

УДК 551.79.551.76.551.321/322

Ю.И. ВОЗОВИК

ШЕЛЬФ АРКТИКИ В ПОЗДНЕМ ПЛЕЙСТОЦЕНЕ И НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ПАЛЕОГЛЯЦИОЛОГИИ

На основании анализа динамики арктического оледенения делается вывод о специфическом развитии шельфа полярных морей, что выразилось в существенном уменьшении амплитуды гляциоэвстатической регрессии и сдвиге ее максимума на начало голоцена.

Известно, что в позднем плейстоцене колебания уровня Мирового океана отражали основные события гляциальной истории северного полушария и что регрессивная фаза (36-17 000 лет назад) причинно связана с ростом массы покровного оледенения, а трансгрессивная (17 000 лет назад) - с дегляциацией. Указанные хронологические рубежи, выявленные при анализе динамики покровных оледенений, обнаруживают хорошую сходимость с данными морской геологии и палеоокеанологии [Гросвальд и др., 1977; Emery et al., 1967, 1971; Tooley, 1974; Alwater et al., 1977]. Некоторые расхождения в датировках фаз касаются в основном деталей и не меняют общей картины. Максимальная амплитуда колебаний уровня по большинству оценок не превышает 130-140 м. Поскольку в течение всего позднего плейстоцена связь Северного Ледовитого океана с Мировым океаном сохранялась, принято считать, что и в Арктическом бассейне был регрессивно-трансгрессивный цикл аналогичной амплитуды [Ласточкин, Федоров, 1978; Бадюков, Каплин, 1979]. На первый взгляд альтернативная постановка вопроса представляется абсурдной, если, конечно, не отрицается исходный постулат о непрерывности связи Северного Ледовитого океана с Мировым

океаном в западном секторе Арктики. В определенной палеогеографической ситуации, однако, данный вопрос правомерен. Оледенение в акватории Арктического бассейна и на шельфе предопределяет несогласованный режим колебания уровня Мирового океана и Северного Ледовитого океана в период гляциоэвстатического регрессивно-трансгрессивного цикла.

В настоящее время можно считать установленным, что в эпохи похолоданий мощность оледенения в Северном Ледовитом океане возрастала; альтернативная гипотеза В. Донна и М. Ивинга [Donn, Ewing, 1966] не подтвердилась фактическими данными.

По расчетам О.П. Чижова [1970], в максимум позднеплейстоценового похолодания, когда среднегодовая температура в высоких широтах понизилась на 14°, на поверхности Полярного бассейна сформировался стационарный покров морского льда мощностью порядка 20 м. Развитие оледенения в акватории Северного Ледовитого океана могло и предшествовать основным стадиям континентального оледенения и быть обусловлено выходом из Полярного бассейна Гольфстрима в результате общей перестройки циркуляционных систем атмосферы и гидросферы в начале планетарного похолодания [Liljeguiist, 1956]. Термофизические расчеты этого варианта обнаруживают значительное промораживание вод полярного бассейна - до 400-600 м [Crary, 1960]. Данные последних исследований подтверждают отсутствие Гольфстрима в Северном Ледовитом океане в максимуме оледенения [Бараи, Оськина, 1979; и др.] и, следовательно, свидетельствуют о большей мощности морского льда, чем дают расчеты, не учитывающие влияния тепла, приносимого с Гольфстримом, на процессы льдообразования.

Основные события плейстоцена, связанные с изменениями климата, были детерминированы колебаниями инсоляции. Интегральная характеристика режима инсоляции, вычисленная М. Миланковичем [1939] и впоследствии неоднократно уточнявшаяся, хорошо согласуется с ходом палеотемператур и гляциоэвстатических колебаний уровня Мирового океана, выступая, таким образом, в качестве причинного фактора оледенений [Брэкер и др., 1974; Chappel, 1973]. Вместе с тем другие материалы [Асеев, 1974; и др.] показывают, что инсоляционное охлаждение было недостаточным для развития покровных оледенений северного полушария. Наличие корреляции между режимом инсоляций и динамики оледенений, с одной стороны, и недостаточность инсоляционного снижения температур для развития оледенений - с другой, указывают на усиление первоначального снижения температур каким-то процессом в геосфере. Функцию усилителя, по всей вероятности, выполнял Северный Ледовитый океан, ледниковый покров которого четко реагирует на температурные колебания изменением площади и мощности, что при климатическом охлаждении Арктики вызывает дополнительное выхолаживание за счет увеличения альbedo. Стабилизация ледяного покрова в Арктике происходит при понижении температуры на 4-5°, и это, в свою очередь, приводит за счет действия обратных связей к большей вдвое величине климатического похолодания [Будыко, 1974].

Таким образом, причинный фактор развития оледенения заключается в снижении уровня инсоляции, но реализуется он посредством усиления первичного импульса в результате увеличения суммарного альbedo северной полярной области.

Для дальнейшего рассмотрения не существенно, предшествовал ли замерзанию Арктического бассейна выход из него Гольфстрима, или последний был «выжат» ледяной плитой в процессе ее роста, важно другое - условием развития покровных оледенений в северном полушарии было замерзание Полярного бассейна и сохранность на его поверхности стационарного морского льда в течение всего года.

Поскольку возникновение в Арктическом бассейне стационарной ледяной плиты предшествовало основной фазе материкового оледенения, уровень Мирового океана в эпоху ее образования был относительно высоким. Судя по гляциоэвстатической кривой [Milliman, Emery, 1968] он не превышал отметки -30 м. Следовательно, в эпоху 35-21 000 лет назад только часть шельфа, ограниченная изобатой -30 м, могла находиться в субаэральных условиях. Но и это нам представляется маловероятным.

Действительно, мощность возникшей ледяной плиты толщиной по меньшей мере 20 м, не могла не увеличиваться за счет атмосферных осадков, минимальная норма которых (по аналогии и абсолютным минимумам в областях современного покровного оледенения) была не меньше 4 см в год. Отметим, что по другим оценкам [Lamb, Woodroffe, 1969] количество осадков в высоких широтах оценивается величиной в 10-15 раз большей. Но и при минимальной величине (4 см в год) обнаруживаем, во-первых, значительное (на порядок) превышение скорости роста толщины плиты над скоростью регрессии в первую фазу (равную 0,2 см в год), во-вторых, возникновение и наращивание ледниковых масс по южной периферии шельфа. В условиях резкого снижения летних ледяных температур это представляется неизбежным. Поправки на абляцию по-видимому не могут повлиять на сущность описываемого процесса, так как принятая минимальная величина атмосферных осадков все-таки настолько ниже реальных норм, что может рассматриваться в качестве некоторой результирующей характеристики (осадки минус абляция) для данной эпохи. Таким образом на внутреннем шельфе к концу первого этапа регрессии отложится слой порядка 400-600 м (табл. 1).

Такой же толщины достигла ледяная плита в акватории бассейна, причем только за счет наращивания ледяных масс сверху (т.е. не принимая во внимание эффект промораживания). Естественно, что при достижении дна ее дальнейшее погружение приостанавливалось, а избыточный объем формировал ледяной рельеф внутренней зоны шельфа.

Таблица 1. Морское оледенение и уровень Полярного бассейна в позднем плейстоцене

Показатели	Регрессия		Трансгрессия	
	I	II	I	II
Скорость и знак изменения уровня Мирового океана, см/год	-0,2	-2,0	1,1	1,7 0,12
Темп наращивания (стаивания) массы покровного оледенения, км ³ /год	600	10 000	-4000	-6000 -1250
Толщина ледяного панциря в Арктическом бассейне, м	400	700	1000	0 0
Гипсометрическое положение нижней поверхности морского льда относительно синхронного уровня Мирового океана, м	-350	-600	-850	25 0
Синхронный уровень Мирового океана	-30	-130	-50	-25 0
Гипсометрическое различие уровня Мирового океана и подледного уровня Полярного бассейна, м	300	500	800	0 0

Во второй этап регрессии, которому соответствует эпоха бурного наращивания ледниковых масс на континентах (10 000 км³/год) скорость снижения уровня Мирового океана возросла на порядок, достигнув 2 см/год. И в этот период, следовательно, скорость наращивания ледяной плиты превышала скорость гляциоэвстатической регрессии.

Не затрагивая в данной работе палеоклиматических аспектов географической среды, отметим все же основную особенность изменения поля влажности, которая заключается в широтном перемещении планетарных фронтов в зависимости от уровня энергетического бюджета Земли, определяемого режимом инсоляции. В минимум инсоляции оба планетарных фронта - арктический и полярный - смещены к югу от среднего положения, вследствие чего высокие широты, где в это время термические предпосылки оледенения оптимальны, испытывали дефицит атмосферных осадков, что и проявлялось в чрезвычайно медленном наращивании ледниковых масс (600 км³/год). После прохождения энергетического минимума 21 000 лет назад, пути прохождения циклонов, связанных с планетарными фронтами, стали перемещаться в более высокие широты, где на короткое время (4000 лет) возникла аномальная ситуация, при которой выполнялись оба условия, контролирующие наращивание ледниковых масс - энергии и вещества (температуры и влажности). Поэтому в период 21-17 000 лет назад количество осадков было выше, чем в предшествующий. Исходя из количественного соотношения скорости наращивания ледниковых масс (10 000 км³/год) и площади оледенения (36 000 000 км²), легко определить среднюю величину нормы осадков (30 см/год). Поскольку и в эпоху оледенения поле влажности не было однородным, сохраняя черты подобия современному, можно допустить, что западный сектор Арктики получал больше осадков, чем восточный, а также то, что в высоких широтах осадков было меньше, чем в низких. Нормы осадков, разумеется, были иными. Это позволяет принять для высоких широт величину меньше средней, а более низких - больше средней. Опираясь по-прежнему на принцип минимальных оценок, примем для этого периода норму атмосферных осадков, равную 7 см/год, которая вдвое выше нормы предшествующего периода похолодания, но ниже современного минимума, равного 10 см/год (заметим, что современная норма осадков для Арктики в целом равна 26 см/год, следовательно, принятая норма отличается от современной почти в четыре раза). Экстраполируя принятую величину во времени получаем к концу этапа (17 000 лет назад) мощность ледяной плиты в центральной части бассейна, равную 700 м, и аналогичную мощность шельфового ледника. Таким образом, и

в этот период, несмотря на максимальную скорость снижения океанического уровня, регрессии в Арктическом бассейне не было.

Начавшийся бурный распад оледенения ($4000 \text{ км}^3/\text{год}$) вызвал трансгрессию, скорость которой с самого начала была очень высокой ($1,1 \text{ см/год}$). Но в Арктике события запаздывали. Здесь, как показывают балансовые расчеты, почти 8 тысячелетий продолжалось наращивание массы оледенения. Причем в этот период ($17-9,5 \text{ 000}$ лет назад) оно происходило наиболее быстро (9 см слоя льда в год), так что к началу голоцена мощность ледяной плиты центральной части акватории достигла 1 км . Оледенение в умеренных широтах к этому времени почти полностью разрушилось и его южная граница проходила по средней Скандинавии и низовьям рек Европейского севера [Гросвальд, Лавров, Потапенко, 1974]. В этот период оледенение было уже азональным образованием, и его разрушение проходило на спаде максимума инсоляции ($9,5-8 \text{ 000}$ лет назад). Распад собственно арктического оледенения, занимавшего центральную часть акватории, не мог отразиться на ходе трансгрессии, поскольку ледяная плита находилась в состоянии гидростатического равновесия и ее разрушение не отражалось на уровне океана. Но распад шельфового оледенения вызывал ускорение трансгрессии до $1,7 \text{ см/год}$. Этот вывод как будто согласуется с эмпирическими данными. Например, на гляциоэвстатических кривых, полученных некоторыми исследователями, это ускорение отражено [Martin, 1972; Fore, Ellouard, 1967; Pickrill, 1976; Curray et al., 1969].

Остается, однако, непонятным, за счет чего, за счет какой энергии или при помощи каких механизмов столь быстро разрушилось оледенение в Арктике. Для объяснения этого феномена предполагалось существенное участие механизма сёрджей; считается также, что в этот период в Арктическом бассейне активизировалась роль Гольфстрима, теплые струи которого прежде не проникали в Арктику. По всей вероятности, в какое-то время эти процессы принимали участие в дегляциации. Но начальные фазы данного процесса пока убедительно не объяснены.

Разрушение оледенения в Арктике завершилось к 8 000 лет назад, когда уровень Мирового океана находился на отметке -25 м . Только с этого времени установился единый уровень Арктического бассейна и Мирового океана. Таким образом, регрессия в Арктике была непродолжительной (всего 8 000 лет) и значительно меньшей по амплитуде изменения уровня, чем на остальных шельфах. На основании изложенного можно сделать вывод об относительности понятия «уровень Мирового океана». В том смысле, в котором данное понятие употребляется в настоящее время (уровень бассейнов, водные массы которых соединяются, одинаков), оно применимо исключительно к межледниковым эпохам. В период оледенений те части акватории Мирового океана, которые несут на себе ледниковый покров, обладают выраженной спецификой развития, проявляющейся, в частности, в отсутствии здесь гидрологического уровня, аналогичного уровню Мирового океана. Подледный уровень в Арктическом бассейне в максимуме оледенения на сотни метров отличается от океанического и при этом не одинаков в разных частях акватории. Поэтому на шельфе Арктики нет выраженных аналогов уровней позднего плейстоцена, зарегистрированных на шельфах широт.

Рельеф Арктического шельфа, так же как и рельеф прилегающей суши, полигенетичен и представлен формами, относящимися к разным этапам геологического развития. Те формы, которые описаны в литературе, могут иметь разный возраст и совсем не обязательно относятся к эпохе последнего оледенения. Это могут быть реликтовые фазы, отражающие события более ранних этапов плейстоценовой, а возможно и доплейстоценовой истории Арктического шельфа.

ЛИТЕРАТУРА

- Асеев А.А. Древние материковые оледенения Европы. М.: Наука, 1974.
Бадюков Д.Д., Каплин П.А. Изменение уровня на побережьях дальневосточных и арктических морей СССР за последние 15 000 лет. - Океанология, 1979, № 4.

- Бараиш М.С., Оськина Н.С.* Палеотемпературы Атлантического океана 18 000 и 40 000 лет назад (по планктонным фораминиферам). - Океанология, 1979 № 1.
- Брэкер У.С., Ван Донк Я.* Колебания интенсивности инсоляции, объемы льда и содержание ¹⁸O в глубоководных колонках. - В кн.: Четвертичные оледенения Земли. М.: Мир, 1974.
- Будыко М.И.* Изменения климата. П.: Гидрометеиздат, 1974.
- Гросвальд М.Г., Бурашникова Т.А., Сутова И.А.* Объем позднеюрмских ледников северного полушария и вероятные следствия их распада. - Вестн. АН КазССР, 1977, № 10.
- Добродеев О.П.* Живое вещество и оледенения Земли. - Природа, 1975, № 6.
- Ласточкин А.Н.* [Рельеф дна Карского моря](#). - Геоморфология, 1977, № 2.
- Ласточкин А.Н., Федоров Б.Г.* Рельеф и новейшая история развития северного шельфа Евразии. - Сов. геология, 1978, №3.
- Миланкович М.* Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.; Л: ГОНТИ, 1939.
- Сутова И.А.* Количественная оценка амплитуд гляциоэвстатических трансгрессий и регрессий океана. - Baltika, Вильнюс, 1974, № 5.
- Чижов О.П.* [Об изменениях состояния Арктического бассейна со времени максимума последнего оледенения](#). - В кн.: Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л., 1970.
- Altwater B., Hedel C., Hilli.* Late Quarternary depositional history, Holocene sea-level changes and vertical crutall movements, southern San Francisco Bay, California. - Geol. Sury. Profess Pap., 1977, 1014.
- Chappel J.* Astronomical theory of chimatik change: Status and problem. - Quatern. Res., 1973, vol. 3, N 2.
- Crary A.* Y Arctic ice island and ice shelf studies. - Arctic, 1960, vol. 13.
- Donn W., Ewing M.* A theory of ice ages. - Science, 1966, 3, 152.
- Emery K., Niino H., Sillivan B.* Post-Pleistocene levels of East China Sea. Late Cenozoic glacial ages. Yale Univ. Press, 1971.
- Emery K., Wigley R., Barlett A. et al.* Freshwater peat of the continental shelf. — Science, 1967, vol. 158.
- Faure H., Ellourd P.* Paleoceanographie. Schema des variations du niveau de l'Ocean Atlantique sur la cote de l'uest d'Afrika depuis 40 000 ans. - C.r. Acad. Sci., 1967, vol. 265.
- Lamb H., Woodroffe A.* Atmospheric circulation during the last ise age. - Quatern. Res., 1969, vol. 1, N 1.
- Liljeqist G.* Meteorologiska syn punkter po istidsproblement. - Ymer, 1956, arg. 76.
- Martin L.* Variations du niveau de la mer et du climat en Cote d'Ivoire depuis 25 000 ans. - Cah. ORSTOM. Ser. geol., 1972, vol. 4, N 2.
- Milliman J., Emery K.* Sea levels during the past 35 000 years. - Science, 1968, vol. 162.

Ссылка на статью:



Возовик Ю.И. Шельф Арктики в позднем плейстоцене и некоторые вопросы палеогляциологии. - В кн.: Колебания уровня морей и океанов за 15 000 лет. М.: Наука, 1982. С. 185-190.