

КЛИМАТЫ ПРОШЛОГО НА СЕВЕРЕ СССР

В. Н. САКС

Проблема реконструкции климатов геологического прошлого представляет исключительный интерес для целого ряда естественных наук. В освещении этой проблемы нуждаются не только климатология, оперирующая с современными климатами, и палеогеография, которая должна непосредственно захватывать палеоклиматологию как одну из своих составных частей. Познавание климатов прошлого крайне важно для понимания многих вопросов биогеографии, для изучения истории развития органического мира, для выяснения истории развития и причин древних оледенений — важнейшего вопроса четвертичной геологии, наконец для решения ряда вопросов физики земного шара и даже всей солнечной системы. Особенно любопытно восстановление климатов прошедших геологических эпох на Крайнем Севере, где когда-то росли широколиственные леса, а сейчас расстилается тундра.

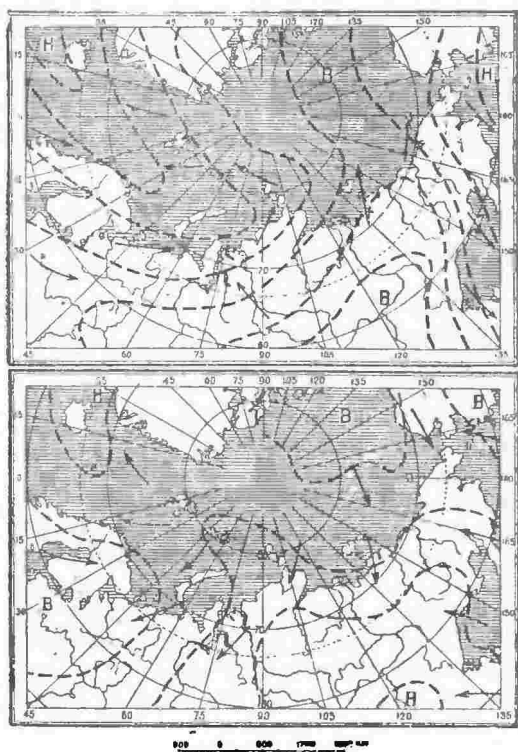
К сожалению до сих пор мы располагаем весьма скудным материалом о климатах нашей планеты в прошлом. Поэтому поневоле приходится становиться на путь умозрительных построений и заключений — путь крайне ненадёжный и опасный. В настоящей статье нам придётся основное внимание сосредоточить на освещении климатов северных областей СССР, прилегающих к Полярному бассейну, в четвертичный период, так как для более древних периодов истории Земли материала ещё слишком мало. Наше изложение мы начнём с самых последних этапов геологической истории, как наилучше известных и легче всего увязываемых с современными условиями.

1. Последледниковая эпоха

При рассмотрении климатов последледникового времени, т. е. последних девяти — десяти тысячелетий,

мы должны прежде всего помнить о том, что климатическая обстановка этого в геологическом понимании недалёкого прошлого не должна была резко разниться от современной. Как и сейчас, на климате всех вообще северных областей сказывались малая величина солнечной радиации и влияние занимающего Центральную Арктику морского бассейна. Распределение давления воздуха, барические максимумы и минимумы должны были сохранять то же положение, что и в настоящее время (фиг. 1). Расположенный в северной части Атлантического океана исландский минимум, служивший местом формирования полярных морских воздушных масс, осенью и зимой давал ответвление на северо-восток. Эта ложбина низкого давления, обусловленная прохождением надвигающихся с Атлантического океана циклонов, располагалась вдоль окраинных морей Советской Арктики по линии арктического фронта. Поскольку конфигурация морей и суши в последледниковое время на севере Евразии мало чем отличалась от современной, не должно было существенно разниться и положение арктического фронта, формирующегося холодными полярными континентальными воздушными массами и относительно тёплыми атлантико-арктическими воздушными массами. В Тихом океане аналогом исландского минимума являлся алеутский минимум, воздействовавший на климат лишь ближайших к Тихому океану участков. Морские воздушные массы в Тихом океане, связанные в основном с лежащей южнее областью повышенного давления, распространялись и на область алеутского минимума.

Над Сибирью осенью и зимой, вследствие охлаждения поверхности суши, образовывался сибирский барический максимум, который давал ответвление на северо-восток, прости-



Фиг. 1. Распределение давления воздуха в зимние (наверху) и летние (внизу) месяцы в послеледниковую эпоху.

В — центры высокого давления; Н — центры низкого давления. Прерывистыми линиями показаны изобары, но без определённого цифрового значения. Береговая линия оставлена современная. Водные пространства заштрихованы. Стрелками показано преобладающее направление ветров.

равшееся, если взять современные границы, до окраинных морей на северо-востоке Советского Союза. Наконец, полярный максимум формировался над льдами Полярного бассейна, достигая предельных размеров весной и сохраняясь, хотя бы и в сильно ослабленном виде, даже летом. Сибирский максимум служил очагом возникновения полярных континентальных воздушных масс, а с полярным максимумом связаны арктические воздушные массы.

Распределение атмосферного давления сказывалось и на направлении ветров, носивших, как и сейчас, муссонный характер (в тёплое время года ветры дули с моря на сушу, в холодное — наоборот). Особенно резко должен был быть выражен муссон-

ный режим на побережье Тихого океана, где летом вторгаются на материк полярные и тропические морские воздушные массы, зимой же полярные континентальные воздушные массы распространяются из Сибири на всю территорию окраинных морей северо-западной части Тихого океана. Изложенными особенностями строения атмосферы определяется и количество осадков. Больше всего осадков, в том числе и снеговых, должны были доставлять проникающие из Атлантики по линии арктического фронта полярные морские воздушные массы, вследствие чего по направлению на восток общее количество осадков сокращалось. При этом наиболее богаты осадками были летние и осенние месяцы. На Дальнем Востоке основным источником осадков, как и теперь, были летние тихоокеанские муссоны.

Циркуляция атмосферы определяла и подобное современному распределение температур. В прилегающих к Атлантике областях зимние температуры воздуха должны были быть значительно выше нормальных для данных широт. По мере смещения на восток и соответствующего ослабления влияния атлантических полярных воздушных масс температуры должны были падать, достигая минимума на северо-востоке Сибири, так как температурное воздействие Тихого океана зимой вследствие муссонного режима ничтожно. Летние температуры больше зависят от интенсивности солнечной радиации и потому в первую очередь подчинялись широтной зональности. Всё же на севере Атлантики, благодаря действию тёплого атлантического течения, они должны были быть выше. Быстро повышались, как и в наши дни, летние температуры вглубь материка Евразии, где переставало сказываться охлаждающее влияние льдов Полярного бассейна.

В нашем распоряжении уже достаточно фактов, свидетельствующих о том, что температуры в послеледниковое время были повсюду выше современных. К северу смещались северная граница леса, зона торфо-накопления, южная граница вечной мерзлоты. Для Северной Европы изу-

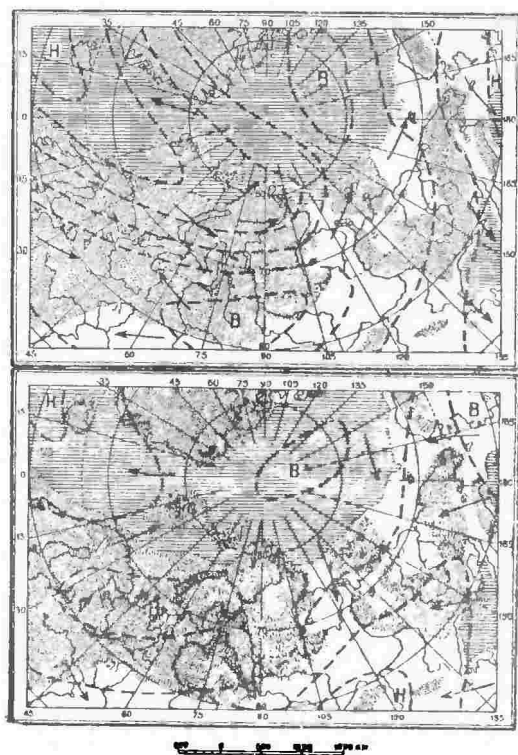
чение растительных остатков довольно точно позволяет выделить в послеледниковое время несколько фаз изменения климатов. Намечаются два сухих и тёплых периода (бореальный и суббореальный), разделённые влажным и тёплым периодом (атлантическим). Однако эти климатические фазы, объединяющие по продолжительности каждая одно — два тысячелетия, проявились только на севере Европы и в полной мере, вероятно, только в районах, прилегающих к Балтийскому морю. Трудно и даже невозможно представить себе условия общего увлажнения климата на всём протяжении севера Союза. Нужно думать, что общим было лишь увеличение средних, в первую очередь летних, температур, то, что обычно принято называть «послеледниковым климатическим оптимумом». Это повышение температур (о возможных причинах его мы скажем ниже) сопровождалось усилением циркуляции атмосферы, следовательно повышенной циклонической деятельностью по линии арктического фронта. Соответственно, зимние температуры повышались по сравнению с современными в приатлантических районах, по направлению же на восток их отклонение от существующих в наши дни постепенно сходило на-нет. На побережье Тихого океана, а в известной степени и на берегах Полярного бассейна, повышению летних температур препятствовало действие муссонов, вследствие чего здесь климатические отклонения в прошлом были наименьшими.

Этими данными определяется смещение растительных зон, предельно большое в условиях континентального климата Сибири, с его максимальным повышением летних температур, малозаметное на Тихоокеанском побережье и достаточно отчётливое в Европе, где сказывалось потепление атлантических полярных воздушных масс. К сожалению очень часто в Сибири с послеледниковым климатическим оптимумом смешиваются признаки более раннего и большего по масштабам продвижения к северу растительных зон, падающего уже по существу на последнюю межледни-

ковую эпоху. Эта фаза, с которой надо связывать появление древесной растительности и мамонтов на Таймырском полуострове и на Новосибирских островах, отделена от собственно послеледникового времени фазой значительного похолодания климата. Понижение летних температур повлекло за собою появление и рост ледников в горных районах, а на равнинах вследствие уменьшения мощности деятельного слоя вызвало накопление инфильтрационных льдов. В наиболее северных районах возникли снежники и фирновые поля, в послеледниковое время погребённые под наносами. Это похолодание и предшествовавшая ему тёплая эпоха падают в Европе на время существования и на отдельные стадии последнего ледникового покрова, благодаря чему они здесь отчётливо и не выражены.

2. Ледниковые и межледниковые эпохи

О характере климата в ледниковые эпохи высказывались самые различные мнения, причём разнообразию взглядов во многом способствует то обстоятельство, что первопричины оледенений остаются до сих пор неясными. Всё же никто не сомневается в том, что в областях развития ледниковых покровов Евразии и Северной Америки средние температуры, во всяком случае летние, а вероятнее всего и зимние, в ледниковое время должны были быть ниже современных. Если судить по распространению тундровых животных и растений вплоть до Южной Европы, развитию на небольших высотах местных ледников даже в Ирландии и наличию вечной мерзлоты в Средней Европе, средние годовые температуры снижались в Европе при максимуме оледенения, как полагает А. Пенк, не менее чем на 8°. Бесспорно это снижение температур было в известной мере обусловлено охлаждающим воздействием самого ледникового покрова. Над ледником должен был существовать устойчивый антициклонический режим, причём формирование холодных воздушных масс, надо думать,



Фиг. 2. Распределение давления воздуха в зимние (наверху) и летние (внизу) месяцы в эпоху максимального оледенения.

В — центры высокого давления; Н — центры низкого давления. Прерывистыми линиями показаны изобары, но без определённого цифрового значения. Водные пространства заштрихованы. Области оледенения покрыты точками. Стрелками показано преобладающее направление ветров.

происходило в восточной части ледникового щита. Северная и западная окраины ледяного массива находились под воздействием вторгавшихся с Атлантического океана полярных морских воздушных масс, обеспечивавших питание ледника.

Есть все основания думать, что условия атмосферной и океанической циркуляции в ледниковое время сравнительно мало отличались от современных (фиг. 2). Для коренного изменения направления морских и воздушных течений нужна кардинальная перестройка расположения материков и океанов, допустить такую для ледникового периода пока нет никаких оснований. Наоборот, само распределение четвертичного оледенения говорит о тесной связи его с

современными фактическими или, по крайней мере, потенциальными ледниковыми центрами. Последние же очевидно определяются распределением осадков, температурными условиями, а отсюда и всеми особенностями циркуляции атмосферы. Следует думать, что в прошлом имело место лишь изменение интенсивности оледенения или, другими словами, общее понижение снеговой линии. Это не могло быть следствием только роста осадков. Для развития ледников в сравнительно низких широтах необходимой предпосылкой является снижение средних температур. Правда, такое повлечёт за собою уменьшение испарения, сокращение общего количества осадков, но одновременный относительный рост твёрдых осадков, которые только и идут на питание ледников, это вполне компенсирует. Даже если абсолютное количество твёрдых осадков уменьшится, то ослабление таяния в силу понижения температур все-таки поведёт к росту ледников.

Анализ современного оледенения, широкое развитие его на островах Полярного бассейна и почти полное отсутствие на материке (за исключением лишь высокогорных районов) говорят о прямой связи между развитием ледников и летними температурами. Острова находятся под воздействием арктических воздушных масс, благодаря чему летние температуры здесь очень низки. Материк, лежащий южнее, получает больше солнечного тепла, летние температуры на нём гораздо выше, соответственно и снеговая линия лежит на большей высоте. Известное значение имеет, разумеется, и количество выпадающих в твёрдом виде осадков. По мере удаления от Атлантики летние температуры на островах, хотя и слабо, но убывают, одновременно сокращается, и к тому же заметно, количество осадков. В результате оледенения на арктических островах по направлению на восток не возрастает, а уменьшается, правда в очень небольшой степени.

Очевидно и в ледниковые эпохи действовали те же условия. Совмест-

но с подавляющим большинством учёных мы вправе считать, что покровные оледенения Евразии и Северной Америки были вызваны общим понижением средних, в первую очередь летних, температур. Понижение температур могло быть очень небольшим (порядка нескольких градусов); в областях же развития ледниковых покровов оно усиливалось вследствие воздействия самих ледяных масс. Так, ледниковый край в Западной Сибири мог, несмотря на сравнительно неблагоприятные условия питания, достигнуть 60-й параллели только при снижении летних температур не менее чем на 10—12°, что, конечно, надо считать чисто локальным явлением, связанным с влиянием ледникового антициклона. То, что ледники наибольшего развития достигали в областях, прилегающих к Атлантическому океану, и по мере удаления от него всё более сокращались, объясняется питанием ледников именно за счёт приноса осадков циклонами с Атлантики. Необходимое для роста ледников понижение летних температур, казалось бы, могло компенсироваться повышением зимних. Однако появление ледников даже в областях с относительно тёплой зимой, где повышение зимних температур неизбежно повлечёт сильное сокращение снеговых осадков, говорит о том, что зимы в ледниковые эпохи в общем были не мягче, чем современные, а вероятно даже суровее.

Полярный бассейн в ледниковое время почти со всех сторон был окружён кольцом ледников и был забит льдами в большей степени, чем сейчас. Однако поскольку на Новой Земле и на Таймыре располагались мощные центры оледенения, арктический фронт с его циклонами, обеспечивавшими питание ледников, должен был проходить там же, где и теперь, вдоль окраинных морей Арктики. Здесь встречались более тёплые арктические воздушные массы, формировавшиеся над Полярным бассейном, и более холодные полярные континентальные воздушные массы, образовывавшиеся над ледниковым покровом Евразии. Следовательно, ледовитость

Полярного бассейна не могла возрастать очень сильно — сюда, как и в наши дни, заходило тёплое Атлантическое течение, а избыточные льды выносились в Атлантику Восточно-Гренландским течением.

Климат северного побережья Евразии к востоку от Таймыра находился под влиянием вторгавшихся с Полярного бассейна арктических воздушных масс. Средние месячные температуры здесь даже летом были близки к нулю, благодаря чему, несмотря на малое количество осадков, снеговая линия приближалась к уровню моря. В результате могли накапливаться обширные фирновые поля, которые в эпоху максимального оледенения повидимому местами превратились в настоящие, хотя и маломощные и малоподвижные ледниковые покровы. В более южных районах Восточной Сибири климат в ледниковые эпохи был, как и теперь, континентальным, снеговая линия должна была лежать высоко. Всё же контрасты между зимними и летними температурами были выражены, вероятно, слабее, так как зимний сибирский антициклон смещался к западу, в сторону ледникового покрова Европы и Западной Сибири. Муссонный режим в областях, прилегающих к Тихому океану, препятствовал накоплению больших масс снега в зимние месяцы. Правильнее поэтому вместе с Ф. Кернером думать, что питание ледников осуществлялось за счёт осадков, приносимых летом муссонами с Тихого океана и только в высокогорных районах выпадавших в твёрдом виде. Этим определялось то, что четвертичное оледенение было ограничено исключительно горными системами северо-восточной Сибири и наиболее широко развито на побережьях Берингова и Охотского морей.

Нарисованная нами общая картина климатических условий ледникового времени остаётся в силе за некоторыми небольшими поправками для каждой из отдельных ледниковых эпох, бывших на протяжении четвертичного периода. Подробнее на рассмотрении климата в ту или иную ледниковую эпоху мы здесь остано-

ливаться не будем — о числе и последовательности оледенений на севере Сибири читатель может узнать из статьи автора в «Природе», № 4 за 1947 г. Важно только подчеркнуть, что по всем данным центры оледенений и условия питания ледников были относительно постоянными с раннечетвертичной эпохи и до самого последнего времени. Это со всей очевидностью говорит за то, что условия циркуляции атмосферы были примерно одинаковыми, и следовательно, во-первых, не менялось положение полюса, и, во-вторых, не было резких изменений в конфигурации материков и океанов.

Нет никакого сомнения в том, что от начала до конца каждой отдельной ледниковой эпохи климат не оставался неизменным. Крупные оледенения распадались на ряд стадий, между которыми ледниковый край испытывал большие колебания, сопровождавшиеся проникновением в освобождавшиеся от льда районы сравнительно теплолюбивых растительных ассоциаций. Это могло быть следствием только климатических изменений, весьма значительных по амплитуде и достаточно длительных для того, чтобы отразиться на ледниковом покрове. Обширные покрытые льдом пространства сами оказывали мощное охлаждающее воздействие на атмосферу над ними и на периферии. Воздействие продолжалось и после общего потепления климата, препятствуя усиленному таянию льда и переходу осадков над ледником из твердого состояния в жидкое. Таким образом, кратковременные изменения температур не должны были существенно сказываться на положении ледниковых покровов.

То охлаждающее влияние, которое ледники оказывали на климат, естественно задерживало всякий раз и окончательное исчезновение льдов. Можно думать, что ледниковые эпохи заканчивались значительно позже, чем исчезали обусловившие их начало климатические предпосылки. Вполне вероятно, что в отдельных областях ледники не успевали полностью растаять до нового похолодания, и

тем самым из общей последовательности событий та или иная межледниковая эпоха могла выпасть. Очевидно, инертность ледников наиболее ярко проявлялась там, где накапливались самые мощные толщи льда, т. е. в Европе. В Сибири ледники были развиты слабее и могли скорее исчезнуть, хотя максимума в условиях континентального климата и ограниченного питания они в каждую ледниковую эпоху должны были достигать позже. Отсюда известное несовпадение с Европой в продолжительности и даже количестве межледниковых эпох.

В общем, деградация оледенений, которую мы связываем с повышением средних температур и усилением циркуляции атмосферы, шла путём усиленного таяния льда по краям и с поверхности ледников. Это сопровождалось на фоне общего роста осадков частичным замещением твердых осадков жидкими. Циклоны по линии арктического фронта стали частью приносить дожди; доставляемый же ими снег подвергался таянию, в результате чего ледники потеряли область питания, стали сокращаться и, наконец, исчезли совсем. Точно также в северо-восточной Сибири летние муссоны стали сопровождаться дождями, благодаря чему питание ледников было нарушено.

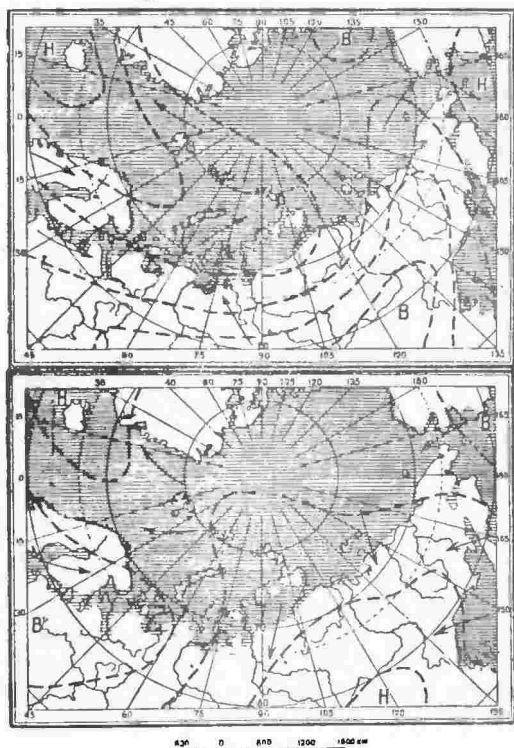
Положение в межледниковые эпохи растительных зон, являющихся лучшим показателем климата, говорит о том, что летние температуры тогда были значительно выше современных. Мы знаем находки древесной растительности на Таймыре, на Новосибирских островах, на северных склонах Чукотских гор, которые говорят о повышении температур середины лета на 5—10°. На Русской равнине растительные зоны смещались к северу на 150—300 км. Максимум роста летних температур достигал в Сибири, что свидетельствует о крайней континентальности климата. На то же указывают степные элементы фауны и флоры, распространившиеся по всей Якутии. Зимний сибирский барический максимум был выражен в предельной степени, тогда как полярный максимум был, вероятно, ослаблен в летом

сходил на-нет (фиг. 3). Ледовитость Полярного бассейна, несомненно, уменьшалась по сравнению с тем, что мы видим теперь. Действие тёплого атлантического течения сказывалось сильнее — даже в Карском море температуры воды, судя по фауне, были на 5—6° выше и приближались к наблюдающейся сейчас у берегов Норвегии.

Циклоническая деятельность по линии арктического фронта в связи с усилением общей атмосферной циркуляции проявлялась энергичнее, и это очевидно должно было содействовать смягчению зим на северном побережье Евразии. То обстоятельство, что межледниковые эпохи сопровождались трансгрессиями Полярного бассейна, влияло на снижение летних температур на берегах моря. Надо думать, что в узкой прибрежной зоне материка, а также на арктических островах, находящихся под воздействием арктических воздушных масс, древесная растительность не могла существовать, и здесь сохранялись тундры. На островах могли быть и ледники, хотя при максимуме межледниковых трансгрессий этому препятствовало погружение значительной части островов под уровень моря (на Новой Земле межледниковые береговые линии поднимаются до 400 м над современными). На Тихоокеанском побережье растительность межледниковых эпох мало отличалась от существующей в наши дни. В этом, очевидно, сказались влияние Тихого океана и действие муссонов, резко снижавших температуры летних месяцев. Во внутренних же районах Сибири имели место суровые малоснежные зимы и сухие жаркие лета, что, конечно, совершенно исключало развитие оледенения. На севере Европы и Западной Сибири осадков выпадало больше, чем теперь, но относительное количество снеговых осадков было невелико, летние температуры были выше, и потому накопление снежных масс тоже не могло идти.

3. Доледниковая эпоха

Для доледникового времени, которое обнимает, повидимому, самое на-



Фиг. 3. Распределение давления воздуха в зимние (наверху) и летние (внизу) месяцы в межледниковую эпоху, следовавшую за максимальным оледенением.

В — центры высокого давления, Н — центры низкого давления. Прерывистыми линиями показаны изобары, но без определенного цифрового значения. Водные пространства заштрихованы. Стрелками показано преобладающее направление ветров.

чало четвертичного периода и конец третичного, данных о климате ещё очень мало. Факты появления арктических моллюсков в конце плиоцена даже у берегов Англии говорят о развитии в это время в Полярном бассейне уже сложившегося комплекса арктической фауны, т. е. о тёплых температурах воды. В такой вывод, конечно, следует внести поправку — современные арктические формы в прошлом могли быть приспособлены к иным температурным условиям и лишь на протяжении четвертичного периода постепенно связали свою жизнь с арктическими водами. Однако, о холодоводности доледникового Полярного бассейна имеются и другие указания. Многие виды морских животных встречаются сейчас только на севере Атлантики и Пацифики, будучи вытеснены

с начала ледниковой эпохи из Ледовитого океана. Все эти виды являются всё же относительно холодолюбивыми; очевидно теплолюбивые формы уже не могли жить в Полярном бассейне или мигрировать через него из Тихого океана в Атлантический. Поэтому можно думать, что ещё перед началом четвертичного периода в арктических морях были пловучие льды, а на островах могли быть ледники.

Растительность северной части материка также говорит о сравнительно суровых климатических условиях. Север Сибири был покрыт хвойными лесами, причём на северо-востоке Союза повидимому господствовала ель Воллюсовича, близкая к аянской ели и к некоторым американским видам, доходящим в Калифорнии до верхнего предела лесов. Элементы широколиственных лесов к началу первого оледенения вероятно были уже целиком вытеснены. В плиоцене же они были представлены в северной Сибири довольно широко — известны находки американского серого ореха на Алдане и в низовьях Иртыша, орешника на Колыме, брашении в среднем течении Оби и на Индигирке. Пыльцевые анализы позднетретичных отложений говорят всё же о преобладании близких к современным хвойных пород, тогда как широколиственные породы составляют среди древесной пыли не более 10—15% (здесь, конечно, надо считаться с меньшей продуктивностью пыли у последних).

Поскольку сохранялось обширное материковое пространство Евразии, климат в Сибири в доледниковое время должен был быть, так же как и сейчас, континентальным, осенью и зимой формировался сибирский антициклон, а вдоль северного побережья по линии встречи с арктическими воздушными массами проходил арктический фронт. В плиоцене, несмотря на континентальность климата, зимние температуры должны были быть значительно выше современных — в условиях суровых зим широколиственная флора не могла бы существовать. Этот факт можно объяснить только

сильным повышением температур земной поверхности в целом. Большую роль играло вероятно и отсутствие тогда высоких горных хребтов в Центральной Азии, в полной мере поднявшихся лишь к началу четвертичного периода.

Родство наземной флоры и фауны Европы, Северной Америки и Гренландии наряду с наличием подводных каньонов у берегов Шпицбергена — ставит вопрос о связи в прошлом названных материков через Гренландию, Шпицберген и порог Нансена или через Гренландию, Исландию и порог Томсона. Правда, глубины на пороге Нансена в настоящее время не менее 800 м, а на пороге Томсона 500—600 м. Поэтому временное осушение последних можно допустить только в доледниковое время, причём оно не могло быть длительным, так как в конце плиоцена через Полярный бассейн осуществлялся обмен морскими фаунами между Тихим и Атлантическим океанами. Изоляция Полярного бассейна, прекращение доступа в него тёплого Атлантического течения и выноса обратным течением льдов несомненно должны были существенно изменить климат всего севера Евразии. Над покрытым сплошными льдами морем Центральной Арктики существовал бы постоянный барический максимум, который зимой сливался с сибирским максимумом, тем самым аннулируя значение линии арктического фронта. Летом арктические воздушные массы должны были бы глубоко проникать внутрь материка, снижая летние температуры, но не принося осадков. Климат севера Евразии был бы крайне суровым, но неблагоприятным для развития оледенения. Наоборот приатлантические области пользовались бы избытком тепла, что, разумеется, тоже препятствовало бы появлению ледников.

Что касается закрытия Берингова пролива, то оно на протяжении четвертичного периода, а равно и в конце третичного времени, когда осуществлялось переселение наземной фауны из Азии в Америку, имело место неоднократно. Вместе с Беринговым проливом из-под уровня моря выхо-

дила и вся северо-восточная часть Берингова моря. Однако на климате даже соседних участков Сибири это существенно не отражалось. Большее значение имело отсутствие в начале четвертичного периода Алеутской гряды, благодаря чему в Берингово море проникало тёплое течение Куросиво, и смещался к северу алеутский барический минимум.

4. Более древние геологические периоды

Об изменении климатов севера Евразии на протяжении третичного периода трудно говорить, так как мы очень мало знаем верхнетретичные отложения Крайнего Севера. Сколько-нибудь определённые данные имеются только для нижнетретичной эпохи, на которой и следует остановиться более подробно. Факты нахождения широколиственной, так называемой арктотретичной, флоры на Новосибирских островах, на Шпицбергене и в Гренландии давно привлекали внимание, заставляя допустить кардинальное изменение климатов Крайнего Севера. Действительно, для произрастания широколиственных деревьев нужно, как указывает А. И. Толмачев, чтобы средние годовые температуры были не ниже $5-10^{\circ}\text{C}$, лето должно быть продолжительным и устойчивым, зима мягкой. Казалось бы, самым лёгким объяснением этого является гипотеза перемещения полюсов. Однако находки арктотретичной флоры по существу располагаются циркумполярно, причём по направлению на юг эта флора замещается вечнозелёной полтавской флорой в Средней Европе и умеренной листопадной тургайской флорой в Азии (фиг. 4.). Следовательно, хвойно-широколиственные леса действительно доходили до 80-й параллели, а полюс лежал примерно там же, где и сейчас.

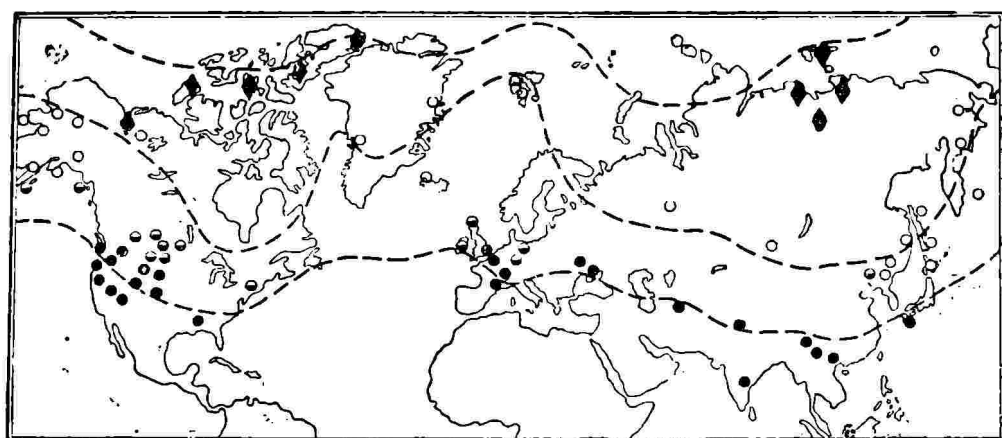
Полярная ночь как таковая не могла быть препятствием для развития широколиственной флоры, если только не сопровождалась сильным понижением температур.

Причины же потепления Арктики надо искать в общем повышении тем-

ператур земной поверхности, усилении атмосферной циркуляции и росте теплообмена между высокими и низкими широтами. Этому должно было способствовать существование Полярного бассейна, свободного от льда и действовавшего смягчающе на климат прилегающей суши. С южными морями Полярный бассейн связывали широкие проливы на севере Атлантики, на месте Западно-Сибирской низменности и, надо думать, в районе Берингова моря. Через эти проливы в Арктику устремлялись мощные потоки тёплых вод, благодаря чему над Полярным бассейном формировался уже не барический максимум, а минимум, служивший источником циклонов. Материка Евразии как таковой не было, но на месте Средней и Восточной Азии был континент, сильно охлаждавшийся зимой и прогревавшийся летом. Вследствие этого развивался зимний сибирский барический максимум, а на Тихоокеанском побережье проявлялся, как и в наши дни, муссонный режим, способствовавший сохранению умеренных тургайских флор даже на широте Японии.

Условия нижнетретичного времени существовали с конца мелового периода, так как часть арктотретичных флор по последним данным относятся ещё к верхнему мелу. Повидимому всё же широколиственные деревья в высоких широтах могли произрастать только в приморских районах, в которых зимы были смягчены близостью тёплого моря. В Сибири преобладающим типом растительности были хвойные леса с незначительной лишь примесью широколиственных пород. В верхнемеловых отложениях низовьев Енисея мы находим формы, близкие современным: сосне, кедру, лиственнице и ели. Они-то и составляли основной фон растительности того времени. Создается даже впечатление, что верхнемеловые флоры были несколько холоднее третичных, что могло быть связано с изменением общего температурного режима нашей планеты.

Если мы попробуем удалиться ещё далее вглубь геологического прошлого, то поневоле придётся убедиться



1 — / 2 — ◆ 3 — ○ 4 — ○ 5 — ●

Фиг. 4. Распределение в Северном полушарии нижнетретичных (соценовых) флор.
По Р. В. Чэни.

1 — изофлоры, линии, соединяющие места развития сходных ископаемых флор, существовавших при сходных климатических условиях; 2 — места находок умеренно-холодных флор; 3 — места находок умеренных флор; 4 — места находок умеренно-тёплых флор; 5 — места находок субтропических флор.

в том, что всё более теряется реальная база для реконструкции древних климатов, так как всё более неопределёнными становятся положение полюса и географическое положение отдельных участков земной коры. В нижнемеловую эпоху угленосные осадки накапливались почти во всех областях Крайнего Севера, по существу циркумполярно, что заставляет считать наиболее вероятным нахождение полюса там же, где и сейчас, внутри сравнительно тёплого Полярного бассейна. Нижнемеловые флоры северной Сибири развивались в условиях умеренно тёплого влажного климата, более тёплого, чем в верхнемеловую эпоху. Доходя на север до 80-й параллели, эти флоры свидетельствуют о наличии широких связей Полярного бассейна с южными морями. Такая связь могла осуществляться через Русскую равнину, Западную Сибирь, север Атлантики, район Берингова моря. Большого континента на месте Сибири быть не могло, так как растительность повсюду носила влажный приморский характер.

В начале нижнемеловой эпохи, в юрском, в меньшей степени триасовом, периоде северные окраины Евразии в значительной части были затоплены. Морская фауна, существен-

но отличающаяся от фауны южных морей, и терригенный характер морских отложений говорят о сравнительной холодноводности моря, вследствие чего наиболее вероятно полагать, что Полярный бассейн продолжал оставаться и тогда полярным. Будучи тесно связан с морями средних и южных широт, Полярный бассейн повидимому являлся аккумулятором тепла, препятствовавшим сильному охлаждению высокоширотных участков в зимние месяцы.

С точки зрения палеоклиматологии особенный интерес представляют пермский и каменноугольный периоды — время широкого развития покровного оледенения в странах Южного полушария. На Крайнем Севере следов верхнепалеозойских оледенений нет, если не считать далеко не достоверных указаний на находки отложений, принесённых айсбергами, на Новой Земле и в устье Лены. Растительность пермских угленосных бассейнов севера Евразии носила умеренный характер. Климат несомненно был влажным и прохладным и только к концу пермского периода стал местами становиться сухим. К западу и к югу от этой климатической зоны располагалась зона жаркого и сухого климата, обнимающая собою Западную Европу и

Центральную Азию. Холодноводными были и моря на северо-востоке Азии, в меньшей степени — в районах Новой Земли и Печоры. Очевидно, полюс, если и был не там, где сейчас, то смещался недалеко, в сторону Тихого океана. При этом вокруг полюса должно было быть море, что и послужило препятствием к развитию ледников в Северном полушарии. В Южном полушарии полюс находился внутри континента, и здесь оледенение захватило огромные площади. То обстоятельство, что ледниковые образования обнаруживаются и в Австралии, и в Индии, и в Южной Африке и Южной Америке, вынуждает считаться с возможностью сближения названных областей в верхнем палеозое, т. е. с их последующим горизонтальным перемещением (хотя физическая сущность такого явления остаётся необъяснимой). Первопричиной оледенений, а их в Австралии насчитывают до шести, несомненно, явилось общее ухудшение температурного режима на Земле, начавшееся с каменноугольного периода.

До начала пермского периода северные окраины Евразии повидимому, судя по преобладанию известковых морских осадков, отличались тёплым климатом. Это вероятно было обусловлено положением интересующей нас области вследствие смещения полюса в более низких широтах. Только в конце протерозойской эры климатические условия резко менялись, что повлекло за собою развитие ледников в Скандинавии, на Шпицбергене, в Гренландии, в Средней Сибири, на Аляске и в Канаде. Весьма вероятно, что распределение ледников, занимавших одновременно большие площади и в Южном полушарии, было связано не только с общим ухудшением климата, но и с иным, по сравнению с современным, положением отдельных участков земной коры относительно друг друга.

5. Общие причины климатических изменений

При рассмотрении климатов прошлого естественно задаться вопросом о причинах и возможности общего

изменения температур земной поверхности. Нужно отказаться от мысли, что оледенения были чем-то случайным в истории Земли. Особенно обращает на себя внимание то обстоятельство, что крупные оледенения всякий раз следовали за интенсивным проявлением складкообразовательных процессов.

Так, четвертичные ледники появились после альпийской складчатости, верхнепалеозойские после герцинской, протерозойские после докембрийской. Напротив, эпохи обширных трансгрессий моря, предшествовавшие основным фазам складчатости, характеризовались относительным выравниванием климатов на земной поверхности.

Напрашивается вывод о том, что горообразовательные процессы вызывают охлаждение атмосферы и, как следствие, оледенения. Однако прямой зависимости здесь быть не может — процессы, идущие внутри земной коры, никак не отразятся на температурах воздуха, которые могут измениться в зависимости от поступающего из внутренних частей Земли тепла лишь на несколько тысячных долей градуса. На вновь образующихся горных цепях ледники могут развиваться и независимо от общего изменения климата на земном шаре, совершенно необходимого всё же для превращения горных ледников в материковые. Связь последних с тектоникой, как предположил В. Рамзай, может заключаться в том, что сильно приподнятые горные сооружения, возвышаясь над наиболее плотным нижним слоем атмосферы, способствуют отдаче земного тепла в пространство и тем самым обуславливают охлаждение земной поверхности. Как известно, лишь нижняя часть атмосферы — тропосфера, толщиной от 8—9 км на полюсах до 17—18 км на экваторе, содержит водяные пары и углекислоту в количествах, достаточных для поглощения примерно 90% земной радиации. В прошлом мощность тропосферы не должна была оставаться постоянной и при начавшемся охлаждении неизбежно уменьшалась, а при потеплении возрастала. Кроме того поднятие гор-

ных цепей сопровождалось образованием глубоких впадин на дне океанов и в результате — уменьшением площади моря на Земле. Сокращение водной поверхности не могло не сказаться на климате, вызывая его охлаждение благодаря уменьшению испарения и увеличению излучения в пространство с материков.

Подобный ход событий может объяснить нам ту смену холодных и тёплых периодов истории Земли, которую приходится устанавливать по фактическим данным. Конечно, таким образом нельзя понять неоднократное чередование ледниковых и межледниковых эпох, быстро, с интервалами в пятьдесят—сто тысяч лет, следующих друг за другом, как это было на протяжении четвертичного периода. Для объяснения климатических изменений внутри последнего и существования в нём ряда отдельных, нередко резко различных по климату, фаз нужно прибегнуть к помощи периодических колебаний солнечной радиации, получаемой земным шаром. Эти колебания, обусловленные изменениями положения земной орбиты и особенно земной оси по отношению к Солнцу, бесспорно должны существенно влиять на климат.

Количества лучистой энергии, получаемой верхней границей атмосферы, по подсчётам М. Миланковича могут варьировать в пределах до 3%,

причём это в первую очередь относится к летним месяцам, температура которых в развитии оледенений играет главенствующую роль.

Указанные температурные колебания, накладываясь на общее для четвертичного периода понижение средних температур земной поверхности, и могли вызвать смену ледниковых, межледниковых и межстадиальных эпох. Общее же охлаждение четвертичного времени явилось скорее всего следствием альпийского горообразования, перед которым наша планета переживала длительный тёплый период. В течение третичного периода, а пожалуй и всей мезозойской эры, были выше в целом и летние и зимние температуры воздуха — необходимый залог для того, чтобы на берегах Полярного бассейна могли появиться широколиственные деревья.

Л и т е р а т у р а

1. И. П. Герасимов и К. К. Марков. Тр. Инст. геогр., 33, 1939. — 2. М. Миланкович. Математическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М., 1939. — 3. Симпозиум по палеоклиматам. Тр. XVII сессии Межд. Геол. конгр., т. 6, М., 1940. — 4. А. И. Толмачев. Ботан. журн., 29, № 1, 1944. — 5. F. V. Kerner. Met. Zeitschr., 53, H. 8, 1936. — 6. A. Penck. Verhandl. III Intern. Quart.-Konf. Wien, 1938. — 7. W. Ramsay. Geol. Mag., 61, № 718, 1924. — 8. R. W. Chaney. Bull. Geol. Soc. Amer., v., 51. № 3. 1940.