

ЛЕДНИКИ И КЛИМАТ

О. П. Чижов

Кандидат географических наук
Институт географии АН СССР (Москва)

Расширение исследований в Арктике и Антарктике, особенно в период МГГ, позволило по-новому взглянуть на некоторые стороны происхождения и развития ледников. В настоящее время не вызывает сомнений, что современное оледенение оказывает определяющее влияние на климат Земли. Еще большее влияние, очевидно оказывало оно в прошлом, когда было более обширным.

Снег и лед способствуют сильному охлаждению земной поверхности, обладают способностью отражать от 45 до 95% энергии падающих на них солнечных лучей (поверхность, не покрытая снегом или льдом, отражает в среднем всего 14%). В то же время лед и снег обладают повышенной способностью терять тепло длинноволновым (невидимым, тепловым) излучением.

Поэтому Центральная Арктика и Антарктика, в отличие от других территорий, имеют отрицательный годовой «радиационный баланс» и оказываются источниками охлаждения планеты. Температура снежной поверхности в Антарктиде опускается ниже средней температуры стратосферы, равной 50—55° ниже нуля, а абсолютный минимум температуры, измеренной 24 августа 1960 г. на станции Восток (—88°,3), близок минимальной температуре свободной атмосферы. Столь низкая ее температура над Антарктидой определяется влиянием снежно-ледяной подстилающей поверхности. Ежегодно в среднем 72 млн. км² земной поверхности находится под снежным покровом в высоких и умеренных широтах обоих полушарий, получая солнечного тепла на 65% меньше того, что могли бы получить, не будучи покрытыми снегом. Современные климатические различия по широтным зонам в значительной степени обусловлены влиянием полярных снежно-ледяных шапок.

Покрывание льдом всей земной поверхности привело бы к устойчивому, совершенно от-

личному от современного, состоянию. По выполненным расчетам (П. А. Шумский и А. Н. Кренке, 1964), средняя температура поверхности Земли снизилась бы до 88°,6 ниже нуля, против современной +14°,3.

Земля никогда не подвергалась полному оледенению, напротив, устойчивое безледное состояние земной поверхности господствовало на протяжении большей части истории нашей планеты. И на безледной, и на полностью оледенелой Земле должны были бы существовать не столь резко выраженные климатические различия полярных и экваториальных областей и, соответственно, менее интенсивная циркуляция атмосферы. Для теплого (безледного) состояния Земли это подтверждают геологические данные.

Различными расчетами (М. И. Будыко, 1962, Ч. Бруко, 1947) также доказывается решающее значение оледенения полярных областей для климата Земли. Если это так, то невольно возникает мысль: правильна ли сама постановка вопроса, когда говорят, что непосредственной причиной возникновения и развития ледников явилось какое-то общее, охватывающее всю Землю, или по крайней мере обширные ее зоны, изменение климата в сторону похолодания и увлажнения? Пока удовлетворительного объяснения причины такого изменения нет. И оледенение, и климат — это два разных следствия одной общей причины — энерго-массообмена между земной поверхностью и атмосферой.

Этот энерго-массообмен определяется условиями существования Земли как планеты и природными (физико-географическими) условиями на ее поверхности. Можно предположить поэтому, что какое-то изменение природных условий привело к появлению, а затем постепенному развитию ледников, дотоле не существовавших, а увеличение доли поверхности, покрытой снегом и льдом, все больше и больше изменяло условия тепло- и массообмена и привело к решающим изменениям климата. Они были тем большими, по сравнению с доледниковым климатом, чем шире распространялся лед.

Такая постановка вопроса значительно облегчает выяснение возможных условий возникновения и развития оледенений, их отступаний и наступаний, столь быстрых в геологическом масштабе времени и столь грандиозных по размерам.

ВОЗНИКНОВЕНИЕ ЛЕДНИКОВ

Известно, что на рубеже третичного и четвертичного периодов оледенению предшествовал и частью сопутствовал процесс мощного горообразования (орогенеза). Еще в 1856 г. Д. Дана, а позже Ч. Ляйель и другие ученые объясняли возникновение ледников горообразованием, которое создало необходимые условия для накопления снега, не успевающего стаять за лето. Из русских ученых, развивавших орографическую гипотезу, следует назвать И. Лукашевича, (1915). Ее сторонником был, по-видимому, и В. А. Обручев (1958). Возражения же против этой гипотезы возникли в связи с трудностью объяснить отступания и наступания льдов, происходившие неоднократно при уже возникших и существующих горах и возвышенностях. В связи с этим, например, известный американский ученый Р. Ф. Флинт (1957) склоняется к солнечно-орографической концепции. Она заключается в объяснении зарождения ледников как следствия третичного орогенеза, а их последующих наступаний и отступаний — колебаниями климата, связанными с солнечной деятельностью. Однако сам Р. Ф. Флинт констатирует, что изменения интенсивности солнечной активности вызывают лишь небольшие колебания. Вопрос о чередовании ледниковых и межледниковых эпох остается, таким образом, нерешенным.

В последние годы довольно широкое распространение получили гипотезы, связываю-

щие возникновение оледенений с перемещениями полюсов или же с дрейфом материков. Перемещением полюсов, например, объясняют возникновение четвертичного оледенения американские геологи М. Юинг и В. Донн (1956). По их представлениям, в прежние геологические эпохи полюса Земли находились в открытом океане: северный — в Тихом, между Северной Америкой и Азией, и южный — между Атлантическим и Индийским, близ южной оконечности Африки. Такое положение полюсов исключало возможность оледенения полярных районов. Перемещение же полюсов в конце третичного времени в их современное положение (притом, как считают, довольно быстрое) создало условия, благоприятные для оледенения из-за наличия высокой суши в полярных областях.

По своим гляциологическим следствиям такой ход событий тождествен орогенезу. Поднялись ли в полярных и приполярных областях горы, дотоле не существовавшие, или высокие материки и острова передвинулись в полярные области, занятые морем, — безразлично. Важно лишь появление высоких участков суши, на которых стал выпадать и скапливаться снег.

РАЗВИТИЕ ЛЕДНИКОВ

Любое скопление не растаявшего за лето снега может через несколько лет перейти в ледник. Этому благоприятствуют незначительные, обычные для любых районов умеренного пояса, колебания климата. Исследования последнего десятилетия, особенно выполненные по программе МГГ на Алтае в Хибинах, на Кавказе, на Земле Франца-Иосифа и Полярном Урале, значительно уточнили представления о взаимодействии между ледниками и климатом.

Исследования на Полярном Урале (В. Г. Ходаков, 1963) показали, как изменяют микроклимат и ослабляют свое собственное таяние малые леднички и снежные пятна. Наблюдения над малыми ледничками, существующими на склонах благодаря навеванию снега зимними метелями, показывают необычайную живучесть таких ледников — они сохраняются и даже увеличиваются в размерах, так как сами своим существованием способствуют усиленному накоплению снега.

Ледяные купола Земли Франца-Иосифа (А. Н. Кренке, 1964), способствуют охлаж-

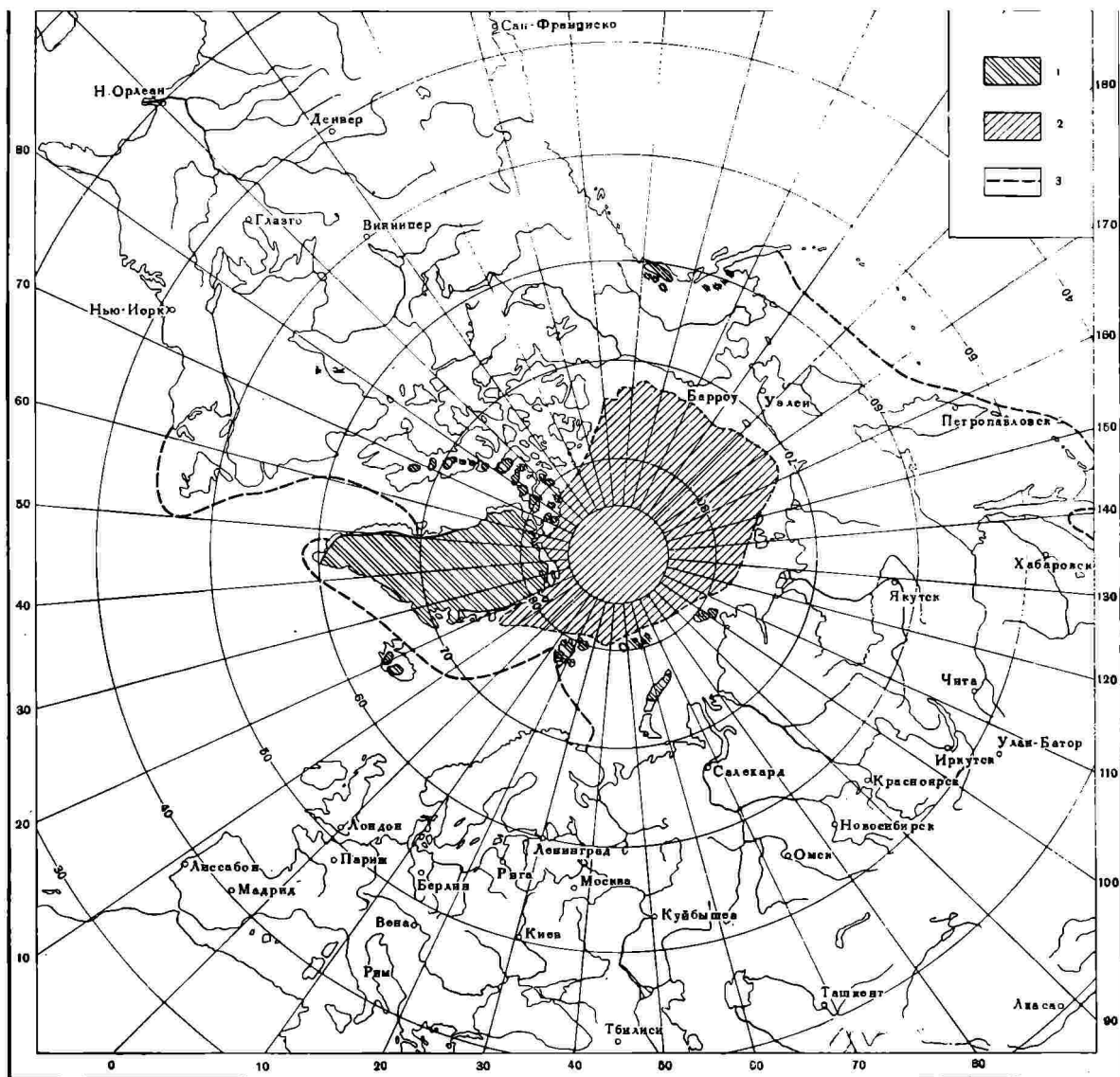


Рис. 1. Северное полушарие. Современное оледенение. Стадия отступления, состояние, близкое к минимуму. Материковый лед (1), постоянный морской ледяной покров (2), южная граница плавучих льдов зимой (3)

дению на $2-3^\circ$ приземного 20—30-метрового слоя воздуха. Большой по размерам ледниковый покров Новой Земли уже несколько изменяет над собой и атмосферную циркуляцию, что видно по изгибу над ним линий равного атмосферного давления (изобар).

Таким образом, однажды возникнув, ледники изменяют климат в сторону, благоприятствующую их развитию. Они увеличиваются в размерах, расплываясь вширь и утолщаясь. До каких грандиозных размеров они могут достигать, показывают ледяные покровы Гренландии и Антарктиды. Сплошной ледяной щит, покрывающий Гренландию, зани-

мает $1\,726\,400\text{ км}^2$ при средней толщине льда 1500 м; размеры ледникового щита Антарктиды по последним данным (И. А. Суэтова, 1963) $13\,991\,000\text{ км}^2$, средняя толщина льда около 2000 м. Скандинавский и Канадский (или Лаврентьевский) ледяные щиты в эпоху последнего максимума оледенения (около 20—30 тыс. лет тому назад) имели размеры того же порядка: Скандинавский — $4\,250\,000\text{ км}^2$, Канадский — $12\,500\,000\text{ км}^2$ (по Р. Ф. Флингу, 1957). Ледяной щит Антарктиды был обширнее современного и более чем на 1 млн. км^2 и соответственно несколько толще.

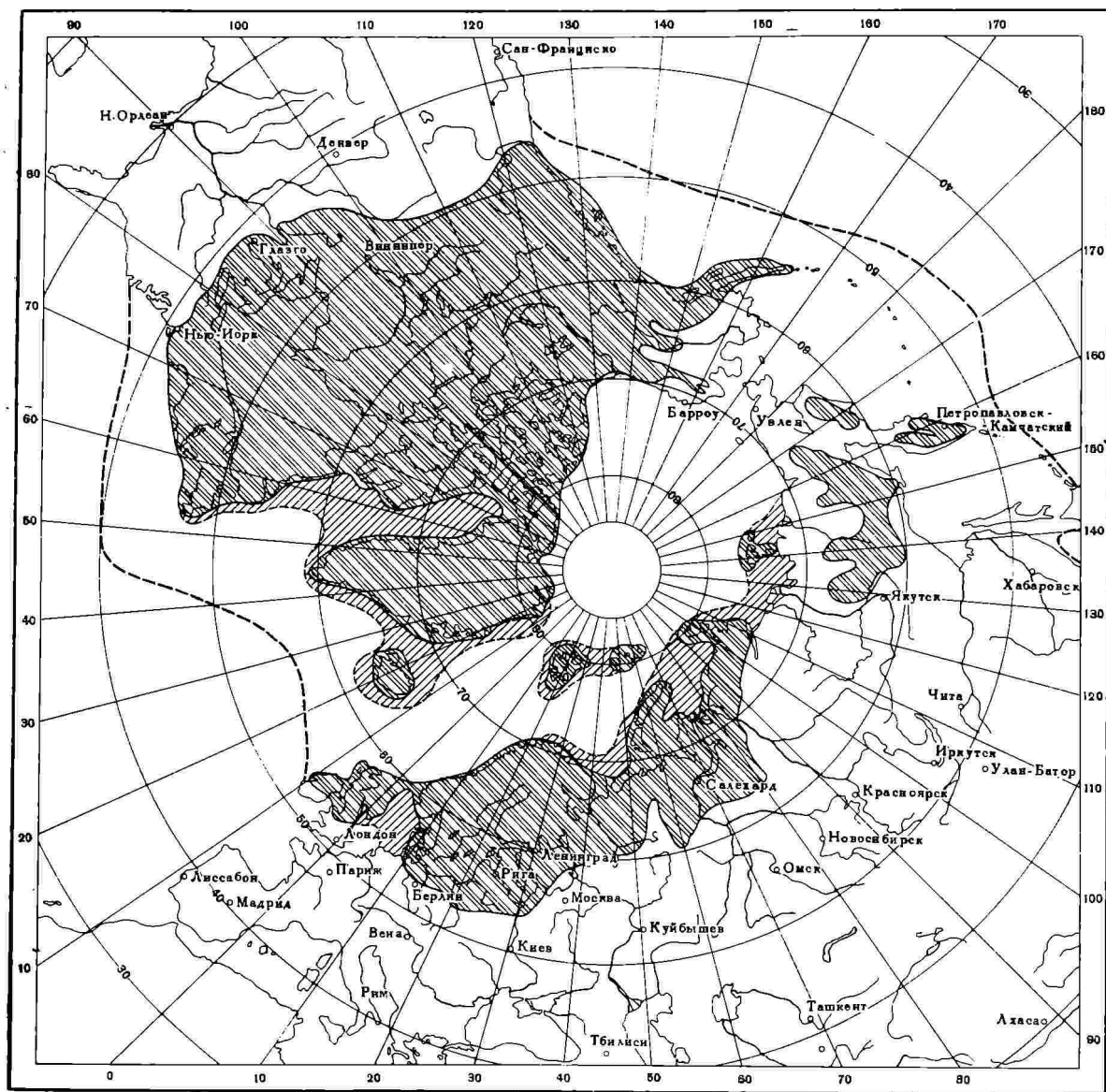


Рис. 2. Древнее оледенение. Стадия наступления, состояние, близкое к максимуму.

Эти цифры показывают, что отдельные ледниковые покровы прошлых геологических эпох по своим размерам сколько-нибудь существенно не превосходили современные ледяные щиты Гренландии и Антарктиды. Но их было больше и все вместе они занимали более обширные территории (рис. 1, 2). Если внимательно посмотреть таблицу (стр. 62), видно, что очень большое сокращение оледенения Земли со времени последнего максимума произошло в основном за счет сокращения и почти полного исчезновения ледяных щитов Северного полушария (Канадского, Скандинавского и некоторых других). В то же время ледяной покров Антарктиды ос-

тался почти в неизменном состоянии (рис. 3). Как можно объяснить этот факт? До последнего времени он не находил объяснения, так же как и неоднократные отступления и наступания ледников от максимальных размеров до современных (и меньших).

ПРЕДЕЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЬДОВ

Крупнейший русский климатолог и географ А. И. Воейков еще в конце прошлого века убедительно показал, что для развития ледников нужны благоприятные физико-географические условия: температура, достаточно низкая для того, чтобы осадки могли

выпадать в виде снега (хотя бы зимой), и влажность, достаточно высокая, чтобы выпадало много снега и он мог бы скапливаться за зиму в количестве, не успевающем стаять за лето. Такие благоприятные условия создаются в местностях с холодным морским климатом. Касаясь полемики о причинах оледенения, А. И. Воейков писал, что само по себе недостаточное похолодание, ни увеличения осадков. Благоприятствует оледенению лишь известное соотношение температуры и осадков, определяющее превышение снегонакопления над таянием. Во всех своих рассуждениях ученый исходил из анализа современных климатических условий в ледниковых районах. Данных наблюдений об условиях существования и режиме ледников в то время было еще очень мало. Но методика анализа, применявшаяся А. И. Воейковым, была совершенно правильной и приводила к верным по существу выводам.

Каждый ледник можно разделить на две части: область питания (аккумуляции) и область расхода (абляции). Как бы ни была, низка температура в области его питания т. е. в верхней части ледника, таяние в области его расхода (или откалывание обломков льда, если ледник спускается в море) может превысить приход массы за счет накопления снега. Чем дальше от источника влаги — океана, оказываются срединные части (области питания) обширных ледниковых покровов, тем более скудным становится их питание. Во внутренних районах Антарктиды годовое количество осадков падает до 50 мм, тогда как на краю покрова оно достигает 600 мм. Областью расхода Антарктиды служат ее ледяные берега, где лед спускается в море и откалывается нередко огромными ледяными горами.

Таким образом, пределы распространения ледников определяются равновесием (балансом) между питанием и расходом льда.

МАТЕРИКОВЫЕ ЛЬДЫ И МОРЕ

Южное полушарие. В Антарктике дальнейшему распространению оледенения препятствует океан, окружающий со всех сторон материк Антарктиды. Появившиеся ледники, а они появились там, по-видимому, раньше, чем в Северном полушарии (К. К. Марков, 1962), распространились по стране, слились между собой, и образовали ледяной покров, который выровнял все понижения. Когда возник огромный ледяной

купол, спускающийся по краям в море, каким мы его знаем теперь, установилось подвижное (динамическое) равновесие между приходом льда (осадки) и его расходом (откалывание айсбергов). Таяние льда в Антарктиде практически отсутствует. С тех пор Антарктида и существует в почти неизменном (квазистационарном) состоянии, несколько расширяясь (и утолщаясь) или сокращаясь (и утоньшаясь) в зависимости от изменений общеземных условий. Важнейшее из них, по-видимому, — высота уровня мирового океана. С его повышением (в современную геологическую эпоху) ледяной покров Антарктиды сокращается, с понижением (во время максимумов оледенения северного полушария) — лед получает возможность расширяться и ледяной покров увеличивается в размерах (Дж. Холлин, 1962).

Северное полушарие. Иные условия, ограничивавшие развитие оледенения, складывались в Северном полушарии. Если вблизи Южного полюса лежит материк, то в районе Северного полюса находится океан, окруженный сушей. Это современное распределение суши и моря сложилось в основных чертах уже к концу третичного периода. Образовавшиеся здесь и распространявшиеся все дальше ледники получали обильное питание осадками с Атлантического и Северного Ледовитого океана, тогда еще свободного ото льда.

Окруженный льдами, океан начал постепенно охлаждаться. В его водах стало появляться все больше плавучего льда морского и материкового происхождения (айсбергов, обламывающихся от спускающихся в воду ледников). По мере понижения уровня океана (из-за изъятия все большего количества воды на образование материкового льда) замедлялся водообмен между Атлантическим океаном и центральным полярным бассейном (Северным Ледовитым океаном). Это способствовало охлаждению последнего.

Наступило время, когда Северный Ледовитый океан покрылся, наконец, постоянным покровом плавучего льда. Вся северная полярная область превратилась с этого времени как бы в огромный ледяной континент. Питание ледников по мере замерзания Северного Ледовитого океана, все более ухудшалось и, наконец, достигло минимума. Между тем область расхода льда, прилегающая к южным окраинам ледяных покровов, распространявшихся приблизительно до 50° с. ш., заметно расширилась. Здесь, в отлп-

чие от Антарктиды, ледяные щиты оканчивались на суше и таяли. Бюджет льда из приходного (положительного) стал расходным (отрицательным). Ледники стали сокращаться. Начался обратный процесс отступления ледников, пока, наконец, на каком-то этапе не освободился ото льда и Северный Ледовитый океан.

Таких наступаний и отступаний (ледниковых циклов) за сравнительно короткое время, не превышающее одного миллиона лет, геологи насчитывают по крайней мере четыре. Современная эпоха — эпоха отступления ледников (межледниковая).

Географическое распределение современных и древних ледников (по Р.Ф. Флинту)

Районы	Площадь (к.м ²)	
	современных ледников	ледников эпохи последнего максимума
Северная Америка, в том числе:	2 032 797	16 935 000
Гренландский ледяной щит	1 726 400	2 160 000
Лаврентьевский (Канадский) ледяной щит	—	12 535 000
Европа, в том числе:	118 213	4 935 590
Северные острова	107 600	651 920
Скандинавия (Скандинавский ледяной щит)	5 000	4 250 000
Азия	142 083	4 859 487
Всего в Северном полушарии:	2 293 093	26 780 077
Африка	30	465
Южная Америка	25 000	830 000
Австралия и Океания	1 015	58 000
Южная Полярная область, в том числе:	12 600 000	13 200 000
Ледяной щит Антарктиды	12 600 000	13 200 000
Всего в Южном полушарии:	12 679 045	14 093 465
Всего на Земле:	14 972 138	40 878 542

РЕГУЛИРУЮЩАЯ РОЛЬ ОКЕАНА

Изложенные взгляды были высказаны американскими учеными М. Юингом и В. Донном¹ и подкреплены новыми геологическими данными.

В английской и американской научной и

¹ См. М. Ewing, W. L. Donn. A Theory of Ice Ages. «Science», 1956, v. 123, N 3207; 1958, v. 127, N 3307.

научно-популярной литературе они получили довольно широкую известность. Однако называть эту гипотезу теорией Юинга и Донна, как это нередко делают, не совсем правильно. За год до опубликования их статьи эта же гипотеза была высказана другим американцем В. Стоксом¹ и названа им теорией регулирующей роли океана. Но еще на 25 лет раньше эта теория впервые была высказана и логически безупречно обоснована русским капитаном дальнего плавания Е. С. Гернетом². Его небольшая книжка была опубликована на его личные средства в 1930 г. в Токио. Книжка Е. С. Гернета осталась незамеченной (возможно, потому, что была издана в Токио) и не оставила следов в научной литературе.

По-видимому, ее читал К. Паустовский. Герой его «Северной повести», — моряк, внук декабриста, увлекается идеей уничтожения льдов Гренландии с тем, чтобы сделать климат Северного полушария равномерно теплым вплоть до полюса, каким он был в миоцене (идея Е. С. Гернета). Очевидно, американцы В. Стокс, М. Юинг и В. Донн пришли к тем же, по существу, выводам, что и Е. С. Гернет, совершенно независимо от него. Их привело к этим выводам развитие науки. Научные же представления нашего соотечественника опередили развитие гляциологии на четверть века и пришло время отдать ему должное.

Странное, на первый взгляд, название его книжки — «Ледяные лишай» объясняется тем, что автор рассматривает ледники как болезнь планеты (нормальное устойчивое ее состояние — состояние безледное). Появившись на ее теле, ледники, как лишай на коже, распространяются дальше «самосильно», по выражению автора, занимая соседние, непораженные участки. Эта его мысль о самосильном (спонтанном) развитии ледников — наиболее плодотворна. Из нее вытекает, в сущности, вся теория.

Один из самых больших ледяных лишайев, сохранившихся в северном полушарии, — Гренландский ледяной покров. Сейчас он находится в стадии убывания, но когда оледенение Северного полушария в своей деградации пойдет настолько далеко, что исчезнут постоянные льды Северного Ледовитого

¹ См. W. L. Stokes. Another Look at the Ice Age. «Science», 1955, v. 122, N 3174.

² См. Е. С. Гернет. Ледяные лишай (новая ледниковая теория, общедоступно изложенная). Токио, 1930.

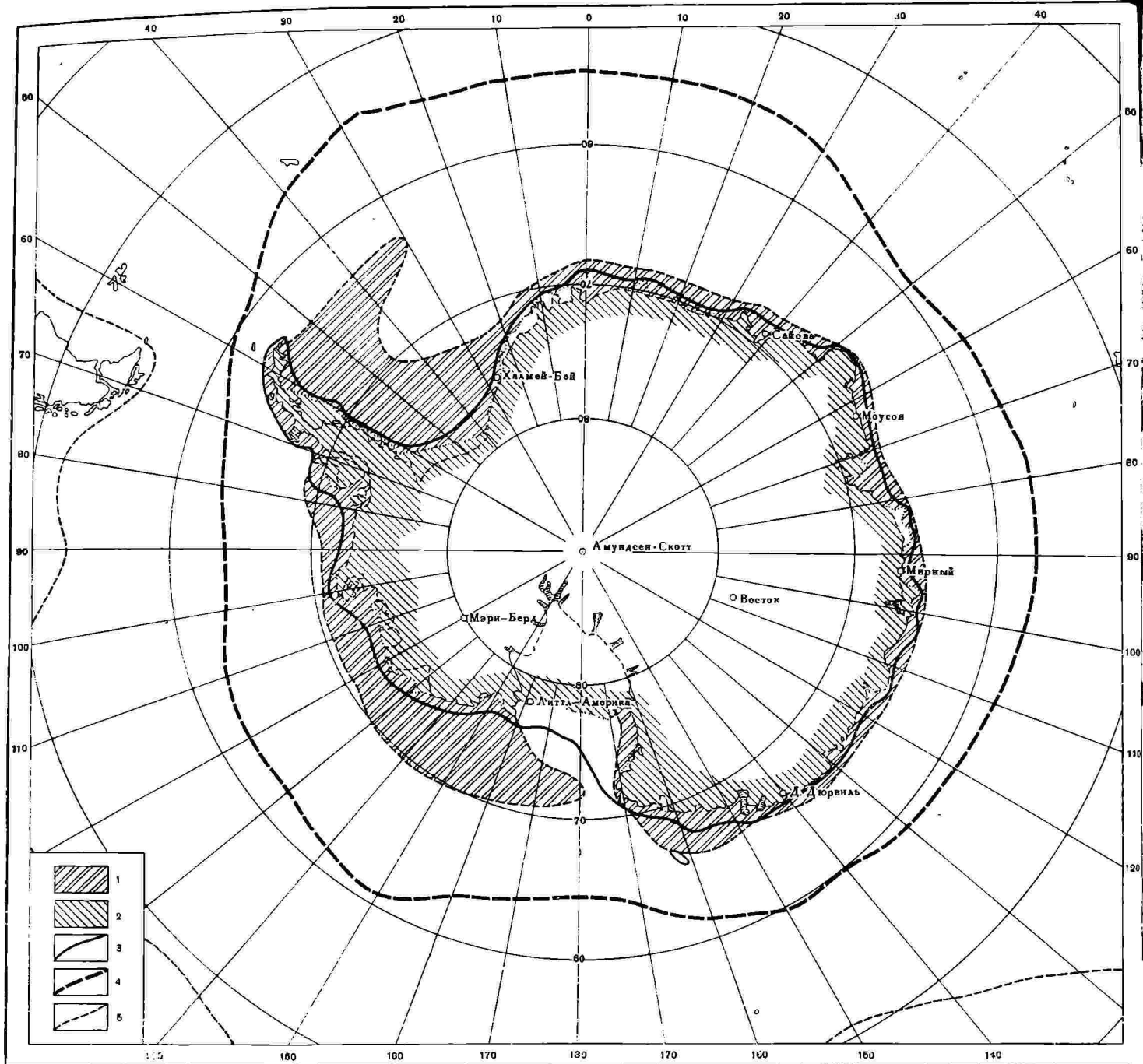


Рис. 3. Южное полушарие. Современное и древнее оледенение. Материковый (современный) лед (1), современная область распространения плавучего льда летом (2), край ледяного щита Антарктиды во время максимума (3), современная северная граница плавучего льда зимой (во время максимума оледенения она проходила несколько севернее) (4), современная крайняя северная граница айсбергов (5)

того океана (по мнению Юинга и Донна, это произойдет через несколько сотен лет). Питание Гренландского ледяного и других, меньших, соседних с ним, лишаев настолько увеличится, что они начнут наступать, и льды вновь займут ныне населенные местности Северной Америки и Северо-Восточной

Европы, как они их занимали неоднократно в недалеком (геологически) прошлом. (По мнению Юинга и Донна, это может произойти через несколько тысяч лет.) Человечество не должно допустить этого. Нужно уничтожить Гренландский ледяной лишай. Эта мысль дает книжке Гернега эмоциональное содер-

жание, невольно захватывающее читателя.

Проект уничтожения ледяного покрова Гренландии может показаться (и показался, по-видимому, в свое время) фантастичным, а то и просто абсурдным. Это явилось, может быть, одной из причин непризнания научной ценности книги Гернета. Но значение ее не в этом проекте. Гернетом были правильно поставлены основные вопросы ледниковой теории: о соотношении оледенения и климата, о поднятии суши как о первопричине зарождения ледников, о распространении оледенений и об условиях, его ограничивающих. Из-за различия этих условий в Северном и Южном полушариях, оледенение их развивалось по-разному. В Южном полушарии образовался «ледяной лишай, локализованный, стационарный» — Антарктида, в Северном — «лишай, локализуемые пульсацией», здесь имели место наступания и отступания льдов.



Итак, изложенные представления были высказаны впервые Е. С. Гернетом в 1930 г., затем, независимо от него, В. Стоксом в 1955 г. и развиты в 1956, 1958 гг. М. Юингом и В. Донном. Правильнее поэтому назвать эту систему взглядов теорией (или, может быть, лучше гипотезой) Гернета—Стокса, по имени тех, кто высказал ее впервые. Эта гипотеза по своей ясности и логической стройности превосходит все, предложенные раньше. Как пишет Стокс: «Идеальная ледниковая теория должна удовлетворять по возможности просто, трем главным требованиям: 1 — объяснять начальные события или условия, 2 — объяснять механизм циклических колебаний внутри общего ледникового периода и 3 — указывать условия, ограничивающие распространение оледенения». Изложенная схема им удовлетворяет.

В рамках одной логической схемы она отвечает на самые трудные вопросы, не имевшие до сих пор удовлетворительного ответа. Но чтобы действительно стать теорией, она должна быть в большей мере подтверждена фактическими данными и обоснована математически. Над этим еще нужно работать.

Надо добавить, что намеченная схема ледниковых циклов (смены ледниковых и межледниковых эпох) объясняет явления крупного масштаба. Эти колебания оледенения первого порядка вызывают соответствующие климатические изменения, характеризующие ледниковые и межледниковые эпохи. Но на фоне главных наступаний и

отступаний ледников происходят небольшие их колебания, вызванные климатическими изменениями. Они связаны с изменениями солнечной деятельности. Успление и ослабление солнечной активности вызывают изменение интенсивности атмосферной циркуляции, больший или меньший приток тепла из низких широт в высокие, что непосредственно отражается на бюджете массы ледников и ледовитости морей.

Выяснение зависимости, существующей между материковым и морским оледенением, получает в настоящее время практический интерес в связи с возможностью искусственного изменения климата Северной полярной области. М. И. Будыко рассматривает, например, возможности искусственного ускорения таяния морских льдов Северного Ледовитого океана и непосредственные следствия их уничтожения. Если морские льды полностью растают, то, по его расчетам, при современных климатических условиях, они вновь не образуются. Дальнейшие последствия такого коренного изменения условий в Северной полярной области пока не ясны, но возможность искусственно изменить климат этим путем не вызывает сомнений.

Для уничтожения льдов центрального полярного бассейна возможны разные пути. М. И. Будыко рассматривает последствия искусственного зачернения поверхности льда. Инженер П. М. Борисов предлагает проект грандиозной насосной установки в Беринговом проливе. Но ни М. И. Будыко, ни П. М. Борисов не принимают, однако, в расчет возможности коренного изменения бюджета материковых льдов (ледяного щита Гренландии, ледяных покровов на полярных островах Канадского архипелага и других). Из гипотезы же Гернета — Стокса следует, что уничтожение плавучих льдов Северного Ледовитого океана увеличит питание материковых ледяных покровов, что приведет к их наступлению на сушу, а на море усилится образование айсбергов, увеличится их количество в океане.

В грандиозных проектах преобразования природы, которые при современном развитии техники становятся по плечу человеку, нельзя не учитывать естественного направления развития явлений. Оно дает представление о всей сумме последствий, близких и отдаленных. Среди них могут оказаться не только предусмотренные проектом, но и другие, которые могут свести на нет ожидаемые результаты.

УДК 551.580