осадки представлены преимущественно диатомовыми илами, с уровня 6,4 млн лет скорости осадконакопления значительно возрастают и остаются высокими до уровня 2,7 млн лет. Максимальные их значения фиксируются в интервале 4,6–3,1 млн лет назад, когда они увеличиваются до 4,5 раз, достигая значений 14–15 см/тыс. лет. Одновременно в несколько раз возрастает и поступление в осадки опала: показатели УИН БК повышаются от значений ~0,7 г/(см² × тыс. лет) до 3 г/(см² × тыс.лет) и более. С отметки 2,7 млн лет назад эти значения резко падают. Схожие изменения наблюдаются и в заливе Аляска, где с уровня 6,4 млн лет скорости осадконакопления увеличиваются примерно в 4 раза, достигая максимальных значений, превышающих

4 см/тыс. лет, а показатели УИН БК возрастают от 0,6 до 1,5–2 г/(см² × тыс. лет). Скорости осадконакопления здесь начинают уменьшаться от 3 см/тыс. лет на уровне ~3,1 млн лет до 1,5 см/тыс. лет на уровне 2,7 млн лет назад. В этом же интервале уменьшаются значения УИН БК – от ~1,0 до 0,2–0,3 г/(см² × тыс. лет).

В средних широтах увеличение количества диатомей и концентрации БК в осадках отмечается в интервале ~6,5–4,6 млн назад в восточной части (район калифорнийской окраины) и ~5,5 млн назад – в западной (у северо-восточного побережья Японии), а их понижение – в диапазоне 4,6–3,5 и ~4,6 млн лет назад, соответственно [Baron, 1998; Barton et al., 2002].

Анализ диатомовых ассоциаций свидетельствует, что в конце позднего миоцена (начиная с интервала ~6,4–6,0 млн лет назад) происходит усиление провинциализма субарктической флоры. Это подтверждают широкое развитие и преобладание в океанических ассоциациях холодноводных *Neodenticula kantschatica* и *Coscinodiscus marginatus*, а в неритических – *Pyxidicula zabelinae*, при участии *Thalassiosira gravida*. Увеличивается также роль других бореальных и арктобореальных форм (в том числе, и новых), происходит исчезновение или сокращение численности ранее характерных элементов (*Rouxia californica*, *Ikebea tenuis* и др.). Род *Neodenticula*, который, как предполагается, происходит от эндемика северо-тихоокеанских высоких–средних широт *Nitzschia rolandii* [Yanagisawa, Akiba, 1990], появляется на уровне 7,4 млн лет назад именно в Северной Пацифике. Он занимает экологическую нишу близкого планктонного рода *Denticulopsis*, но имеет более ограниченный ареал географического распространения. Являясь эндемиками высоких–средних широт Северного полушария, представители *Neodenticula* массово развиваются и доминируют в высоких широтах Северной Пацифики. Неодентикулы (*N. seminae*) преобладают в планктоне субарктической зоны и в настоящее время, указывая на близость структуры ассоциаций с таковыми конца позднего миоцена.

Вблизи границы между миоценом и плиоценом в комплексах северо-западной части региона, а также района Аляски характерными становятся виды, развивающиеся в ледово-неритических обстановках (*Bacterosira fragilis*, *Detonula confervacea*, *Porosira glacialis*, *Fragilariopsis cylindrus*, *Fr. oceanica*) [Akiba, 1986; Детальное расчленение..., 1992; Gladenkov, 2003; и др.]. Отметим, что, согласно полученным недавно палеонтологическим данным, к концу позднего миоцена (интервал 5,5–5,4 млн лет назад) приурочено первое в неогене открытие Берингова пролива [Gladenkov et al., 2002; Gladenkov, 2003]. С этого времени, в периоды существования сообщения Тихоокеанского и Арктического океанических бассейнов, ЭС Северной Пацифики становилась открытой в самой северной своей части, что существенно влияло на характер ее развития [Гладенков А., Гладенков Ю., 2004].

Таким образом, в конце позднего миоцена характер распределения комплексов диатомей и структура ассоциаций в общих чертах уже соответствуют современному, что отражает становление нынешних ареалов ассоциаций при изменениях поверхностной циркуляции вод. В результате усиления широтных температурных градиентов между водными массами, разделенными

древним субарктическим фронтом, к северу от него начинает развиваться субарктическая флора. Происходит интенсификация Аляскинского круговорота [Baron, 1981]. С конца позднего миоцена комплексы в умеренных восточных широтах начинают в значительной мере отличаться от более высокоширотных и являются более тепловодными. Поэтому в районе Калифорнии появление в них, например, *Neodenticula kamtschatica* фиксируется позже – только на уровне 5,5 млн лет назад, а исчезновение *Rouxia californica* – наоборот, раньше: на уровне 6,7 млн лет, а не 5,9 млн лет [Baron, 1981, 1986 и др.]. Это свидетельствует о более северном положении границы переходной зоны в восточном секторе в конце позднего миоцена.

Увеличение числа тепловодных элементов в ассоциациях самого конца позднего миоцена – начала раннего плиоцена говорит об относительном потеплении. Затем, с уровня примерно 5,1–5,0 млн лет назад, отмечается дальнейшее повышение роли холодноводных видов, в том числе появление новых видов (*Thalassiosira latimarginata*, *Th. tertiaria*). Однако комплексы второй половины раннего – начала среднего плиоцена характеризуются широким развитием теплолюбивых форм, проникающих в высокоширотные районы. Это свидетельствует о значительном потеплении, которое по времени совпадает с максимальными в кайнозой темпами биогенного кремнеаккумуляции в субарктической Пацифике в результате увеличения продуктивности диатомей. Вслед за этим, в среднем плиоцене начинают доминировать холодноводные *Neodenticula kamtschatica*, *N. koizumii*, *Coscinodiscus marginatus*, *Thalassiosira gravida*, *Actinocyclus curvatulus*, а также развиваются *Thalassiosira nordenskioldii*, *Th. latimarginata*, *Bacterosira fragilis*, *Detonula confervacea* и другие виды, характерные для районов с сезонными льдами.

Конец среднего плиоцена по настоящее время (последние 2,7 млн лет). К этому этапу приурочены значительные изменения характера распространения биогенных кремнистых толщ и темпов их накопления. В разрезах верхней части плиоцена в регионе фиксируются многочисленные перерывы, а в окраинных зонах морские отложения конца плиоцена в большинстве случаев отсутствуют. В целом, вблизи границы между средним и поздним плиоценом, на уровне около 2,7 млн лет назад, в Северной Пацифике фиксируется резкое падение скоростей биогенного кремнеаккумуляции. В океане резко уменьшаются как линейные скорости осадконакопления, так и величины УИН БК в осадках, которые уменьшаются в несколько раз – примерно до значений, которые были характерны до уровня 6,4 млн лет назад. [Rea et al., 1993, 1995; Baron, 1998].

Значительные изменения отмечаются и в диатомовых ассоциациях. За счет почти полного отсутствия тепловодных форм, а также общего сокращения видового разнообразия происходит обеднение комплексов. В начале этапа фиксируется резкое снижение численности *Neodenticula kamtschatica* (за которым почти сразу следует исчезновение этого вида) и начало широкого развития *Neodenticula koizumii*. На значительную часть субарктической Пацифики распространяется холодноводная неритическая ассоциация с преобладанием *Puxidicula horridus* и *P. zabelinae*, в которой отмечается большое количество ледово-неритических и пресноводных диатомей [Орешки-

на, 1985, 1986]. Холодноводные неритические элементы становятся характерными в том числе и для комплексов северо-восточного сектора, в которых они до этого были малочисленны. В океанических ассоциациях увеличивается также содержание холодноводных *Actinocyclus ochotensis*, *A. oculatus*, *A. curvatus*, *Thalassiosira jouseae*, *Th. latimarginata*, *Proboscia barboi* и других видов, что характерно и для более южных районов, включая Японское море. 2,4 млн лет назад появляется самый молодой представитель рода *Neodenticula* – *N. seminae*, доминирующий в современном планктоне Северной Пацифики.

Таким образом, начало шестого этапа характеризуется экспансией холодноводной флоры, с проникновением неритических диатомей в открыто-океанические районы. В комплексах позднего плиоцена преобладают холодноводные бореальные и арктобореальные представители родов *Neodenticula*, *Thalassiosira*, *Actinocyclus*, *Porosira*, *Bacterosira*, *Detonula* и других, многие из которых неритические, а часть – криофильные. Это указывает на более холодный по сравнению с современным климат и понижение температур поверхностных вод в субарктической зоне, расширявшейся в южном направлении. В результате значительного похолодания и оледенения, вероятно, происходило охлаждение и опреснение поверхностных вод в высоких широтах, что вело к усилению вертикальной стратификации и началу формирования в субарктической Пацифике ~2,7 млн лет назад резкого галоклинного барьера между поверхностными и более глубинными водами [Haug et al., 1999]. Такое препятствие для подъема вод с глубины, по-видимому, вело к снижению продуктивности диатомей и падению темпов накопления кремнистых осадков. В это время шло становление диатомовых ассоциаций, практически аналогичных современным по составу и продуктивности. Они приурочены к определенным поверхностным водным массам (и развитым в их пределах круговоротам), которые по характеристикам близки к современным. Последующие изменения в комплексах и их распространении преимущественно отражают климатические флуктуации, во время которых границы водных масс несколько смещались. Однако причинами некоторых локальных изменений могли также являться интенсификация или ослабление циркуляции отдельных круговоротов вод.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ кайнозойских комплексов диатомей Северо-Тихоокеанского региона (с включением их площадного распространения и изменений палеофитоценозов во времени) показывает, что характер развития и продуктивность флоры, условия, в которых происходило ее формирование, а также степень дифференциации разноширотных ассоциаций на протяжении кайнозоя неоднократно менялись. Обобщение полученных результатов дает возможность сделать следующие основные выводы.

1. В позднекайнозойской геологической истории Северо-Тихоокеанского региона на основе изучения особенностей площадного распространения кремнистых толщ и темпов их накопления выделены шесть основных пери-

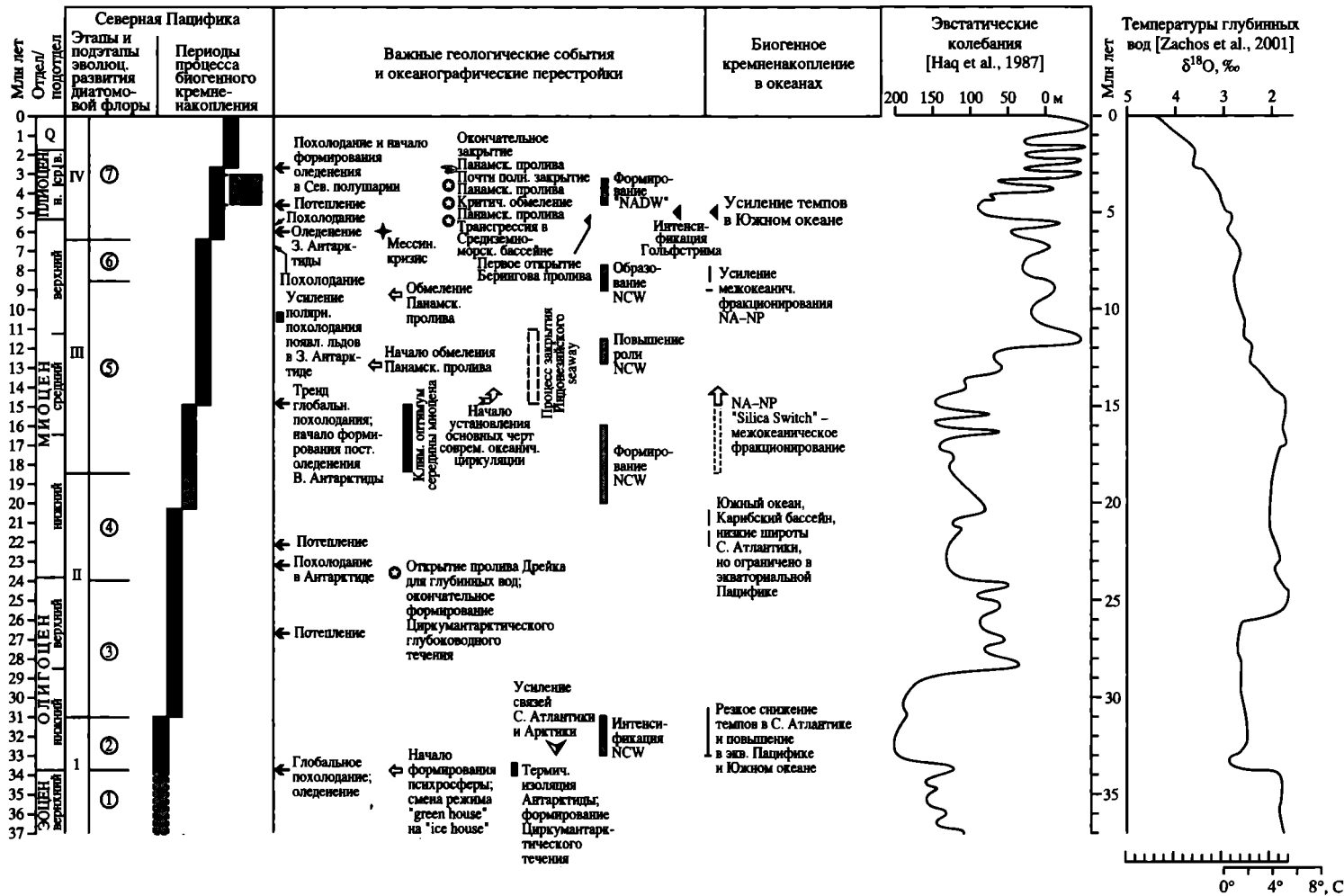
одов биогенного кремненакопления (см. рис. 3), которые отражают перестройки, происходившие в Северо-Тихоокеанской экосистеме. Эти периоды отражали фазы доминирования кремнистого микрофитопланктона в поверхностных водах как приконтинентальных апвеллинговых зон (в основном до середины раннего олигоцена), так и в открытоокеанической части экосистемы. В результате значительного роста продуктивности и увеличения площадного распространения диатомовой флоры, в начале среднего миоцена в северной части Тихого океана произошло основное изменение общего характера осадочного процесса в сторону преобладания биогенной кремнистой седиментации, в которой диатомеи являются главным источником накопления донных осадков (см. рис. 3).

2. Развитие диатомовых ассоциаций в древних ЭС происходило на фоне процессов и событий разного характера и масштаба (океанологических, климатических и др.), поэтому одна из важнейших задач заключается в выявлении степени их синхронности и взаимосвязи. «Календарь» ряда таких событий, данные по которым получены на основе использования различных методов, приведен на рис. 4 (см. рис. 3). Его анализ дает основание отметить несколько существенных моментов.

Характер миграции планктонных видов и изменения числа тепловодных и холодноводных элементов в комплексах отражает разномасштабные периоды повышения и понижения температур поверхностных вод и степень обособления разноширотных районов Пацифики, связанных с влиянием климатических условий. Климатические флуктуации приводили к изменениям не только ареалов сообществ и отдельных форм, но и черт океанической циркуляции. Это имело неодинаковые следствия в отношении продуктивности развития диатомовых ассоциаций в разных районах (в зависимости от их широтного положения и удаленности от суши), а также степени их биогеографической дифференциации и провинциализма.

Существенные перестройки в диатомовых ассоциациях Северной Пацифики, в частности, отражающие усиление провинциализма, обычно совпадают со временем наиболее значительных похолоданий. Последние, видимо, приводили к усилению температурных широтных градиентов, а также изменению интенсификации апвеллингов и поверхностной циркуляции.

3. Сделать однозначные детальные выводы о причинах изменений характера развития древних сообществ, которые происходили на фоне перестроек, имевших место как в Северо-Тихоокеанской экосистеме, так и в Мировом океане в целом (см. рис. 3 и 4), достаточно сложно. Однако корреляция этапов развития диатомовых комплексов с изменениями окружающей среды на основе выявленных общих особенностей развития северотихоокеанской экосистемы в кайнозой указывает, в частности, на то, что продуктивность диатомей и степень сохранности их остатков в осадках не всегда связаны с климатическими флуктуациями [Гладенков, 2003] (рис. 3 и 4). Так, начало периодов существенного увеличения продуктивности флоры и масштабов ее пространственного распространения, а также усиления темпов накопления кремнезема в донных осадках фиксируются в середине раннего олигоцена, конце раннего миоцена, конце среднего миоцена и во второй половине



позднего миоцена, когда похолодания и понижения температур вод не отмечаются. Вероятно, это, прежде всего, явилось следствием изменения глубинной циркуляции Мирового океана и усиления контраста между свойствами донных вод разной природы в результате палеоокеанографических перестроек. К этим периодам приурочено формирование «молодых» североатлантических глубинных вод (NCW), недонасыщенных питательными солями (см. рис. 4). Такой процесс в итоге приводил к снижению продуктивности диатомей и темпов биогенного кремненакопления в Северной Атлантике и, напротив, к их усилению в Пацифике, где подобные глубинные воды «северной компоненты» отсутствовали. Наиболее ярко межрегиональное «перемещение» процесса кремненакопления («silica shift») проявилось в конце раннего – начале среднего миоцена, когда в Северо-Тихоокеанском регионе отмечается «вспышка» развития диатомей. Однако увеличение продуктивности флоры в высоких широтах и ее уменьшение в средних широтах в раннем–среднем плиоцене могут объясняться результатами как климатической (потепление), так и океанографической (формирование NCW) перестроек [Ваггон, 1995, 1998; Гладенков, 2003; и др.]. Резкое же уменьшение продуктивности диатомей в субарктической Пацифике вблизи границы среднего и позднего плиоцена явилось прежде всего следствием широкомасштабного похолодания.

4. Смена палеогеографических обстановок в результате действия различных факторов могла приводить не только к изменениям, связанным с соотношением океанических и неритических элементов в комплексах или интенсивностью кремненакопления в отдельных районах (например, его усилению в олигоцене в зоне перехода от океана к континенту). Она также могла обусловить изменения характера межокеанических связей (в районах Панамского и Берингова проливов), что в результате вело к существенным перестройкам в Северо-Тихоокеанской ЭС. В частности, такое событие, как открытие Берингова пролива, оказывало громадное влияние на характер развития биоты северных широт [Гладенков А., Гладенков Ю., 2004].

5. Рассмотрение комплексов диатомей в рамках зональных и инфразональных стратиграфических подразделений, «наполняющих» выделенные крупные этапы кремненакопления, открывает перспективу выявить и изучить не усредненные, а детальные особенности и характеристики, которые отражают динамику развития ассоциаций в кайнозойских морских экосистемах. Одна из важных задач ближайшего будущего состоит в построении биогеографических карт (ареалов сообществ, а также отдельных видов) для каждого дробного временного интервала.

Работа выполнена при поддержке проектов РФФИ (№ 05-05-64072) и РФФИ-JSPS (№ 05-05-66935 ЯФ).

←
Рис. 4. Последовательность различных геологических событий олигоцена–неогена, отразившихся в истории развития морских экосистем (по: [Гладенков, 2003])

ЛИТЕРАТУРА

- Басов И.А.* Биогеография планктонных фораминифер Северной Пацифики в палеоцене и эоцене // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1999. Т. 7, № 1. С. 86–98.
- Беклемишев К.В., Семина Г.И.* География планктонных диатомей высоких и умеренных широт Мирового океана // Биотопическая основа распределения морских организмов. М.: Наука, 1986. С. 7–23.
- Беньямовский В.Н., Гладенков Ю.Б.* Климатические колебания и миграции биоты в палеогене Северной Пацифики // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1996. Т. 4, № 5. С. 66–82.
- Вернадский В.В.* Биосфера. Л.: Гостехиздат, 1926. 170 с.
- Витухин Д.И.* Зональные радиоляриевые шкалы кайнозоя boreальной области Пацифики и ее северо-западного обрамления: (История, современное состояние и проблемы) // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографических реконструкций. М.: ГЕОС, 2001. С. 159–168.
- Гладенков А.Ю.* Зональная стратиграфия олигоцена и нижнего миоцена Северо-Тихоокеанского региона по диатомеям // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1998. Т. 6, № 2. С. 50–64.
- Гладенков А.Ю.* Зональная шкала морского неогена Северо-Тихоокеанского региона по диатомеям: Становление, современное состояние и перспективы детализации // Пути детализации стратиграфических схем и палеогеографических реконструкций. М.: ГЕОС, 2001. С. 85–108.
- Гладенков А.Ю.* Детальные стратиграфические шкалы и морские экосистемы позднего кайнозоя севера Тихоокеанского региона (по диатомеям): Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук. М., 2003. 49 с.
- Гладенков А.Ю., Гладенков Ю.Б.* Начало формирования межконтинентальных связей Пацифики и Арктики через Берингов пролив в неогене // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2004. Т. 12, № 2. С. 72–89.
- Гладенков Ю.Б., Шанцер А.Е.* Геологические события палеогена Камчатки // Там же. 1993. Т. 1, № 1. С. 97–108.
- Гладенков Ю.Б., Щербинина Е.А.* Первые находки наннопланктона в палеогене Сахалина // Там же. 2001. Т. 9, № 1. С. 108–109.
- Гречин В.И.* Миоценовые отложения Западной Камчатки: (Седиментация и катагенез). М.: Наука, 1976. 138 с.
- Гречин В.И.* Кремнистые осадки и породы северной части Тихого океана и его обрамления // Очерки по геологии Северо-Западного сектора Тихоокеанского тектонического пояса. М.: Наука, 1987. С. 74–109.
- Детальное расчленение неогена Камчатки / Под ред. Ю.Б. Гладенкова, Е.В. Девяткина. М.: Наука, 1992. 208 с.
- Долматова Л.М.* Диатомей эоцена Северо-Востока СССР // Геология и полезные ископаемые Корякско-Камчатской складчатой области. Петропавловск-Камчатский, 1985. С. 113–120. (Материалы V Камчат. геол. конф.).
- Жузе А.П.* Диатомовые в поверхностном слое осадков Охотского моря // Геологические исследования в дальневосточных морях. М.: Изд-во АН СССР, 1957. С. 164–220. (Тр. ИО АН СССР; Т. 22).
- Жузе А.П.* Диатомовые в донных отложениях северо-западной части Тихого океана // Докл. АН СССР. 1959. Т. 125, № 4. С. 891–894.
- Жузе А.П.* Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 260 с.
- Жузе А.П.* Значение водорослей в познании геологической истории современных морей и океанов // Ископаемые диатомовые водоросли СССР. М.: Наука, 1968. С. 5–16.
- Жузе А.П., Мухина В.В., Козлова О.Г.* Диатомей и силикофлагелляты в поверхностном слое осадков Тихого океана // Тихий океан. Т. 8: Микрофлора и микрофауна в современных осадках Тихого океана. М.: Наука, 1969. С. 7–47.
- Крашенинников В.А., Серова М.Я., Басов И.А.* Стратиграфия и планктонные фораминиферы палеогена высоких широт Тихого океана. М.: Наука, 1988. 120 с.
- Лебедев В.Л., Добровольский А.Д., Марков К.К.* Физико-географическое районирование //

- Тихий океан. Л.: Наука, 1981. С. 115–128. (География Мирового океана).
- Лисицын А.П. Основные закономерности распределения современных кремнистых осадков и их связь с климатической зональностью // Геохимия кремнезема. М.: Наука, 1966. С. 90–191.
- Лисицын А.П. Процессы океанской седиментации. М.: Наука, 1978. 392 с.
- Лисицын А.П. Зональность природной среды и осадкообразование в океанах // Климатическая зональность и осадкообразование. М.: Наука, 1981. С. 5–45.
- Опорный разрез морского палеогена севера Дальнего Востока (полуостров Ильпинский) / В.И. Волобуева, Ю.Б. Гладенков, В.Н. Беньямовский и др. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 1994. Ч. 1: Стратиграфия. 64 с.; Ч. 2: Систематическая часть. 115 с.
- Орешкина Т.В. Дიაдомовые комплексы и стратиграфия верхнего кайнозоя Прикамчатского района Тихого океана // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1985. № 5. С. 60–73.
- Орешкина Т.В. Палеоклиматы неогена субарктической области Тихого океана по данным изучения диатомей // Там же. 1986. № 11. С. 27–34.
- Орешкина Т.В. Диадомовые водоросли неогена умеренных и субарктических районов Тихого океана: Стратиграфия и палеоокеанография // Систематика микроорганизмов и их роль в биостратиграфии фанерозоя. М.: Наука, 1989. С. 90–100. (Вопр. микропалеонтол.; Вып. 30).
- Орешкина Т.В. Диадомей и неогеновые события в субарктической Пацифике // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1993. Т. 68, вып. 3. С. 84–90.
- Серова М.Я. Фораминиферы и биостратиграфия верхнего палеогена Северной Пацифики. М.: Наука, 2001. 215 с.
- Семина Г.И. Фитопланктон Тихого океана. М.: Наука, 1974. 239 с.
- Степанов В.Н. Мировой океан: Динамика и свойства вод. М.: Знание, 1974. 256 с.
- Цой И.Б. Олигоценовые диатомовые комплексы из отложений островного склона Курило-Камчатского желоба // Океанология. 2002а. Т. 42, № 2. С. 267–280.
- Цой И.Б. Палеонтологическая характеристика и биостратиграфия осадочного чехла Охотского моря // Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГЕОС, 2002б. С. 323–331.
- Цой И.Б. Эоценовые диатомей и силикофлагелляты из отложений Кроноцкого залива (Восточная Камчатка) // Стратиграфия. Геол. корреляция. 2003. Т. 11, № 4. С. 71–86.
- Цой И.Б., Шастина В.В., Горювая М.Т. Микропалеонтологическая характеристика кайнозойских отложений Кроноцкого залива (Восточная Камчатка). Владивосток: ТОИ ДВО РАН, 2000. 27 с. Деп. в ВИНТИ, № 2638-В00.
- Шербина Е.А. Наннопланктон палеогеновых отложений Восточно-Камчатского региона // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5, № 2. С. 60–70.
- Эоцен Западной Камчатки / Ю.Б. Гладенков, В.Н. Синельникова, А.Е. Шанцер и др. М.: Наука, 1991. 184 с.
- Akiba F. Middle Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy in the Nankai Trough and Japan Trench, and modified lower Miocene through Quaternary diatom zones for the middle-to-high latitudes of the North Pacific // Init. Repts DSDP. 1986. Vol. 87. P. 393–481.
- Baldauf J.G., Barron J.A. Evolution of biosiliceous sedimentation patterns – Eocene through Quaternary: Paleooceanographic response to polar cooling // Geological history of the Polar Oceans: Arctic versus Antarctic / Ed. U. Bleil, J. Thiede. Dordrecht: Kluwer, 1990. P. 575–607.
- Barron J.A. Lower Miocene to Quaternary diatom biostratigraphy of Leg 57, off Northeastern Japan, Deep Sea Drilling Project // Init. Rep. DSDP. 1980. Vol. 56/57, pt 2. P. 641–685.
- Barron J.A. Late Cenozoic diatom biostratigraphy and paleooceanography of the middle-latitude North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 63 // Ibid. 1981. Vol. 63. P. 507–538.
- Barron J.A. Diatom paleooceanography and paleoclimatology of the central and eastern equatorial Pacific between 18 and 6.2 Ma // Ibid. 1985. Vol. 85. P. 935–945.
- Barron J.A. Paleooceanography and tectonic controls on deposition of the Monterey Formation and related siliceous rocks in California // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. 1986. Vol. 53. P. 27–45.
- Barron J.A. High-resolution diatom paleoclimatology of the middle part of the Pliocene of the north-west Pacific // Proc. ODP. Sci. Results. 1995. Vol. 145. P. 43–53.

- Barron J.A.* Late Neogene changes in diatom sedimentation in the North Pacific // *J. Asian Earth Sci.* 1998. Vol. 16. P. 85–95.
- Barron J.A.* Planktonic marine diatom record of the past 18 m.y.: appearances and extinctions in the Pacific and Southern Oceans // *Diatom Res.* 2003. Vol. 18. P. 203–224.
- Barron J.A., Baldauf J.G.* Tertiary cooling steps and paleoproductivity as reflected by diatoms and biosiliceous sediments // *Productivity of the Ocean: Present and past: Dahlem Workshop reports* / Ed. W.H. Berger et al. New York: Wiley, 1989. P. 341–354.
- Barron J.A., Baldauf J.G.* Development of biosiliceous sedimentation in the North Pacific during the Miocene and Early Pliocene // *Pacific Neogene events: Their timing, nature and interrelationship* / Ed. R. Tsuchi. Tokyo: Univ. of Tokyo press, 1990. P. 43–63.
- Barron J.A., Bukry D., Poore R.Z.* Correlation of the middle Eocene Kellogg Shale of Northern California // *Micropaleontology.* 1984. Vol. 30. P. 138–170.
- Barron J.A., Gladenkov A.Y.* Early Miocene to Pleistocene diatom stratigraphy of Leg 145 // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 3–19.
- Barron J.A., Lyle M., Koizumi I.* Late Miocene and Early Pliocene biosiliceous sedimentation along the California margin // *Rev. Mex. Cienc. Geol.* 2002. Vol. 19. P. 161–169.
- Beaufort L., Olafsson G.* Upper Cretaceous and Paleogene calcareous nannofossils from the North Pacific // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 633–638.
- Berggren W.A., Kent D.V., Swisher C.C., III, Aubry M.-P.* A revised Cenozoic geochronology and chronostratigraphy // *Geochronology time scales and global stratigraphic correlation* / Ed. W.A. Berggren et al. Tulsa. 1995. P. 129–212. (SEPM Spec. Publ.; N 54).
- Calvert S.E.* Deposition and diagenesis of silica in marine sediments // *Pelagic sediments on land and under the sea* / Ed. K.J. Hsu, H. Jenkyns. 1974. P. 273–299. (Spec. Publ. of the Intern. Assoc. of Sediment.; N 1).
- Fenner J.* Late Cretaceous to Oligocene planktonic diatoms // *Plankton stratigraphy* / Ed. H.M. Bolli et al. Cambridge: Cambridge Univ. press, 1985. P. 713–762.
- Gladenkov A.Y.* A new lower Oligocene zone for the North Pacific diatom scale // *Proc. of the Fourteenth Intern. diatom symp., Tokyo, Japan* / Ed. S. Mayama et al. Koenigstein: Koeltz Sci. Books, 1999. P. 581–590.
- Gladenkov A.Y.* Diatom biostratigraphy of the Neogene Milky River Formation, Alaska Peninsula, southwestern Alaska // *Proc. Calif. Acad. Sci.* 2003. Vol. 54. P. 27–64.
- Gladenkov A.Y., Barron J.A.* Oligocene and early Miocene diatom biostratigraphy of Hole 884B // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 21–41.
- Gladenkov A.Y., Oleinik A.E., Marincovich L.Jr., Barinov K.B.* A refined age for the earliest opening of Bering Strait // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2002. Vol. 183. P. 321–328.
- Harwood D.M., Maruyama T.* Middle Eocene to Pleistocene diatom biostratigraphy of Southern Ocean sediments from the Kerguelen Plateau, Leg 120 // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1992. Vol. 120. P. 683–734.
- Haug G.H., Maslin M.A., Sarnstein M.* et al. Evolution of Northwest Pacific sedimentation patterns since 6 Ma: Site 882 // *Ibid.* 1995. Vol. 145. P. 293–314.
- Haug G.H., Sigman D.M., Tiedemann R.* et al. Onset of permanent stratification in the subarctic Pacific Ocean // *Nature.* 1999. Vol. 401. P. 779–782.
- Hein J.R., Scholl D.W., Barron J.A.* et al. Diagenesis of late Cenozoic diatomaceous deposits and formation of the bottom simulating reflector in the southern Bering Sea // *Sedimentology.* 1978. Vol. 25. P. 155–181.
- Hein J.R., Yeh H.-W., Barron J.A.* Eocene diatom chert from Adak Island, Alaska // *J. Sediment. Petrol.* 1990. Vol. 60. P. 250–257.
- Isaacs C.M., Pisciotto K.A., Garrison R.E.* Facies and diagenesis of the Miocene Monterey Formation, California: A summary // *Siliceous deposits of the Pacific Region* / Ed. A. Iijima et al. Amsterdam: Elsevier, 1983. P. 247–282.
- Kanaya T.* Diatom micropaleontology and deep-sea stratigraphy of the North Pacific // *Mer.* 1969. T. 7, N 3. P. 183–196.
- Kanaya T., Koizumi I.* Interpretation of diatom thanatocoenoses from the North Pacific applied to a study of core V20–130: (Studies of a deep-sea core V20–130. Part IV) // *Sci. Rep. Tohoku Univ. Ser. II.* 1966. Vol. 37, N 2. P. 89–130.

- Keller G., Barron J.A.* Paleooceanographic implications of Miocene deep-sea hiatuses // *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1983. Vol. 94. P. 590–613.
- Keller M.A., Isaacs C.M.* An evaluation of temperature scales for silica diagenesis in diatomaceous sequences including a new approach based on the Miocene Monterey Formation, California // *Geomar. Lett.* 1985. Vol. 5. P. 31–35.
- Koizumi I.* Diatom biostratigraphy of the Japan Sea: Leg 127 // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1992. Vol. 127/128, pt 1. P. 249–289.
- Lisitzin A.P.* Sedimentation in the World Ocean. Tulsa, 1972. 218 p. (SEPM Spec. Publ.; N 17).
- McLean H., Barron J.A.* A late middle Eocene diatomite in northwestern Baja California Sur, Mexico: Implication for tectonic translation // *Paleogene stratigraphy, West Coast of North America.* Los Angeles, 1988. P. 1–8. (SEPM Pacific Section. West Coast Symp.; Vol. 58).
- Okada H., Kaiho K.* Paleogene calcareous nannofossils from Hokkaido, Japan // *The Centenary of Japanese micropaleontology / Ed. Ishizaki K., Saito T.* Tokyo: Univ. of Tokyo press, 1992. P. 461–471.
- Rea D.K., Basov I.A., Janacek T.R.* et al. Proceedings of the Ocean Drilling Program. Initial Reports. Vol. 145. College Station (TX), 1993. 1040 p.
- Rea D.K., Basov I.A., Krissek L.A.* et al. Scientific results of drilling the North Pacific Transect // *Proc. ODP. Sci. Results.* 1995. Vol. 145. P. 577–596.
- Rea D.K., Snoeckx H.* Sediment fluxes in the Gulf of Alaska: Paleooceanographic record from Site 887 on the Patton-Murrey Seamount platform // *Ibid.* 1995. Vol. 145. P. 247–256.
- Sancetta C.* Oceanography of the North Pacific during the last 18,000 years: Evidence from fossil diatoms // *Mar. Micropaleontol.* 1979a. Vol. 4. P. 103–123.
- Sancetta C.* Use of semiquantitative microfossil data for paleoceanography // *Geology.* 1979b. Vol. 7. P. 88–92.
- Sancetta C.* Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk Seas // *Deep-Sea Res.* A. 1981. Vol. 28. P. 789–817.
- Sancetta C.* Distribution of diatom species in surface sediments of the Bering and Okhotsk Seas // *Micropaleontology.* 1982. Vol. 28. P. 221–257.
- Sancetta C.* Effect of Pleistocene glaciation upon oceanographic characteristics of the North Pacific Ocean and Bering Sea // *Deep-Sea Res.* 1983. Vol. 30. P. 851–869.
- Sancetta C., Silvestri S.* Pliocene-Pleistocene evolution of the North Pacific Ocean-atmosphere system, interpreted from fossil diatoms // *Paleoceanography.* 1986. Vol. 1. P. 163–180.
- Yanagisawa Y.* Cenozoic diatom genus *Bogorovia* Jousé: An emended description // *Trans. and Proc. Paleontol. Soc. Jap., N.S.* 1995. N 177. P. 21–42.
- Yanagisawa Y., Akiba F.* Taxonomy and phylogeny of the three marine diatom genera, *Crucidentricula*, *Denticulopsis* and *Neodenticula* // *Bull. Geol. Surv. Jap.* 1990. Vol. 41. P. 197–301.
- Yanagisawa Y., Akiba F.* Refined Neogene diatom biostratigraphy for the northwest Pacific around Japan, with an introduction of code numbers for selected diatom biohorizons // *J. Geol. Soc. Jap.* 1998. Vol. 104. P. 395–414.
- Yanagisawa Y., Suzuki Y.* Diatoms and silicoflagellates from the Oligocene Shirasaka Formation of the Joban Coalfield, Northeast Japan // *Bull. Geol. Surv. Jap.* 1987. Vol. 38. P. 81–98.