

Д. Д. КВАСОВ

ОКЕАНОЛОГИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ ¹

Ледниковая теория не смогла до сих пор дать достаточно убедительного ответа на основной вопрос — о причинах оледенения. По-видимому, это объясняется тем, что некоторые положения палеогеографии рассматриваются как «очевидные» истины, как постулаты, якобы не требующие доказательства.

Неудачи в разработке ледниковой теории связаны с тем, что практически все ее варианты имели в своей основе два неверных постулата. Они почти никогда не формулировались и только в редких случаях служили предметом обсуждения.

Первый из этих постулатов можно было бы сформулировать так: изменение размеров оледенения определяется изменениями климата. Хотя это утверждение и выглядит весьма правдоподобно, постараемся все же его критически рассмотреть. Оказывается, что в полярных широтах на протяжении последних нескольких миллионов лет постоянно существовали климатические условия, благоприятные для оледенения. Ледники же и в этих широтах сильно изменяли свои размеры. На них влияли не климатические причины, а изменение размеров тех участков суши, на которых они могли развиваться. На размеры же суши самое сильное влияние оказывали колебания уровня океана. Приведенный выше постулат не имеет таким образом всеобщего значения — он справедлив только для умеренных широт. Для полярных же широт его нужно заменить другим постулатом.

Не имеет всеобщего значения и постулат: оледенениям соответствуют так называемые плейвиальные (дождливые) эпохи в южных районах. Такое утверждение также выглядит весьма правдоподобно, но уже около ста лет назад стало известно о существовании аридных приледниковых ландшафтов. К настоящему времени накопилось огромное количество подобных фактов. Увы, это не повлияло на позицию поборников «здорового смысла».

Верные постулаты, поставленные на место ошибочных, могут, совместно с другими достаточно обоснованными положениями четвертичной геологии, послужить основой теории оледенения, кажется удовлетворительно объясняющей его основные особенности. Постулаты теории оледенения не являются конечно априорными утверждениями. Они должны базироваться на огромном фактическом материале, накопленном четвертичной геологией. Обширную проблему отыскания причин четвертичного оледенения можно подразделить на три проблемы: причины плиоцен-четвертичного похолодания, палеогеография эоплейстоцена, палеогеография плейстоцена.

ПРИЧИНЫ ПЛИОЦЕН-ЧЕТВЕРТИЧНОГО ПОХОЛОДАНИЯ

Общепризнано, что в течение палеогена и миоцена происходило постепенное похолодание, в плиоцене оно еще более усилилось, а в четвертичное время привело к оледенению умеренных широт. В предшест-

¹ Публикуется в порядке дискуссии.

вующие геологические эпохи, океанические бассейны имели такую конфигурацию, при которой течения могли переносить тепло из тропических в полярные районы. Но постепенно в результате распада Гондваны Антарктический материк передвинулся в район Южного полюса. В результате там уже в палеогене отмечаются следы деятельности ледников.

Наиболее ранняя датировка, полученная для базальтов, отлагавшихся подо льдом, составляет 41 ± 9 млн. лет назад (Le Masurier, 1970). С этого времени оледенение Антарктики, по-видимому, существует непрерывно. Оно оказывает огромное влияние на общую циркуляцию атмосферы и океана. Именно его влиянием можно объяснить похолодание, происходившее в палеогене и миоцене. Оно, однако, было сравнительно небольшим, пока Северный Ледовитый океан еще свободно соприкасался с Атлантикой.

Согласно современным представлениям (Харланд, 1967; Harland, 1969) северная Атлантика образовалась примерно 60 млн. лет назад в результате распада материка, объединявшего Европу и Гренландию. В палеогене между ними образовался глубоководный океанический бассейн, по которому осуществлялась водная циркуляция между умеренными и полярными широтами. Этот бассейн продолжал расширяться и в неогене. Но к этому времени заметные размеры приобрел уже Исландско-Фарерский базальтовый массив, рост которого продолжается и в настоящее время. Исландия и Фарерские острова и окружающая их обширная подводная возвышенность препятствуют доступу вод Гольфстрима в Северный Ледовитый океан. Это вызвало похолодание в полярных и умеренных широтах северного полушария. Положение о том, что похолодание, приведшее к оледенению, было вызвано изменением океанических течений, впервые высказано еще основоположником ледниковой теории Л. Агассисом. Оно может быть названо постулатом Агассиса.

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ЭОПЛЕЙСТОЦЕНА

В палеогене и миоцене основное влияние на развитие природы Земли оказывало изменение планового расположения материков и океанов. В плиоцене и эоплейстоцене важное значение приобрело изменение уровня Мирового океана.

В 1855 г. Дж. Дэна (Dana) выдвинул предположение о значительном увеличении высоты суши относительно уровня океана в доледниковое время. Точка зрения Дж. Дэна была поддержана А. Спенсером (Spencer, 1890), У. Апхемом (Upham, 1890) и многими другими исследователями. Возможность значительной — на несколько сот метров — регрессии Мирового океана, происходившей на границе неогена и четвертичного периода, была обоснована Ф. Нансеном (Nansen, 1904). Это положение можно назвать постулатом Дэна — Нансена.

Постулат Дэна — Нансена вплоть до настоящего времени оспаривается многими исследователями. Наличие аномально глубоких подводных равнин, напоминающих шельфы, пытаются объяснить с помощью теории «континентальной флексуры» (Хольтедаль, 1964). Морские террасовые уровни, прослеживаемые на многих побережьях, дают повод для предположений о существовании в неогене более высокого уровня моря, чем современный (Таппег, 1968). Но террасы наблюдаются только в тектонически активных районах, испытывающих поднятие (Gregory, 1931).

В течение последних лет получены данные о рельефе подошвы четвертичных отложений, которые говорят в пользу постулата Дэна —

Нансена. На огромных пространствах, примыкающих к северному побережью Евразии — от Великобритании до Чукотки — всюду при буровых работах были найдены узкие долины, заполненные четвертичными отложениями, тальвеги которых находятся на несколько сот метров ниже современного уровня моря. Вывод о глубокой дочетвертичной регрессии сделан для Северо-Востока Азии Ю. П. Барановой, С. Ф. Бискэ и др. (1968), для севера Западной Сибири — С. Л. Троицким (1966) и Н. Г. Чочиа (1968), для Кольского полуострова — А. А. Никоновым (1967), для северо-запада Восточно-Европейской равнины Е. В. Рухиной (1957), Д. Б. Малаховским и К. К. Марковым (1969) и С. К. Вайтекунасом (1969), для Польши — Э. Рюле (Ксеншкевич, Самсонович, Рюле, 1968), для Германской Демократической Республики — А. Г. Цепеком (Серек, 1967). Древняя дочетвертичная долина, тальвег которой находится на 380 м ниже современного уровня океана, найдена при геофизических исследованиях на побережье Ирландского моря (Blundell, Griffiths, King, 1969). Эрозионный цикл, вызванный снижением уровня океана, отразился также на развитии долин рек некоторых районов, расположенных в глубинах материков. На юге Западной Сибири в это время образовались погребенные долины, заполненные осадками битекейской свиты (Волков и др., 1969); древняя погребенная долинная сеть имеется также в центре Восточно-Европейской равнины (Шик, 1960; Исаченков, 1963; Лобачев, 1965).

Данные по бассейну Северного моря позволяют датировать эрозионный цикл. По-видимому, он приходится на промежуток между отложением каролинового и красного крагов (по английской стратиграфической схеме) или между отложением слоев скальд и подерл (по нидерландской схеме), т. е. как раз на границе неогена и четвертичного периода (Valentin, 1951—1952; Voorthuysen, 1954).

Для отдельных районов наличие переуглубленных долин можно было бы объяснить тектоническими движениями. Но их распространение на огромных территориях, имеющих совершенно различное тектоническое строение, делает бесспорной решающую роль падения уровня океана. Как правило, переуглубленные долины имеют небольшую ширину и V-образный поперечный профиль, даже если они прорезают рыхлые отложения. Это свидетельствует, что регрессия была относительно кратковременной. Увеличение в конце неогена относительной высоты суши над уровнем океана признается в обобщающих работах К. К. Маркова и др. (1965) и С. С. Воскресенского (1968). Но один из крупнейших специалистов в области четвертичной геологии — Г. И. Горецкий (1967) — не разделяет эту точку зрения.

Следы регрессии отмечаются в рельефе дна океана. В Охотском море древние береговые линии обнаружены на глубинах несколько сот метров (Удинцев, 1957). Весь шельф, примыкающий к северному побережью Евразии (Стрелков, 1961; Дибнер, Гаккель и др., 1965), а также к Исландии и п-ову Лабрадор (Holtedahll, 1958; Einarsson, 1964), представлял собой сушу. Признаки низкого положения уровня моря в конце неогена отмечаются также у берегов Австралии и Новой Зеландии (Glenie, Schofield, Ward, 1968). Не исключено, что некоторые так называемые континентальные плато созданы абразией в период регрессии. Скვაжины, пробуренные на плато Блейк у берегов Флориды, показали, что его поверхность сложена олигоценowymi и местами миоценовыми отложениями; плиоценовые же отложения совершенно отсутствуют (Emery, Zarudski, 1967).

Снижение уровня Мирового океана на несколько сот метров не могло быть обусловлено уменьшением объема водной массы океана. Его можно связать только с планетарными тектоническими процессами, вы-

завшими перемещение вещества астеносферы из океанических областей под материка. Последующая трансгрессия, приведшая уровень океана к его современному положению, вызвана вероятно обратным процессом — перемещением вещества астеносферы из материковых областей под океаны. По-видимому, в течение неогена продолжалось «растяжение океанического дна» («sea floor spreading», Le Pishon, 1968) и конвекционные течения астеносферы были направлены под материка. Но на границе плиоцена и эоплейстоцена возникли рифтовые структуры в Байкальской области (Логачев, 1958; Уфлянд и др., 1969), в районе Мертвого моря (Neev, Emery, 1967) и в восточной Африке (Girdler et al., 1969). Образование этих структур — свидетельство коренной перестройки системы конвекционных течений. Евразия и Африка оказались разделенными рифтами на две части каждая, а сами рифты стали центральными осями, в стороны от которых расходились конвекционные течения. Чрезвычайно сложный вопрос о причинах эоплейстоценовой регрессии Мирового океана должен быть подробно рассмотрен с позиций геотектоники и геофизики.

Уровни внутренних морей могли в некоторых случаях не следовать за уровнем Мирового океана. Для черноморской котловины не отмечено признаков сколько-нибудь значительной регрессии. Бассейны, занимавшие ее в эоплейстоцене, не были частью Мирового океана, а представляли собой озера, вероятно периодически сточные. Следы глубокой регрессии отмечаются в бассейне Средиземного моря (Чумаков, 1971), где она датируется временем, предшествовавшим плезансу. Регрессия здесь имела место раньше, чем в бассейне Северного моря. Вероятно, это связано со специфическими условиями Средиземноморского бассейна, который при понижении уровня океана ниже порога Гибралтарского пролива мог превратиться в бессточное озеро с чрезвычайно низким уровнем.

Падение уровня океана оказало огромное влияние на развитие оледенения полярных широт. Наряду с абляцией, важнейшей расходной частью баланса ледниковых щитов, расположенных в полярных широтах, является образование айсбергов. Его интенсивность контролируется уровнем океана. При понижении уровня образование айсбергов уменьшается, в балансе приход начинает преобладать над расходом и щит увеличивается в размерах до тех пор, пока его граница не достигает новой береговой линии. Размеры оледенения полярных широт зависят таким образом не от изменений климата, который уже на протяжении длительного геологического периода был всегда благоприятен для оледенения этих широт, а от изменения уровня океана. Для Антарктики это положение было впервые выдвинуто А. Пенком (Penck, 1928) и затем развито Дж. Холлиным (1964); оно может быть названо постулатом Пенка — Холлина.

В соответствии с постулатом Пенка—Холлина падение уровня океана должно было вызвать значительное увеличение оледенения полярных широт. Антарктический ледниковый щит, который образовался еще в палеогене, именно в момент наибольшей регрессии должен был достичь максимальных размеров. По данным Х. Г. Гуделла, Н. Д. Уоткинса и др. (Goodel et al., 1968), проанализировавших стратиграфию нескольких сот колонок донных отложений Южного океана, оледенение Антарктиды имело самое большое распространение во время палеомагнитной эпохи Гуасса (3,35—2,35 млн. лет назад). Вероятно именно в этот период очертания, форма и объем ледникового щита соответствовали реконструкции П. С. Воронова (1960). Падение уровня океана и влияние оледенения Антарктики вызвали также оледенение Патагонии, которое имеет абсолютный возраст ~ 3 млн. л. н. (Mercer, 1969). Для этого же

времени отмечены признаки горного оледенения в Калифорнии (Сигу, 1966).

В донных отложениях Северного Ледовитого океана айсберговые осадки начали накапливаться уже около 4—6 млн. лет назад, что свидетельствует об оледенении в пределах примыкающей к океану суши (Steuerwald et al., 1968; Herman, 1970). Регрессия океана вызвала сильное увеличение размеров суши в районах, прилегающих к северной Атлантике. Норвежско-Гренландский и Северный полярные бассейны стали почти замкнутыми. Только узкие проливы между Фарерскими и Шетландскими островами и между Гренландией и Шпицбергом соединяли их с Атлантикой. Теплые атлантические воды через эти проливы почти не проникали. Все это привело к образованию Гренландского ледникового щита, размеры которого и теперь контролируются уровнем Мирового океана. Приходная часть современного баланса (осадки на поверхности щита) составляет 446 км³ в год, а расходная — 530 км³, из них абляция — 315 км³ и образование айсбергов 215 км³ (Baueg, 1955). В случае быстрого падения уровня океана образование айсбергов прекратилось бы, а превышение осадков над абляцией привело бы к росту ледникового щита до тех пор, пока он не достиг бы новой береговой линии.

Исландия, в пределах которой имеется несколько современных небольших ледниковых щитов, является областью оледенения с самого начала четвертичного периода. В ее пределах обнаружены тиллиты, перекрытые базальтами, которые образовались во время палеомагнитной эпохи Гаусса (Wensink, 1965). Областью современного покровного оледенения являются архипелаги северной части Баренцева моря — Шпицберген, Земля Франца-Иосифа, северный остров Новой Земли. Небольшие ледниковые щиты, покрывающие отдельные острова, не увеличиваются в размерах только потому, что в расходной части их баланса весьма значительная доля приходится на образование айсбергов и на непосредственное таяние на контакте ледников с морскими водами. Для Земли Франца-Иосифа расход в море составляет ~40% общего расхода (Кренке, 1964), для Новой Земли — ~15% (Чижов и др., 1968). В настоящее время снегонакопление и абляция в этом районе примерно равны между собой, но из-за образования айсбергов ледники отступают. Если бы ледниковые щиты граничили не с морем, а с сушей, то во время кратковременных потеплений, подобных современному, они сохраняли бы постоянные размеры, а во время похолоданий увеличивались бы до тех пор, пока не образовали единого большого ледникового щита, занимающего значительную часть современной акватории Баренцева и Карского морей. Именно такое положение, вероятно, имело место в эоплейстоцене.

Увеличение Антарктического и образование Гренландского, Баренцева и других ледниковых щитов вызвало дальнейшее снижение уровня Мирового океана и понижение его температуры. Произошло общее похолодание климата всей Земли. Но в эоплейстоцене все это не привело к покровному оледенению умеренных широт. Стационарные антициклоны над Баренцевым и Гренландским ледниковыми щитами, высокая ледовитость Норвежского моря, суша на месте Балтийского и большей части Северных морей — все это способствовало увеличению континентальности климата Европы и Северной Америки и препятствовало их оледенению. При континентальном климате даже очень большое похолодание может не привести к оледенению — в Восточной Сибири покровного оледенения не было в самые холодные периоды плейстоцена. Аналогичные условия господствуют в настоящее время в пределах северной Канады — ее оледенению препятствует антициклон над Гренландским ледниковым щитом.

О климатических условиях эоплейстоцена можно судить на основе палеонтологических (Громов и др., 1969) и палеоботанических (Гричук, 1959) данных. Очень большой вклад в реконструкцию палеогеографии этого периода внесен В. И. Громовым (1948). Он отстаивает положение об отсутствии в эоплейстоцене покровного оледенения умеренных широт и об относительно холодном и континентальном (по сравнению с предыдущим периодом) климате эоплейстоцена. Это положение может быть названо постулатом Громова.

В эоплейстоцене имела место самая высокая за все время геологической истории акчагыльско-апшеронская трансгрессия Каспия, которая сменила его самую глубокую регрессию. В период трансгрессии Каспий продолжал оставаться озерным бассейном и его заселяла своеобразная эндемичная фауна. До сих пор не удавалось сколько-нибудь правдоподобно объяснить причины этой трансгрессии. Тектонические движения не могут изменить размеры бессточного озера (Квасов, 1966). Климат в этот период не стал более влажным. Только очень большое увеличение водосборного бассейна Каспия могло вызвать образование акчагыльского бассейна. Когда шельф Баренцева моря представлял собой сушу, устья рек, текущих с Восточно-Европейской равнины на север, находились где-то в районе Шпицбергена. Баренцев ледниковый щит мог преградить эти реки и направить их сток в южном направлении (Квасов, Ананова, Борисов, Дибнер, 1969). В Каспий северные воды поступали возможно по «Ергень-реке», отложениями которой являются верхние горизонты ергенинских песков (Васильев, 1969).

Все сказанное выше о природе эоплейстоцена можно кратко резюмировать следующим образом.

1. На границе неогена и четвертичного периода (антропогена) имела место регрессия Мирового океана, вызванная тектоническими причинами (постулат Дэна — Нансена).

2. Понижение уровня океана вызвало рост оледенения полярных широт (постулат Пенка — Холлина), которое в этот период достигло максимального развития.

3. В северном полушарии рост оледенения полярных широт привел к установлению в умеренных широтах более холодного и континентального климата, чем в предыдущее время; континентальность климата препятствовала покровному оледенению умеренных широт (постулат Громова).

ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ ПЛЕЙСТОЦЕНА

К началу плейстоцена уровень океана повысился, что привело к исчезновению Баренцева ледникового щита. Вдоль северного побережья Евразии море достигло современной береговой линии и затопило также некоторые площади, занятые теперь сушей (Петров, 1969). Это — падимейская трансгрессия в бассейне Печоры, туруханская — в бассейне Енисея, карагинская — на побережье Берингова моря.

Трансгрессия, однако, не привела к исчезновению Антарктического и Гренландского ледниковых щитов, которые продолжали оказывать значительное влияние на климат. В Скандинавии установился прохладный и влажный климат, чрезвычайно благоприятный для оледенения. Из теоретических представлений, развитых К. Бруксом (1952), вытекает, что самое небольшое понижение температуры воздуха приводит здесь к образованию ледникового щита, размеры которого могут оказаться достаточными для формирования над ним относительно стационарной холодной воздушной массы. Это вызывает быстрое увеличение размеров щита, которое продолжается до тех пор, пока его южная граница не достигнет таких районов, где повышенная абляция мешает

дальнейшему продвижению льда. Рост Скандинавского ледникового щита многократно усиливает то первоначальное похолодание, которое вызвало его образование. Происходит изменение климата всего умеренного пояса северного полушария и ледниковые щиты образуются также в Северной Америке, на северо-западе Сибири и в других районах; сильно увеличивается площадь морских льдов. Таким образом, возникновение и рост оледенения умеренных широт могут быть объяснены на основе положений, которые предлагается назвать постулатом Брукса.

Гораздо труднее объяснить отступление ледников и чередование ледниковых и межледниковых эпох. В периоды максимумов оледенений потепление не должно было бы приводить к значительному сокращению площади ледников — высокое альbedo обеспечивает их устойчивость. Многими исследователями поэтому разрабатывалась теория автоколебательных процессов (Гернет, 1930; Stokes, 1955; Чижов, 1966) — ледники сами создают условия, способствующие их исчезновению. Один из вариантов такого рода теорий развит М. Юингом и У. Донном (Ewing, Donn, 1956, 1958, 1966). По их мнению, оледенение возникает при безледном Северном Ледовитом океане, который обеспечивает питание растущих ледников. Последующее замерзание Северного Ледовитого океана вызывает уменьшение питания ледников и приводит к их отступанию и к началу межледниковья. С. Я. Сергин и В. Я. Сергин (1969) предполагают, что отступление ледников вызывается действием обратных связей в системе земная поверхность — атмосфера. Они учитывают также инерционность теплового состояния океана. Недостатком этих теорий является совершенно различная продолжительность управляющего и управляемого процессов. Для изменения состояния атмосферы достаточно нескольких месяцев, ледовитость океана меняется за десятки, а его тепловое состояние за сотни лет. Между тем рост и отступление каждого оледенения продолжаются десятки тысяч лет. Регулирующие механизмы, слишком быстро реагирующие на развитие оледенения, не дали бы ему достичь сколько-нибудь значительных размеров.

Развитие оледенения приводит к концентрации в ледниковых щитах значительной части воды, участвующей в планетарном влагообороте. В результате уровень Мирового океана снижается на величину порядка 150 м. Это положение, которое можно назвать постулатом Макларена (MacLaren, 1842), давно уже приобрело характер тривиальной истины.

Постулаты Макларена и А. Пенка — Холлина позволяют предложить механизм автоколебательного процесса, кажется свободный от отмеченных выше недостатков. В результате падения уровня океана во время оледенения огромные пространства шельфов превращаются в сушу. Становится сушей значительная часть Баренцева моря, а в остальной его части глубины уменьшаются настолько, что уже не могут препятствовать движению ледников прямо по дну. В таких условиях может снова образоваться Баренцев ледниковый щит. Его существование во время последнего оледенения и вероятно также во время предыдущих оледенений признается большинством исследователей (De Geer, 1900; Nansen, 1904; Blüthgen, 1942; Emery, 1949, 1968; Шепард, 1969). Большой вклад в исследование этого щита внесен М. Г. Гросвальдом (1967; Шютт, Хоппе, Блейк, Гросвальд, 1968).

Скандинавский ледниковый щит являлся мощным препятствием для широтной циркуляции атмосферы в умеренных широтах. Его образование было равносильно образованию огромного плоскогорья, имеющего в центральных частях высоты до 3,5 км. Проникновению атлантических воздушных масс на восток препятствовал также формировавшийся над

щитом стационарный антициклон. Все это сильно уменьшило осадки на восточной и юго-восточной периферии ледника. Но поскольку испаряемость также сильно уменьшалась, на первом этапе оледенения там сохранялись условия избыточного увлажнения, что способствовало дальнейшему росту ледников. Когда севернее Скандинавского щита возник Баренцев щит, широтная циркуляция еще более ослабела, а возможно даже практически совсем прекратилась. На пути влажных атлантических воздушных масс возник барьер из ледниковых щитов, простиравшийся от Шпицбергена до Карпат; южнее находились горные системы, также покрытые ледниками. В этот период температуры воздуха, а следовательно и испаряемость, достигли минимальных значений. Но в районах, расположенных к востоку и к югу от ледника, осадки уменьшились в еще большей степени и там установились условия недостаточного увлажнения. Это приводило к уменьшению питания ледников и их восточная и юго-восточная граница начинала быстро отступать. Уменьшение ледниковых щитов Европы и севера Западной Сибири вызывало отступление других ледников умеренных широт. В результате поднимался уровень Мирового океана и резко увеличивалось образование айсбергов на периферии Баренцева щита; этому способствовало изостатическое опускание его ложа. Вслед за ледниками умеренных широт исчезал также Баренцев щит. Наступало межледниковье, а тем самым и условия для нового оледенения.

Существование влажных приледниковых ландшафтов в начале и сухих — в конце оледенений отмечалось уже около ста лет назад Ф. Нерингом (Nehring, 1890). Он изучал смену фаунистических комплексов млекопитающих. На основе данных спорово-пыльцевого анализа к такому же выводу пришли М. П. Гричук и В. П. Гричук (1960). В честь этих исследователей положение о чередовании влажных и сухих приледниковых ландшафтов может быть названо постулатом Неринга — Гричука. Последующие исследования подтвердили, что такие условия наблюдались во всей северной Евразии (Frenzel, 1968; Гитерман и др., 1969; Равский, 1969). В пределах Ближнего Востока относительно гумидные условия были приурочены к началу, а аридные — к концу оледенений (Butzer, 1953). Данные о трансгрессиях Каспия не могут быть использованы для суждения о климате, поскольку они вызывались притоком ледниковых вод (Квасов, 1968).

Чередование ледниковых и межледниковых эпох является таким образом результатом автоколебательных процессов. Для того, чтобы начались колебания, достаточно небольшого внешнего толчка. Такими толчками были похолодания, вызванные периодическими изменениями элементов земной орбиты (кривая Миланковича). Кривая Миланковича может быть продлена далеко в геологическое прошлое — она рассчитана для последних 30 млн. лет (Шараф, Будников, 1969). Но на протяжении большей части геологической истории Земли (в том числе и в эоплейстоцене) с ней связаны лишь относительно небольшие изменения климата. Только в плейстоцене действовал механизм, многократно усиливший колебания, вызванные астрономическими причинами.

Подводя итоги всему сказанному выше о плейстоцене, можно отметить следующее.

1. В условиях, когда уровень океана был близок к современному и существовали Антарктический и Гренландский ледниковые щиты, небольшое похолодание приводило к возникновению Скандинавского ледникового щита, который увеличивался до очень больших размеров и многократно усиливал первоначальное похолодание; в результате в умеренных широтах возникали также другие ледниковые щиты (постулат Брукса).

2. Развитие оледенения приводило к концентрации в ледниках значительной части воды, участвующей в планетарном влагообороте, в результате чего уровень Мирового океана понижался (постулат Макларена).

3. Понижение уровня океана вызвало рост оледенения полярных широт (согласно постулату А. Пенка — Холлина). Это приводило к усилению континентальности климата умеренных широт (аналогично постулату Громова). На восточной и южной периферии европейски ледниковых щитов на месте тундровых ландшафтов возникали аридные приледниковые ландшафты (постулат Неринга — Гричука). В результате ледники умеренных широт отступали, уровень океана повышался, уменьшалось оледенение полярных широт — наступала межледниковая эпоха, а тем самым и условия для нового оледенения (согласно постулату Брукса).

4. Первоначальные похолодания, приводившие к оледенениям умеренных широт, вызывались периодическими изменениями элементов орбиты Земли (кривая Миланковича). Только в плейстоцене действовал механизм, многократно усиливавший эти похолодания.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ БУДУЩЕЕ

Предлагаемая теория придает большое значение колебаниям уровня, циркуляции, термического и ледового режима Мирового океана. Поэтому она может быть названа океанологической теорией оледенения (Квасов, 1971; Квасов, 1972). Можно надеяться, что в ближайшее время динамика атмосферы, гидросферы и ледников станет предметом расчетов, которые позволят объяснить изменения природы Земли хотя бы за последние несколько миллионов лет. Эти расчеты позволят также судить о геологическом будущем.

В случае, если природа Земли будет развиваться без значительного вмешательства человека, оледенения, вероятно, станут периодически повторяться и в дальнейшем. Кривая Миланковича рассчитана для ближайшего миллиона лет (Шараф, Будникова, 1969). В течение предстоящих нескольких тысяч лет будет вероятно продолжаться похолодание, которое началось около 3 тыс. лет назад (субатлантический период голоцена). В ближайшем геологическом будущем похолодание может довести ледники Скандинавии до критических размеров, при которых начнет действовать описанный выше автоколебательный процесс развития оледенения. За время нескольких последующих оледенений экзарация шельфа Баренцева моря доведет его глубины до таких пределов, при которых образование ледниковых щитов умеренных широт не будет вызывать образования Баренцева щита. В таких условиях автоколебательный процесс перестанет действовать, а оледенение умеренных широт станет стационарным.

Все это позволяет прийти к заключению, что возможны три разных вида оледенения: стационарное оледенение полярных широт, пульсирующее оледенение умеренных широт и стационарное оледенение умеренных широт. В южном полушарии уже на протяжении нескольких миллионов лет имеет место первый вид оледенения. В северном же полушарии он был характерен только для эоплейстоцена. В плейстоцене происходило пульсирующее оледенение умеренных широт; оно вероятно будет наблюдаться и в не очень отдаленном геологическом будущем. В более отдаленном будущем оледенение умеренных широт может стать стационарным.

При естественном ходе геологической истории новое оледенение может начаться в ближайшие тысячелетия. Нужно учитывать также сти-

хийную деятельность человечества, которая уже в настоящее время приводит к накоплению в атмосфере углекислого газа и к производству значительного количества энергии. Все это показывает, что необходимо уделить самое пристальное внимание разработке теории общей циркуляции атмосферы и океана и динамики ледников, которую можно будет применить не только к современным условиям Земли, но и к геологическому прошлому. Если результаты расчетов будут соответствовать данным, полученным при палеогеографических исследованиях, то та же теория сможет быть применена для расчета будущих состояний атмосферы, гидросферы и ледников, как тех, которые наблюдались бы при естественном развитии Земли, так и тех, которые возникнут при стихийном или планомерном вмешательстве человека в планетарные процессы. Эти расчеты позволят планировать мероприятия, которые предотвратят неблагоприятные изменения природы Земли, а в дальнейшем позволят изменять природу в желательном для человечества направлении.

Из предложенных к настоящему времени проектов изменения климата Земли самого серьезного внимания заслуживает проект искусственного усиления водной циркуляции в Северном Ледовитом океане (Борисов, 1970). Этот проект находится в полном соответствии с постулатом Агассиса и вместе с тем учитывает технические возможности современного человечества. Ясно, что невозможно углубить проливы, связывающие Атлантический и Северный Ледовитый океаны, или искусственно увеличить скорости течения в них. Но если откачивать воду из Северного Ледовитого океана через Берингов пролив, то усиление притока атлантических вод в Арктику весьма вероятно. Против проекта П. М. Борисова приводят обычно такое возражение: потепление климата вызовет таяние ледников и поднятие уровня океана, что ставит под сомнение целесообразность осуществления проекта. Это возражение снимается постулатом А. Пенка — Холлина. Подавляющая часть объема современного оледенения сосредоточена в полярных широтах, где главной, а часто даже единственной расходной статьей баланса ледников является образование айсбергов. Существенное уменьшение ледников Антарктиды и Гренландии можно было бы ожидать только тогда, когда их абляция превысила бы аккумуляцию. Для этого же потребовалось бы потепление, гораздо большее того, которое можно ожидать в результате осуществления проекта П. М. Борисова. Другое возражение сводится к тому, что потепление вызовет увеличение засушливости климата. Его снимает постулат Неринга — Гричука. В течение плейстоцена наиболее засушливые периоды были во второй половине оледенений. В более отдаленном прошлом теплый климат был обычно в то же время и влажным.

Сказанное не значит, что нужно немедленно браться за осуществление проекта П. М. Борисова или какого-нибудь другого проекта изменения климата Земли. Их пока нужно всесторонне проверять и активно разрабатывать. Проблема преобразования природы столь грандиозна, что рассматривающие ее геолого-географические науки должны получить не меньшее развитие, чем физика, химия и биология, а в дальнейшем возможно и превзойти их.

Автор выражает признательность Е. Н. Анановой, Е. В. Артюшковой, П. М. Борисову, П. С. Воронову, Л. С. Говорухе, Г. И. Горецкому, А. Ф. Грачеву, В. П. Гричуку, В. И. Громову, М. Г. Гросвальду, В. Д. Дибнеру, В. П. Кабайле, А. М. Карасику, И. И. Краснову, А. С. Лаврову, Ю. Я. Лившицу, А. С. Монину, К. В. Никифоровой, Е. А. Спиридоновой, С. Я. Сергину, О. П. Чижову, И. С. Чумакову и Е. В. Шанцеру за ценные советы и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

- Баранова Ю. П., Бискэ С. Ф. и др. Кайнозой северо-востока СССР. М., «Наука», 1968.
- Борисов П. М. Может ли человек изменять климат. М., «Наука», 1970.
- Брукс К. Климаты прошлого. М., Изд-во ин. лит-ры, 1952.
- Вайтекунас С. К. Погребенные речные долины Литвы.—Тр. АН Лит. ССР, сер. Б, 1969, № 1 (56).
- Васильев Ю. М. Формирование антропогенных отложений ледниковой и внеледниковой зон. М., «Наука», 1969.
- Волков И. А., Волкова В. С., Задкова И. И. Покровные лёссовые отложения и палеогеография юго-запада Западной Сибири в плиоцен-четвертичное время. Новосибирск, «Наука», 1969.
- Воронов П. С. Опыт реставрации ледникового щита Антарктиды эпохи максимального оледенения Земли.—Инф. бюлл. Сов. антарк. эксп., 1960, № 23.
- Воскресенский С. С. Одновременность основных этапов развития рельефа и неотектонических движений на территории СССР.—В кн.: Проблемы тектонических движений и новейших структур земной коры. М., «Наука», 1968.
- Гернет Е. С. Ледяные лишаи. Токио, 1930.
- Гитерман Р. Е., Голубева Л. В., Заклинская Е. Д., Коренева Е. В., Матвеева О. В., Скиба Л. А. Основные этапы развития растительности северной Азии в антропогене.—Тр. Геол. ин-та АН СССР, вып. 177. М., «Наука», 1969.
- Горецкий Г. И. О происхождении и возрасте глубоких долинообразных понижений в рельефе постели антропогенных отложений ледниковой области.—В кн.: Нижний плейстоцен ледниковых районов Русской равнины. М., «Наука», 1967.
- Гричук В. П. Нижняя граница четвертичного периода (системы) и ее стратиграфическое положение на Русской равнине.—Тр. Ин-та геогр. АН СССР, т. 77. М., Изд-во АН СССР, 1959.
- Гричук М. П., Гричук В. П. О приледниковой растительности на территории СССР.—В кн.: Перигляциальные явления на территории СССР. Изд-во МГУ, 1960.
- Громов В. И. Палеонтологическое и археологическое обоснование стратиграфии континентальных отложений четвертичного периода на территории СССР (млекопитающие, палеолит).—Тр. Ин-та геол. наук АН СССР, вып. 64. М., Изд-во АН СССР, 1948.
- Громов В. И., Краснов И. И., Никифорова К. В., Шанцер Е. В. Схема подразделений антропогена.—Бюлл. Комиссии по изуч. четвертичн. периода, № 36. М., «Наука», 1969.
- Гросвальд М. Г. Оледенение Баренцева шельфа в позднем плейстоцене и голоцене.—Мат-лы гляциол. исследований; хроника, обсуждения, вып. 13. М., «Наука», 1967.
- Дибнер В. Д., Гаккель Я. Я. и др. Геоморфологическая карта Северного Ледовитого океана.—Тр. НИИ геологии Арктики, 143. Л., 1965.
- Исаенков В. А. Новые данные по палеогеоморфологии и неотектонике бассейна верхнего Днепра.—Изв. АН СССР, сер. геогр., 1963, № 3.
- Квасов Д. Д. Водный баланс среднеплиоценового Каспия.—Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы, отд. геол., 1966, № 6.
- Квасов Д. Д. Палеогидрология Восточной Европы в позднечетвертичное время.—В кн.: Доклады на ежегодных чтениях памяти Л. С. Берга, VIII—XIV. Л., «Наука», 1968.
- Квасов Д. Д. О предполагаемых причинах четвертичного оледенения.—Изв. АН СССР, сер. геогр., 1972, № 1.
- Квасов Д. Д., Ананова Е. Н., Борисов А. А., Дибнер В. Д. О палеогеографии Восточной Европы в ачкагыльско-апшеронское время.—Вестник Ленингр. ун-та, 6, 1969.
- Кренке А. Н. Бюджет массы и современная эволюция оледенения Земли Франца-Иосифа. М., 1964.
- Ксенишкевич М., Самсонович Я., Рюле Э. Очерк геологии Польши. М., «Недра», 1968.
- Лобачев И. Н. О развитии сети древних переуглубленных долин и формировании современного рельефа Костромской области.—В Сб. статей по геол. и гидрогеол., вып. 4. М., «Недра», 1965.
- Логачев Н. А. Кайнозойские континентальные отложения впадин байкальского типа.—Изв. АН СССР, сер. геол., 1958, № 4.
- Малаховский Д. Б., Марков К. К. (редакторы). Геоморфология и четвертичные отложения северо-запада Европейской части СССР. Л., «Наука», 1969.
- Марков К. К., Лазуков Г. И., Николаев В. А. Четвертичный период, т. I. Изд-во МГУ, 1965.
- Никонов А. А. О древних долинах северо-восточной части Балтийского щита.—Докл. АН СССР, 1967, 177, № 5.
- Петров О. М. Антропогенные морские моллюски Северной Евразии и их значение для стратиграфии.—В кн.: Основные проблемы геологии антропогена Евразии. М., «Наука», 1969.
- Равский Э. И. Основные черты климатов Сибири в антропогене.—В кн.: Основные проблемы геологии антропогена Евразии. М., «Наука», 1969.
- Рухина Е. В. О предчетвертичных долинах северо-западной части Русской платформы.

- и их геологическое значение.— Тр. Ленингр. об-ва естествоиспытателей, отд. геол. и минер., 69, вып. 2, 1957.
- Сергин С. Я., Сергин В. Я.* Исследование динамики колебаний климата на протяжении четвертичного периода.— Докл. АН СССР, 1969, 186, № 4.
- Стрелков С. А.* Развитие береговой линии арктических морей СССР в четвертичном периоде.— Тр. Ин-та геол. АН Эст. ССР, 8, 1961.
- Троицкий С. Л.* Четвертичные отложения и рельеф равнинных побережий Енисейского залива и прилегающей части гор Бырранга. М., «Наука», 1966.
- Удинцев Г. Б.* Рельеф дна Охотского моря. Тр. Ин-та океанол. АН СССР, т. 22. М., Изд-во АН СССР, 1957.
- Уфлянд А. К., Ильин А. В., Спиринов А. И.* Впадины байкальского типа северной Монголии.— Бюлл. Моск. об-ва испытателей природы, отд. геол., № 6, 1969.
- Чижов О. П.* Ледники и климат. Природа, 1966, № 7.
- Чижов О. П.* и др. Оледенение Новой Земли. Результаты исследований по программе Международного геофизического года. Гляциология, 1968, № 18.
- Чочиа Н. Г.* (ред.) Геологическое строение и прогноз нефтегазоносности севера Западной Сибири.— Тр. Всес. нефт. н.-и. геол. ин-та (ВНИГРИ), т. 263. М., 1968.
- Чумаков И. С.* Некоторые вопросы истории Средиземноморского бассейна в конце миоцена — начале плиоцена по новым данным.— Сов геол., 1971, № 10.
- Харланд У. Б.* Проверка фактами теории мобилизма.— Уч. зап. НИИ геологии Арктики, 10, 1967.
- Холлин Дж.* Об истории оледенения Антарктиды.— В кн.: Вопросы динамики и современной эволюции ледников. М., «Прогресс», 1964.
- Холтедаль Х.* Некоторые вопросы геологии и геоморфологии гляциальных шельфов.— В кн.: Рельеф и геология дна океанов. М., «Прогресс», 1964.
- Шараф Ш. Г., Будникова Н. А.* Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебаний климата.— Тр. Ин-та теоретич. астрономии АН СССР, т. 14. М., «Наука», 1969.
- Шепард Ф. П.* Морская геология. Л., «Недра», 1969.
- Шик С. М.* Погребенные долины юго-западной части Подмосковского бассейна.— В кн.: Материалы по геол. и полезн. ископ. центрально-районов Европейской части СССР», вып. 3. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Шютт В., Хоппе Г., Блейк В. (мл.), Гросвальд М. Г.* О распространении позднеплейстоценового оледенения в европейской Арктике.— Изв. АН СССР, сер. геогр., 1968, № 5.
- Шараф Ш. Г., Будникова Н. А.* Вековые изменения элементов орбиты Земли и астрономическая теория колебания климата.— Тр. Ин-та теоретич. астрономии АН СССР, т. 14. М., «Наука», 1969.
- Шепард Ф. П.* Морская геология. Л., «Недра», 1969.
- Шик С. М.* Погребенные долины юго-западной части Подмосковского бассейна.— В кн.: Материалы по геологии и полезн. ископ. центрально-районов Европейской части СССР, вып. 3. М., Госгеолтехиздат, 1960.
- Шютт В., Хоппе Г., Блейк В. (младший), Гросвальд М. Г.* О распространении позднеплейстоценового оледенения в европейской Арктике.— Изв. АН СССР, сер. географ., 1968, № 5.
- Bauer A.* The balance of the Greenland ice sheet.— J. Glaciol., 1955, 2, N 17.
- Blundell D. J., Griffiths D. H., King R. F.* Geophysical investigations of buried river valleys around Cardigan Bay.— Geol. J., 1969, 6, N 2.
- Blüthgen J.* Die diluviale Vereisung des Barentsseseschelfes.— Die Naturwissenschaften, 1942, 30. Jahrg., H. 44/45.
- Butzer K. W.* Quaternary stratigraphy and climate in the Near East.— Bonner Geogr. Abhandl., 1953, H. 24.
- Cepek A. G.* Stand und Probleme der Quartärstratigraphie im Nordteil der DDR.— Ber. deutsch. Ges. geol. Wiss., 1967, Reihe A, 12, N 3/4.
- Curry R. R.* Glaciation about 3 000 000 years ago in the Sierra Nevada.— Science, 1966, 154, N 3750.
- Dana J. D.* Address of the president of the Association.— Proc. Amer. Assoc. for Adv. of Science, 1855, 9.
- De Geer G.* Om östra Spetsbergens glaciation inder istiden.— Geol. Fören. i Stockholm Förhandl., 1900, N 201, Bd. 22, H. 5.
- Einarsson T.* On the question of Late-Tertiary or Quaternary connections across the North Atlantic and the dispersal of biota in that area.— J. Ecol., 1964, 52.
- Emery K. O.* Topography and sediments of the Arctic Basin.— J. Geol., 1949, 57, N 5.
- Emery K. O.* Shallow structure of continental shelves and slopes.— South-eastern Geology, 1968, 9, N 4.
- Emery K. O., Zarudski E. F. K.* Seismic reflection profiles along the drill holls on the continental margin of Florida.— Geol. Survey Profess. Paper, 1967, 581-A.
- Ewing M., Donn W. L.* The theory of ice age, I.— Science, 1956, 123, N 3207; II.— Science, 1958, 127, N 3307; III.— Science, 1966, 152, N 3730.

- Frenzel B.* Grundzüge der pleistozänen Vegetationsgeschichte Nord—Eurasiens. Wiesbaden, 1968.
- Girdler R. W., Fairhead J. D., Searle R. C., Sowerbutts W. T. C.* Evolution of rifting in Africa.—*Nature*, 1969, 224, N 5225.
- Glenie R. C., Schofield J. C., Ward W. T.*—Tertiary sea levels in Australia and New Zealand.—*Palaeogeogr., palaeoclim., palaeoecol.*, 1968, 5, N 1.
- Goodel H. G., Watkins N. D., Mather T. T., Koster S.*—The Antarctic glacial history recorded in sediments of the Southern Ocean.—*Palaeogeogr., palaeoclim., palaeoecol.*, 1968, 5, N 1.
- Gregory J. W.* Raised beaches and variations of sea level.—*Scientia (Bologna)*, 1931, v. 49, N 2.
- Harland W. B.* Contribution of Spitsbergen to understanding of tectonic evolution of North Atlantic region.—In: Kay M. (editor) *North Atlantic geology and continental drift*. Tulsa (Oklahoma), 1969.
- Herman Y.* Arctic paleo-oceanography in Late Cenozoic time.—*Science*, 1970, 169, N 3944.
- Holtedahl H.* Some remarks on geomorphology of continental shelves of Norway, Labrador and southern Alaska.—*J. Geol.*, 1958, 66, N 4.
- Kvasov D. D.* Postulate einer Eiszeit Theorie.—*Eiszeitalter und Gegenwart*, 1971, 22.
- Le Masurier W. E.* Volcanic evidence vor Early Tertiary glaciation in Marie Byrd land.—*Antarct. j. U. S.*, 1970, 5, N 5.
- Le Pichon X.* Sea-floor spreading and continental drift.—*J. Geophys. Res.*, 1968, 73, N 12.
- Maclaren C.* The glacial theory of professor Agassiz.—*Amer. J. Science and Arts*, 1842, 42.
- Mercer J. H.* Glaciation of southern Argentina more than two million years ago.—*Science*, 1969, 164, N 3881.
- Nansen F.* The bathymetrical features of the North Polar seas, with a discussion of the continental shelves and previous oscillations of shore-line.—In: *The Norwegian North Polar Expedition 1893—1896. Scientific results*, 1904, v. IV, N 13.
- Neev D., Emery K. O.* The Dead Sea.—*Bull. Geol. Surv. Israel*, 1967, 41.
- Nehring A.* Über Tundren und Steppen der Jetzt- und Vorzeit mit besonderer Berücksichtigung ihrer Fauna. Berlin, 1890.
- Penck A.* Die Ursachen der Eiszeit.—*Sitzungsberichte der Preussischen Akademie der Wissenschaften zu Berlin, Phys.-Math. Kl.*, 1928, N 6.
- Spencer A. M.* High continental elevation preceding the Pleistocene Period.—*Geol. Mag.*, 1890, N. S., Dec. 3, v. 7, N 5(311).
- Steuerwald B. A., Clark D. L., Andrew J. A.* Magnetic stratigraphy and faunal patterns in Arctic Ocean sediments.—*Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1968, 5, N 2.
- Stokes W. L.* Another look at the Ace Age.—*Science*, 1955, 122, N 3174.
- Tanner W. F.* Multiple influences on sealevel changes in the Tertiary.—*Palaeogeogr., palaeoclim., palaeoecol.*, 1968, 5, N 1.
- Upham W.* Quarternary changes of levels.—*Geol. Mag.*, N. S., 1890, Dec. 3, v. 7, N 11(317).
- Valentin H.* Der Nordseeraum an der Wende Tertiär—Quartär.—*Die Erde*, 1951—1952, H. 3—4.
- Voorthuysen van J. H.* Crustal movements of the North Sea Basin during Pliocene and early Pleistocene time.—*Geol. en Mijnb.*, 1954, N. S., 16, N 6.
- Wensink H.* Paleomagnetic stratigraphy of younger basalts and intercalated plio-pleistocene tillits in Iceland.—*Geol. Rundschau*, 1965, 54.