

УДК 551.89:56.024

ПАЛЕОКЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ СУБАРКТИЧЕСКОЙ ПАЦИФИКИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 20 ТЫСЯЧ ЛЕТ ПО ДАННЫМ ИЗУЧЕНИЯ ДИАТОМЕЙ

© 2015 г. М. А. Смирнова¹, Г. Х. Казарина¹, А. Г. Матуль¹, Л. Макс²¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
e-mail: amatul@mail.ru²Институт полярных и морских исследований им. А. Вегенера, Бремерхафен, Германия

Поступила в редакцию 25.05.2014 г., после доработки 19.08.2014 г.

Проведены микропалеонтологические исследования двух колонок позднечетвертичных осадков, полученных по международному проекту КАЛЬМАР на континентальном склоне Восточной Камчатки и на севере хр. Ширшова в Беринговом море. Для последних 20 тыс. лет (т.л.) описаны региональные природные изменения в пределах основных палеоклиматических интервалов: конец последнего оледенения 20–15 тыс. лет назад (т.л.н.), потепление бёллинг-аллерёд 15–13.3 т.л.н., похолодание поздний дриас 13.3–11.9 т.л.н., ранний голоцен 11.9–5 т.л.н. Наиболее резкие, но по-разному проявившиеся в двух соседних районах СЗ Пацифики изменения произошли на переходе от последнего оледенения к голоцену. Потепление бёллинг–аллерёд привело к образованию высокопродуктивной краевой ледовой зоны на хр. Ширшова и открытоокеаническим условиям у Восточной Камчатки с преобладанием аляскинских водных масс. Похолодание в позднем дриасе на континентальном склоне Камчатки могло быть самым значительным за последние 20 т. л.; здесь господствовала неритическая обстановка, и существовал зимний ледовый покров. В начале голоцена проявились сезонно контрастные условия на поверхности океана, т.к. имеются признаки зимних льдов и проникновения южно-бореальных водных масс.

DOI: 10.7868/S0030157415030168

ВВЕДЕНИЕ

Исследование палеогеографии позднего кайнозоя в СЗ части Тихого океана и окраинных дальневосточных морях важно для выяснения механизма вероятной ритмичности и направленности региональных природных изменений на контакте суши и океана. Один из надежных и широко применяемых палеогеографических методов — морская микропалеонтология, в нашем случае, диатомовый анализ. Обилие и высокое видовое разнообразие диатомей в аркто-бореальных водах, их хорошая сохранность в осадках позволяют судить о процессах развития морских экосистем, морского седиментогенеза, свойствах поверхностных водных масс, масштабах речного стока, положении границы сезонных льдов, т.е. дают возможность в деталях восстановить палеогеографические изменения при изучении разрезов донных осадков.

Хорошо известны многочисленные и ставшие уже классическими работы по микропалеонтологии субарктической Пацифики и соседних арктических бассейнов отечественных [1, 2, 5, 6] и зарубежных исследователей-диатомологов [8, 9, 16, 26]. Сделаны обобщения по количественному распределению диатомей в поверхностном слое осадков, выделены биогеографические группы диатомей, определены районы распространения характерных

комплексов, что позволяет использовать актуалистический подход при микропалеонтологических исследованиях [2, 15, 17, 21, 23]. Опубликованы многочисленные работы по стратиграфии неогеновых [1, 7, 27] и более молодых четвертичных отложений [6]. Современный этап в изучении палеоклиматических, палеоокеанологических и палеогеографических изменений в субарктической области Тихого океана связан с получением фактических данных, зафиксированных в осадках и восстановленных на основании микропалеонтологических исследований с высокой степенью разрешения на шкале первых тысячелетий и нескольких столетий. В результате работ, проведенных в данном регионе за последние 20 лет, получены новые материалы по микропалеонтологии диатомей из самых молодых, хорошо датированных позднечетвертичных отложений, положенные в основу детальных палеоокеанологических построений [10, 14, 17, 18]. Наша статья представляет новые сведения о различиях палеоокеанологии во время перехода от последнего оледенения к голоцену на континентальной окраине СЗ Пацифики возле Камчатки и в ЮЗ части Берингова моря по данным изучения диатомей.

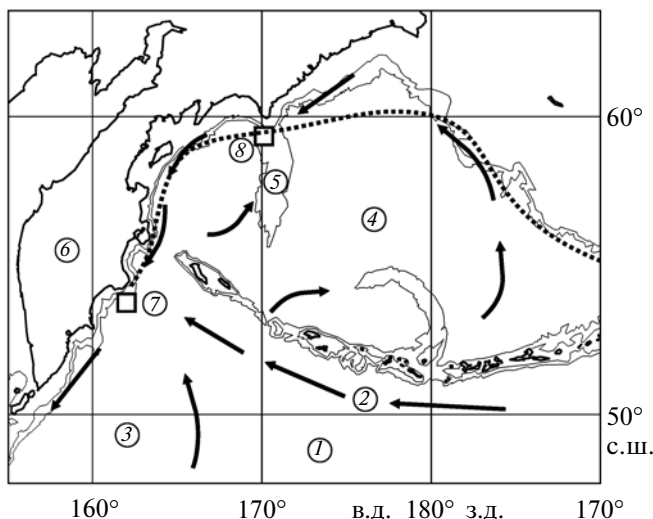


Рис. 1. Район исследования. Показаны изобаты 500 и 2000 м и основные водные потоки на поверхности (черные стрелки) [28]. 1 – субарктическая Пасифика, 2 – Аляскинское течение, 3 – Северо-Западный круговорот, 4 – Берингово море, 5 – хр. Ширшова, 6 – п-ов Камчатка, 7 и 8 – колонки SO201-2-12KL и SO201-2-101KL, соответственно (местоположение обозначено пустыми квадратами). Пунктирная линия – среднемноголетняя максимальная граница зимних льдов [19]. Бланк карты построен в компьютерной программе PanMap <<http://www.pangaia.de>> по данным батиметрического атласа GEBCO <<http://www.gebco.net>>.

РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Мы изучали колонки донных осадков, расположенные на континентальном склоне в северо-западной части субарктической Пасифики (рис. 1), которая характеризуется ярко выраженной сезонной изменчивостью температуры поверхностных вод и площади распространения морских льдов [28]. Наблюдаются перепады температуры поверхностной воды в среднем от 0–2°C зимой до 8–10°C летом. Зимой поверхностные воды сильно охлаждаются воздухом, поступающим с континента из-за контраста атмосферного давления между Сибирским максимумом и Алеутским минимумом. В дальневосточных морях зимнее льдообразование сопровождается формированием рассолов. При охлаждении и появлении рассолов происходит сильное перемешивание подповерхностных вод, и к поверхности поступают биогенные элементы. Весенне-летний прогрев и поверхностное распреснение из-за атмосферных осадков, речного стока и таяния льда приводит к резкой устойчивой стратификации в верхней части водного столба. В верхнем перемешанном слое 0–50 м над термо- и галоклином максимумы биогенной продуктивности наблюдаются весной за счет цветения диатомовых водорослей и в конце лета за счет цветения кокколитофорид.

В целом район исследования находится под влиянием субарктических водных масс северной части Тихого океана. Но местные поверхностные водные массы существенно отличаются. В Беринговом море в районе хр. Ширшова (колонка SO201-2-101KL) развиты бассейновые воды берингоморского циклонического круговорота, образованные при взаимодействии трансформированных тихоокеанских и шельфовых вод. Континентальный склон Восточной Камчатки (колонка SO201-2-12KL) находится под влиянием берингоморских вод и водных масс открытого океана, приносимых Аляскинским течением и Северо-Западным циклоническим круговоротом. Распространение зимнего ледового покрова в обоих районах ограничено прибрежной полосой [19].

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Диатомеи были изучены в двух длинных колонках, полученных в субарктической части Тихого океана в рамках международного проекта КАЛЬМАР [12]. Колонка SO201-2-101KL длиной 18.3 м взята в Беринговом море на северной части хребта Ширшова с глубины 630 м, колонка SO201-2-12KL длиной 9.05 м – на континентальном склоне Восточной Камчатки с глубины 2170 м (рис. 1). Осадки в обеих колонках представлены преимущественно зеленовато-оливково-серым песчанисто-алевритово-пелитовым илом с редкими прослоями диатомовых илов и песка [4, 12]. Согласно возрастной модели, разработанной немецкими коллегами по радиоуглеродным АМС-датировкам абсолютного возраста, колонка SO201-2-12-KL охватывает интервал 5–20 тысяч календарных лет назад (т.л.н.), а изученный нами отрезок (верхние 191 см) колонки SO201-2-101KL – интервал 13–25 т.л.н. [18]. Таким образом, оба разреза содержат микропалеонтологические данные, характеризующие переход от последнего оледенения к голоцену, а также в одной колонке – ранний голоцен. Более молодые отложения в обеих колонках отсутствуют, возможно, по техническим особенностям пробоотбора. В колонке SO201-2-12-KL изучено 90 проб осадков со средним временным шагом около 160 лет, а в колонке SO201-2-101KL – 30 проб со средним временным шагом около 300 лет, что соответствует современным мировым требованиям по детальности палеоокеанологических исследований.

Лабораторная обработка осадков была выполнена по методике, принятой в Институте океанологии им. П.П. Ширшова РАН, в соответствии с которой 1 г осадка заливался небольшим количеством раствора триполифосфата натрия, а затем проваривался в перекиси водорода для дезинтеграции и освобождения от возможных органических примесей. Далее проводилось “отмучивание” осадка многократно повторяющимися сливами для удаления тонкозернистого материала и про-

дуктов химических реакций. Микропалеонтологические препараты высокого качества готовились по следующей методике: в чашку Петри помещалось покровное стекло, заливалось определенным объемом дистиллированной воды, к которому добавлялось отобранное автоматической пипеткой фиксированное количество взмученной взвеси. Постепенное осаждение осадка позволило микрофосилиям равномерно распределиться по покровному стеклу. Высушенные препараты заключались в смолу NAPHRAX с показателем преломления 1.74. Препарат изучался под микроскопом проходящего света "Leica" при увеличении более 1500 раз. Подсчитывалось не менее 300 створок определенных до вида или рода диатомей.

Всего в образцах обеих колонок идентифицировано около 50 таксонов диатомовых водорослей. Определены общее число створок диатомей в 1 г сухого осадка, видовое разнообразие и относительные концентрации видов. В настоящей работе для выявления палеоокеанологических изменений первостепенное внимание обращалось на соотношение характерных видов диатомей, имеющих контрастные характеристики среды своего обитания, чтобы выявить экоструктурные изменения и связать их с крупными перестройками региональной палеосреды.

Предыдущими исследованиями в Северной Пацифике и ее окраинных морях выявлены особенности современного (субфоссиального) распространения видов диатомей в поверхностном слое донных осадков и установлена их вероятная связь с экологическими и биогеографическими параметрами [2, 3, 21, 24]. В качестве актуалистической основы интерпретации микропалеонтологических данных мы использовали сведения по 10 таксонам (рис. 2), которые составляют основу комплексов: в среднем для всех изученных проб — 84% в колонке SO201-2-101KL и 76% в колонке SO201-2-12KL. В группу ледовых диатомей мы включили виды *Fragilariopsis cylindrus* и *F. oceanica*, которые непосредственно ассоциируются со льдом или с водами вблизи кромки льда. Их современные концентрации >10–15% четко маркируют границу сезонного льда и, особенно в Беринговом море, положение шельфовой краевой ледовой зоны, где наблюдается весенне-летнее цветение фитопланктона. Массовое >15–20% нахождение аркто-бореального вида *Thalassiosira gravida* (+/= *Th. antarctica*) приурочено к холодноводным продуктивным неритическим — над шельфом и континентальным склоном — районам в Беринговом и Охотском морях, у Восточной Камчатки и северных Курильских островов. Максимально развивающийся в ранневесеннем планктоне *Th. gravida* в больших количествах встречается как внутри, так и вне области сезонных льдов, распространяясь за пределы материковой отмели. Сублиторальный (при-

донный или полубентический) аркто-бореальный вид *Paralia sulcata* обитает на прибрежных мелководьях Охотского и Берингова морей. Зоны высокой первичной продукции в холодноводных неритических районах Северной Пацифики фиксируются в планктоне и донных осадках большими концентрациями видов *Chaetoceros* spp., в частности, >30–40% на западной окраине Берингова моря. Виды *Actinocyclus curvatulus* и *Th. trifulta* (= *Th. latimarginata*) маркируют, с концентрацией до 25–45% и до 25–35% соответственно, четкую вертикальную приповерхностную стратификацию вод в центральных глубоководных частях циклонических круговоротов Охотского и Берингова морей, а также на западе субарктической Пацифики. Северобореальный вид *Coscinodiscus marginatus* наибольшие концентрации >10–15% имеет в донных поверхностных осадках из центральной глубоководной субарктической зоны Тихого океана. Миграция водных масс из Аляскинского залива вдоль Алеутской гряды и в южную глубоководную часть Берингова моря обозначена доминированием (>50%) в диатомовых комплексах вида *Neodenticula seminae*. Признаком наступления тепловодных условий для нашего района может считаться обнаружение южнобореального открытоокеанического вида *Th. oestrupii*. Его содержание составляет >15–25% на севере субтропической зоны, а на юге субарктической зоны не превышает 3–6%.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По изменениям общей концентрации диатомей и распределению отдельных видов в разрезах обеих колонок выделены четыре горизонта (рис. 2).

Горизонт IV. В колонке SO201-2-12KL: интервал от низа колонки (901 см) до 649 см с возрастом 19.89–15.04 т.л. Характеризуется низкими значениями общей численности диатомей — в среднем 1.4 млн. створок в 1 г осадка (млн.ств./г) с максимальными величинами до 2.6–3.3 млн.ств./г в нижней части горизонта. Основу комплекса составляют *A. curvatulus* + *Th. trifulta* с относительной концентрацией 50–60%. Содержание ледовых видов не превышает 3–5%. Сублиторальный вид *P. sulcata* так же малочислен. В пределах горизонта сильных колебаний видовых соотношений не отмечено.

В колонке SO201-2-101KL: интервал 191–51 см с возрастом 22–15.14 т.л. Диатомей в этом горизонте отсутствуют или присутствуют в единичных экземплярах.

Горизонт III. В колонке SO201-2-12KL: интервал 639–501 см с возрастом 14.84–13.33 т.л. При переходе от горизонта VI к этому горизонту наблюдается резкое увеличение общей численности диатомей, достигающей максимальных для данного разреза значений — в среднем 8.6 млн.ств./г с максимальными величинами до 13–17 млн.ств./г в ниж-

ней части горизонта. Структура комплексов сильно меняется. Преобладание *A. curvatulus* + *Th. trifulta* переходит в доминирование *N. seminae* (50–80%). Отмечаются отдельные слои с повышением содержания *C. marginatus* до 7–22%. Сублиторальные и ледовые виды почти исчезают, а концентрация неритического *Th. gravida* снижается с 10–18 до 2–10%.

В колонке SO201-2-101KL: интервал от 46 см до верха колонки (4 см) с возрастом 14.88–12.91 т.л. Как и в колонке SO201-2-12KL, здесь найдены повышенные абсолютные концентрации диатомей. Нижние слои горизонта характеризуется высоким значением общей численности диатомей до 14–15.5 млн.ств./г, затем сильно уменьшающейся в середине горизонта до 0.3–0.6 млн.ств./г и снова растущей кверху до 3.6–6.3 млн.ств./г. По распределению видов есть существенное отличие от соответствующего горизонта в колонке SO201-2-12KL. Основным признаком горизонта в колонке SO201-2-101KL – высокое, не менее 20% и даже доминирующее до 40–60% содержание аркто-бореального неритического вида *Th. gravida*. В слоях с доминированием *Th. gravida* обнаружен максимум до 4–9% сублиторального *P. sulcata*. С пиками общей численности диатомей четко совпадает наибольшая концентрация ледовых видов (до 19–34%). Характерная черта комплексов – заметное участие (от 4–6 до 8–15%) неритических продуктивных видов *Chaetoceros* spp. В средней части горизонта растет доля *N. seminae* (до 7–10%).

Горизонт II. В колонке SO201-2-12KL: интервал 499–396 см с возрастом 13.31–12.01 т.л. Данный горизонт отличается сокращением общей численности диатомей – в среднем до 1.7 млн.ств./г с максимальными величинами 2.4–4.0 млн.ств./г в верхней части горизонта. В то время как резко, до 20–10%, упало содержание *N. seminae*, концентрация *A. curvatulus* + *Th. trifulta* выросла незначительно. Ведущую роль в комплексе стал играть *Th. gravida* с содержанием до 25–40%. До 18% увеличилась доля ледовых диатомей, в значительном количестве появились сублиторальные виды *P. sulcata* (до 6–11%) и *C. scutellum* (до 3–7%), а также продуктивные виды *Chaetoceros* spp. (до 6–10%).

В колонке SO201-2-101KL осадков этого горизонта нет.

Горизонт I. В колонке SO201-2-12KL: интервал от 386 см до верха колонки (7.5 см) с возрастом 11.88–5.36 т.л. Он характеризуется высоким, хотя и с заметными колебаниями, общим содержанием

диатомей в среднем 4.4 млн.ств./г с максимумами в нижней, средней и верхних частях горизонта до 9–12.8 млн.ств./г. Несмотря на то, что флористические характеристики в пределах горизонта меняются, мы выделяем его как целое по высокой концентрации, не менее 20%, открыто-океанического *N. seminae*. Наибольшая численность *N. seminae* (до 50–70%) отмечена в низах и верхах горизонта, а в остальных слоях преобладает аркто-бореальный неритический *Th. gravida* с содержанием до 40–60%. Концентрация *A. curvatulus* + *Th. trifulta* остается в пределах 5–12%. В нижней половине горизонта обнаруживается своеобразное сочетание видов разной биогеографической и экологической приуроченности: южнобореальный *Th. oestripii* с содержанием до 3–6%, сублиторальный *P. sulcata* – до 2–5%, в небольшом количестве неритические продуктивные *Chaetoceros* spp. – до 1–3%, в самом низу, одновременно с максимумом *N. seminae*, ледовые виды – до 7–12%.

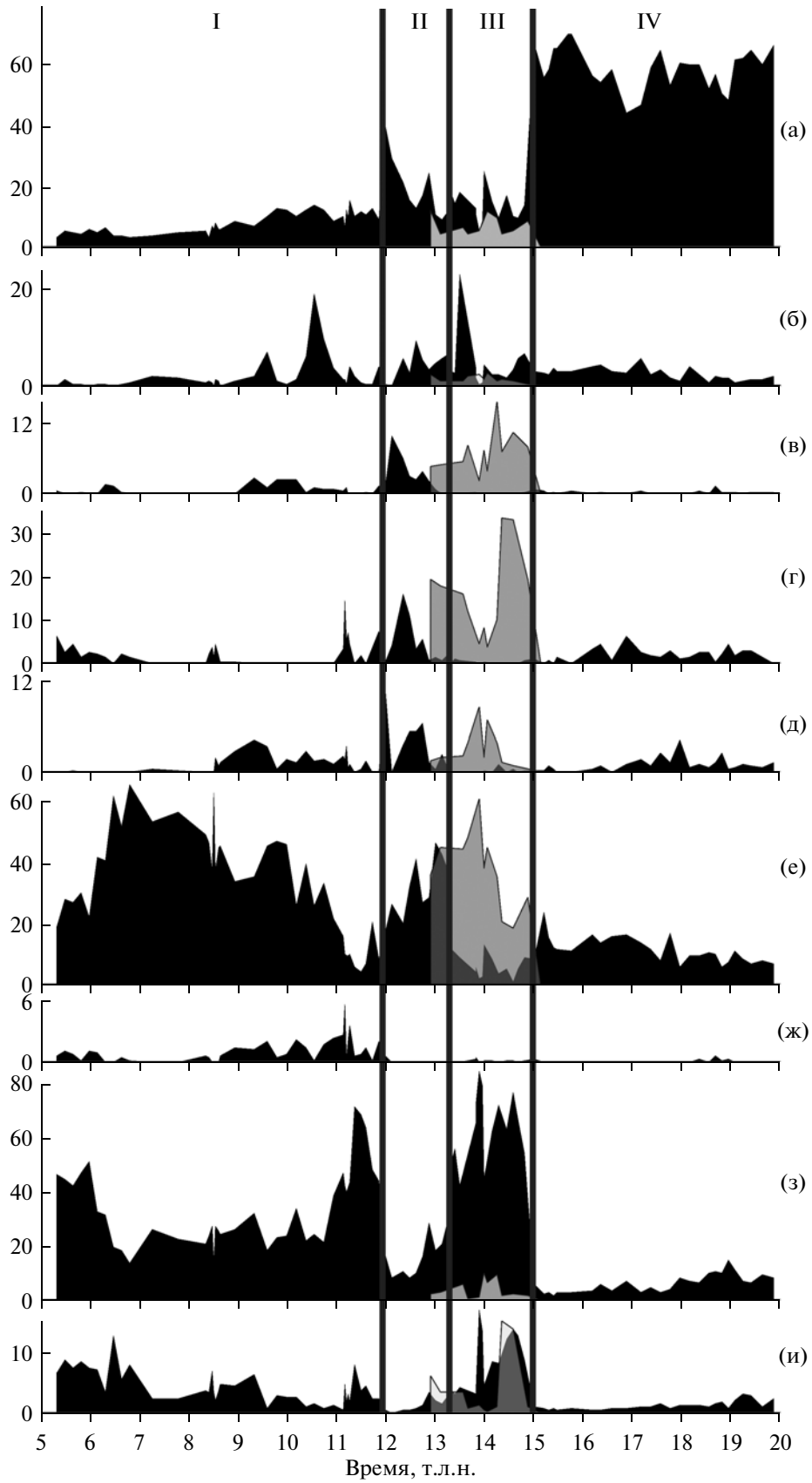
В колонке SO201-2-101KL осадков этого горизонта нет.

ОБСУЖДЕНИЕ

В соответствии с современными представлениями о глобальной и региональной климатостратиграфии и палеогеографии можно соотнести выявленные нами горизонты с крупными палеоклиматическими интервалами за последние 20 т.л.: **горизонт IV** – конец последнего плейстоценового оледенения (поздний валдай/висла/висконсин), **горизонт III** – потепление хронозоны бёллинг/аллерёд, **горизонт II** – последнее сильное похолодание конца плейстоцена в хронозоне поздний дриас, **горизонт I** – первая половина голоцена (рис. 2). Мы приводим усредненные возрастные границы интервалов, т.к. в данной статье характеризуем основные черты палеоокеанологических изменений.

В конце последнего оледенения 20–15 т.л.н. близкая к берегу северная часть хребта Ширшова в Беринговом море могла быть полностью блокирована льдом, о чем свидетельствует почти полное отсутствие диатомей в соответствующих по возрасту осадках. О широком распространении ледового покрова в это время на севере и западе моря над шельфом, континентальным склоном, хребтом Ширшова и соседними глубоководными районами говорит обнаружение ледовых диатомей *Fragilariopsis oceanica* и *Melosira arctica* в отложениях последнего оледенения [2, 25]. Кроме того, на севере хр. Ширшова было вероятным сильное “раз-

Рис. 2. Распределение диатомей в изученных колонках. Черным цветом даны графики для колонки SO201-2-12KL, серым – SO201-2-101KL. Горизонты и палеоклиматические интервалы: I – ранний голоцен, II – поздний дриас, III – бёллинг–аллерёд, IV – конец последнего оледенения. Относительное содержание основных видов (%): (а) – *A. curvatulus* + *Th. trifulta*, (б) – *C. marginatus*, (в) – *Chaetoceros* spp., (г) – *F. cylindrus* + *F. oceanica*, (д) – *P. sulcata*, (е) – *Th. gravida*, (ж) – *Th. oestripii*, (з) – *N. seminae*. Общая численность диатомей (и) измеряется в $N \times 10^5$ экз/г. Графики построены в компьютерной программе PanPlot <<http://www.pangaea.de>>.



бавление” осадков крупнозернистым терригенным материалом [4]. В районе континентального склона Восточной Камчатки, судя по высоким концентрациям *A. curvatulus* и *Th. trifulta*, видимо, фиксируется четкая вертикальная стратификация воды с подповерхностным дихотермальным слоем. Комплексы, отвечающие данному временному интервалу, характеризуются низкой общей численностью, но ледовые диатомеи играют в них незначительную роль. Развивались практически моновидовые ассоциации диатомовых водорослей с постоянным во времени доминированием *Th. trifulta* (рис. 2) как вероятным признаком устойчивой палеоэкологической обстановки в приповерхностном слое, где преобладали водные массы, типичные сейчас для центральных глубоководных круговоротов субарктических дальневосточных морей с отсутствием сплошных льдов.

Резкое потепление бёллинг/аллерёд 15–13.3 т.л.н. проявилось совершенно по-разному в географически близких районах. Общая численность диатомей резко увеличилась в обоих районах (рис. 2), что было логичным в результате прогрева воды на 2–3°C в ЮЗ Беринговом море и на 3–5°C у Восточной Камчатки [18, 22], увеличения поставки биогенных элементов в Северную Пацифику с речным стоком, усиления приповерхностной стратификации, которое обеспечивало многократную реминерализацию биогенных элементов фитопланктоном [20]. Но повышение общей численности диатомей в разных районах обеспечивалось разными палеоокеанологическими изменениями. Судя по составу диатомей, на севере хр. Ширшова существовала динамичная краевая ледовая зона. Можно говорить о сплошных зимних льдах (содержание ледовых видов диатомей до 34%), но активном весеннем таянии льда, усиленном перемешивании вод, высокой неритической биопродуктивности. Условия краевой ледовой зоны в наибольшей мере характерны для начала и конца хронозоны бёллинг–аллерёд. В середине хронозоны происходило улучшение местных палеоклиматических условий, и наступала неритическая обстановка, сходная с нынешней на северо-западном мелководье Берингова моря; проявилось небольшое влияние аляскинских водных масс. На континентальном склоне Восточной Камчатки льды почти отсутствовали, а палеосреда на поверхности океана была полностью под влиянием аляскинских вод. В данном районе при резком потеплении преобладание моновидовой “ледниковой” палеофлоры сменилось доминированием северо-бореального вида *N. seminae*, основного участника современной пелагической продукции биогенного кремнезема на севере субарктической Пацифики [23].

Последнее сильное похолодание позднего плейстоцена в хронозоне поздний дриас 13.3–11.8 т.л.н. прослежено полностью только в колонке SO201-2-12-KL. Для севера хр. Ширшова у нас

есть сведения только по продолжению существования краевой ледовой зоны в начале похолодания позднего дриаса, затем микропалеонтологическая летопись прерывается. На континентальном склоне Восточной Камчатки произошла резкая смена палеоэкологической обстановки в сторону неритической с небольшим, даже меньшим, чем во время окончания последнего оледенения, влиянием вод открытого океана. Судя по увеличению содержания ледовых диатомей (рис. 2), во второй половине позднего дриаса усиливалось развитие зимнего ледового покрова. На наш взгляд, отмеченное по диатомеям похолодание в позднем дриасе могло быть самым значительным в данном районе за последние 20 тл.

В начале голоцена у Восточной Камчатки, вероятно, уже существовали резко контрастные сезонные условия. В составе комплексов диатомей интервала 11.8–11 т.л.н. отмечены ледовые виды, тепловодный вид *Th. oestrupii* и, в больших количествах, северо-бореальный вид *N. seminae*; присутствие неритических форм незначительно (рис. 2). Такое сочетание диатомей в комплексе является возможным доказательством существования зимнего морского льда при активном поступлении в Северо-Западный круговорот водных масс Аляскинского течения и из южной периферии субарктической Пацифики. Наши данные подтверждают высказанное ранее предположение о большом сезонном ходе палеоклимата в начале голоцена в СВ Азии [11], а также сведения о сочетании контрастной наземной флоры (кустарниковая тундра и листопадные деревья) на больших пространствах Берингии [13]. Позднее 11 т.л.н. в раннем голоцене у восточной Камчатки складываются палеоокеанологические условия, сходные с современными: в комплексах диатомей обнаруживаются признаки берингоморских прибрежных и аляскинских открытоокеанических водных масс.

Работа выполнена в рамках проекта ИО РАН № 0149-2014-0027, при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 12-05-00979-а) и Программы фундаментальных исследований № 23 Президиума Российской академии наук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гладенков Ю.Б. Стратиграфия морского неогена северной части Тихоокеанского пояса. М.: Наука, 1988. 212 с.
2. Жузе А.П. Стратиграфические и палеогеографические исследования в северо-западной части Тихого океана. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 259 с.
3. Жузе А.П., Мухина В.В., Козлова О.Г. Диатомеи и силикофлагелляты в поверхностном слое осадков Тихого океана // Тихий океан. Микрофлора и микрофауна в современных осадках Тихого океана. М.: Наука, 1969. С. 6–47.
4. Левитан М.А., Кузьмина Т.Г., Лукина В.Л. и др. Позднеплейстоценовая история осадконакопле-

- ния на подводном хребте Ширшова (Берингово море) // Геохимия. 2013. № 3. С. 195–228.
5. Полякова Е.И. Арктические моря Евразии в кайнозое. М.: Научный мир, 1997. 146 с.
 6. Пушкарь В.С., Черепанова М.В. Диатомей плиоцена и антропогена Северной Пацифики: (Стратиграфия и палеоэкология). Владивосток: Дальнаука, 2001. 228 с.
 7. Цой И.Б., Шастина В.В. Кайнозойский кремнистый микропланктон из отложений Охотского моря и Курило-Камчатского желоба. Владивосток: Дальнаука, 2005. 181 с.
 8. Akiba F., Yanagizawa Y. Taxonomy, morphology and phylogeny of the Neogene diatom zonal marker species in the middle-to-high latitudes of the North Pacific // Initial Reports DSDP. 1986. V. 87. P. 483–554.
 9. Barron J.A. Late Cenozoic diatom biostratigraphy and paleoceanography of the middle-latitude eastern North Pacific, Deep Sea Drilling Project Leg 63 // Initial Reports DSDP. 1981. V. 63. P. 507–538.
 10. Barron J.A., Bukry D., Dean W.E. et al. Paleoceanography of the Gulf of Alaska during the past 15000 years: Results from diatoms, silicoflagellates, and geochemistry // Marine Micropaleontology. 2009. V. 56. P. 81–102.
 11. COHMAP Members. Climatic changes of the last 18000 years: Observations and model simulations // Science. 1988. V. 241. P. 1043–1052.
 12. Cruise Report SO201-2 KALMAR / Eds. Dullo W.-C. et al. IFM-GEOMAR Report. 2009. № 35. 233 p.
 13. Edwards M.E., Brubaker L.B., Lozhkin A.V., Anderson P.M. Structurally novel biomes: a response to past warming in Beringia // Ecology. 2005. V. 86. P. 1696–1703.
 14. Gorbarenko S.A., Psheneva O.Y., Artemova A.V. et al. Paleoenvironment changes in the NW Okhotsk Sea for the last 18 kyr determined with micropaleontological, geochemical, and lithological data // Deep-Sea Res. I. 2010. V. 57. P. 797–811.
 15. Kazarina G.K., Yushina I.G. Diatoms in recent and Holocene sediments of the North Pacific and the Bering Sea // Berichte zur Polarforschung. 1999. V. 306. P. 134–148.
 16. Koizumi I. Late Neogene paleoceanography in the western North Pacific // Initial Reports DSDP. 1985. V. 86. P. 429–438.
 17. Koizumi I., Shiga K., Irino T., Ikehara M. Diatom record of the late Holocene in the Okhotsk Sea // Marine Micropaleontology. 2003. V. 49. P. 139–156.
 18. Max L., Riethdorf J.-R., Tiedemann R. et al. Sea surface temperature variability and sea-ice extent in the subarctic Northwest Pacific during the past 15,000 years // Paleoceanography. 2012. V. 27. PA3213, doi:10.1029/2012PA002292.
 19. NOAA's Pacific Marine Environmental Laboratory <http://www.pmel.noaa.gov>.
 20. Nürnberg D., Tiedemann R. Environmental change in the Sea of Okhotsk during the last 1.1 million years // Paleoceanography. 2004. V. 19. PA4011, doi:10.1029/2004PA001023.
 21. Ren J., Gersonde R., Esper O., Sancetta C. Diatom distributions in northern North Pacific surface sediments and their relationship to modern environmental variables // Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2014. V. 402. P. 81–103.
 22. Riethdorf J.-R., Max L., Nürnberg D. et al. Deglacial development of (sub) sea surface temperature and salinity in the subarctic northwest Pacific: Implications for upper-ocean stratification // Paleoceanography. 2013. V. 28. P. 91–104.
 23. Takahashi K., Fujitani N., Yanada M., Maita Y. Long-term biogenic particle fluxes in the Bering Sea and the central subarctic Pacific Ocean, 1990–1995 // Deep-Sea Res. I. 2000. V. 47. P. 1723–1759.
 24. Sancetta C. Oceanographic and ecologic significance of diatoms in surface sediments of the Bering and Okhotsk seas // Deep-Sea Res. 1981. V. 28A. № 8. P. 789–817.
 25. Sancetta C., Robinson S.W. Diatom evidence on Wisconsin and Holocene events in the Bering Sea // Quaternary Res. 1983. V. 20. № 2. P. 232–245.
 26. Sancetta C., Silvestri S.M. Pliocene-Pleistocene evolution of the North Pacific ocean-atmosphere system, interpreted from fossil diatoms // Paleoceanography. 1986. V. 1. P. 163–180.
 27. Schrader H.J. Cenozoic diatoms from the northeast Pacific, Leg 18 // Initial Reports DSDP. 1973. V. 18. P. 673–797.
 28. Uda M. Oceanography of the subarctic Pacific Ocean // J. of the Fisheries Research Board of Canada. 1963. V. 20. № 1. P. 119–179.

Paleoclimatic Changes in the Northwestern Subarctic Pacific during the Last 20 Kyr Based on Diatom Data

M. A. Smirnova, G. Kh. Kazarina, A. G. Matul, L. Max

Micropaleontological study of two sediment cores, which were obtained within the international project KALMAR on the continental slope of the eastern Kamchatka and on the northern Shirshov Ridge in the Bering Sea, is conducted. For the last 20 kyr, the regional environmental changes of the main paleoclimatic intervals are described: end of the last glaciation 20–15 ka, Bølling-Allerød warming 15–13.3 ka, Younger Dryas cooling 13.3–11.9 ka, Early Holocene 11.9–5 ka. The sharpest but differently manifested in the neighboring areas of the NW Pacific changes occurred during the transition from the last glacial time to the Holocene. Bølling-Allerød warming led to the formation of a highly productive marginal ice zone on the Shirshov Ridge and to open-ocean conditions at the eastern Kamchatka with the dominations of Alaska water masses. Younger Dryas cooling on the continental slope of Kamchatka could be the most prominent for the last 20 kyr: unlike the end of the last glaciation, the neritic situation dominated here, and there was a winter ice cover. At the beginning of the Holocene, probably, seasonally contrasting surface conditions existed in the northwestern corner of the open subarctic Pacific since there are signs of both winter sea ice and penetration of south-boreal water masses.