

## ЭКСТРЕМАЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ СОБЫТИЯ В БАССЕЙНЕ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В ПОСЛЕДНИЕ 60 ТЫС. ЛЕТ

Ю.А. Лаврушин

Главное внимание в настоящей статье сосредоточено на следующих разноплановых типах экстремальных событий: грандиозных изменениях в соотношении суши и моря, реконструкции элементов палеомаринологии окраинных морей севера Евразии и особенно высокой динамичности смены различного типа водных масс, кризисных моментах геологической истории морского ледового покрова Северного Ледовитого океана и, наконец, установление активизации тектоно-геодинамических событий.

**Грандиозные изменения в соотношении суши и моря в последние 60 тыс. лет произошли во время последнего оледенения позднего плейстоцена.** Со временем этого оледенения связана глобальная регрессия, в ходе которой уровень Северного Ледовитого океана понижался на 110–120 м [Марков, Суетнова 1964]. В результате значительные участки дна мелководных морей (имеются ввиду западно-арктические моря, прежде всего Баренцево и Карское) были осушены и стали ареной воздействия различного типа гляциальных процессов, свойственных субаральным обстановкам. С деятельностью ледниковых щитов, распространившихся на осушенные пространства шельфовых морей, связано образование экзарационных и аккумулятивных типов ледникового рельефа, а также гляциодислокационных форм рельефа.

Таким образом, во время оледенения наиболее значительными событиями явились: значительное расширение суши, существенное обмеление водных бассейнов по крайней мере западно-арктических морей, широкое распространение ледниковых покровов на шельфы.

Во время деградации оледенения – в позднеледниковье – по существу, тренд изменения соотношения суши и моря имел обратную направленность, что было связано с быстро развивающейся позднеледниковой трансгрессией. На мелководных шельфах современных Баренцева и Карского морей в ходе трансгрессии с большой скоростью происходило разрушение последнего ледникового покрова. При этом это было связано

не только с поверхностной, но и с **экстремальной субмаринной абляцией** ледникового покрова. В результате в зарождающемся в позднеледниковье мелководном осадочном бассейне господствовало специфическое осадконакопление, важнейшей особенностью которого было **преобладание гляциотурбидитов**. Среди последних **значительная роль принадлежала суспензионно-мутьевым потокам**, которыми был обусловлен **лавиновый тип седиментогенеза** [Лаврушин, 2005]. С этим седиментационным процессом связано накопление толщи ленточноподобных ритмичнослоистых отложений с прямой градиационной слоистостью. Максимальная мощность толщи отложений достигает 70 м [Чистякова, Лаврушин, 2004]. Поляк и др. [Polyak et al., 1995] установили, что накопление этой толщи происходило в два кратковременных этапа гляциомаринной седиментации. Первый из них охватывал интервал времени 12,7–12,2 тыс. л.н. ( $C^{14}$  возраст) – беллинг, а второй 10,5–9,9 тыс. л.н. вторая половина молодого дриаса – начало пребореала, что соответствует двум экстремальным импульсам гляциомаринной седиментации в Норвежском море в ходе происходившей позднеледниковой трансгрессии [Polyak et al., 1995].

В последние годы по опубликованным материалам А.С.Лаврова и Л.М.Потапенко [2005] удалось реконструировать более детальную динамику позднеледниковой трансгрессии. По данным этих исследователей на юго-восточном побережье Баренцева моря от Чешской губы до Хайпудырской губы почти повсеместно на протяжении 800 км распространена так называемая прибрежная терраса, максимальная высота которой достигает 30 м; в направлении на восток она снижается. Одной из важных особенностей строения этой террасы является наличие в толще прибрежно-морских отложений прослоев разновозрастных торфяников, свидетельствующих о регрессивных кратковременных фазах в развитии позднеледниковой трансгрессии. Анализ имевшихся многочисленных радиоуглеродных датировок этих торфяников [Лавров, Потапенко,

2005], а также опубликованные материалы по смежным регионам [Polyak et al., 1995 и др.] позволили создать более детальную динамику изменений уровня Баренцева моря во время позднеледниковой трансгрессии (рис. 1). Прежде всего было установлено, что ее максимальный уровень был около 11 тыс.л.н., т.е. в аллереде. Позднее выявился прерывисто-снижающийся тренд трансгрессии, который своего минимума достиг около 10,3 тыс.л.н. Эта наиболее крупная регрессивная фаза, названная нами событием Варандей, имела возраст около 10,5–10,3 тыс.л.н. Это событие выделяется по торфянику, вскрытому на дне моря на глубине около 15 м вблизи пос. Варандей, который отражает наиболее низкое положение уровня моря. Кроме того установлены еще две кратковременные регрессивные фазы, возраст которых, судя по датировкам торфяников, был около 10,0–9,7 и 9,3–9,0 тыс.л.н. В целом упомянутые фазы снижения уровня позднеледниковой трансгрессии связаны, скорее всего, с кратковременными глобальными похолоданиями, которые существенно замедляли процессы деградации ледникового покрова. Остается лишь дополнить, что еще одна более древняя регрессивная фаза фиксируется на временном уровне около 11,7 тыс.л.н.

Необходимо также напомнить, что одной из важных особенностей деградации частей ледниковых покровов, находившихся на шельфах, является активное разрушающее воздействие на глетчерный лед вод позднеледниковой трансгрессии. Эти воды, внедряясь по трещинам в толщу льда, при одновременном повышении уровня моря образовывали многочисленные заливы глубоко вдающиеся в шельфовый ледниковый покров, что способствовало повышению скорости его деградации [Гросвальд, 1983]. Подобный процесс разрушения шельфового ледника был отнесен нами к одному из типов субмаринной абляции.

Наконец, важно отметить еще одно экстремальное событие позднеледниковья. В данном случае речь идет о катастрофических спусках подпруженных последним оледенением озерных водоемов, возникших в речных долинах. Подобные бассейны существовали в долинах Печоры, Оби, Енисея и их спуск был дополнительным фактором, способствовавшим как разрушению ледникового покрова, так и выносу на шельф огромного количества терригенного материала, образовавшего значительные дельтоподобные конуса выноса. Так, например, в приустьевой части Печоры в Печорском море имеются песчаные островки, так называемые Гуляевские кошки, являющиеся сохранившимся фрагментом одного из дельтоподобных конусов.

Итак, подведем некоторые итоги. Своеобразие процесса дегляциации арктических шельфов было связано не только с потеплением климата, воздействие которого в Арктике было менее интенсивно, чем в средних широтах, но и с водами позднеледниковой трансгрессии. Скорость разрушения ледникового покрова оказалась катастрофической; близкими по скорости процесса оказались изменения и в соотношении суши и моря. Как показывают расчеты, акватория Баренцева моря (включая Печорское) воссоздалась примерно за время около 2 тыс.лет. При этом, за этот короткий интервал времени в арктических широтах были уничтожены шельфовые ледниковые покровы и море проникло вглубь суши – с запада на восток – от бровки континентального склона более, чем на 1000 км. Как упоминалось, значительное влияние на разрушение ледникового покрова также оказывал катастрофический спуск подпруженных озерных водоемов, который имел, однако, локальное значение.

Наконец, значительный интерес представляла собой внутренняя динамика позднеледниковой трансгрессии, осложненная неоднократными кратковременными снижениями и повышениями уровня моря, что было продемонстрировано на рис. 1.

Теперь кратко рассмотрим изменения в позднеледниковое время в соотношении суши и моря в арктическом районе, не подвергавшемся материковому оледенению. Наибольшее количество материалов в этом плане имеется для моря Лаптевых, где работала международная российско-германская экспедиция. Кроме того по данным отечественных исследователей на о.Котельном и Новосибирских о-вах, а также на прилегающей с востока к территории Приморской низменности, в толще позднеледниковых отложений распространены лишь континентальные образования. Характерной особенностью этих отложений является их мерзлое состояние и содержание в них различных типов толщ льда, часть из которых имеет значительные мощности. По данным бурения на дне моря Лаптевых под маломощным покровом морских отложений распространены также континентальные отложения.

В пределах различных частей акватории моря Лаптевых российско-германской экспедицией было поднято 14 колонок донных отложений, характеризующих верхнюю часть континентального склона, а также внешний, центральный и внутренний шельфы [Vauch et al., 2001]. По морскому биогенному кальциту из этих колонок в различных лабораториях (Университеты Килья и Аархус – соответственно, Германия и Дания) было получено 119 радиоуглеродных дат. Анализ

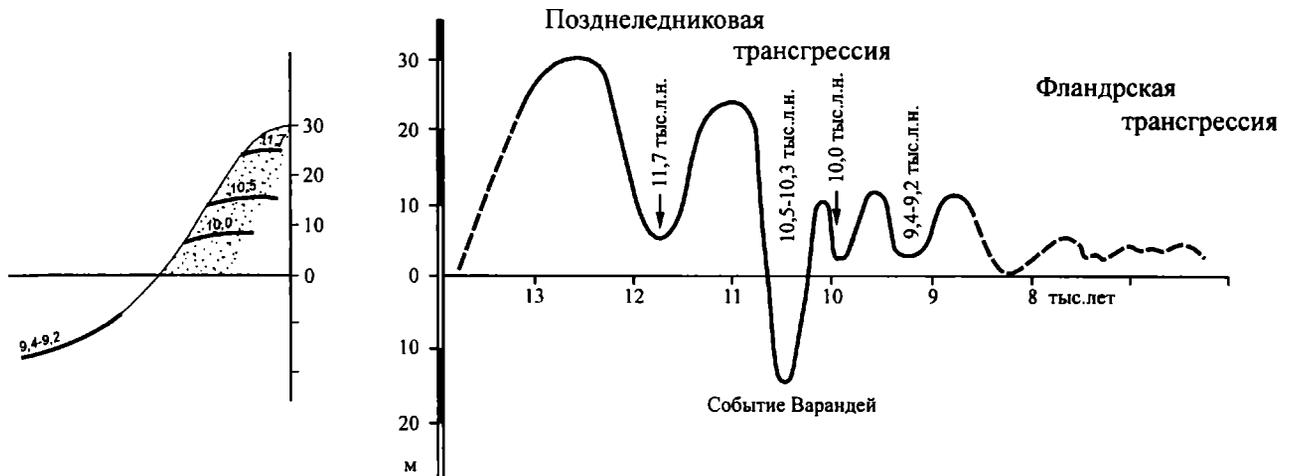


Рис. 1. Изменения уровня Баренцева моря во время позднеледниковой трансгрессии

этих датировок, проведенный нами, показал, что море Лаптевых в своей значительной части возникло в самом конце аллерода – в молодом дриасе в интервале времени 11,2–10,2 тыс. л. н. (здесь и далее дается  $C^{14}$ -возраст). При этом внешний шельф начал образовываться в конце аллерода – в начале молодого дриаса (наиболее древняя датировка этого события имеет возраст  $11060 \pm 70$ ), а центральный шельф формировался с конца молодого дриаса (наиболее древняя датировка 10,3 тыс. л. н.) до середины бореала. Внутренний шельф образовывался в основном в атлантический период голоцена, хотя имеется одна датировка самого конца бореального времени. Колонка с этой датировкой расположена юго-западнее о. Котельного в долиноподобной рытвине, которая сопоставляется с древней долиной Яны или новейшим грабеном. Возможно, что в раннем голоцене в этой депрессии в начале бореала располагался палеозалив. Наиболее высокий уровень в голоцене был в конце атлантического периода – в фландрскую трансгрессию [Vauch et al., 2001].

Подводя итоги изложенному материалу можно констатировать, что, судя по имеющимся датировкам, за 800–1000 лет воды Арктического океана вторглись в пределы суши примерно на 500 км, образовав акваторию моря Лаптевых (рис. 2). Подобное катастрофическое изменение в соотношении суши и моря было обусловлено тремя факторами: повышением уровня моря в конце позднеледниковой трансгрессии, интенсивностью процессов абразии льдонасыщенных пород, что свойственно для них и в настоящее время, а также проградацией хр. Гаккеля, по существу тектоническими процессами. Не исключено, что в начале молодого дриаса процессы проградации стали более интенсивными и в результате была образована грабеноподобная депрессия, по которой происходило проникнове-

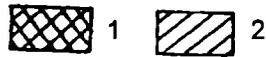
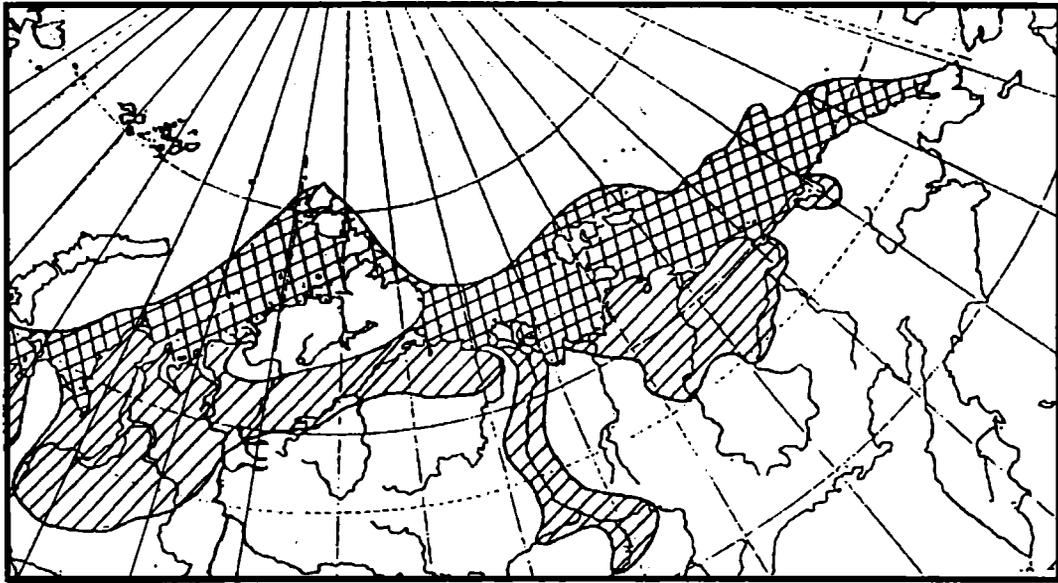
ние трансгрессии вглубь суши в виде ингрессионного залива, что способствовало увеличению интенсивности процессов абразии многолетнемерзлых пород. Не исключено, что проникновение морских вод и образование ингрессионных заливов, внедрявшихся вглубь области распространения континентальных толщ первоначально также происходило по палеодолинам Оленека, Хатанги-Анабара и упоминавшейся палеодолине Яны, что в конечном итоге способствовало интенсификации процессов абразии.

Наконец необходимо упомянуть об изменениях в соотношениях суши и моря, не связанных непосредственно или косвенно с ледниковыми событиями в более древнее каргинское время. В качестве примера можно упомянуть каргинскую трансгрессию среднего валдая на севере Европейской России. На полуострове Канин, в приустьевой части левобережья долины р. Мадахи имеется обнажение, в котором имеются две пачки морских отложений отделенных друг от друга прослойкой торфа [Лаврушин, Эпштейн, 2002], для последнего была получена конечная датировка 42 тыс. лет. Этот прослой торфа фиксирует фазу снижения уровня моря и последующий второй трансгрессивный этап. Скорее всего, подобная динамика этой трансгрессии была связана с кратковременными эвстатическими колебаниями уровня моря.

Проникновение данной трансгрессии вглубь суши было сравнительно незначительным и фиксируется лишь в пределах приустьевых частей крупных древних долин, в которых образовывались ингрессионные заливы.

#### Изучение особенностей палеомаринологии окраинных морей севера Евразии

Исследования в области реконструкции особенностей палеомаринологии арктических морей



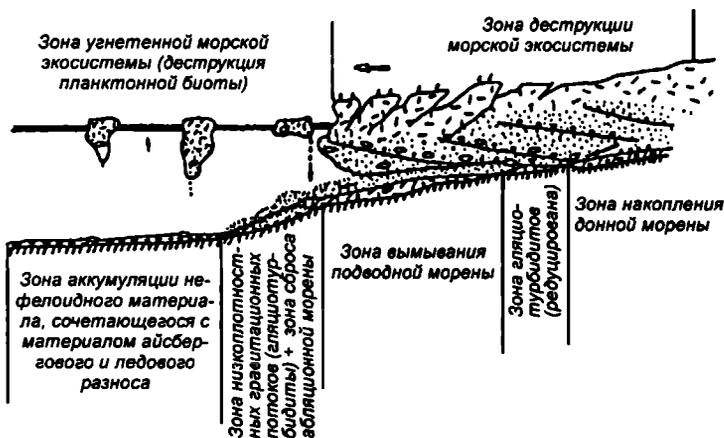
**Рис.2.** Экстремальное изменение в соотношении суши и моря в завершающей фазе позднего плейстоцена и в голоцене в восточной части арктического побережья азиатской части России  
1 – затопление суши; 2 – области интенсивного проявления термокараста

севера Евразии находятся в своей начальной фазе. Поэтому в настоящей статье будет обращено внимание лишь на некоторые направления исследований по этой проблеме. Первое из них – это пространственно-латеральное и вертикальное расслоение водной толщи по солености, что было связано одновременными процессами – деградацией ледниковых покровов на суше, сопровождавшейся поступлением в бассейн обилия талых вод, и позднеледниковой трансгрессией. Что касается пространственно-латерального расслоения водной толщи вблизи разрушающегося ледникового покрова, то речь в данном случае идет о приледниковой и удаленной от ледникового покрова частей водного бассейна. Главными особенностями приледниковой части бассейна являлись преимущественно пресноводный или слабосоленоватоводный типы водной массы и господство в ней процессов осадконакопления, связанных с различными типами гляциотурбидитов [Чистякова, Лаврушин, 2004]. Благодаря незначительной солености, часто и пресноводности, а также высокоплотным суспензионно-мутевым потокам эта прилегающая к леднику субмаринная перигляциальная зона представляла собой подводную «мертвую» пустыню. Подобный вывод основывается на том, что каких либо захороненных остатков биоты в толще формирующихся в этой обстановке осадков (за исклю-

чением самых верхов разреза) обычно не имеется. Так, например, в фьорде Хорсунн в южной части о. Западный Шпицберген в области господства суспензионных потоков, образованных талыми ледниковыми водами не имеется ни бентосной, ни планктонной фауны [Gorlich et al., 1987]. Об этом же свидетельствует (в отношении бентоса) хорошо выраженная слоистость и отсутствие биотурбаций. Это позволяет рассматривать зону субмаринной пустыни, как район экологического хиатуса, отражающего кризисную ситуацию в морской экосистеме.

Ближе к периферии субмаринной «пустыни», где плотность суспензионных потоков уменьшается, в ходе позднеледниковой трансгрессии, под них в виде клиновидных языков начинают внедряться более тяжелые морские воды, что способствует возникновению вертикальной расслоенности водной толщи и проникновению в ее нижнюю часть бентоса. Значительная мутность воды создает неблагоприятные условия для проникновения планктона. Поэтому периферия зоны субмаринной пустыни в экологическом плане может рассматриваться как зона появления пионерных видов бентоса. Естественно, при высокой динамичности фронтальной части ледника возможна миграция как областей осадконакопления, так и соответственно разного типа экологических обстановок, что показано на (рис. 3).

А



Б

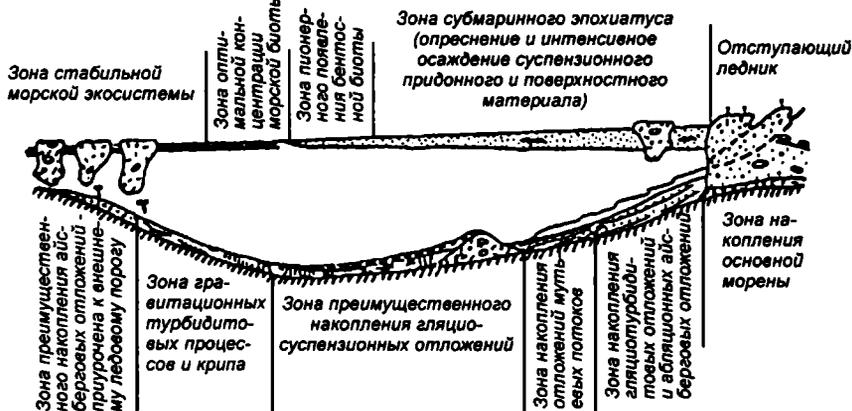


Рис. 3. Зональность областей осадконакопления и экологические ситуации в трансгрессивную (А) и регрессивную (Б) стадии ледника (фьордовый вариант).

Следующий малоизученный вопрос, который необходимо обсудить хотя бы в постановочном плане – это время возникновения сложной системы морских течений в шельфовых морях арктической части Евразии. В этой связи можно отметить лишь несколько моментов. Первый из них, который позволяет получить информацию о направленности морских течений, связан с изучением биоты. В этом отношении для интересующего нас временного интервала оказались весьма показательны результаты изучения ассоциаций фораминифер в голоценовых отложениях арктических морей Евразии (см. статью И.М.Хоревой в настоящем Бюллетене).

Анализ публикуемой в статье И.М.Хоревой таблицы позволяет сделать следующие выводы. В голоцене господствующими зоогеографическими типами ассоциаций фораминифер являются арктический и бореально-арктический. Лишь на западной и восточной окраинах шельфовых морей

российской части Евразии в атлантическое и субатлантическое время появляются арктическо-бореальные ассоциации. По составу фораминифер арктическо-бореальные и бореально-арктические ассоциации свидетельствуют о том, что в Баренцево, Карское моря и море Лаптевых в запада проникали как собственно атлантические воды, так и их трансформируемые аналоги. В Чукотском море подобного типа ассоциации связаны с тихоокеанскими водами. Далее на этой же таблице фиксируется периодическая смена господства указанных выше типов ассоциаций. Для раннего голоцена и суббореала в отложениях шельфовых морей установлено доминирование арктических ассоциаций фораминифер, что связано с приближением к побережью полярных водных масс. Важно отметить, что именно в эти временные интервалы на прилежащей суше по результатам работ многих исследователей отмечается достаточно значительное похолодание, а в суббореале на

Европейской части российского севера впервые в голоцене появилась зона тундры. Необходимо отметить также обнаружение в отложениях атлантического периода голоцена моря Лаптевых наряду с бентосными, планктонных фораминифер, что не исключает появление (правда, в весьма предположительной форме) последних в связи с зарождением так называемой Великой Сибирской полыньи, которая в той или иной форме существовала и существует до настоящего времени.

Как было показано ранее, в суббореале возникло холодное Восточно-Шпицбергенское течение на северо-западе Баренцева моря, что характеризует изменчивость палеомаринологии арктических морей [Лаврушин и др., 1995].

Наконец, в последние десятилетия появились новые данные о палеоокеанологических событиях. В частности речь идет об адвекции атлантических вод в полярную часть Атлантического океана, а также о появлении талых ледниковых вод в высокоширотных океанских частях Арктики. Но нам удобнее эти палеоокеанологические события рассмотреть в следующем разделе статьи, поскольку они оказывают непосредственное влияние на ледовитость океана.

#### **Материалы к геологической истории ледовитости Северного Ледовитого океана в последние 60 тыс. лет**

В настоящее время среди значительной группы исследователей в том числе авторов реконструкций природной обстановки проекта CLIMAP распространены представления о термодинамической устойчивости морского ледового покрова Северного Ледовитого океана. Более того, в некоторых работах говорится о непрерывности существования ледового покрова на протяжении нескольких миллионов лет. Однако в последнее десятилетие в связи с глобальным потеплением климата отмечены важные изменения в структуре водной массы, в морской биоте и в ледовом покрове океана. В отношении последнего, как показала космическая съемка, в последнее время в океане вплоть до Северного полюса начали возникать огромные полыньи, отражающие внезапное событие частичной деструкции морского ледового покрова Северного Ледовитого океана.

Анализ имеющихся публикаций, в которых в той или иной степени затрагивается эта проблема, показал, что в геологической истории морского ледового покрова Северного Ледовитого океана неоднократно возникали эпизоды экстремального уменьшения ледовитости, существенно более масштабные, чем возникшие в настоящее время. Важной методической основой для по-

добного вывода явились установленные корреляционные связи кислородно-изотопных стадий и подстадий, обнаруженных в Гренландском ледниковом покрове и в донных отложениях северной части Атлантического океана, вскрытых скважинами и колонками, со слоями (событиями) Хейнриха [Heinrich, 1988]. Эти события фиксируют эпизоды массового сброса материала ледового разноса тающих айсбергов и фрагментов морского льда. Второй важной методической основой сформированного вывода явилось обнаружение в отложениях высокоширотных районов Атлантики планктонных фораминифер, фиксирующих эпизоды разрушения морского ледового покрова и существование открытого океана. Более того, фораминиферы, а в некоторых случаях совместно с кокколитами, участвуют в толще океанских осадков в сложении так называемых высокопродуктивных слоев (НР). Эти слои фиксируют неоднократные (по составу планктонных специй) процессы адвекции атлантических вод в высокоширотные районы Атлантического океана, способствовавшие увеличению интенсивности процессов таяния значительных объемов морского льда и айсбергов, приповерхностной редукции солености и, соответственно, вертикальному расслоению океанской водной массы.

Несомненно значительный вклад в выявление временной последовательности интенсивного проявления процессов сброса материала ледового разноса (IRD) был сделан Хейнрихом [Heinrich, 1988] при изучении донных колонок, поднятых в северо-восточной части Атлантического океана в районе возвышенности Драйзек (глубины от 3900 до 4550 м).

В изученных колонках донных отложений в пределах позднего плейстоцена Х.Хайнрих выявил шесть интервалов повышенного содержания материала ледового разноса (фракции 180–3000 мм). Одновременно изучались планктонные фораминиферы, среди которых установлены фораминиферы поверхностных холодных вод: *Neogloboquadrina pachiderma* (S.); поверхностных теплых вод: *G. truncatulinoides*, *G. scitula*, *G. ruben* и *G. hirsute*; поверхностных умеренных (промежуточных) вод: *G. inflata*. Необходимо отметить, что в ходе исследований было установлено, что наибольшее процентное содержание *N.pachiderma*, являющейся одним из индикаторов поверхностных холодных талых вод почти полностью совпадает с пиками повышенного содержания в осадках материала ледового разноса.

В отношении причин происхождения слоев с повышенным содержанием материала ледового разноса, то первоначально это связывалось, глав-

ным образом, с эпизодами высокой инсоляции, которая оказывала влияние как на увеличение притока в океан пресных талых ледниковых вод, так и возрастанию интенсивности процесса айсбергообразования [Heinrich, 1988]. При этом допускалось, что максимальный или повышенный сброс на дно материала транспортируемого льдом происходило как в стадиалы, так и в холодные интервалы межстадиалов. Позднее события массового сброса материала ледового разноса стали называться событиями Хейнриха и их стали коррелировать с комплексом различных факторов: с экстремальной деградацией ледниковых щитов, с изменениями уровня океана, реорганизацией океан-атмосферной циркуляции. Кроме перечисленных причинно-следственных событий представляется несомненной связь событий Хейнриха с коллапсами морского ледового покрова не только на его периферии, но и в центральных частях Северного Ледовитого океана, что находит свое отражение в этих районах не только в повышенном содержании грубой фракции в океанских среднеплейстоценовых осадках, но и в появлении планктонных фораминифер [Spielhagen et al., 1997]. Повышенное содержание последних в отдельные временные интервалы позволяет думать, что к ним были приурочены открытые пространства океана, свободные от покрова многолетних морских льдов.

Позднее в ходе морских геологических и геохронологических работ было выявлено еще одно событие Хейнриха, получившее индексацию Н-О, которое было датировано временем 10 тыс. лет, т.е. границей молодого дриаса и пребореала (граница позднего плейстоцена и голоцена) [Bond et al., 1992; Blanchon, Shaw, 1995]. Естественно значительный интерес представила корреляция, проведенная коллективом исследователей [Bond et al., 1993] результатов кислородно-изотопных исследований по планктонным фораминиферам из отложений скв. 609 (DSDP), процентного содержания *N.pachyderma* из отложений той же скважины и скважины 23–81, событий Хейнриха, а также кислородно-изотопных исследований толщи льда скв. GRIP (Гренландия), установления циклов похолоданий (циклы Dansgaard–Oeschger) и интерстадиалов (рис. 4). Как видно из приведенного рисунка практически все события Хейнриха достаточно корректно коррелируются с облегченным кислородно-изотопным составом океанских поверхностных вод, а также установленным теплым-холодным климатическим осцилляциям. В результате проведенная корреляция позволила увязать возникновение событий Хейнриха с динамикой ледниковых щитов и климатической обстановкой.

Все изложенное показывает, что события Хейнриха отражают в морских и океанских осадках в том числе высоко динамичные изменения климата Земли, по крайней мере, в арктических и субарктических областях.

Наконец, необходимо остановиться еще на одном моменте. Речь идет об адвекции атлантических вод в северную часть бассейна Атлантического океана во время всего позднего плейстоцена и их корреляции с ледниковыми событиями на островной и материковой суше с событиями Хейнриха, а также со слоями обогащенными материалом ледового разноса (рис. 5). Следует отметить, что демонстрируемая корреляционная схема еще далека от своего совершенства и во многих случаях необходима дальнейшая детализация геологических событий, поскольку нередко сопоставляются разнопорядковые события. Тем не менее, данная схема интересна тем, что позволяет наметить пути дальнейших исследований.

Более детальные представления о внезапных процессах адвекции атлантических вод и быстрых климатических изменениях в полярной части Атлантического океана во время изотопных стадий 2–4 содержатся в работе [Dokken, Hald, 1996]. Эти изменения были установлены на основе тщательного изучения колонок океанских отложений. Одной из важных особенностей строения донных отложений явилось переслаивание осадков, обогащенных фораминиферами и кокколитами (высокопродуктивные слои – НР), и осадков, содержащих их в меньшей степени. Далее, особое внимание обращалось на количественное содержание планктонных фораминифер, поскольку постулируется, что их более высокое содержание (количество специй на грамм сухого осадка) является одним из индикаторов редукции покрова морского льда. Важным моментом явилось также выяснение количественного состава материала ледового разноса (IRD), что также связывается как с таянием морского льда и айсбергов и, соответственно, коррелируется с событиями Хейнриха.

В палеоклиматическом и палеоокеанском отношениях образование высокопродуктивных слоев связывается с адвекцией поверхностных атлантических вод в высокоширотную Арктику. При этом между частью океана, покрытого морским льдом, и относительно теплым безледным океаном создается значительный температурный градиент, который способствует усилению штормовой деятельности и возрастанию интенсивности циркуляции поверхностной водной массы. В конечном итоге это также способствует разрушению морского льда.

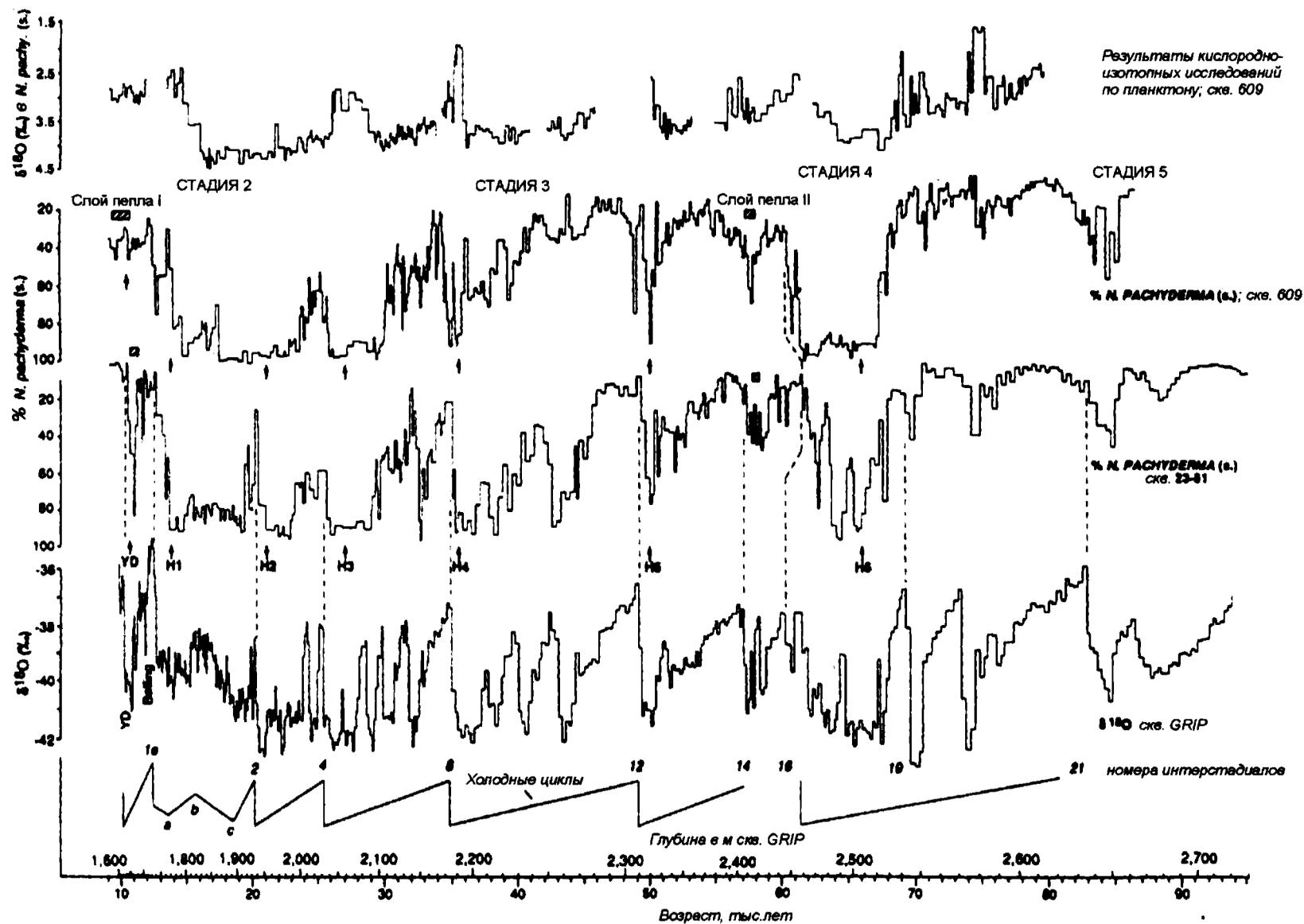


Рис. 4. Корреляция кислородно-изотопных данных по планктонным фораминиферам из отложений скв. 609 DSDP, процентного содержания *N. pachyderma* (S) из отложений той же скважины и скв. 23-81, результатов кислородно-изотопных исследований толщи льда в скв. GRIP (Гренландия), событий Хейнриха (H1-6), а также палеоклиматическая интерпретация изотопных исследований (Bond et al., 1993)

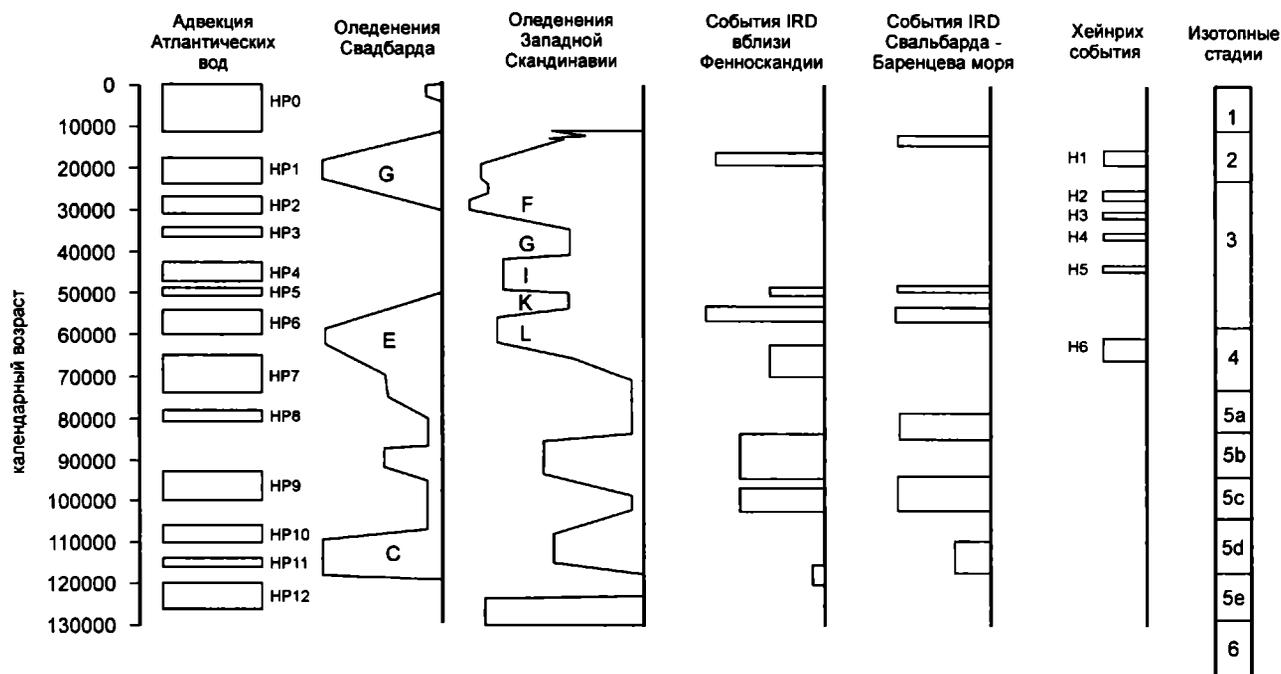


Рис. 5. Корреляция между основными периодами адвекции атлантических вод за последние 130 тыс. лет ледниковыми событиями, событиями IRD и морскими изотопными стадиями (с изменениями Hald, 2001)

В работе [Dokken, Hald, 1996] по многочисленным датировкам AMS C<sup>14</sup>, анализу изотопных событий в трех скважинах на абиссальной равнине западнее о.Зап.Шпицберген, корреляции с данными возраста, фиксируемых в скв. 909 и скв. Summit в Гренландии, линейной экстраполяции для временных интервалов более 40 тыс. лет, приводятся данные о возрасте HP-слоев, событий Хейнриха, материалы по фораминиферам. Поскольку материалы по скважинам 909 и Гренландии показаны на рис. 4 и 5 в представленной таблице они опущены и дополнены по интерстадиям среднего валдая Русской равнины (табл. 1).

Приведенные в таблице геохронологические данные, конечно, полностью абсолютизировать преждевременно. Особенно это относится к HP-4, 5, 6. Также вызывает определенные сомнения в отношении события HP-1, датировки по которому, по-существу, охватывают в данной публикации интервал времени от 19 до 15 тыс.лет, который отражает наиболее активную часть последнего оледенения, что пока не находит убедительных объяснений.

Тем не менее в работе [Hald, 2001] на основе существующих геохронологических данных утверждается, что вариации адвекций атлантических вод, фиксируемые по HP-зонам, оказываются более частыми, чем флуктуации ледниковых событий во время последнего интергляциально-гляциального цикла. Отмечается также совпадение ряда HP-зон с пиками оледенений и после-

дующими дегляциациями: имеются в виду зоны HP 10/11; HP8/HP7/HP6 и HP1/HP2. Постулируется, что для последнего оледенения были свойственны две фазы, которые коррелируются соответственно с HP1 и HP2. При этом почему-то не обсуждается вопрос о том, что часть зон HP совпадает с неледниковыми событиями. Так, например, обращают на себя внимание зоны HP3,4,5, совпадающие со средним валдаем (на Свалбарде), и не всегда очевидным является их сопоставление с ледниковыми событиями Западной Скандинавии. Все это показывает, что однозначность проведенной корреляции требует дальнейшего обоснования.

Тем не менее, как ясно из приведенной таблицы, в конце позднего плейстоцена в изотопные стадии 2-4 было по крайней мере не менее 6 проникновений (адвекций) атлантических вод в высокоширотные районы Северного Ледовитого океана. С этими адвекциями связано разрушение покрова морского льда не только за счет приносимого атлантическими водами теплового потока, но и возникавшей нестабильностью гидрографической ситуации. В частности, в зоне между океанским пространством, покрытым морским льдом, и открытым океаном. Благодаря возникающему температурному градиенту появляется так называемый коридор штормов или фронтальная зона, способствующая увеличению интенсивности циркуляции поверхностной водной массы и соответственно разрушению покрова морского льда.

**Таблица 1.** Геохронологическая корреляция высокопродуктивных зон (адвекции атлантических вод в высокоширотную Арктику), событий Хейнриха и интерстадиалов среднего валдая Русской равнины (составлена для Атлантики по материалам Dokken, Hald, 1999; Shaw, 1995; Bond et al., 1993; Hald, 2001; для Русской равнины - по материалам российских исследователей; интерстадиалы глинде и оерел - по зарубежным исследователям)

Высокопродуктивные зоны Атлантики (НР) их возраст в тыс.лет	События Хейнриха, их возраст в тыс.лет	Интерстадиалы среднего валдая Русской равнины по материалам российских исследователей
0	H <sub>c</sub> - X-XII вв.	
10	H <sub>a</sub> - 5,0	
	H <sub>0</sub> - 10,0	
	H <sub>1</sub> - 12,0 (13,5 - 14,5)	
14,5 - 19,5		
20	H <sub>2</sub> - 19,4 - 21,6	Гмелинский (19-21)
22,5 - 29,5		
	H <sub>3</sub> - 26,6 - 29,1	Дунаевский-Брянский (24-29)
30		
34,5 - 37,5	H <sub>4</sub> - 33 - 39,1	Кашинский (34-38)
40		
42,5 - 47,5	H <sub>5</sub> ок. 43 - 50	Гражданский проспект (40-44) (Глинде 50-40 - Нидерланды)
49,5 - 51,5		
54 ? 60		Оерел (Нидерланды) - 55-58
60	H <sub>6</sub> ок. 60 - 66	
70		

Естественно, как ясно из данных табл. 1, длительность процессов адвекции, их частота возникновения были неодинаковы. В этом отношении необходимо обратить внимание на то, что между началом адвекции НР1 и окончанием НР2 временной интервал составляет около 1 тыс. лет; между НР3 и НР2 – почти 5 тыс.лет, между НР3 и НР4 – также около 5 тыс.лет.

Длительность каждой адвекции атлантических вод различна и изменяется по крайней мере для зон НР-2,3,4 от 3 до 6,5 тыс.лет, что дает в какой-то степени основание думать, что процесс разрушения покрова морского льда был неодинаков и, возможно, зависел от длительности НР-зон и мощности потока атлантических вод.

Наконец, необходимо обсудить вопрос о корреляции высокопродуктивных зон с событиями Хейнриха. В этом отношении в работе [Dokken, Hald, 1996] утверждается, что как правило по

геохронологическим и изотопным данным события Хейнриха частично предшествуют или совпадают с начальными этапами формирования высокопродуктивных зон.

В заключение необходимо обратить внимание на то, что как показано в табл.1, с некоторыми адвекциями атлантических вод в высокоширотные районы Арктики достаточно уверенно коррелируются по геохронологическим данным межстадиальные события, которые фиксируются в среднем валдае на территории, во всяком случае, северной половины Европейской части России.

Есть основания полагать, что гораздо более кратковременные эпизоды проникновения атлантических вод в высокоарктические районы Северного Ледовитого океана происходили также в голоцене. В этом отношении этот процесс был характерен скорее всего для атлантического периода и малого климатического оптимума сред-

невековья (X–XII вв.). В эти этапы события наиболее существенного потепления Арктики имели незначительную длительность, составлявшую всего несколько сотен лет.

В заключение необходимо подчеркнуть, что изложенные материалы показывают, что в высокоширотной Арктике в последние 60 тыс. лет возникали резкие изменения природной обстановки, что из которых была обусловлена адвекцией атлантических вод разного таксономического ранга, проникавших в центральные районы Арктического океана. Одним из результатов этого процесса являлось сокращение и, возможно, даже исчезновение морского ледового покрова, а с затуханием процессов адвекции атлантических вод происходило его восстановление и разрастание, что было связано уже с адвекцией полярных вод в южном направлении.

Адвекция атлантических вод находит свое отражение в составе морской биоты (особенно в планктоне), а также в процессах осадконакопления. С последними связана формирование так называемых высокопродуктивных слоев, обогащенных микрофауной, а также слоев с высоким содержанием IRD. Таким образом, становится очевидным, что в последние годы появилась достаточно серьезная аргументация о высокой динамичности изменений природной обстановки Северного Ледовитого океана.

Что касается событий Хейнриха с позиций оценки восстановления океанских событий, то с нашей точки зрения они могут иметь неоднозначную трактовку, о которой говорилось выше. Так, например, айсбергообразование может достаточно интенсивно происходить как в фазы разрастания ледников, оканчивающихся в морской акватории, так и в фазы их деградации. Более того, на возрастание интенсификации процесса айсбергообразования также могут оказать влияние сейсмические процессы Арктико-Азиатского сейсмического пояса. Нами допускается, что сейсмические процессы могли оказать влияние на усиление айсбергообразования в некоторых районах Свалбарда. Поэтому айсберговый материал в донных осадках в большей степени может служить геоиндикатором проявления различных факторов: внутренней динамики глетчеров, глобальных изменений климата и динамики морских течений, а также, в некоторых районах, проявлением сейсмических процессов.

Материал, вытаявающий из морского льда в значительной степени связан с атмосферными, климатическими и гидрологическими событиями. С этими событиями нередко связаны формирование и миграция атмосферных фронтальных

зон и, соответственно, интенсификация гидрографической нестабильности поверхности океана. Последняя, как отмечалось, способствовала разрушению морского льда, ускорению его таяния и, соответственно, выпадению IRD и изменению изотопного состава поверхностной части водной толщи. Как отмечается [Stein et al., 1994] начальный импульс появления талых вод в центральных частях Арктического океана датирован временем 15,7 тыс. л.н.

В заключение настоящего раздела, необходимо отметить еще один важный момент. Речь идет о том, что изложенные материалы позволяют наметить для последних 60 тыс. лет контуры достаточно детальной геологической истории Западно-Шпицбергенской ветви Гольфстрима, в которой уже на данной стадии изучения можно отметить наличие внезапных изменений в ее интенсивности, имевшей тип близкий к пульсирующему.

### **Эпизоды тектоно-геодинамической активизации на северных окраинах Евразии**

Исследования по данному направлению практически только начинаются и в настоящее время излагаемые ниже фрагментарные материалы можно рассматривать как постановочные, требующие дальнейшего тщательного изучения. Учитывая вышесказанное замечание, ниже мы остановимся на двух разноплановых событиях, характеризующих региональную тектоно-геодинамическую нестабильность земной коры. Речь идет о проявлениях палеосейсмичности и образовании грабенообразных тектонических структур.

Что касается проявления палеосейсмичности, то один из эпизодов активной выраженности этого процесса в голоцене выявляется в толще донных отложений моря Лаптевых. Как известно, этот регион отличается современной повышенной сейсмичностью, обусловленной проградацией спредингового хр. Гаккеля. Несомненно, что эти процессы проявлялись и в голоцене.

В ходе работ международной экспедиции в акватории моря Лаптевых были подняты колонки голоценовых и позднеледниковых донных отложений, характеризующих осадки верхней части континентального склона внешнего, центрального и внутреннего шельфа. По извлеченному из осадков органическому материалу, как отмечалось, была получена серия датировок методом ASM C<sup>14</sup> [Bauch and al., 2001]. В ходе анализа полученных датировок авторы пришли к выводу, что затопление 50-, 43- и 31-м изобат произошло соответственно 11,1, 9,8 и 8,9 тыс. л.н. (даты калиброванные), самый высокий уровень моря был около 5 тыс. лет л.н.; между указанными временными

интервалами авторы рассчитали среднюю скорость осадконакопления (соответственно): 5,4, 13,3 и 7,9 мм/год. При этом в опубликованной работе при расчете средних скоростей осадконакопления совершенно не обсуждаются и не учитываются в расчетах вопросы о многочисленных инверсиях возраста фиксируемых в большинстве колонок или о значительных различиях в возрасте анализируемых проб, взятых из слоев, лежащих друг на друге. При этом в последнем случае различия в возрасте могут достигать 1000–2700 лет при интервалах между датировками около 30–60 см. Представляется, что недочет указанных моментов позволяет считать рассчитанные скорости накопления осадков недостаточно корректными.

По нашим представлениям установленные инверсии возрастов и значительные временные интервалы между двумя датировками при незначительной мощности разделяющих их осадков в данном районе связаны с сейсмическими процессами. Проявление их вызывало частое и неоднократное гравитационное смещение водонасыщенных донных илов на плоском дне акватории. Предварительный анализ установленных возрастных инверсий показал, что проявления эпизодов активизации сейсмичности в акватории моря Лаптевых происходили около 500, 1000, 6000–6400, 8300–8500 лет назад. Приведенные датировки увеличения интенсивности сейсмических процессов на данной стадии анализа можно рассматривать только как сугубо прикидочные, поскольку они не однозначны и не исчерпывают всех возможных вариантов. Таким образом, по крайней мере инверсии возрастов, установленные в голоценовых донных отложениях моря Лаптевых, с нашей точки зрения, являются достаточно надежным геоиндикатором проявления сейсмических процессов. Кроме того обращаем внимание читателей на статью Л.П. Имаевой с соавторами в настоящем Бюллетене, в которой показаны новейшие тектонические структуры и геодинамика в акватории моря Лаптевых.

Второй эпизод палеосейсмичности, на который мы хотели бы обратить внимание, связан с Норвежским морем. В этом районе зарубежными исследователями [Baumann and al., 1995] в позднеплейстоценовых морских отложениях обнаружено существенно больше пачек, обогащенных материалом ледового разноса, чем это было установлено Х.Хейнрихом [Heinrich, 1988] для северной части Атлантического океана. По опубликованным материалам в позднем плейстоцене наибольшее количество пачек, обогащенных материалом ледового разноса приходится на изотопные стадии: 4, 3, 2.

В раннем вайхзелине, по мнению авторов [Baumann and al., 1995], ледники не доходили до побережья, поэтому отложений, обогащенных материалом ледового разноса, практически не было. В среднем и позднем вайхзелине выделено 10 событий обогащения донных отложений материалом ледового разноса. При этом, геохронологически эти события совпадают с изменениями климата, близкими по своей значимости как к стадиям, так и интерстадиям, а также с частью событий Хейнрика. Так, достаточно корректно совпадают события HS4 (HS – Норвежское море) с событием H2, NS6 и H3, NS8 и H4, NS10 и H5. Таким образом, только 4 события Норвежского моря совпадают с событиями Хейнрика, а остальные 6 являются число локальными. В целом, учитывая изложенные данные, мы сочли возможным высказать мнение о том, что часть из рассматриваемых событий могла быть обусловлена сейсмическими процессами, являвшимися отголосками геодинамических процессов, происходивших в Срединно-Атлантическом хребте и способствовавших интенсивному разрушению краевых частей ледников и увеличивших тем самым продуцирование айсбергов. Возможно, что высказанное соображение не лишено своей достоверности, поскольку в последнее время на побережье Скандинавии обнаружены следы проявления палеоцунами.

Очень кратко рассмотрим эпизод образования новейших тектонических структур растяжения – Финская фона грабен, депрессий Ладожской, Онежской [Гарецкий и др., 1999], а также Беломорского грабена, расположенных по границе Балтийского кристаллического щита и Русской плиты. Наиболее древние четвертичные отложения в этих структурах представлены микулинскими (земскими) морскими отложениями. Отсюда можно сделать вывод, что эпизод тектонической активности наиболее ярко проявился в конце московского оледенения и в самом начале микулинского межледниковья. Во всяком случае, воды земской трансгрессии по этим структурам на сравнительно короткое время проникли в Баренцево море, образовав Карельский пролив, и тем самым Скандинавский полуостров превратился в остров. С этим же временем в палеогеографии морей западной части севера Евразии произошло два важных события. Первое из них – это возникновение Белого моря, с чем были связаны важные изменения в соотношении суши и моря. Второе событие – это активное проникновение в акватории Баренцева и Карского морей бореальной морской фауны. Что касается изменений в соотношении суши и моря, о необходи-

мо отметить, что в Западной Сибири, благодаря возникшему казанцевскому морю, морские воды проникли достаточно далеко в пределы суши, а в долинах крупных рек образовались значительные ингрессионные заливы.

Таким образом, среди эпизодов тектоно-геодинамической активизации на северных окраинах Евразии установлено два разноплановых события. Первое из них обусловлено сейсмическими про-

цессами, а второе – образованием новейших тектонических структур растяжения – грабеноподобных депрессий. Морфологические основы строения этих структур были заложены на границе среднего и верхнего плейстоцена. Как показали исследования Р.Г. Гарецкого и др. [1969], образование этих новейших структур было связано с геодинамическими процессами, происходившими в Срединно-Атлантическом хребте.

## Литература

- Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е., Карабанов А.К., Палиенко В.П., Шляупа А.И. Новейшая тектоника и геодинамика Центральной Европы // Геотектоника, 1999, № 5. С. 3–14.
- Гросвальд М.Г. Покровные ледники континентальных шельфов // М.: наука, 1983. 211 с.
- Лаврушин Ю., Алексеев В., Хасанкаев В., Чистякова И., Кулешов В., Спиридонова Е. К палеомаринологии климатического оптимума голоцена северо-западной части Баренцева моря // Известия АН Эстонии. Геология, 1990, 39, № 2. С. 41–49.
- Лаврушин Ю.А., Этштейн О.Г. Геологические события плейстоцена на севере Восточной Европы и в Южной части Баренцева моря // Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода, № 64. М.: ГЕОС, 2001. С. 35–60.
- Марков К.К., Суетнова И.А. Гляциостатические колебания уровня океана // Тез. докл. к Всесоюз. совещ. по изучению четвертичного периода. 1964, Новосибирск. С. 11–12.
- Чистякова И.А., Лаврушин Ю.А. Суспензиты времени последнего позднеледникового на территории Русской равнины и прилегающих шельфов: типы, особенности строения и седиментогенеза // Бюлл. Комиссии по изучению четвертичного периода, № 65. М.: ГЕОС, 2004. С. 36–43.
- Bauch H.A., Mueller-Lupp T., Taldenkova E., Spielhagen R.E., Kassens H., Grootes P.M., Thide J., Heinemeier J., Petryashov V.V. Chronology of the Holocene transgression at the North Siberian margin // Global and Planetary Change, 2001, 31. P. 125–139.
- Baumann K.H., Lackschewitz K.S., Mangerud J., Spielhagen R.F., Wolf-Welling C.W., Henrich R., Kassens H. Reflection of Scandinavian Ice Sheet Fluctuations in Norwegian Dea sediments during the past 150.000 years // Quaternary Research, 1995, 43. P. 185–197.
- Blanchon P., Shaw J. Reef drowning during the last deglaciation: Evidence for catastrophic sea-level rise and ice-sheet collapse // Geology, 1995, v. 23, N 1. P. 4–8.
- Bond G. et al. Evidence for massive discharges of icebergs into the North Atlantic ocean during the last glacial period // Nature, 1992, v. 360. p. 245–249.
- Bond G., Broecker W., Johnsen S., McManus J., Labeyrie L., Jouzel L., Bonani G. Correlations between climate records from North Atlantic sediments and Greenland Ice // Nature, 1993, vol. 365. P. 143–147.
- CLIMAP MEMBERS. The surface of the ice-age Earth // Science, 1976, v. 191. P. 1131–1137.
- Dokken T., Hald M. Rapid climatic shifts during isotope stages 2–4 in Polar North Atlantic // Geology, 1996, 24/7. P. 599–602.
- Fronval T., Jensen E., Bloewendal J., Johnsen S. Oceanic evidence for coherent fluctuations in Fennoscandian and Laurentide ice sheets on millennium timescales // Nature, v. 374. P. 443–446.
- Fronval T., Jensen E. Eemian and early Weichselian (140–60 ka) paleoceanography and paleoclimate in the Nordic seas with comparisons to Holocene conditions // Paleoceanogr., 1997, 12. P. 443–462.
- Gorlich K., Weslavsky J.M., Zajacskowsky M. Suspension settling effect on macrobentos biomass distribution in the Hornsund fjord Spitsbergen // Polar Research, 1987, 5 n.s. P. 175–192.
- Hald M. Climate change and Paleoceanography // The Northern North Atlantic, 2001, Springer. P. 281–290.
- Heinrich H. Origin and Consequences of Cyclic Ice Rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the Past 130 000 years // Quaternary Research, 1988, 29. P. 142–152.
- Spielhagen R.F., Eisenhauer A., Frank M. et al. Arctic Ocean Evidence for Late Quaternary Initiation of Northern Eurasian Ice sheets // Geology, 1997, 19. P. 4–12.
- Stein R., Nam S.I., Schuhert C., Vogt C., Futterer D., Heinemeier J. The last deglaciation event in the central Arctic Ocean // Science, 1994, v. 264. P. 692–696.