

А. А. БОРИСОВ

ПАЛЕОКЛИМАТЫ
территории
СССР

УНИВЕРСИТЕТ имени А. А. ЖДАНОВА

А. А. БОРИСОВ

ПАЛЕОКЛИМАТЫ
ТЕРРИТОРИИ
СССР



ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛЕНИНГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
1965

*Печатается по постановлению
Редакционно-издательского совета
Ленинградского университета*

Книга «Палеоклиматы территории СССР» содержит довольно детальную характеристику древних климатов, начиная с архея и кончая четвертичным периодом.

Значительное внимание уделяется рассмотрению климатообразующих факторов, а также методам исследований палеоклиматов. На этой основе с учетом новейших данных делается попытка выяснить причины изменений и колебаний климатов и связанных с ними оледенений.

Книга рассчитана на специалистов климатологов, палеогеографов, биологов и лиц, занимающихся исторической геологией, а также может служить учебным пособием для студентов географических факультетов.

ВВЕДЕНИЕ

Имеющиеся работы по вопросам палеоклиматологии, исторической геологии и по климатам прошлого СССР в большинстве случаев устарели или же содержат пестрые, несопоставимые сводки по различным географическим областям. Достижения современной науки позволяют исследовать палеоклиматы более целостно и достоверно, в связи с чем представляется возможность как систематизировать, так и разработать ряд важных вопросов в этой области знаний.

В данной монографии, посвященной изучению палеоклиматов, большое внимание уделяется анализу и характеристике климатов кайнозойской эры, так как с ними тесно связаны современные климаты, их изменения и колебания.

Любая наука может быть признана самостоятельной в том случае, если известны исторические предпосылки и развитие как самой сущности предмета, так и методов исследования. Вряд ли будет преувеличением, если мы скажем, что исторический метод — один из важнейших в географии — особенно необходим при изучении палеоклиматов, колебаний и изменений климатов, с которыми тесно связана палеогеография как наука.

Палеогеографию мы относим к «пограничным» или «стыковым» областям всей науки, которые возникают и развиваются на основе столь же смежных, давно сформировавшихся различных наук. В данном случае под такими науками понимаются география и геология. «Подобные „пограничные“ области наук часто представляют собой наиболее живые „точки роста“ науки; они питаются опытом и идеями не одной, а двух или нескольких смежных наук», — говорит К. К. Марков (1960). Предметом изучения палеогеографии как географической науки является история развития современной природы земной поверхности, ее ландшафта, поскольку эта история развития по-

могает познанию современного облика Земли. Палеогеография же как геологическая наука имеет своим предметом фацию, т. е. древний, ископаемый ландшафт. Однако такая двойственность палеогеографии не мешает ей быть самостоятельной наукой. Наоборот, палеогеография в целом и как часть географии, и как часть геологии имеет свой предмет изучения, а именно: историю развития ландшафта от древнего до современного. Правда, цель изучения этого предмета у географов и у геологов различна: первые изучают историю развития древнего ландшафта, чтобы понять и объяснить современные ландшафты, тогда как вторые в ней видят главным образом историю геологических эпох, а также залежей пород, используемых человеком.

Палеоклиматология может быть названа частью палеогеографии, или наукой, занимающейся изучением климатов прошлого, законов их формирования и географического распределения в различное геологическое время. В этом смысле палеоклиматология может быть названа также исторической климатологией, поскольку она рассматривает климаты «во времени», т. е. в развитии за все время существования нашей планеты. Подобно тому как климатология есть наука географическая, занимающаяся изучением климата как элемента ландшафта и опирающаяся на географию и метеорологию, так и палеоклиматология является географической наукой, занимающейся изучением палеоклимата как элемента древнего, ископаемого ландшафта и опирающейся на географию и геологию с использованием их методов. Общим для палеоклиматологии и палеогеографии является исторический метод, состоящий в реконструкции климатов прошлого как части древних ландшафтов и их развития во времени. Если климатология лежит на стыке географии и метеорологии, то палеоклиматология является пограничной между географией и геологией, а еще точнее — палеогеографией и исторической геологией. Итак, палеоклиматология, или историческая климатология, представляет собою один из разделов палеогеографии и исторической геологии. «Она целиком входит в первую как часть и составляет одну из задач второй» (Кузнецов, 1962).

Главной задачей палеоклиматологии является выяснение климатической истории Земли, значения климатической среды для жизни, а также закономерностей, обусловивших современный облик планеты. Историческая климатология восстанавливает также климатическую обстановку отдельных геологических эпох, выясняет климатообразующие факторы, характер различных элементов, сезонные особенности и их связи с палеоландшафтами. Она почти целиком опирается на методы палеогеографии и исторической геологии, впрочем используя также дости-

жения других наук: биологии, математики, физики, археологии.

Характеристика палеоклиматов составляет, по существу, палеоклиматографию, являющуюся основной частью палеоклиматологии. Изучая палеоклиматы, мы даем фактический материал для палеоклиматологии, ее теории и гипотез.

Необходимо уяснить и еще одно понятие в палеоклиматологии. Речь идет о колебаниях и изменениях климата. Рассматривая климаты прошлого, естественно считать самым важным следствием их динамики колебания и изменения. К сожалению, до сих пор нет общепринятого определения понятий «изменения» и «колебания» климата. Не вдаваясь в рассмотрение различных попыток определения этих понятий (Курс климатологии, 1952), мы будем иметь в виду, что под изменениями климата понимаются его колебания, приводящие к смене разных фазов климата. Систематические же отклонения климата или отдельных его сторон составляют колебания климата. Короче говоря, под изменениями климата следует понимать смену климата одного типа другим; изменения внутритиповые есть колебания.

Изучение палеоклиматов в конечном итоге позволит выявить колебания и изменения их за геологическое время Земли. Наряду с тем знание палеоклиматов покажет исторический путь формирования современных климатов, их генезис, и в какой-то мере их будущее как части ландшафта.

В отличие от наших знаний современных климатов Союза палеоклиматы изучены гораздо меньше, хотя современные климаты формировались из древних и по существу представляют собой их короткий фрагмент. Это объясняется, с одной стороны, более поздним возникновением палеогеографии и палеоклиматологии, с другой — большими трудностями в исследовании климатов прошлого. Известно, что отечественная климатология родилась в эпоху Ломоносова, в первой половине XVIII столетия, хотя оформилась как наука фактически в середине XIX века (Борисов, 1959а). С этого времени она развивалась гораздо быстрее, а после Великой Октябрьской революции достигла исключительно больших успехов. Палеоклиматология как наука оформилась только в 40-х годах XX века. Причина отставания палеоклиматологии кроется прежде всего в отсутствии надежных методов изучения палеоклиматов, а это упирается в соответствующее состояние географических и геологических наук. Именно поэтому наше знакомство с вопросами изученности палеоклиматов касается одновременно как истории палеогеографии, так и геологических идей, с которыми связано возникновение палеоклиматологии и знаний о палеоклиматах.

Как уже упоминалось, исторический метод является исходным при изучении палеоклиматов. Первым был Ломоносов, признавший исторический подход методом географической науки. «И,

во-первых, твердо помнить должно, что видимые телесные на земле вещи и весь мир не в таком состоянии был сначала от создания, как ныне находим, но великие происходили в нем перемены, что показывают история и древняя география, с нынешнею снесенная, и случающиеся в наши века перемены земной поверхности» (Ломоносов, 1952). Не случайно понятие «древняя география», т. е. палеогеография, употреблялось уже Ломоносовым. Идея развития природы подчеркивалась также в трудах известного естествоиспытателя А. Гумбольдта (1963).

Некоторые исследователи считают первым палеоклиматологом английского физика и математика Роберта Гука, установившего в 1686 г., что когда-то на Земле было теплее, чем теперь (Шварцбах, 1955). Но такого рода предположения носили весьма общий характер, нередко отличаясь фантастическими представлениями о климате прошлого. Эти теории явились как бы предпосылкой к возникновению науки о климатах прошлого, которая начала свои первые шаги в XIX столетии, когда были обнаружены следы четвертичного оледенения. Ледниковые приметы превратились с тех пор в главный объект изучения палеоклиматологии.

Ученые в нашей стране, особенно геологи, активно стали выступать с палеоклиматологическими идеями и характеристикой палеоклиматов. Теория материкового оледенения была предложена в России Г. В. Шуровским в 1856 г. и затем подробно разработана П. А. Кропоткиным в 1876 г. Вторая половина XIX столетия ознаменовалась уже появлением целого ряда палеоклиматических гипотез, так или иначе объясняющих изменения и колебания климата. За рубежом были особенно характерны работы, посвященные так называемому ледниковому периоду.

В 1875 г. Отто Торрель писал, что гладко отшлифованная и перечерченная поверхность скал близ Берлина объясняется действием ледников и что северный материковый лед доходил когда-то до подножья среднегерманских возвышенностей. Поэтому гипотезы о якобы плававших айсбергах в четвертичном море и переносивших обломки скал в отдаленные области, сразу отпали. В 1887 г. А. П. Карпинский ставил перед геологами задачу восстановления комплекса физико-географических условий различных геологических эпох. «Историческая геология, — писал он, — имеет целью также восстановить климатические условия минувших периодов и показать, какой характер имели жившие тогда организмы и какое было распределение их у поверхности Земли» (Карпинский, 1887). Брукс объяснял изменения климата палеогеографическими условиями, Кеппен и Вегенер — перемещением полюсов и дрейфом материков, Хантингтон и Вишер — изменением солнечной радиации и характером солнечных пятен. Все эти исследователи опубликовали интересные работы с рассуждениями, нередко а priori. Недаром Э. Брикнер еще в 1890 г. говорил, что «пожалуй, мало найдется отраслей науки, в кото-

рых „умозрения” столь опережали бы накопление фактического материала, как в этой области» (т. е. палеоклиматологии). Нужно сказать, что в создании первых обзоров палеоклиматов принимали участие как географы-климатологи, так и геологи. Сначала были изложены старые воззрения В. Эккардтом и С. Вишером, а затем более новые — Кеппенем и Вегенером.

Интересные и ценные сведения о климатах прошлого и их изменениях на Земле, в частности на территории СССР, мы находим в трудах А. И. Воейкова, обратившего также внимание на вопросы колебания климата в нашей стране за историческое время. Заслуживает особого внимания высказывание Воейкова о том, «как легко найти условия, ведущие к большому развитию горных ледников, и как трудно объяснить материковые ледяные покровы Европы и Северной Америки» (Воейков, 1952). Интересно, что Воейков, как и ряд других исследователей, связывает оледенение горных районов с более или менее частым прохождением циклонов. Он отметил, что теплый миоценовый климат не обнаружен в области муссонов Дальнего Востока, а это указывает на наличие здесь холодного зимнего антициклона в данную геологическую эпоху. А. И. Воейков подчеркивал большую роль циркуляционных процессов в изменении климатов и меньше связывал их с радиационными факторами, в частности с изменениями расстояния Земли от Солнца. Многочисленные высказывания Воейкова об изменениях и колебаниях климата, его оценка различных гипотез и исследований в данной области знаний явились первым итогом палеоклиматических работ и вместе с тем положены в основу новой отрасли науки — палеоклиматологии.

В выяснении климатов прошлого нашей страны начиная с 20-х годов текущего столетия активно участвуют не только климатологи и геологи, но и палеоботаники, физико-географы и астрономы.

Известный географ Д. Н. Анучин считал, что для понимания происходящих теперь процессов на Земле необходимо знание ее прошлого. Много внимания изучению палеоклиматов СССР уделял и Л. С. Берг, изложивший свои представления о колебаниях климата, в частности в связи с вопросами об усыхании пустынь Средней Азии. Труды Л. С. Берга в области палеоклиматологии не потеряли своего научного значения и по сей день (Берг, 1947). Не менее интересные взгляды на изменения климатов в связи с оледенениями мы находим у выдающегося советского географа С. В. Калесника (1955), также подчеркивающего диалектическую связь различных географических процессов и ее роль в познании палеоклиматов.

Весьма ценные сведения и умозаключения о развитии атмосферы и изменениях климатов Земли содержатся в трудах К. К. Маркова — одного из основоположников советской палеогеографии. Среди геологов и ботаников, освещающих вопросы

палеоклиматологии и в частности древние климаты территории СССР, необходимо отметить Н. М. Страхова, Д. В. Наливкина, И. М. Покровскую, Л. Б. Рухина, В. П. Гричука, Н. Н. Полынова, С. С. Кузнецова, А. П. Виноградова, В. В. Алехина, М. И. Нейштадта и др. Многие из работ названных авторов нами использованы при характеристике палеоклиматов СССР.

Необходимо отметить, что климаты прошлого нашей страны в целом, за все последовательные геологические периоды и эпохи, включая голоцен, не освещались ни в одном из специальных исследований; не имеется сводных работ о методах исследований палеоклиматов, так же как о связи климатов прошлого с современными климатами. Именно поэтому, прежде чем перейти к рассмотрению характеристики палеоклиматов территории СССР, мы считаем необходимым остановиться на кратком обзоре существующих методов их изучения. Это поможет составить представление о надежности данных и о недостатках, а также о трудностях, стоящих на пути составления целостной детальной характеристики палеоклиматов территории СССР, и о связи с ними современных климатов.

Из сказанного выше можно сделать следующие выводы.

1. Палеоклиматология — это часть палеогеографии как географической науки. Наиболее крупным пробелом современной палеогеографии является отсутствие целостной характеристики палеоклиматов, которая бы опиралась на достижения палеогеографии, исторической геологии, а также современной климатологии, использующей математику и физику.

2. Палеоклиматология как наука возникла в эпоху Воейкова и оформилась в 40-х годах XX века, получив развитие в последнее время наряду с развитием новейших методов палеогеографии и исторической геологии. В данное время эта наука прочно «встает на ноги» и вынашивает важные теоретические и практические проблемы.

3. Изучение и характеристика палеоклиматов территории СССР за геологическое время может послужить основой: а) реконструкции ландшафтов, б) выяснения масштабов изменений климатов и характера их колебаний, в) оценки условий залегания полезных ископаемых с учетом изменений климатов. При этом под изменением климата следует понимать смену климата одного типа другим; изменения же климата внутритиповые — есть колебания.

4. В отличие от малой изученности палеоклиматов наши знания современных климатов опираются на обширный фактический материал, определенные разнообразные методы климатологических исследований и их обработки.

5. В целях изучения изменений и колебаний климатов, а также их прогнозирования необходимо получение последовательной детальной характеристики палеоклиматов за различные геологические периоды.

ГЛАВА I

МЕТОДЫ И ДАННЫЕ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАЛЕОКЛИМАТОВ

Существует ряд методов исследования климатов прошлого Земли. Их можно подразделить на геофизические, геологические, палеогеографические и климатологические. Познавательная роль каждой группы этих методов весьма различна: одни из них имеют наибольшее значение для определения геохронологии, т. е. возраста Земли, и вместе с тем того или иного типа климата, условий его формирования и распространения; другие служат фактической основой характеристики палеоклиматов и климатообразующих факторов.

Под **геофизическими** методами исследований палеоклиматов понимаются те, при которых исследователь не наблюдает непосредственно (визуально) признаки климатических условий, их показатели, а имеет дело с реакцией различных физических полей на присутствие того или иного индекса, указывающего на влияние и характер палеоклимата. Сюда относятся радиоактивные (ядерные) способы, основывающиеся на изучении радиоактивного распада атомов. (Радиоактивностью называют самопроизвольный распад ядер некоторых элементов.)

В основе радиоактивных способов лежит определение возраста пород по скорости распада атомов радиоактивных элементов соответствующего вещества.

Установлено, что ядро атома имеет плотность $1,5 \cdot 10^{14}$ г/см³ (Огильви, 1962). Так, радиоактивность горных пород определяется присутствием урана и тория с продуктами их распада или же калия. Ядра или изотопы других элементов (изотопами называются ядра, имеющие одинаковые заряды и, следовательно, равное число протонов) не оказывают существенного действия на радиоактивные свойства горных пород. Интересно, что благодаря повышенному содержанию урана и тория кислые изверженные породы обладают наибольшей радиоактивностью, тогда как щелочные породы (гипс, ангидрид, каменная соль) не радиоактивны. Мергели, глины, известняки мелководных морей обла-

дают радиоактивностью в десять раз меньшей, чем глубоководные осадки. Метаморфические же породы занимают по радиоактивности промежуточное положение между осадочными и изверженными породами.

Радиоактивные способы многочисленны и составляют ядерную геохронологию. В большинстве своем они служат для определения абсолютного возраста Земли, а также различных климатов, формировавшихся на протяжении всей истории планеты. Если один палеоландшафт или, соответственно, палеоклимат моложе другого или же старше его, то речь идет об относительном возрасте, определением которого занимается относительная геохронология; если же определен возраст всей эпохи (в годах) «слоя» палеоландшафта или палеоклимата, то речь идет об абсолютном возрасте. Вопросами определения возраста и занимается геохронология (Старик, 1961).

Наиболее известными и разработанными способами являются свинцовый, гелиевый, а также стронциевый, аргоновый, ионный и радиоуглеродный.

Изотопы свинца (уран и др.) находятся в земной коре с самого начала ее существования. Для исследований геохронологии пород важно, чтобы руда содержала свинец только за счет распада урана. Кроме того необходимо, чтобы за все время существования минерала он, не теряя образующегося свинца, не получал его и извне (что, впрочем, мало вероятно).

При гелиевом процессе атомного распада (впервые этот способ был применен английским физиком Рэлеем) 1 г урана порождает 1 см³ гелия за 1 млн. лет, а для образования того же количества тория (газа) требуется почти втрое больше времени. Если в минерале содержится гелия в 286 млн. раз больше, то процесс накопления шел 286 млн. лет. Это и будет возраст минерала и пород земной коры (из которых взят образец) и, следовательно, возраст палеоландшафта, климата или того или иного их элемента. К сожалению, этот способ далеко не точен, так как гелий, выходя наружу, частично теряется, а при взятии минерала в химический анализ утекает еще больше, и учесть это невозможно.

В 1905 г. Томсоном был применен аргоновый способ. Этот способ сравнительно прост и легко применим в практических целях. При этом определение возраста по слюдам позволяет получить значения, весьма близкие к истинным. Так, возраст атмосферы по расчетам Чэкетта равен 3,1—3,5 млрд. лет. Он предположил, что аргон в атмосферу поступал в период от начала образования Земли до момента затвердения земной коры, когда дальнейшее поступление аргона стало неощутимо.

Аналогично, стронциевый способ основан на накоплении Sr⁸⁷ образующегося в минералах при распаде R⁸⁷. Этот метод определения возраста достаточно надежный, перспективный и применяется в ряде исследований, связанных с палеогеографией. Ион

ный способ основан на изучении процессов концентрации ионов урана в морских отложениях. Оказывается, что содержание урана в океанических водах есть функция солености: чем больше соленость, тем больше содержание урана.

В последнее десятилетие широкое распространение получает радиоуглеродный способ. Дело в том, что C^{12} и C^{13} в результате воздействия космического излучения на атмосферу образуют радиоактивный изотоп углерода C^{14} с периодом полураспада 568 лет. На основании этого было определено количество C^{14} , существующее в результате действия космической радиации. Сравнение возрастов морских осадков, определенных радиоуглеродным и ионовым способами на одних и тех же образцах, показывает, что в течение последних 35 000 лет интенсивность космических лучей постоянна (с точностью до 10—20%). Радиоуглеродный способ наиболее эффективен при определении абсолютного возраста четвертичных отложений, а также при археологических находках (Зубков, 1959). Именно этим способом ведутся исследования в ряде лабораторий США, Швеции, ГДР, ФРГ, Дании, а также в СССР. В Швеции для определения возраста межледниковых и межморских отложений торфа и подморских пней был принят метод CO_2 с применением специальных счетчиков (Клейменова, 1959).

Обращает на себя внимание тот факт, что все радиоактивные способы основываются на допуске, будто скорость радиоактивного распада атомов урана за все время существования Земли остается постоянной, в чем можно сомневаться. Следует сказать, что до сих пор радиоактивные методы используются почти целиком для определения абсолютного возраста Земли и совершенно недостаточно распространяются на реконструкцию палеоландшафтов и тем более палеоклиматов. Между тем ряд способов (аргоновый, радиоуглеродный, ионный) может служить для разработки представлений о процессах формирования палеоклиматов, в частности циркуляционных факторов за различные геологические времена (состояние и состав атмосферы). Одной из задач климатологов является использование радиоактивных способов для изучения климатов прошлого, их колебаний, а также географического распределения.

Геологические методы, как показывает самое название, опираются на геологическую науку в самом широком смысле этого слова. Подобно тому как нельзя исследовать палеоклиматы, не определив, к какому времени они относятся (чем и занимается геохронология), так невозможно их охарактеризовать без знания состава пород, т. е. литологического анализа, а также без определения геотектонической структуры современных областей суши и моря, горных хребтов.

К геологическим методам (или способам) изучения палеоклиматов относятся: стратиграфический, петрографический, палеонтологический, геохронологический, геотектонический.

С помощью стратиграфического способа определяется древность горизонта и его свойства, так или иначе связанные с климатом: чем ниже в разрезе лежит пласт, тем он древнее и характеризуется определенными индикаторами климата. Но этот способ неприменим, если порядок горизонтов (слоев) изменен сбросами и разрывами.

Петрографический способ состоит в рассмотрении сходных комплексов пород, присущих определенному климату: возраст оказывается больше для тех комплексов, которые расположены ниже других. Данный способ особенно культивировался в XVIII—XIX веках (Вернер А. Г., 1749—1819). Однако следует иметь в виду, что сходные породы, иногда неразличимые даже микроскопически, могут возникать в совершенно разное время.

Палеонтологический способ заключается в создании единой геохронологии и характеристики пластов с использованием ископаемых для распознавания истории Земли. Сущность этого способа сводится к тому, что каждый пласт пород характеризуется определенным комплексом ископаемых форм, которые приурочены только к нему и не встречаются в других пластах. И хотя петрографически породы могут не иметь сходства, можно говорить об одновременности отложений пород и одинаковости фауны, находящейся в пластах. Это позволяет установить не только относительный возраст, но и климатические условия, в которых обитали те или иные животные. Применяя палеонтологический способ, мы используем эволюцию биологического процесса, отмечающего каждый новый отрезок времени новыми животными и растительными формами, по которым можно судить и о климатических условиях. Страхов (1960) считает, что этот метод способен создать универсальную геохронологию, так как ничто не нарушает палеонтологию пластов, сохранивших фауну своей эпохи.

Геохронологический способ шведского ученого де Геера основан на подсчете годовых слоев ленточных глин в разрезах толщ, отложенных ледниками. Ленточная глина (чередование прослоек глины и песка) характеризуется резким переходом от глины к песку и постепенным переходом от песка к глине. Каждая пара слоев (песчаный внизу и глинистый наверху) образует одно целое — ленту толщиной в среднем 0,5—5 см. Слои разные в зависимости от интенсивности разных ледников: зимой «оседала» глина, летом «стекал» песок. Такого рода подсчеты были произведены академиком А. Д. Архангельским по Черному морю. Оказалось, что смена «каспийского» режима современному в черноморской котловине произошла всего 4,5—5 тыс. лет назад. Впрочем, отметим, что этот способ весьма ограничен: во-первых, потому, что далеко не всюду имеются такого рода толщи с ленточными глинами, во-вторых, речь может идти лишь о характеристике периодов, охваченных ледниковыми эпохами, и,

и третьих, со временем ленточные глины делаются аморфными под действием метеорологических процессов.

Геотектонический способ состоит в восстановлении кривой колебаний земной коры; при этом обнаруживаются перерывы в отложениях, вызванные движением земной коры, смена вертикального распределения фауны, а отсюда возможно восстановление тектонической эволюции и реконструкция элементов палеогеографии, включая климаты прошлого. К сожалению, этот метод в климатологии почти не используется; между тем он может быть эффективен при рассмотрении вопросов оледенения и ледниковых эпох.*

При любом из геологических методов очень важное значение имеет литологический анализ тех формаций, которые типичны для данной геологической эпохи. Например, В. М. Сеницын указывает на следующую связь литогенезиса и типов климата: ариднему климату соответствует континентальная формация карбонатных красноцветов и морская формация — карбонатная и карбонатно-сульфатная (для мелководий и лагун); дальневосточному муссонному климату соответствуют латериты (преимущественно сиаалитовые — угленосные); умеренному климату свойственны континентальные полимиктовые терригенные формации и те же морские, но без глауконита.**

В последнее время все большее и большее распространение в изучении палеоклиматов получает метод пыльцевого анализа, который мы вправе отнести к **палеогеографическим** методам, поскольку он позволяет реконструировать палеоландшафты, используя пыльцу одного из элементов ландшафта — растительности. Пыльцевой анализ в последние десятилетия завоевал прочное место среди других способов. Он особенно необходим при изучении континентальных отложений, часто лишенных других палеонтологических остатков.

Наука о пыльце имеет свою давность: вначале осуществлялось изучение морфологии пыльцы (с конца XVIII в., т. е. со времени изобретения микроскопа), затем развитие собственно пыльцевого способа с целью применения его в практической деятельности (геологостратиграфия, корреляция угольных пластов и т. п.). С 30-х годов XX в. начался третий этап, когда этот способ получил научное обоснование и широкое практическое распространение, особенно в палеогеографии, а также палеоклиматологии — при реконструкции климатов.

* Мы не останавливаемся на подробном рассмотрении всех геологических методов, так как они охарактеризованы детально в учебниках геологии (Рухиц, 1959).

** Под формацией осадочных пород понимается комплекс генетически связанных образований, накапливающихся при определенных условиях геологической среды, важнейшими компонентами которой являются климат и тектонический режим.

Способ пыльцевого анализа при определении пыльцы стремится привязывать ее к какому-либо определенному растению или хотя бы семейству. По части определенного таким образом комплекса можно судить и о климатических условиях.

Сущность пыльцевого анализа как метода состоит в изучении и определении пыльцы (древесной и травянистой растительности), встречающейся в различных по генезису отложениях (аллювиальных, озерных, морских, эоловых и т. п.). При цветении древесные породы и травы производят большое количество пыльцы (особенно ветроопыляемая группа растений). Попадая на поверхность суши или в толщу водных отложений и торфяников, пыльца, как правило, хорошо сохраняется благодаря большой стойкости оболочки, хотя в щелочной среде пыльца сохраняется гораздо хуже, чем в кислой. Лучше всего пыльца сохраняется в органических осадках: в торфе и озерных отложениях. Процентное соотношение состава пыльцы, заключенной в толще изучаемого слоя, будет отчасти отражать состав растительности, обитавшей в районе во время накопления данного горизонта. При восстановлении состава древесных насаждений и вообще растительной ассоциации на основании результатов пыльцевого анализа, безусловно, необходимо вводить поправку на пылеценность растений. Например, ель в среднем производит пыльцы в два раза меньше, чем сосна. Изменение же растительности и флоры в широких масштабах, как правило, связано с изменением климата.

Полученная при пыльцевом анализе статистическая прослойная характеристика называется «пыльцевым спектром». Следовательно, по составу пыльцевых спектров можно судить о флоре района исследований и изменениях климата, а также можно определить возраст изучаемых отложений, так как определенным геологическим эпохам отвечает определенный комплекс растительности. Способ пыльцевого анализа дает возможность реконструировать палеоклиматы различных геологических эпох с учетом их географического распределения. Впрочем, необходимо учитывать, что поскольку пыльца почти не обнаруживается в щелочных породах, то это ограничивает применение данного метода к целому ряду геологических эпох и географических областей.

К палеогеографическим же методам следует отнести метод реконструирования карты ландшафтов прошлого. Это возможно благодаря устойчивости крупных ландшафтных черт. При этом выясняется палеоклимат древних ландшафтов. Реконструкция палеоландшафтов учитывает положение земной оси, тектонические движения с преобразованиями рельефа, океанические течения, что позволяет географу характеризовать пространственные изменения физико-географических условий, включая климатические. Составление хотя бы схематической карты отдельных элементов палеоландшафтов служит большим подспорьем в вы-

явления закономерностей жизни этих палеоландшафтов, включая палеоклиматы.

Естественно, что палеогеографические методы опираются прежде всего на взаимосвязь, существующую между отдельными элементами ландшафта. Возможность характеристики климатов, господствовавших в тех или иных местах ландшафтной оболочки многие миллионы, десятки и сотни миллионов лет назад, обусловлена целиком нашим представлением о ландшафтной оболочке как о едином целом, где все явления взаимно связаны и друг друга определяют (Калесник, 1955).

Реконструкция палеогеографических условий и сводится прежде всего к построению палеогеографических карт. Задача состоит в нанесении на карту фактических компонентов, известных для изучаемого горизонта. Разумеется, что карта получается схематичной, так как не всегда достаточно данных и не все они надежны. Это же относится и к изученности фаций (типов пород) эры в целом (история и органический мир). И неслучайно, что для всего земного шара такие карты не составлены (с учетом стратиграфической, палеонтологической, биологической и палеогеографической картин). Но и то, что нанесено на картосхемы палеогеографического характера, представляет ценный материал для климатологов, особенно в связи с выяснением различных климатических областей и границ зональности и аональности климатов. Например, последовательность фаций в разрезах разных слоев повторяет былую зональность климатов.

Наиболее же простым способом палеоклиматического анализа органического мира является выделение (на карте) биогеографических зон и провинций. Л. Б. Рухин (1959) считает, что даже при отсутствии континентальных отложений исследователь должен стремиться дать разностороннюю палеогеографическую характеристику суши. Проще всего восстановить климат по породам химического и органического происхождения: для моря — сначала фауна, потом петрография; для суши — сначала петрография, потом фауна и флора. Необходимо помнить, что реконструкция моря возможна только по отложениям, а суши — еще и при их отсутствии. Короче говоря, выясняется биономия, т. е. конкретные физические и химические особенности внутри намеченных для данного периода областей суши и моря.

Работа ведется уже на основании карты: изучается палеогеографический комплекс начиная с петрографических данных, химических, минералогических и палеонтологических отложений и кончая показателями органических остатков, распределением животного и растительного мира по доминантам. Все это может быть использовано в климатологических целях. При этом особенно важно изучение литологии и органических остатков данной территории. Климат обуславливает зональность распределения организмов и сказывается на особенностях их внешнего вида, например на размерах.

Восстанавливая различные зоны пластов, а также формы органических остатков и их распределение, можно подойти к реконструированию климатов наряду с палеогеографической картиной. В этой связи определенный интерес представляют полученные Л. Б. Рухиным типы климатов и соответствующие им особенности континентальных и морских отложений, показывающие взаимосвязь палеогеографических и климатических условий (табл. 1).

Климатологические методы исследований палеоклиматов наименее разработаны. Это объясняется главным образом наиболее тесной связью климатов прошлого с геологией и биологией, с помощью которых климаты изучались до самого последнего времени. Между тем накопление материалов всевозможного характера, а также развитие геофизических методов исследований позволяют ближе подойти к реконструкции и характеристике па-

Типы климатов и соответствующие им особен

Типы климатов	Подтипы климатов	Современные температуры и осадки
Полярный	Ледниковый	Температуры круглый год ниже нуля
	Холодный	Средняя температура самого теплого месяца изменяется от 10 до 0°. Годовое количество осадков меньше 300 мм
Умеренный	Влажный	Северной границей служит изотерма 10 самого теплого месяца, южной - изотерма 20 этого же месяца. Осадков 300—660 мм
	Сухой	Средняя температура каждого из летних месяцев 20—23°. Осадков 200—450 мм в год
	Полусухой	Средняя температура самого холодного месяца 5, а самого теплого 23°. Осадков 400—750 мм
Жаркий	Сухой	Средняя температура самого холодного месяца 10 (в тропических пустынях) или меньше этой величины (во внутриконтинентальных пустынях). Осадков 200 мм
	Периодически засушливый	Средняя температура самого холодного месяца 18°. Осадков 1000—200 мм. Есть ясно выраженный сухой период
	Влажный	Средняя температура самого холодного месяца выше 18°, годовая амплитуда температур меньше суточной. Осадков больше 1500 мм. Увлажнение равномерное

ноклиматов на основе новейших достижений науки и техники, следовательно, и самой климатологии. Если ранее климат той или иной геологической эпохи характеризовался только косвенными признаками с качественной оценкой (теплый, холодный, жаркий и т. д.) или речь шла о характере сезонов, а в лучшем случае о показателях одного-двух элементов климата (температура, осадки), то теперь, как нам кажется, можно сделать попытку перейти в реконструкции климатов от качественной характеристики к количественной и от статической картины климатов к динамической. Короче говоря, речь идет о возможном восстановлении климатообразующих процессов (радиационных, циркуляционных) того или иного периода, о выяснении типов климата, а отсюда количественных индексов климатических типов той или иной области.

Таблица 1

ности континентальных и морских отложений

Ландшафты (на равнинах)	Характерные типы континентальных отложений	Особенности отложений
Ледники	Тиллиты	Только обломочные
Тундры	Флювиогляциальные отложения и озерно-ледниковые отложения	
Леса	Озерные и аллювиальные толщи. Угли, коллины, озерные железные руды	Карбонатные породы редки. Иногда железистые руды и глауконитовые отложения
Лесостепь	Монтмориллонитовые континентальные глинистые отложения. Иногда засоленные	
Вечнозеленые леса	Некоторые красноцветные толщи. Иногда угли, каолины	
Пустыни	Соляные породы. Эоловые отложения	Широкое распространение карбонатных отложений. Фосфориты, бокситы, железные и марганцевые руды. Глауконитовые породы
Саванны. Субтропические леса	Красноцветные толщи	
Экваториальные леса	Озерные и элювиальные отложения, латериты, каолины, угли	

Разумеется, что климатолог должен использовать различные методы исследований как геофизические, геологические, палеогеографические, так и климатологические (о которых пойдет речь дальше). Необходимо также подчеркнуть, что при изучении климатов прошлого приходится иметь дело с всевозможными предположениями, догадками, обобщениями, а priori, а все это нуждается в определенных философских исходных данных. Диалектический подход, рассматривающий все процессы, явления и предметы во взаимосвязи, взаимодействии и взаимозависимости, является и здесь незаменимым.

Непосредственно к климатологическим можно отнести следующие способы исследований палеоклиматов: метеорологические признаки разных палеоклиматов, геолого-палеогеографические свойства климатов, реконструкцию климатообразующих процессов и расчеты климатических показателей, привлечение исторических, археологических и дендрометрических данных, наконец, статистические приемы сглаживания, а также и другие, в том числе по метеорологическим наблюдениям (последние способы имеют ограниченное применение и относятся лишь к изучению климатов за историческое время).

Под метеорологическими признаками понимаются: термический режим палеоклиматов, условия увлажнения и изменения атмосферного давления, сезонные изменения и колебания климата.

Примером признаков теплого климата могут служить, как правило, отложения соли, требующие испарения и, следовательно, теплого климата, окраска красноцветных осадочных отложений, вызываемая присутствием мелких частиц окиси железа (чего нет во влажном и холодном климате), и образование гидроокиси и буроземов. Красноземы — обычное явление в теплом и чаще сухом климате. Мощные толщи извести — свидетели относительно мелких и теплых морей. Количество видов растений больше в теплом климате, чем в умеренном. Признаком теплого климата является и наличие кораллов.

Холодный климат характеризуется присутствием ледников, валунов и кар, мерзлотой, перегрузкой рек обломочным материалом (щебень), органическими остатками животных аридного периода (мамонты, носороги); в горах эти признаки нарушаются.

О сухом климате говорят отложения солей, пустыни, горный обломочный материал, известковые корки, слоистые песчаники (под действием ветра), лёсс, присутствие остатков животных периода, переходного от аридного к современному (дрофы, ослы, сурки).

Признаками влажного климата являются глинистые осадки, торфяные болота, террасы, озерность, а из растений — папоротники.

Отдельные признаки палеоклиматов могут быть связаны также с различными элементами климата. Например, дюны, ветро-

и рыб и барханы объясняются влиянием атмосферного давления и ветров; сплавление песчинок, «окаменелости», следы пожаров, «янтарное дерево» — воздействием гроз.

По А. Соколову обнаруживается следующая связь между скоростью ветра и размером песчинок:

Скорость ветра	Максимальная величина песчинок
4,5— 6,7 м/сек	0,25 мм
6,7— 8,4 „	0,5 „
8,4—11,4 „	1,0 „
11,4—13,0 „	1,5 „

Сезонные признаки: ленточные глины (влажный климат лета, чередующегося с зимой), слоистые озерные отложения, илы, обломочные туфы, годовичные кольца, ископаемая фенология, плоды тополя и ивы, муравьи.

Длительные колебания климата объясняются солнечными пятнами и сопровождаются отложениями ила и ленточными глинами. Все эти признаки вполне могут ориентировать исследователей при реконструировании климатов прошлого.

М. Шварцбах (1955) правильно указывает, что для различных климатов земного шара характерны разнородные геологические процессы и явления (выветривание, осадконакопление и т. д.) и свои особые виды животных и растений. Отсюда необходимо сделать вывод, что ископаемые могут рассматриваться как признаки климата. Степень их надежности больше, если имеется целая флора или фауна. В этом смысле можно говорить о геолого-палеогеографических признаках климата. К первым можно отнести, например, продукты выветривания и осадконакопления, морфологические и геоморфологические особенности (плессовые толщи, островные горы, речные террасы, кары и т. п.); ко вторым следует отнести ареалы остатков флоры и фауны, экологические и физиологические данные (годовичные кольца, окраска и форма листьев и т. п.).

К геолого-палеогеографическим признакам следует отнести и те комплексы или отдельные ископаемые, которые обязаны своим образованием определенным типам климата. Например, соль формируется в аридном климате; бокситы и руда — результатом чередования влажного и сухого теплого климата; торф и каменный уголь, а также каолин и озерная руда — признаки влажного климата, тогда как известняк — признак сухого теплого климата; ледниковые морены свойственны лишь холодному климату. Красный цвет пород связан с недостатком гумуса, обычно приводящим окисное железо в закисное (жаркий влажный климат); накопление карбонатов больше на юге (в теплых климатах) и убывает на север.

Г. И. Леонов (1956) подчеркивает, что установление зависимости тех или иных свойств осадочных горных пород от харак-

тера физико-географической среды их образования приобретает при генетическом анализе их признаков первостепенное значение. (Заметим, что Леонардо да Винчи (1452—1519), знаменитый итальянский художник и ученый эпохи Возрождения, одним из первых дал правильное представление о геологических факторах в зависимости от происходящих изменений земной поверхности.)

Оказывается, для полярных климатических областей характерны различные ледниковые и флювиогляциальные отложения; для областей умеренного климата — речные и озерные осадки, богатые отложениями преимущественно растительного материала; для стран с сухим климатом типичны эоловые пески, пролювиальные накопления; для тропиков — латериты, речные и озерные (богатые органическими остатками) продукты.

Из всех областей осадконакопления на континентах наиболее четко выделяется область полярного климата, где присутствуют главные факторы — лед и талые воды.

Область умеренного климата характеризуется скоплением аллювиальных, озерных и болотных отложений, дающих начало образованию залежей торфа, бурых и каменных углей и сапропелитов, бурой руды. В горах характерны отложения обвалов и осыпей.

В пустынном климате часты пролювиальные, эоловые и элювиальные толщи. В периферических частях происходит накопление делювиальных отложений. Для озер пустынь типично присутствие известковых и известково-доломитовых илов, а также сернокислых и хлористых солей — мирабилита и поваренной соли.

Тропическим областям с жарким и влажным климатом свойственны глинные элювиальные образования в результате химического выветривания изверженных и других пород. Процесс сопровождается накоплением окислов алюминия, железа и марганца, залежей каолина, озерной руды. Нефтесодержащие толщи бывают, как правило, в теплом климате, где происходит жизнедеятельность одноклеточных организмов. Фосфориты — признак жаркого климата. Жаркий засушливый климат способствует накоплению урановых руд в континентальных толщах вскоре после их отложения. Из-за поглотительной способности органической массы урановые руды часто встречаются и в углях.

Можно сказать, что каждому типу климата соответствуют определенные формации — геологические, ботанические и фаунистические, что и учитывается при характеристике палеоклиматов. Поэтому очень важно установление не только отдельных ранее указанных признаков или свойств климата, но и получение представления о формациях, соответствующих данному типу климата.

Климатические реконструирования и расчеты заключаются в составлении характеристик и схем климатообразующих процес-

тов, а также в получении количественных показателей того или иного палеоклимата. В частности, при конструировании радиационных условий необходим учет солнечной постоянной, влияния географической широты, облачности. В качестве примера можно указать работу Миланковича (1939) по так называемой математической климатологии, а также отдельные попытки исследователей дать характеристику компонентов радиационного баланса палеоклиматов различных областей. Как пример реконструкции циркуляционных факторов для отдельных геологических эпох, а также территорий можно указать атмосферные характеристики некоторых геологических эпох, выполненные К. К. Марковым (1961 а, б), Л. Б. Рухиным (1959), А. А. Боровым (1959 б) и др.

Мы видим свою задачу в том, чтобы построить общие схемы циркуляции атмосферы для различных геологических периодов с указанием главных климатических фронтов, что позволит определить климатические границы различных зон.

Что касается расчетных данных по некоторым показателям климатов, то их можно получить как в результате установления типов климата (каждому из которых присущи определенные показатели), так и на основе анализа климатических аналогов, исторических сведений, синоптических реконструкций. Так, при изучении колебаний климата Крыма за историческое время нами был применен способ синоптических реконструкций, а также использованы данные археологических находок.

Возможно привлечение метеорологических наблюдений в отдельных пунктах за последние 250—350 лет. В таких случаях для изучения колебаний климатов применяются специальные статистические приемы разработки наблюдений. Примером такого рода разработок могут служить исследования Е. С. Рубинштейн, Л. С. Берга, Ю. Керянена, П. Пальмена и других ученых по вопросам колебаний климатов за историческое время. Подробное описание этих приемов дается в курсах климатологии.

Прежде чем перейти к характеристике палеоклиматов нашей страны, остановимся на геохронологической схеме, которую мы применяем в данной работе. Она имеет существенное значение при последовательном рассмотрении геологических периодов и эпох, при суждениях о продолжительности этих периодов, а следовательно и продолжительности формирования и господства того или иного климата на территории страны.

Напомним, что первыми работами в СССР по определению возраста Земли были исследования беломорской свиты свинцовым и гелиевым методами (Ненадкевич, Хлопин). Начало же применению радиоактивных методов в палеогеографии фактически положил В. И. Вернадский. В 1938 г. И. Е. Старик написал первую сводную работу о возрасте Земли, а в 1961 г. переиздал ее в более полном виде под заглавием «Ядерная геохронология». Используя данные различных авторов, применявших

изотропные методы, в частности метод изотропного состава рудного свинца, мы составили таблицу возраста Земли, включая территорию СССР (табл. 2).

Таблица 2

Возраст Земли по данным различных авторов

Автор, год определения	Возраст млрд. лет*	Примечание
Старик (1936)	5,2	Возраст Земли
Холмс (Holmes, 1947)	3,25	Возраст земной коры
Джемфрис (1948)	4,0	То же
Виноградов и др. (1953)	5,2	Возраст Земли
Гаугерманс (1957)	4,5	То же

* В литературе имеются указания на возраст Земли до 8 млрд. лет.

Как видно из табл. 2, расхождения в определении возраста Земли не особенно велики и могут быть объяснены недостаточной доказательностью и недостаточным количеством исходных данных, трудностью определения возраста исследуемых образцов свинца. Для сравнения укажем, что возраст Земли, определенный в недавнее время стронциевым методом, получился равным 3,8—4,5 млрд. лет, а аргоновым методом — 3,1—4,5 млрд. лет.

До недавнего времени большинство ученых при изучении различных геологических эпох пользовалось геохронологической шкалой А. Холмса (Holmes, 1947), которая показывает длительность геологических периодов (табл. 3).

Таблица 3

Геохронологическая шкала А. Холмса (Holmes, 1947)

Период	Длительность периода, млн. лет	Время с начала периода, млн. лет
Плейстоцен	1	1
Плиоцен	11	12
Миоцен	14	26
Олигоцен	12	38
Эоцен	20	58
Мел	69	127
Юра	25	152
Триас	30	182
Пермь	21	203
Карбон	52	255
Девон	58	313
Силур	37	350
Ордовик	80	430
Кембрий	80	510

Как видно из табл. 3, весь период от кембрия до наших дней продолжался не многим более полумиллиарда лет; наиболее длительными были периоды ордовика и кембрия, затем мела и чешона. В новейших работах геологов продолжительность периодов уточняется (табл. 4).

Таблица 4

Шкала геологического времени по Д. И. Щербакову (1952)

Эра	Период	Абс. продолжительность, млн. лет	
		эры	периода
Кайнозойская	Четвертичный	60	1
	Третичный		59
Мезозойская	Меловой	125	70
	Юрский		25
	Триасовый		30
Палеозойская	Пермский	335	25
	Каменноугольный		55
	Девонский		55
	Силурийский		120
Кембрийский	80		
Прекарион	—	1580	—

Примечание. Для кайнозойской эры +2 млн. лет, для мезозойской и палеозойской +10 млн. лет.

Геохронологическая шкала абсолютного возраста, по данным советских ученых на 1960 г., уже указывает время перехода от одной эпохи к другой (табл. 5). В основу ее положена геохронологическая шкала комиссии по определению абсолютного возраста геологических формаций (Изв. АН СССР, сер. геол., № 10, 1960 г.).

Обращает на себя внимание большое совпадение продолжительности различных периодов у разных авторов. Общая продолжительность всех вместе периодов остается также почти одинаковой.

Представленная картина относительного и абсолютного летоисчисления имеет большое значение при реконструкции палеоклиматов. Мы не останавливаемся специально на рассмотрении этой схемы, так как вернемся к ней при детализации и характеристике геологических периодов в климатическом отношении. Укажем только, что реконструкция и рассмотрение палеоклиматов нами производятся на основе советской шкалы геохронологии с детализацией четвертичного периода, которому автор уделяет особое внимание, о чем будет сказано далее.

Приближенная шкала геологического времени, построенная по данным советских исследований на 1960 г.

Эры	Периоды. Эпохи	Начало и конец, млн. лет	Приблизительная длительность, млн. лет
Кайнозойская (70 млн. лет)	Четвертичный	0—10 тыс. лет	1
	Современная		8—12 тыс. лет
	Третичный	69	9
	Плиоцен		1—10
	Миоцен		10—25
	Олигоцен		25—40
	Эоцен		40—60
Палеоген	60—70	10	
Мезозойская (155 млн. лет)	Мел	70—140	70
	Юра	140—185	45
	Триас	185—225	40
Палеозойская (345 млн. лет)	Пермь	225—270	45
	Карбон	270—320	50
	Девон	320—400	80
	Силур	400—420	20
	Ордовик	420—480	60
	Кембрий	480—570	90
	Докембрий IV (рифей)* (630 млн. лет)	—	570—1200
Докембрий III (протерозой)** (700 млн. лет)	—	1200—1900	—
Докембрий II (архей) (800 млн. лет)	—	1900—2700	—
Докембрий I (катархей) (800 млн. лет)	—	2700—3500	—
Догеологическая эра (1500 млн. лет)	—	3500—5000	—

* Протерозой II; ** Протерозой I.

Составление климатических характеристик лишь по косвенным признакам (геологическим, палеогеографическим и т. п.) следует считать в значительной степени пройденным этапом.

Резюмируя сказанное, можно считать, что: 1) изучение и восстановление палеоклиматов опирается на целый ряд известных методов — геофизических, геологических, палеогеографических, климатологических; 2) современные достижения климатологической науки, а также техники позволяют ставить разработку специальных способов реконструкции климатов, что требует их активного внедрения в климатологию; необходима только увязка различных данных, полученных с помощью указанных методов; 3) геохронологическая шкала для характеристики палеоклиматов за геологическое время получена.

ГЛАВА 2

ДРЕВНИЕ КЛИМАТЫ И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

Проблема климатов прошлого является одной из наиболее трудных, а потому и «спорных в палеогеографии», — пишет Ч. Б. Рухин (1959). Климат обусловлен многими факторами астрономического, физического и геологического порядка, а также самими физико-географическими условиями. Поэтому при реконструкции древних климатов территории СССР необходимо учитывать многие выводы, полученные разными исследователями в отношении указанных факторов.

Рассмотрим палеоклиматы СССР следующих эр, периодов и эпох в хронологическом порядке: архей, протерозой, кембрий, силур (ордовик), девон, карбон, пермь, триас, юра, мел, палеоген, эоцен, олигоцен, неоген (миоцен и плиоцен), плейстоцен (лечниковые и межледниковые эпохи), историческое время.

Будем придерживаться следующего порядка в характеристике климатов отдельных периодов и эпох: сначала указываются важнейшие климатообразующие условия (геотектонические, палеогеографические, радиационные и циркуляционные), затем дается фактическая характеристика климатов и, наконец, типизация климатов с их районированием по территории страны. Следует иметь в виду, что эти вопросы будут освещаться кратко в отношении самых древних геологических эр и по возможности подробнее для кайнозойской эры, когда появился человек, а также формировались основные условия современных климатов.

Разумеется, что не все геологические периоды и эпохи могут быть описаны в равной мере еще и из-за различной их изученности¹.

¹ Здесь уместно заметить, что при исследовании палеоклиматов мы шли по общепринятому пути от древних периодов к современности, а наоборот, от современных климатов к древним, т. е. от известного к неизвестному, что было бы легче разобраться в специфике климатических условий, как это предлагал Н. М. Страхов. Характеристика же палеоклиматов дается в хронологическом порядке от самых древних времен до современного климата включительно.

Нам представляется, что получение под одним углом зрения хотя и краткой сводки о климате нашей страны за всю историю Земли может быть ценным материалом для дальнейших исследований, связанных с палеоклиматологией.

В ряде случаев автором предлагаются схемы и предположения, которые должны быть уточнены с получением новых данных. Необходимо также отметить стремление автора не ограничиваться описанием палеоклиматов, а объяснить их на основе реконструкции климатообразующих процессов и фактически данных по всему земному шару.

В настоящее время установлено, что лучистая энергия Солнца, приходящая на земную поверхность за все время истории Земли как планеты, существенно не изменилась. Астрономы считают, что интенсивность солнечной радиации за последние 3—3,5 млрд. лет (время существования атмосферы) оставалась фактически неизменной. В таком случае можно утверждать в общем неизменными периодические колебания солнечной активности и наличия озонового фона в атмосфере, а также масштабы климатических норм атмосферы и параметры Земли за геологическое время. Но количество солнечной радиации, достигающей поверхности атмосферы, испытывает изменения в связи с скоплениями космической пыли, через которые время от времени проходит солнечная система в космическом пространстве; количество радиации меняется также с изменением формы земной орбиты, происходящим под влиянием притяжения других планет к Луне (вычисления показывают, что такие изменения происходят с периодом почти 90 000 лет).

При изучении палеоклиматов особенно важно учитывать также возможность изменения наклона земной оси, что повлекло бы за собой изменения радиационных и циркуляционных процессов, а также физико-географических условий. Такие изменения по А. И. Воейкову сказались бы особенно сильно на климатах высоких широт: увеличение наклона оси (по отношению к плоскости эклиптики) даже на 1° вызвало бы в их пределах весьма заметное потепление, а при наклоне оси порядка 60° исчезла бы широтная зональность климатов. Но далеко не все климатические зоны подвержены смещению. Наиболее постоянно положение зоны тропического климата, так как ее расстояние определяется астрономическими причинами. Поэтому и в современную эпоху области экваториальных лесов и саванн не выходят за пределы тропиков, несмотря на все разнообразие рельефа и распределение морских течений.

По вычислениям М. Миланковича (1939), изменение наклона оси вращения Земли колеблется в пределах $2-0,5^\circ$ с периодом около 40 000 лет. Если учесть, что наклон оси разных планет весьма различен, то можно допустить значительно большее изменение его у Земли в далеком прошлом. Впрочем, за истекшее столетие угол наклона увеличился менее чем на $0'',1$.

Некоторое палеоклиматическое значение может иметь и изменение продолжительности суток, что обусловлено неравномерностью вращения Земли. Сутки удлиняются на 0,0014—0,0024 сек в столетие (в результате замедления вращения Земли под влиянием лунных и солнечных приливов), а это означает, что в начале палеозоя сутки были короче современных на 2,54 ч.

Отметим, что изучение влияния на климат Земли изменения наклона оси, эксцентриситета земной орбиты и предварения равнодействий позволило Миланковичу получить общую картину преобразования климата Земли, но так как он игнорировал не менее важные геологические процессы, то не смог объяснить многих климатических изменений. Интересно, что Миланкович уже тогда принимал при расчетах радиации солнечную постоянную в $2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$ (табл. 6), а это соответствует величине, полученной в настоящее время на основе ракетных наблюдений. Из сводки Бернхеймера за 1244 дня наблюдений между 1912 и 1920 гг. среднее значение солнечной постоянной $I_0 = 1,946 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$.

Таблица 6

Точные суммы тепла (в кал/см^2) при отсутствии атмосферы для $I_0 = 2 \text{ кал/см}^2 \cdot \text{мин}$

Широта полюса	Долгота Солнца								
	0°	22 30'	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
90°	—	436	796	1160	789	—	—	—	—
30	160	436	784	1093	777	158	—	—	—
45°	316	541	772	1043	765	312	25	—	—
60	909	925	921	900	913	898	813	756	820

Количества радиации, получаемые во время астрономических весны и лета, одинаковы; то же наблюдается для осени и зимы. Любая широта южного полушария получает столько же тепла, сколько северная.

К физическим факторам климата Земли необходимо отнести состав и свойства атмосферы. Известно, что падающая на поверхность Земли лучистая энергия поглощается ею и излучается в виде длинных тепловых волн. Атмосфера пропускает через себя 18% солнечных лучей, идущих к планете, но задерживает 93% излучения Земли. Не случайно атмосферу по тепловым свойствам сравнивают со стеклами в оранжерее, а земной шар называют трансформатором, перерабатывающим малые длины волн на большие.

Тепловые свойства атмосферы почти целиком определяются содержанием в ней углекислоты, водяного пара и пыли. В литературе указывается (Рухин, 1959), что если бы углекислота от-

существовала в атмосфере, то средняя годовая температура воздуха на Земле вместо $+14^{\circ}$ была бы равна -7° , т. е. понизилась бы на 21° ; наоборот, увеличение углекислоты в два раза вызвало бы рост средней годовой температуры до $+18^{\circ}$, т. е. на 4° выше современной. Известно, что содержание углекислоты в палеоатмосфере изменялось.* В карбонатных породах ее сконцентрировалось много, и даже в настоящее время в 15 000 раз больше, чем в атмосфере. Большое количество углекислоты остается в растениях в процессе их жизнедеятельности. В. В. Алехин указывает, что ежегодно растения поглощают около $\frac{1}{35}$ всего количества углекислого газа в атмосфере. Пополнение углекислоты идет за счет вулканических извержений, дыхания организмов и выделения ее из воды океанов, а отчасти и при сгорании топлива.

При современных типах промышленного производства человек удвоит содержание углекислоты в атмосфере уже через 500 лет. В океанах углекислоты в 50 раз больше, чем в атмосфере. Часть ее переходит в атмосферу. Многие геологи считают, что в древней атмосфере углекислоты было больше, чем в современной. На это, по их мнению, указывает все более широкое распространение наземной растительности, прогрессирующее накопление карбонатных пород и уменьшение интенсивности вулканических процессов, что, безусловно, имеет место с начала палеозоя. Именно с палеозоя известь стала использоваться морскими организмами для построения скелетных элементов, что связано с уменьшением углекислоты. В докембрии, когда в атмосфере ее было много и воды были насыщены, усвоение ее морскими организмами было затруднено. Л. Б. Рухин (1959) по этому поводу пишет: «Если это предположение о значительном содержании в докембрийской атмосфере углекислого газа правильно, то следует предполагать и некоторое общее повышение в то время температуры на поверхности Земли».

Существенное влияние облачности на климат проявляется через радиационный баланс. Если бы средняя облачность Земли равная сейчас 50—55%, увеличилась до 60%, то средняя годовая температура воздуха с 14° понизилась бы до 12° и, наоборот, при средней облачности 40% годовая температура выросла бы до 18° . Косвенным указателем на значительно большую облачность в древние периоды служит тот факт, что поздние современные покрытосеменные растения приспособлены к обитанию в условиях более сильной освещенности по сравнению с нижеорганизованными группами. Можно подчеркнуть и еще один факт, с которыми может быть связана большая облачность в древние времена, а именно: господство океанической поверхности

* Следует отметить спорность вопроса о степени влияния углекислого газа на климат.

на Земле. Процессы испарения могли происходить более интенсивно и свободно, что благоприятствовало образованию облаков.

Что касается влияния пыли на климат, то ее роль хотя и может быть значительной при вулканической деятельности, а также при лесных пожарах, но сама по себе пыль — явление эпизодическое, а главное локальное (не считая космическую пыль). Поэтому вряд ли можно говорить о более или менее решающем значении влияния пыли на формирование климатов планеты в целом или территории СССР.

Теперь остановимся на некоторых важнейших для формирования климатов факторах геологического характера: влияние суши и моря, тектонические движения, смещения полюсов Земли.

Неравномерное распределение материков и океанов способствует формированию различных барических центров независимо от зональных климатов. Так, летом субтропический пояс повышенного давления наблюдается лишь над океанами, где воздух прогревается значительно меньше, чем над сушей в этих же широтах; наоборот, зимой над материками даже в планетарной зоне низкого давления (вдоль 60-й параллели) возникает повышенное давление. С барическими же центрами в свою очередь связаны циркуляционные условия: меридиональный и широтный чередуются пассаты и антипассаты, муссоны и т. д. При реконструкции палеоклиматов необходимо знать соотношение материков и океанов с точки зрения термических и динамических условий страны в целом. А при восстановлении очертаний древних климатических зон необходимо учитывать еще и расположение наиболее крупных горных хребтов. Например, положение климатических зон в Европе тесно связано с Альпами, а в Америке — с Андами и Кордильерами, так как эти горные хребты служат климатической границей.

Не менее важную роль играют и тектонические движения, с которыми связаны как материки и океаны, так и горообразовательные процессы. Особенно важно подчеркнуть влияние тектонических процессов на перераспределение океанов и материков, которое может повести за собой смещение полюсов. По мнению многих исследователей, особенно геологов, необходимо упомянуть изменение положения оси вращения Земли при объяснении палеоландшафтов и климатов. Об этом говорит вся совокупность наблюдений над географическим распределением осадочных пород и остатков организмов, данные палеомагнитных наблюдений и особенности распространения современных организмов. Другое дело, с какой скоростью происходит смещение полюсов, абсолютное или относительно это смещение, идет ли речь о «зблуждании полюсов» или перемещении их как тонкой деформированной коры по жесткому ядру и т. п. Тектонические движения способны не только изменять климатические границы при смещении полюсов, но могут влиять также на создание круп-

ных материков, изменять течения в океанах, способствовать оледенениям, изменять циркуляцию.

Хорошим подтверждением изменения оси вращения Земли являются палеомагнитные наблюдения. Результаты таких наблюдений опубликованы, и, поскольку есть основание считать,

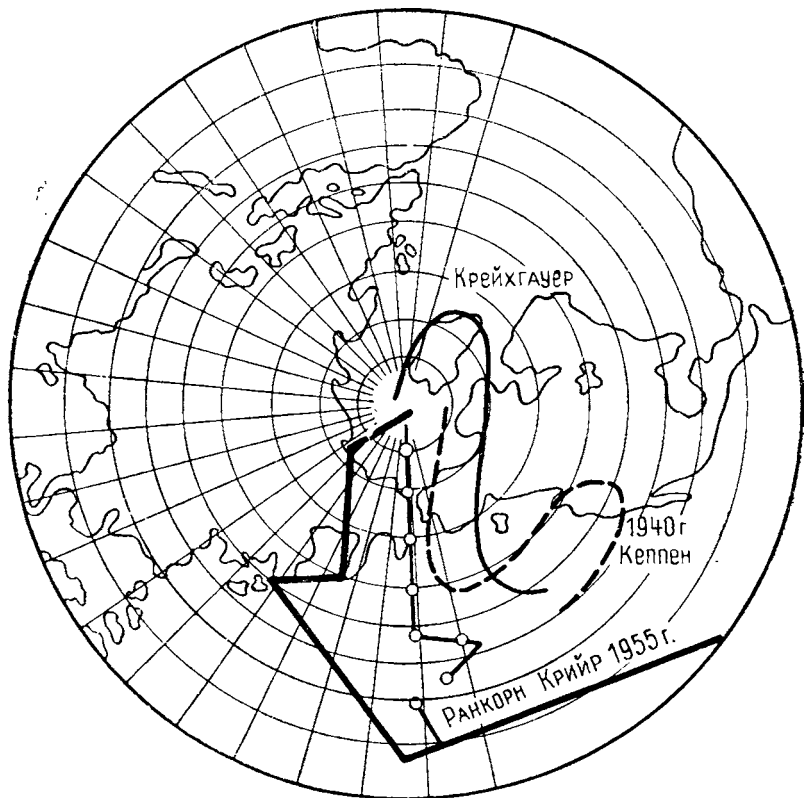


Рис. 1. Сопоставление предполагаемого смещения Северного полюса по данным палеомагнитных наблюдений (Дей и Ранкорн) и геологическим материалам предшествующих исследователей (Крейхгауер, Кеппен) (из Л. Б. Рухина, 1959).

что положение земных полюсов определяется положением земной оси, то эти данные нельзя игнорировать. На рис. 1 сопоставлены смещения Северного полюса по данным палеомагнитных наблюдений, а также палеогеографических материалов разных исследователей. Из рис. 1 видно, что в общем характер и тенденция перемещения полюса по данным разных исследователей одинаковы для всего геологического времени. Совпадение палеомагнитных и палеогеографических наблюдений также не

случайно.* Полагают, что в настоящее время полюс смещается со скоростью 8—9 см в год, а максимальная скорость в периоды бурных тектонических процессов доходила до 17—18 см в год. Причины смещения полюсов можно связать с поднятием и опусканием отдельных участков земной коры, появлением ледников, перераспределением барических центров (Борисов, 1959 б), возможным увеличением количества воды в океанах, перераспределением масс внутри Земли и т. п.

К палеогеографическим факторам следует отнести влияние на климат древних морских течений, водной и материковой поверхности, ледников, отчасти биологических условий. Известно, что тепловые свойства воды и пород сильно сказываются на климате и течение суток температура воды в океанах колеблется обычно в пределах одного градуса, тогда как суточные изменения температуры горных пород достигают нескольких десятков градусов. Значительно большее количество тепла и света в летнее время внутри континентов обуславливает сдвиг всех географических зон к полюсу. Различия между морским и континентальным климатами сказываются даже на химическом составе растений: в жарком и сухом климате короче вегетационный период и в семенах содержится больше белка, повышается сахаристость фруктов и корнеплодов.

О климатическом значении морских течений говорит большое смещение Гольфстрима, в зоне которого зимой отмечается термическая аномалия. Не случайно некоторые ученые (И. Г. Пидопличко и Н. С. Маккавеев) полагают, что континентальные типы климатов и соответствующие им растительные группировки на континентах не на побережьях, а в зоне распространения холодных течений, приравниваемых по своему влиянию к материкам; морские же разновидности климата и их ботанико-географические зоны типичны для побережий, омываемых теплыми течениями.

Роль рельефа в формировании климата, пожалуй, еще больше. Обнаруживается эта роль не только в распределении отдельных климатических элементов и вертикальной поясности, но, что особенно важно, в определенной последовательности колебаний климата, связанных с оледенениями. Так, четвертичное оледенение последовало за альпийским рельефообразованием, оледенение в конце протерозоя также произошло после крупной гляциальности, что указывает на связь горообразований с колебаниями климата.

* Не совпадению, мы не располагаем сколько-нибудь достаточными данными по различным геологическим периодам о форме Земли, ее колебательных движениях, размерах и скорости сокращения радиуса Земли; с ними можно было бы связать смещение климатических зон и их границ, а также сопоставить также результаты с климатической зональностью, полученной на основе реконструкции различных климатообразующих факторов, включая смещение полюсов Земли.

Палеоклиматические факторы различных геол

Эры	Периоды	Продолжи- тельн. перио- дов, млн. лет	Положение Се- верного полю- са, град. с. ш.	Площадь суши, %	Коеф. конти- нент., %	Характер тектонических процессов
Кайнозойская	Четвертич- ный	1	90	100	20—99	Период относительного спокой- ствия с незначительными ко- лебаниями, в частности лед- никовых районов
	Третичный	69	52—89	60—99	30—90	Эпейрогенические колебания поднятия. Интенсивное гор- образование, особенно плиocene
	Мел	70	49—52	50—60	30—50	Существенные трансгрессии, регрессии с отложением мела
Мезозойская	Юра	45	44—49	80—50	50—30	Начало погружений платфор- и геосинклиналей, крупны фазы орогенеза
	Триас	40	42—44	70—80	40—50	Слабый орогенез с некоторым общим поднятием суши
	Пермь	40	40—42	35—70	30—40	Типичные поднятия и горо- разования
Палеозойская	Карбон	50	30—40	35—30	30—20	Поднятия и особенно опу- скания платформ
	Девон	80	32—34	30—35	20—30	К середине периода опуска- ются больших участков зем- ной коры, в конце—поднятия
	Силур- ордовик	80	27—32	20—30	20—25	Поднятия земной коры, горо- образования и складчатые движения
	Кембрий	90	25—27	30—20	25—20	Опускание земной коры, усло- нение складчатости
Проте- розой- ская	Протерозой II	1000	5—25	20—30	15—25	Складчатость и горообразо- вания. Оледенения
	Архей I—II	1500	0—5	15—20	10—20	Состояние пангеосинклина- льное, сравнительно легко проходящие тектонические движения

Исчисленных периодов на территории СССР

Изменение CO ₂ в атмосфере	Облачность, %	Палеогеографические данные и показатели
Незначительное увеличение	Незначительное увеличение, 50—55	Растительный и животный мир, очень близкий к современному; вымирание крупных форм. Развитие человека
Уменьшение	Уменьшение (континентальность), 60—50	Расцвет флоры покрытосеменных, фауны млекопитающих и беспозвоночных, близких к современным. Появление человека
Уменьшение	Резкое уменьшение, 70—55	Внезапное появление флоры покрытосеменных. Широкое распространение белемнитов, аммонитов и крупных пресмыкающихся (на суше)
Увеличение	Увеличение (вода и горы), 60—70	Расцвет флоры голосеменных, фауны аммонитов, белемнитов, гигантских пресмыкающихся
Уменьшение	Незначительное уменьшение (континентальность), 60—65	Развитие богатой флоры голосеменных, расцвет аммонитов, появление животных форм, близких к млекопитающим
Незначительное уменьшение	Увеличение (вода, горы), 70—60	Развитие флоры голосеменных; перенаселяющие фауны пресмыкающихся, резкое вымирание в морях членистоногих
Уменьшение (потребности растений)	Увеличение, 70—75	Расцвет флоры плауновых, папоротников, фауны крупных земноводных; появление голосеменных растений
Уменьшение	Уменьшение, 70—65	Появление наземных растений, ракообразных форм в морях, насекомых и земноводных
Уменьшение	Незначительное уменьшение, 75—70	Разнообразная фауна кораллов, плеченогих, первая фауна рыб, следы наземных организмов
Резкое уменьшение	Уменьшение, 75—65	Примитивная фауна; археподы, трилобиты, простейшие плеченогие. Нижнекембрийские глинны. Теплое море
Увеличение	Уменьшение, 70—65	Процессы выветривания и накопления осадочных пород. Остатки организмов: радиоляриевые губки. Водоросли. Оледенения
Большое количество	Большая облачность, 75—80	Остатки организмов неизвестны, но простейшие были. Типично образование гранитов

Учет палеогеографических явлений и процессов имеет большое значение при рассмотрении и других климатических особенностей прошлого Земли. Следовательно, понять особенности палеоклиматов невозможно без учета данных палеогеографии, что подтверждается многочисленными выводами различных ученых.

Мы остановились весьма кратко на рассмотрении тех важнейших астрономических, геофизических, геологических и палеогеографических факторов, с которыми могут быть связаны палеоклиматы и их формирование. Разумеется, эти сведения не являются целью данной работы, они лишь обращают внимание на необходимость исследования палеоклиматов в тесной связи с самыми различными процессами. Но и самое поверхностное знакомство с этими вопросами не вызывает сомнений в том, что если при изучении современных климатов главное внимание обращается на радиационные и циркуляционные климатообразующие факторы, а также на общие физико-географические условия с учетом данных параметров Земли, то при изучении палеоклиматов и их реконструкции к такого рода климатообразующим факторам следует отнести прежде всего динамику (положение) полюсов, соотношение материков и океанов с учетом тектонических процессов, состав и радиационно-циркуляционные свойства атмосферы. Для определения же климатических величин (элементов, показателей) еще необходимо учитывать и данные о соответствии различных природных признаков, формаций, стадий развития биологического мира климатическим аналогам современных и древних климатов Земли. В связи с этим представляется целесообразным систематизировать основные показатели по перечисленным факторам в геохронологическом порядке, чтобы судить о динамике их в течение всего геологического времени.

Нами приводится схематическая таблица этих показателей составленная на основе различных источников и разработок (табл. 7). В основу этой таблицы положены многочисленные источники и данные: продолжительность геологических периодов как указывалось выше, получена из опубликованных сведений по определению абсолютного возраста геологических фаций; положение и смещение Северного полюса дается по Рухину (1959); площадь суши (в процентах к современной поверхности суши СССР) вычислена с помощью планиметра по геологическим картам;* континентальность климата указывается с учетом «материковости» в различные геологические периоды и на основе реконструированных данных по температуре воздуха, чем будет сказано далее; характер тектонических процессов отражен наиболее типичными особенностями, на которые как на

* Автор пользуется случаем выразить глубокую признательность за эту работу доценту кафедры картографии ЛГУ Ф. А. Черняевой.

Вспомогательные указывают все крупные исследователи (Н. М. Стратов, С. В. Калесник, К. К. Марков, Л. Б. Рухин, С. С. Шульц, А. П. Криштофович, Н. Шепли, М. И. Нейштадт, М. Шварцбах и др.), содержание CO_2 указывается по данным тех же авторов с учетом палеогеографических характеристик различных геологических периодов; облачность характеризуется на основе ранее рассмотренных факторов, как их интерпретация с учетом сведений, полученных разными учеными для некоторых периодов; данные палеогеографических показателей заимствованы из многих работ и отобраны лишь те, в отношении которых у исследователей нет расхождений; в частности, использованы многочисленные данные о геологических, зоогеографических и флористических формациях, свойственных различным климатическим периодам и характеризующихся определенными показателями климата.

В результате анализа данных табл. 7, а также характеристик палеоклиматов в дальнейшем был построен график приведенных компонентов, что позволило высказать принципиальные суждения о радиационных и циркуляционных факторах климата в его тенденциях в различные геологические периоды.

В связи с тем, что важнейшим климатообразующим фактором, влияющим на радиационный баланс и циркуляцию атмосферы и на влагооборот (включающий облачность), является материковость, особое внимание обращалось на динамику и размер суши в различные геологические периоды нашей страны. Была вычислена континентальность климата и составлена карта континентальности для современной территории Союза. В табл. 8 приводится расчет площадей суши для различных геологических периодов. Необходимо заметить, что полученные данные относятся к определенному отрезку времени того или иного геологического периода (эпохи). Между тем в течение каждого периода происходило значительное изменение поверхности суши⁴.

Представление о размерах и динамике суши за геологическое время дано также картосхемы рис. 2.

Можно сказать, что от архея площадь суши на территории нашей страны постепенно увеличивалась; резкое увеличение ее произошло в конце палеозоя — в триасе; в юре вновь произошло уменьшение за счет трансгрессий; затем площадь суши резко возросла в третичном периоде, особенно в конце (плиоцен).

Насколько велики были изменения площади суши в течение отдельных периодов (особенно при рассмотрении конкретных географических областей Союза), можно судить по новейшим данным, полученным для Северного Кавказа (табл. 9).

* Поэтому в табл. 7 указывается процентное соотношение суши в различных пределах, характеризующих каждый геологический период. Причем если на площадь увеличивалась в течение данного периода, то и процентное соотношение указано в сторону возрастания и, наоборот, если в течение геологического периода площадь суши уменьшилась, процент также убывает.

Расчет площадей суши территории СССР по периодам

Эры и периоды	Площадь суши, км ²	Отношение к современной площади, %
Архей	2960648,8	18
Протерозой	450038,0	26
Кембрий	4205292,0	23
Ордовик (силур)	4497968,0	25
Девон	4497968,0	30
Карбон	5419127,2	32
Пермь	5764176,8	35
Конец палеозоя	10074216,0	60
Триас	13577085,6	79
Юра	8411392,0	50
Мел	8968208,8	53
Эоцен	13426126,4	79
Миоцен	15034304,0	88
Плиоцен	16351976,0	99
Среднечетвертичное время (Днепровское оледенение)	12113705,6	71
Голоцен	17000000,0	100

Т а б л и ц а

Площадь суши и моря Северного Кавказа в кайнозое (в % к общ. площади региона)*

Время		Площадь суши	Площа. моря
Палеоген	Палеоцен	16,0	84,0
	Эоцен	18,5	81,5
	Олигоцен—н. миоцен	18,3	81,7
	Чокрак	40,6	59,4
Средний миоцен	Караган	24,0	76,0
	Конк	25,2	74,8
	Н. сармат	29,1	70,9
Верхний миоцен	В. сармат	32,9	67,1
	Мэотис	50,0	50,0
	Понт	45,3	54,7
Плиоцен	Ср. плиоцен	90,0	10,0
	Акгагыл	64,4	35,6
	Апшерон	79,7	20,3
Четвертичный период	Бакинский век	89,2	10,8
	Хазарский век	90,2	9,8
	Хвалынский век	88,9	11,1
	Каспийский век	98,7	1,3

* Помещаемые в табл. 9 сведения любезно предоставлены И. Н. Сафоновым, которому автор приносит искреннюю благодарность.

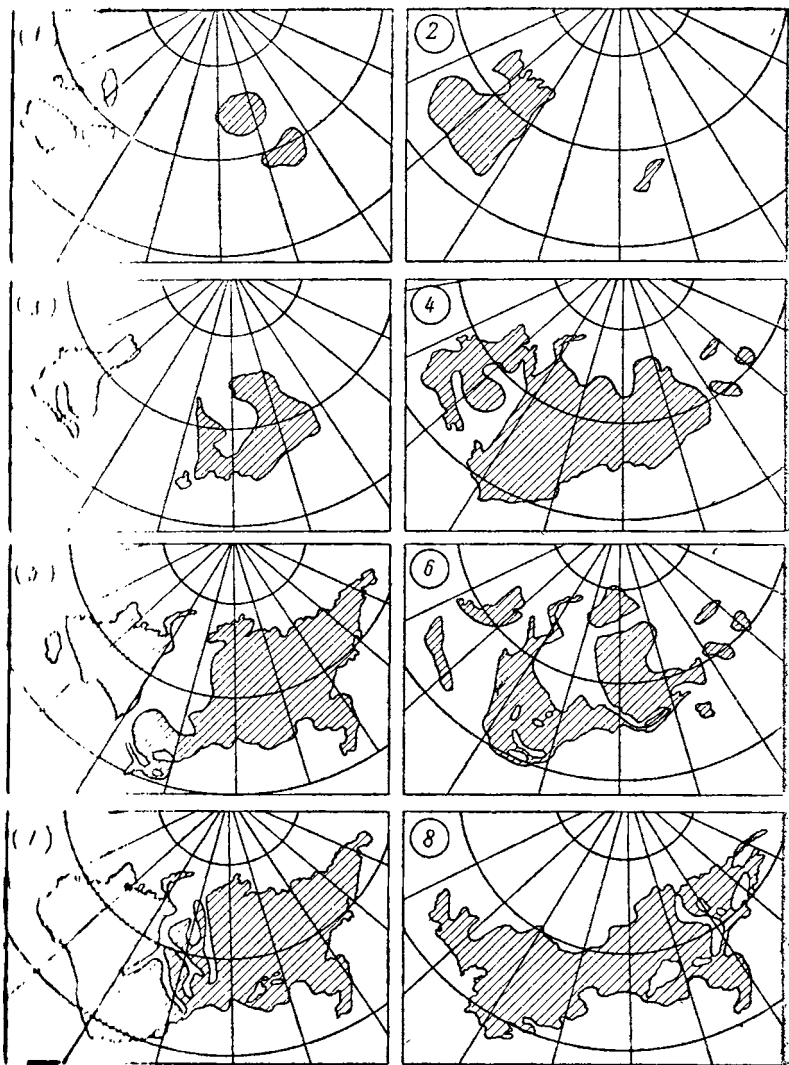


Рис. 2 Размеры и динамика суши территории СССР за геологическое время.

Штриховкой показаны области платформ и внутренних массивов в геосинклиналях, не занятых морем: 1 — докембрий; 2 — нижний кембрий; 3 — нижняя пермь; 4 — триас; 5 — верхняя юра; 6 — эоцен; 7 — начало плицена; 8 — середина четвертичного периода (время наибольшего продвижения ледников).

Обращает на себя внимание резкое увеличение водной поверхности в начале мелового периода и резкое возрастание суши в плиоцене, что не могло не влиять на климатические условия в соответствующих масштабах на Северном Кавказе.

Что касается континентальности климата, то она вычислялась по формуле Ценкера ($K = \frac{A}{\varphi} \cdot 100 - 20$), которую мы упростили применительно к характеристике климатов СССР (Борисов 1950), получив $K = \frac{A}{\varphi} \cdot 100$, где A — годовая амплитуда температур, φ — географическая широта. По упрощенной формуле континентальность климата была определена для 160 пунктов Союза, на основе чего составлена карта изоконт (рис. 3).

Пользуясь этой картой, можно сравнивать континентальность климатов отдельных областей страны за различные геологические периоды, что и делается в характеристиках палеоклиматов.

Из табл. 7 видно, что продолжительность геологических эр убывает, а продолжительность периодов колеблется, хотя и с небольшим диапазоном; Северный полюс смещается особенно сильно в третичный период, а также в палеозойское время, причем смещение полюса в палеозое происходило с удалением от территории Союза (см. рис. 1)*; площадь суши колеблется значительно, иногда сильно уступая морю, особенно же интенсивное увеличение ее происходило в протерозое, перми, триасе и в третичный период, когда размеры ее стали близки к современным; характер тектонических процессов был весьма различен, но большей активностью они отличались в протерозое, силуре, карбонифере и особенно в третичном периоде (плиоцен); характерна общая тенденция к уменьшению содержания CO_2 в атмосфере, хотя в четвертичный период намечается увеличение; естественно, что увеличение и уменьшение облачности, как правило, следовало за убыванием или же уменьшением площади суши и увеличением или убыванием поверхности океана.

Резюмируя сказанное, можно считать, что в основу характеристики палеоклиматов территории СССР положены следующие данные: астрономические, геологические и палеогеографические сведения общего характера; биологические показатели, результаты палинологического анализа, археологические данные; выводы различных исследований, литературные источники, интерпретация и обобщения в климатологическом разрезе, а также реконструкция климатообразующих факторов и климатических показателей для различных геологических периодов.

Архейская эра (более 1,5 млрд. лет назад). Климат территории нашей страны, как и всей планеты, в архейскую эру был не только совершенно иным, но определялся также и иными плане-

* Не исключена возможность, что в отдельные периоды или эпохи полюс был свободен от льда, что оказывало соответствующее влияние на полярный климат.

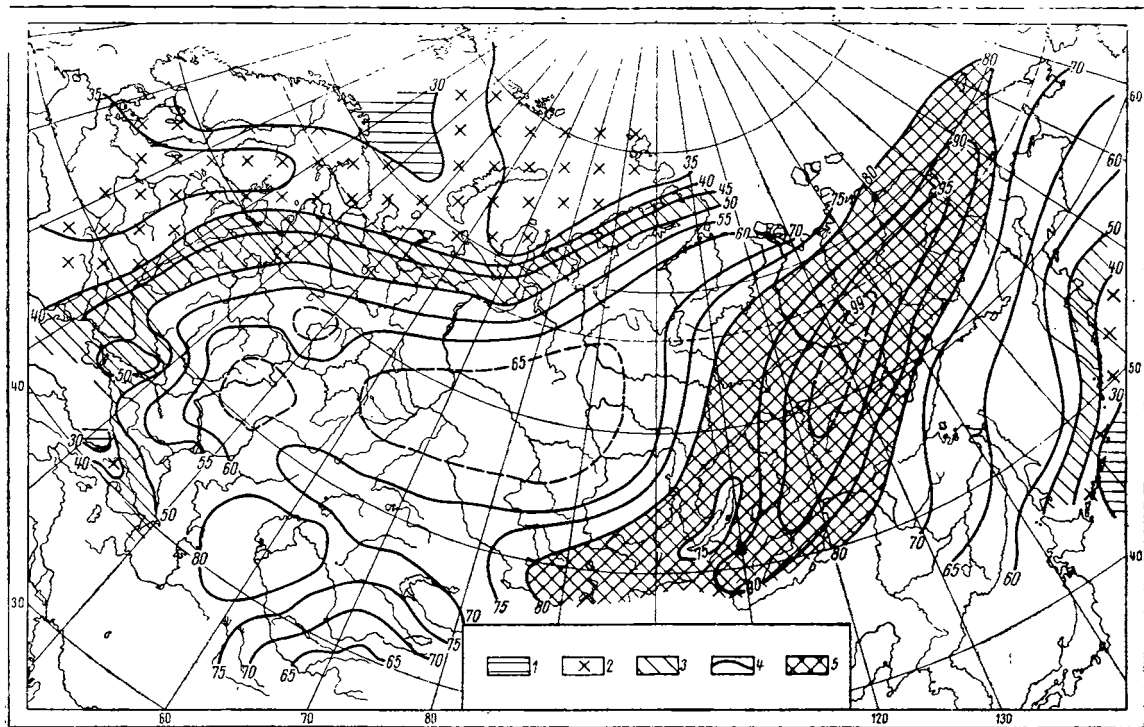


Рис. 3. Карта континентальности климата территории СССР.

1 — морской (< 30%); 2 — переходный (31—40%); 3 — континентальный (41—50%); 4 — резко континентальный (51—90%); 5 — ультраконтинентальный (91—100%).

тарными условиями. Северный полюс находился у экватора, а экватор пересекал Европу, северную часть Сибири, проходя отсюда через Арктику и Тихий океан. Почти вся поверхность земного шара была водной, включая территорию СССР, суши которой не превышала 20% от современной ее площади; тектонические процессы были не бурными, но частыми, легко разрешимыми в силу подвижности земной коры. Атмосфера характеризовалась очень большим содержанием углекислоты и интенсивным облакообразованием; органический мир по существу отсутствовал за исключением, по-видимому, таких простейших, которые не оставили никаких следов. Радиационные различия могли быть в приполюсных зонах, т. е. над Арктикой и югом Тихого океана тогда как территория СССР характеризовалась низкими широтами, а также однородными радиационными условиями, чему сопутствовали также более короткие сутки и преобладание водной поверхности. Отсюда же наиболее вероятно отсутствие значительной дифференциации климата. Впрочем, можно допустить тенденцию к климатическим различиям европейской части СССР и Сибири, если исходить из того, что экватор пересекал первую, а Сибирь находилась в тропических широтах. Кроме того, намечалась тенденция образования Русской и Сибирской платформ оформившихся в протерозое, для которого, как и для архея, типично образование гранитов (рис. 4).

В условиях экваториальных и тропических широт с преобладанием морской поверхности, чередующейся с островами суши над нашей страной формировался, естественно, очень жаркий климат. Большое содержание CO_2 и O_3 , так же как и большая облачность, способствовали не только выращиванию и без того «парникового» климата, но поддерживали постоянные высокие температуры в течение всего года и суток, не опускавшиеся ниже $34-32^\circ$ в среднем за любой из месяцев. Фактором же, ограничивающим еще более высокие температуры, были укороченные сутки.

Выпадение осадков было весьма обильным, но не больше со временных в экваториальном климате над океанами, так как ядер конденсации было меньше из-за меньшей солености морей (древние моря напоминали огромные озера с соленостью воды ниже 2,5 и даже 1%), а также отсутствовали горные хребты, которые, выветриваясь, снабжали бы атмосферу пылью. Пыль в атмосферу приносила лишь вулканическая деятельность. Можно предположить, что годовые суммы осадков при весьма равномерном их распределении по месяцам не превышали 1500—2000 мм.

Радиационная тепловая однородность климата не способствовала сколько-нибудь интенсивной меридиональной циркуляции

* Разумеется, речь идет здесь об экваторе современного положения планеты, что следует иметь в виду также в дальнейшем.

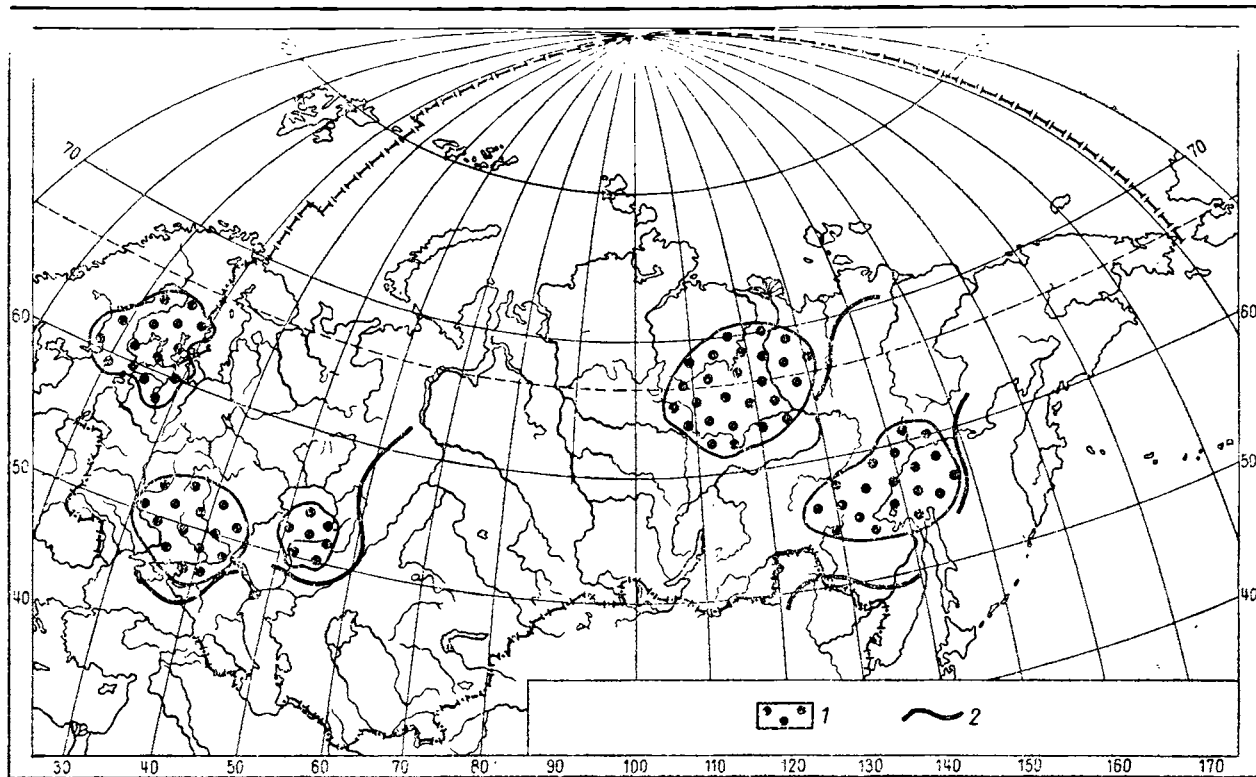


Рис. 4. Климатические ареалы архея.
 1 — области расположения суши; 2 — границы.

атмосферы в экваториально-тропических широтах, а следовательно, на территории страны ветровой режим характеризовался не сильными, а скорее даже слабыми ветрами. Но штилевой погоды не могло быть из-за зонально-широтной циркуляции и исключительно ровной, незащищенной поверхности суши и моря. В таких условиях, однако, ветер не превышал 2—3 м/сек в среднем за месяц. Не было характерно формирование циклонов и антициклонов при отсутствии резких взаимодействий меридиональной и широтной циркуляции атмосферы, в связи с чем не могли формироваться также климатические фронты, или же барические центры депрессий и максимумов.

Барическое поле было сравнительно однородным в течение всего года, сезонность невыражена. Климатические зоны не выделялись; поэтому правильнее говорить об ареалах климата,* едва разобобщенных между собой. Короче говоря, климат архейской эры на территории Союза был очень жаркий, влажный, со слабыми ветрами, при однородном географическом распределении его над всей территорией: температура воздуха 32—34°, годовые осадки 1500—2000 мм, облачность 75—80%, ветер 2—3 м/сек за любой из месяцев, континентальность климата была не более 10—20%. Сезоны фактически не выделялись. Как следствие, можно отметить, что климатические колебания могли быть обусловлены лишь астрономическими факторами (например, солнечной активностью), а это могло охватывать всю планету. Характерно общее потепление.

Протерозойская эра (1 млрд. лет назад) — время бурных тектонических движений, складчатости, горообразований и оледенений на Земле, включая территорию Союза.

Мы думаем, что в эту эру произошли резкие коренные изменения климата, с одной стороны, как следствие солнечной деятельности, а с другой — в силу тектонических движений как необходимых условий для оледенений.** Смещение Северного полюса было значительным (приблизительно на 20°);*** резко увеличилась материка (на территории Союза суша заняла 25% всей современной ее поверхности); содержание углекислоты в атмосфере продолжало увеличиваться; облачность уменьшилась в силу «материковости» страны.

Органический мир представлен остатками растений и животных, преимущественно самых простейших: губки, радиолярии, водоросли, плауны и т. п. Имеются данные о появлении беспоз-

* Под ареалами климатов мы понимаем территории с различными климатическими условиями (показателями). На территории Союза можно выделить климатические ареалы: сплошные (формировавшиеся в более позднее геологическое время), разорванные (например, в протерозое и палеозое) и зональные (начиная с палеозоя).

** Об этом см. гл. 3.

*** Впрочем, смещение полюса в последующие эры происходило еще быстрее.

попечных животных и переходе растений моря на сушу (Ю. П. Наумова).

Естественно, что для суши не было характерным присутствие наземной растительности как в связи с кристаллической основой пород и их складчатостью, так и вследствие оледенений, имевших место в некоторых областях (например, в Енисейском криже); наоборот, было типичным выветривание, аккумуляция (накопление осадочных пород).

Характерным было образование геологических щитов (например, фенноскандии). Ранее указывалось на оформление Русской и Сибирской платформ; наряду с этим обнаружены толщи мореноподобных валунных отложений (тиллиты), связанных с оледенениями. Имели распространение лжестилолиты в чередовании железистой руды и кварцита.

В тесной связи с активными тектоническими процессами и оледенениями находилось некоторое усиление циркуляции атмосферы, возникновение барических центров по разные стороны горных барьеров и оледенений, что вызывало сильные ветры (частые находки на породах ветровой ряби и диагональной складчатости), хотя и не повсеместно. Именно в этот период возможно было возникновение первоначальной циклонической деятельности в современном понимании, а следовательно, первой дифференциации климатов.

Мы относим первые, хотя и слабые формирования климатологических фронтов на отдельных участках Земли именно к этому времени. При этом внутриворонные области (плато и низины) оказывались менее увлажненными, их климат носил как бы пустынный характер со значительными колебаниями отдельных элементов и большей или меньшей сухостью. Судя по положению Северного полюса в конце протерозоя, а также по распределению материковой части Союза, в районе Дальнего Востока мог возникнуть климатологический фронт, в зоне которого происходило оледенение. В литературе имеются указания на найденные ленточные глины в Восточной Сибири. Таким образом, в этой части страны климат был сравнительно суровый с присущими ему отдельными чертами континентальности.

Что касается европейской территории Союза, которую отделили от Сибири платформы, то здесь господствовал тропический климат. Интересно отметить, что огромные залежи руд того времени могли образовываться здесь благодаря увеличенному содержанию углекислоты в атмосфере, которая способствовала растворению железа, марганца и кремнезема из пород (а затем выпадению их в моря, где они осаждались).

Таким образом, картина климатических факторов и условий нами рисуется в следующем виде: радиационные условия на Земле резко изменились в сторону ослабления притока радиации. На территории Союза возникли большие неровности материков при общем увеличении их площади, что в свою очередь по-

влекло за собой неравномерное распределение радиации на поверхности страны. В результате этого усилилась циркуляция атмосферы. Возникли климатические фронты у наиболее поднятых материковых частей (в частности, в Восточной Сибири), где и происходило оледенение. В тропической зоне (европейская территория Союза) ни оледенений, ни обострения циклонической деятельности не произошло, но климат экваториального воздуха стал менее влажным. Разделявшие моря две ранее отмеченные области, а правильнее сказать ареалы климатов, характеризовались переходом от тропического климата (европейская территория Союза) к субполярному (Восточная Сибирь).

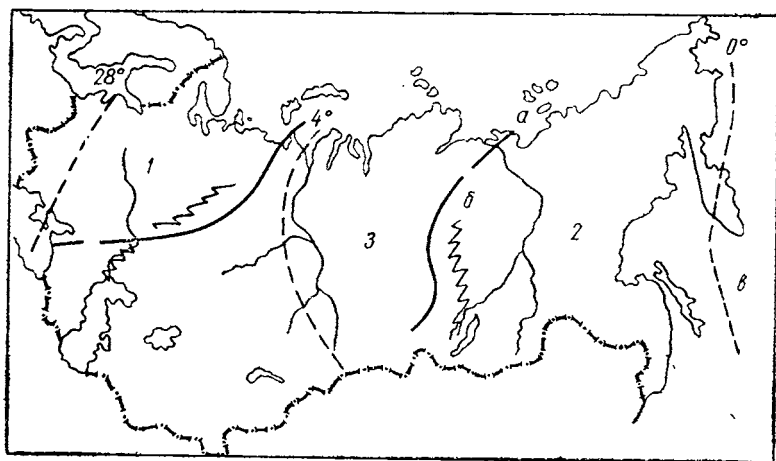


Рис. 5. Климатические ареалы протерозоя.

1 — влажнотропический климат; 2 — субполярный климат; 3 — умеренно-теплый климат; а — климатические границы, б — зоны интенсивной циклонической деятельности; в — изотермы.

Следовательно, всего на территории страны выделялись три климатические области, или ареала (два из них тесно связаны с материками—островами), хотя еще не обладавшие отчетливой зональностью: европейская, восточносибирская и переходная — морская (рис. 5).

Тропический климат европейской области характеризовался ослабленными чертами экваториально-тропического климата архейской эры, а именно: некоторым уменьшением осадков и отчасти облачности, появлением сезонности при наличии более или менее значительных суточных и годовых колебаний элементов температуры воздуха оставались, в общем, высокими в течение всего года. Можно ограничить этот климат такими показателями: средняя годовая температура около 30° , самого жаркого месяца 32° , холодного 26° ; осадки за год 1000—1500 мм, облачность 70,

60%, ветер 3—4 м/сек. Отметим, что современный климат в европейской части СССР имеет самые высокие средние годовые температуры воздуха 14—15°, облачность 50—55%, а осадки колеблются от 200 до 3000 мм в год.

Субполярный климат Восточной Сибири, особенно всей южной части, был в общем умеренно-холодным, сравнительно сухим и ветреным. Средняя годовая температура воздуха здесь была немного выше 0°, летом около 20°, зимой ниже 0°; термические различия увеличивались на восток, где условия были более суровыми как в силу горных поднятий, так и вследствие более активной циклонической деятельности. Эти различия особенно заметно сказывались на распределении осадков: внутренние платформы были засушливыми (300—600 мм осадков в год) со значительными колебаниями температур, тогда как горные цепи получали сравнительно много влаги (600—1000 мм) и подвергались оледенениям. Скорость ветра колебалась от 3—4 м/сек на равнинах до 6—10 м/сек по горам. Современные климатические условия Восточной Сибири характеризуются средними годовыми температурами ниже —10°, осадками от 200 до 300 мм, а средняя годовая скорость ветра не превышает 2—3 м/сек.

Переходная, или морская, область характеризовалась умеренным климатом с повышенным увлажнением: температуры испытывали резкий переход (слабый меридиональный обмен воздушных масс) от тропической области к субполярной (30—10°), осадки около 1000 мм в год, облачность 70—75%, ветер — 1—6 м/сек. Современные климатические условия этой области характеризуются годовыми температурами немного ниже 0°, средняя температура летних месяцев не выше 20°, зимних ниже 20°, осадки 400—600 мм, скорость ветра 3—4 м/сек.

Общей особенностью климата протерозойской зоны на территории Союза было усиление циклонической деятельности и возникновение сезонности. Как следствие, были характерны процессы выветривания. Наметилась дифференциация климатических областей, чему способствовало образование платформ и геосинклинальных областей перед началом палеозоя (рис. 6). Самые большие различия климата были зональные по ареалам, обусловленные смещением полюсов.

Палеозойская эра (500 млн. лет назад) изучена значительно лучше по сравнению с предыдущими. Общей особенностью климатообразующих процессов была неоднократная их коренная смена с определенной направленностью. Так, тектонические движения земной коры характеризовались то опусканиями, то поднятиями коры; смещение полюсов было неравномерным как с удалением, так и с приближением их в отношении территории СССР; резкие колебания происходили и в составе атмосферы (по крайней мере, в отношении CO₂), изменялся облачный фон; особенно отчетливо происходила смена радиационных условий, вызвавшая дифференциацию климатов; этому же способствовали:

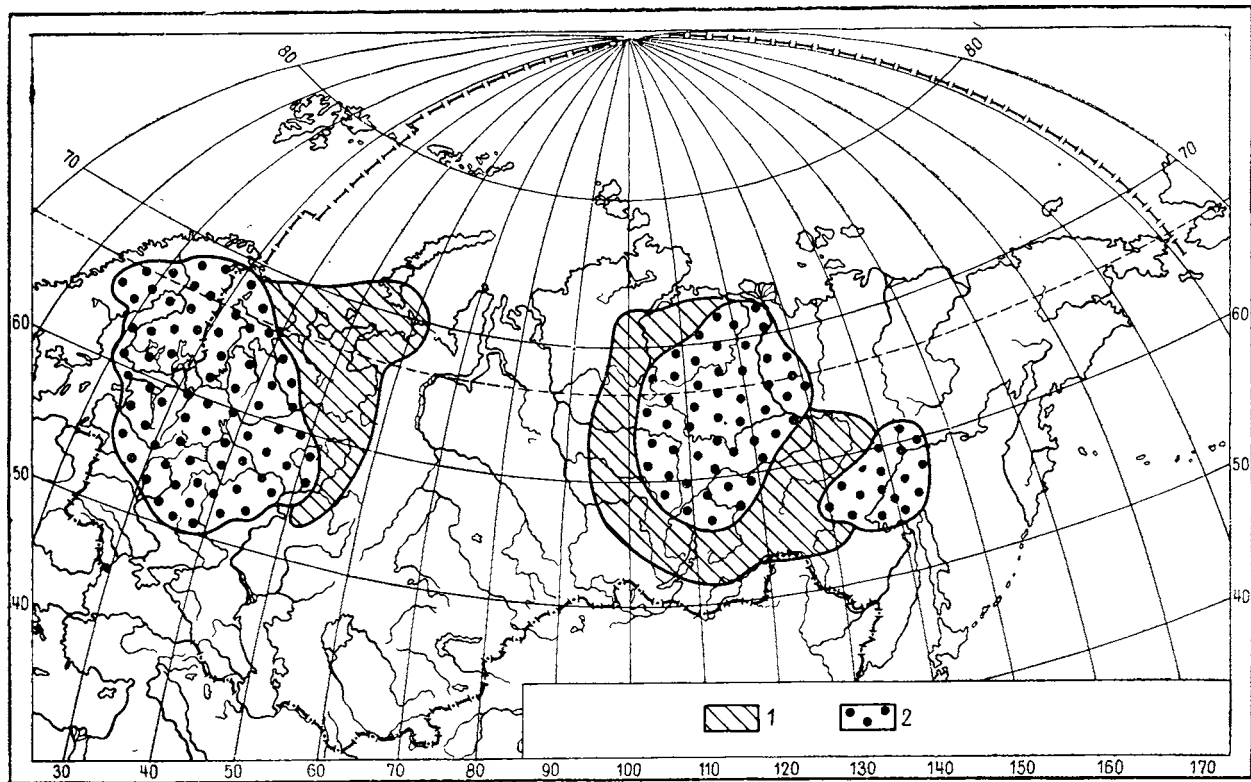


Рис. 6. Платформы и геосинклинальные области перед началом палеозоя.

1 - участки геосинклинальных областей, превратившихся в результате складчатости в платформы и внутренние массивы; 2 - области платформ и внутренние массивы в геосинклиналиях, не занятые морем.

циркуляционные факторы с оформлением климатических фронтов в определенные периоды. Все это повлекло за собой выявление зональности климатов, а отсюда смену аспектов органического мира, для которого было весьма характерно развитие новых форм, принципиально различных в разные периоды. Колебания климата имели место в течение всех периодов палеозоя.

Кембрийский период. Климатообразующие факторы на территории СССР, как, впрочем, и на всей Земле, были более или менее однородными: незначительное (на 2°) смещение полюса, господство водной поверхности, отсутствие интенсивных тектонических преобразований (при общем опускании суши), уменьшение CO₂ и облачности. Все это обуславливало выравнивание режима радиационных, а также циркуляционных условий, сглаживая дифференциацию климатических условий и едва сохраняя зональность.

Л. С. Берг (1947) подчеркивает, что Сибирское нижнее кембрийское море было теплым, судя по мощному накоплению известковых осадков. Полоса, тянувшаяся от Ферганы и Горного Алтая к Чукотскому полуострову, была сравнительно жаркой. В других областях страны, по-видимому, климат был теплый. В этой связи уместно отметить, что в Ленинградской области в кембрии обнаружены споры и кутикулы, принадлежащие наземным растениям. Большое развитие имели известывыделяющие сине-зеленые водоросли (*Collema* и др.), сходные с протерозойскими; сохранились остатки трилобитов, плеченогих и археоциат, появившихся в протерозое.* Оставшиеся возвышенные участки суши характеризуются расчлененностью с обломочным материалом, указывающим на интенсивные процессы выветривания. На юге Сибири в связи с горными условиями были элементы климатических различий. В Саянах отложились бокситы, а местами в условиях влажного климата фосфориты. Жаркий и сухой климат способствовал отложению каменной соли в лагунной части Сибирской платформы.

Нужно сказать, что реконструкция климатов территории Союза кембрийского периода весьма затруднительна и сложнее, чем для протерозоя. С одной стороны, в кембрийское время налицо жаркий и сухой климат в Сибири, на что указывают отложения каменной соли, лагуны, а также некоторые остатки органического мира (например, археоциаты), с другой — почти повсеместное покрытие суши водой, что не должно способствовать сухости климата.

Нам представляется, что жаркие климатические условия в большей части нашей страны могли быть обусловлены ее тропическим и субтропическим положением при смещении Северного полюса в северо-восточном направлении по сравнению с про-

* По кембрийскому периоду фактических данных обнаружено очень мало.

терозоем. Кроме того, сравнительно равнинная поверхность создавала однородные условия радиационного режима, мало изменявшегося с юга на север (тогда это от европейской территории СССР к Дальнему Востоку и с северо-запада на юго-восток). Что касается сухости климата, то в средней Сибири она могла быть обусловлена субтропическим положением с антициклональной системой циркуляции при уменьшении облачности, что и создавало аридность. Это согласуется также с возможными денудационными процессами, свойственными участкам суши данных широт, о чем упоминалось ранее (рис. 7).

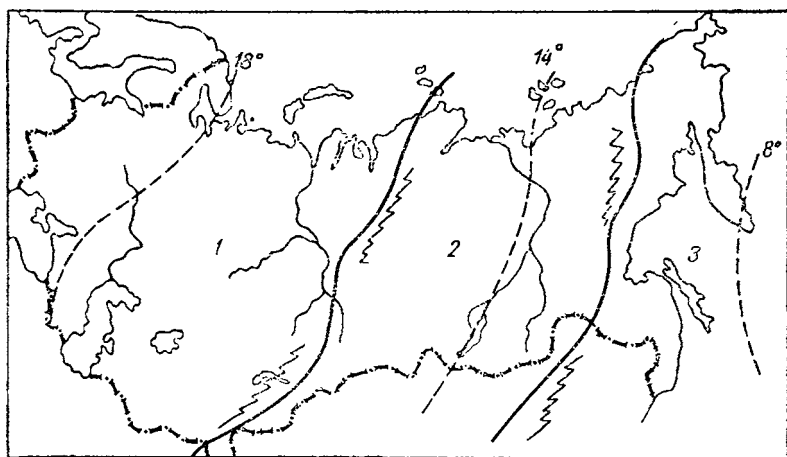


Рис. 7. Климаты кембрия.

1 -- тропический влажный; 2 -- сухой субтропический; 3 -- умеренно-влажный.

Таким образом, общая картина климатообразующих процессов в кембрийский период характеризовалась большой солнечной радиацией, свойственной тропическим и субтропическим широтам, особенно над сушей; при однородности радиационного режима всюду формировался жаркий климат; циркуляционные условия в субтропических широтах характеризовались антициклональностью, в частности, в полосе Алтай—Чукотка, к востоку от которой субтропические условия ослабевали и переходили в зону (с разорванными ареалами) умеренного климата. В горах (на юге Сибири) формировался субтропический климат от сухого до влажного. В результате полученной схемы радиационно-циркуляционных условий мы выделяем три типа климатов, образовавших почти зональное распределение: 1) влажный тропический (большая часть европейской территории СССР и Западная Сибирь); 2) сухой субтропический (значительная часть северо-восточной Сибири); 3) умеренно-влажный климат.

Влажный тропический климат поддерживался высокой влажностью за счет субтропической циркуляции, в нижних слоях которой при прохождении ветровых потоков над морями (Западная Сибирь) происходило увлажнение воздуха. Средняя годовая температура для этого климата могла быть в пределах 20—16°, при амплитуде 10—12°, осадки приблизительно 1000 мм, влажность 60—65%, облачность около 70%, ветер 2—4 м/сек.

Сухой субтропический климат характеризовался высокими температурами в течение большей части года, средней годовой температурой 18—14°, осадками около 600 мм, облачностью 55—60% (преимущественно за счет дневной конвекции над лагунами), влажностью 50—60%, весьма интенсивным испарением, ветром 3—5 м/сек в среднем за год.

Для умеренно-влажного климата характерно существенное увеличение осадков до 1000 мм, увеличение облачности до 80—85%, некоторое понижение средних годовых температур до 8—10°. Местная циркуляция не характерна, что связано с большой облачностью.

В целом кембрийскому периоду, следовательно, свойственно впервые наличие «зональности» климатов, однако при незначительной дифференциации; общее потепление климата планетарного характера, обусловленное солнечной деятельностью.

Изменения климата были незначительными, за исключением конца периода, когда активизировались тектонические тенденции с проявлением складкообразовательных движений, наиболее типичных уже для силура.

Силурийский период (включая ордовик) наиболее продолжительный в палеозойскую эру, что соответствует также наибольшему смещению полюсов; в частности, Северный полюс сместился на 5—6°. Климатообразующие факторы характеризуются существенным влиянием тектонических движений, которые становятся особенно интенсивными и сопровождаются вновь увеличением площадей платформ. Это в свою очередь обостряет дифференциацию климата при геократическом режиме с перераспределением суши и моря. Впрочем, преобладает равнинный рельеф над горным. Геотектоника и климат приводят к коренным изменениям в органическом мире: впервые появляется фауна рыб; развиваются наземные животные (скорпионы, гигантские раки, иглокожие, многоножки); получают большое распространение плеченогие кораллы, небольшие травянистые и деревянистые растения. В общем же преобладали представители обитателей моря, хотя уменьшилась роль известывыделяющих водорослей.

К концу силурийского периода возрастает гористость, в частности Урала — Тянь-Шаня. Некоторые геологи склонны считать, что в силуре был равномерно теплый климат, ссылаясь при этом на отсутствие ледниковых образований (Иванов, 1959), а также пустынных форм ландшафта. Лишь к концу силурийского периода с колебаниями земной коры усиливается дифференциация

климатов и общая континентальность, что приводит к новой смене всей фауны в верхнем силуре.

Можно сказать, что климатообразующие факторы территории Союза в силурийский период обуславливались главным образом перераспределением суши и моря, а также положением Северного полюса, что привело к смещению тропических широт на юго-запад, тогда как северо-восток страны находился в субтропических широтах и частично в умеренных. В этих широтах над сушей формировался засушливый климат, что нашло свое выражение в отложениях солей, а также соответствующей фауне.

На аридность климата и рифовые образования в морях этих широт указывает, в частности, М. Шварцбах (1959). Отметим, что в силуре Северный полюс находился несколько дальше от территории Союза, чем раньше и в последующие периоды. Именно с этим может быть связан теплый и сухой климат на протяжении длительного периода в северо-восточной Сибири.

Не менее существенными были складкообразовательные движения, влияние рельефа как фактора климата. Известно, что в тропических широтах рельеф не мог сильно сказываться за исключением самых высоких гор (это связано с однородностью радиационных условий этих широт). В субтропических и умеренных широтах возрастает влияние рельефа на радиационные условия при более низком стоянии солнца и переходе от одного радиационного рубежа к другому. Можно сказать, что впервые рельеф как активный фактор климата нашей страны стал выступать в силурийский период, что тесно связано не только с ее новым широтным положением, но и с резким поднятием суши, образованием на ней горных цепей. С удалением Северного полюса, естественно, отступила зона субполярного климата и расширилась зона субтропического климата, для которого характерна аридность, а также поясность климатов в горах (рис. 8).

Таким образом, на территории СССР в силурийский период можно выделить следующие типы климатов: тропический, сухой субтропический или умеренно-теплый, горный и умеренно-влажный.

Тропический климат преобладал в юго-западной части страны. Для него характерны высокие годовые температуры, высокая влажность и обильные осадки (пределы этого климата в отдельных элементах указывались выше).

Сухой субтропический или умеренно-теплый климат средней и северо-восточной части страны характеризовался средней годовой температурой 10—12°, значительными колебаниями ее в течение года, что сопровождалось большой сухостью, особенно на севере страны в теплую часть года. Осадки, видимо, не превышали 300—400 мм в год; влажность понижалась здесь в среднем за год до 45%; ветер усиливался в периферической части полосы сильного давления, свойственной субтропическим широтам. Возможно, что полоса субтропического высокого давления впервые

на территории Союза возникла именно в силурийский период, что также связано с определенным широтным ее положением.

Горный климат распространился впервые на Урало-Тяньшанские хребты. Здесь, естественно, климат был влажным, теплым. Осадки, видимо, превышали 3000 мм в год, чему способствовало соседнее «тропическое» море; годовая температура колебалась от 16 до 10° в зависимости от высоты.

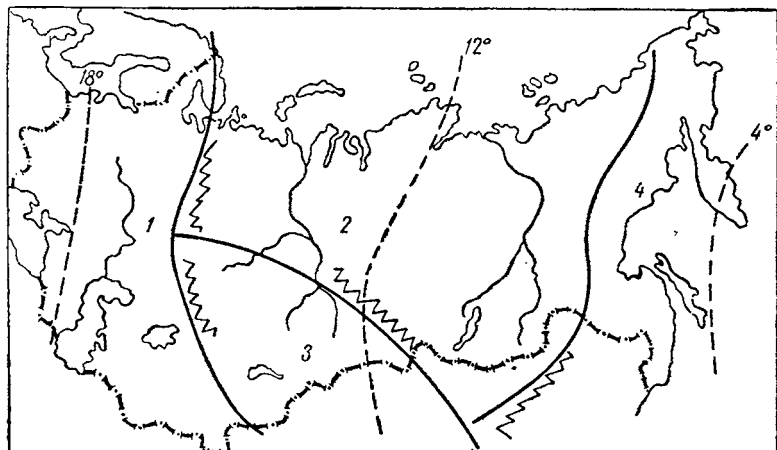


Рис. 8. Климаты силура (включая ордовик).

1 — тропический; 2 — умеренно-теплый и субтропический; 3 — горный; 4 — умеренно-влажный.

Умеренно-влажный климат с годовыми температурами 4—6°, осадками 600—1000 мм и влажностью 50—70% господствовал на Дальнем Востоке.

Рассматривая климаты силурийского периода нашей страны в целом, можно сказать, что теперь они стали носить более отчетливый зональный характер. Не исключена возможность, что в это время впервые стали намечаться внутризональные различия, так как в климатических зонах появились мощные геократические области, которые не могли не влиять на дифференциацию климата. Таким образом, если и можно говорить о равномерно-равном климате силурийского периода, то лишь в том смысле, что не было климатов холодных, а жаркий климат стал отсутствовать. Зато в силурийском теплом климате впервые возникли климатические различия, горизонтальная и вертикальная дифференциация их, которая дает право считать этот период далеко не «ровным» и вместе с тем весьма интересным, новым рубежом в формировании климатов всей Земли. Мы полагаем, что макроклиматические различия по областям и зонам были обусловлены тектоническими процессами.

Девонский период также является весьма интересным в климатическом отношении. Для всего палеозоя были характерны трансгрессии и регрессии, но особенно эти процессы были свойственны девону. Обмеления морей (лагуны) и поднятия материков привели к развитию в это время фауны рыб и наземных.

Отмеченные различия в геотектонике сопровождались климатическими колебаниями, поэтому не случайно в этот период обнаруживаются признаки жаркого климата в одних районах, сравнительно холодного в других. Видимо, уменьшалось количество CO₂ в атмосфере, происходили колебания в облачности, оформлялись радиационные рубежи, а следовательно и климатические зоны. Северный полюс располагался между Алеутским и Гавайскими островами, так что на территории СССР холодного пояса не было.

Циркуляционные факторы расчленились по зонам и меридиональный перенос мог быть весьма значительным, в связи с чем антициклональность усиливалась в субтропических широтах, где теперь господствовал засушливый климат. Существующее мнение геологов о возросшей континентальности климата в начале девона (чему способствовали образования внутригорных территорий, подвергавшихся пенепленированию) должно относиться именно к субтропической засушливой зоне. Конкретно можно говорить о сухом антициклональном климате над Русской платформой (гипсы, доломиты), средней Сибирью, т. е. полосой протягивающейся с северо-запада на юго-восток. На северо-европейской территории СССР характерен древний красный пещаник, богатый панцирными рыбами.

С удалением от субтропических широт климат становился более влажным; здесь откладывались пласты каменного угля (Кузнецкий бассейн), нефть (Ухта), бокситы. Пенепленирование горных хребтов благоприятствовало проникновению влажных воздушных течений с крайнего северо-востока (из умеренной зоны) в горные районы, поэтому, как нам кажется, псилофитная растительность стала проникать от берегов в засушливый климат.

В юго-западных районах СССР сохранялся тропический режим с достаточно большим количеством остатков наземных растений и позвоночных. Именно здесь при отступании моря (например, в конце девона) морские организмы скорее всего могли приспособиться к наземной жизни. Остатки девонской наземной флоры обладают зональностью на территории СССР и на земном шаре. Остатки панцирных рыб встречены только в пределах тропического климата.

Экватор проходил через Северный Урал на юго-восток страны (южнее Кузнецка); субтропическая зона в девоне, видимо, неоднократно то суживалась, то расширялась, чему способствовали неоднократные поднятия суши и общее увеличение ее площади а также смещение полюсов. Именно в зоне периодически засуш

шного климата могли образовываться многоцветные и красноцветные тельца, а также месторождения фосфоритов (Восточная Сибирь). В литературе имеется много указаний на оледенение, происходившее в этот период над южной Африкой, что мы связываем с климатическим фронтом, сформировавшимся тогда в полярных широтах южного полюса, т. е. над современной территорией Африки (Криштофович, 1916).

Итак, климатообразующие радиационные и циркуляционные процессы в девонский период характеризовались следующими особенностями: на территории всей страны обнаруживались радиационные рубежи от умеренного климата до тропического. Особенно отчетливым был субтропический радиационный режим в сравнительно узкой полосе, протянувшейся с северо-запада на юго-восток (Карелия — Средний Урал — Прибайкалье) и мигрировавшей в течение девона от Якутии до Прикаспия (красноцветные толщи пород). Естественно, что могла быть хорошо выражена и сезонность, в частности над материковыми участками, внутритригорными районами.

Циркуляционные факторы характеризовались становлением антициклонических областей, расчлененностью воздушных течений, в связи с чем происходило проникновение их в разные широты. Однако отчетливый антициклональный режим был свойствен лишь субтропической зоне территории СССР.

Можно выделить три оформившиеся климатические зоны, вытянутые примерно с северо-северо-запада на юго-юго-восток страны: тропическая (юго-запад страны) с влажным климатом; субтропическая, несколько вытянутая в меридиональном направлении над Сибирью, с засушливым климатом; умеренная с умеренно-теплым и влажным климатом Дальнего Востока (рис. 9). Всем зонам были присущи климатические области с разновидностями основного типа климата, обусловленными главным образом рельефом. Внутри этих областей намечались вариации климатов, связанные с господством той или иной растительности.

Мы ограничиваем климатические зоны нашей страны следующими показателями отдельных элементов в девонский период: тропический влажный климат — средняя годовая температура воздуха 18—16°, с колебаниями до 10°, осадки 800—1000 мм, облачность 70%, ветер 2—4 м/сек; субтропический засушливый климат — средняя годовая температура 14—12°, с колебаниями до 12°, осадки 300—400 мм, облачность 40—50%, влажность 50—55%, ветер 3—5 м/сек; умеренно-теплый и влажный климат — средняя годовая температура 10—12°, с колебаниями 12—14°, осадки 400—600 мм, облачность 55—65%, влажность 65—70%. Ветер 4—6 м/сек.

Необходимо отметить существенные климатические различия на территории страны в рассматриваемый период, так же как колебания климата, обусловленные главным образом тектоническими процессами и смещением полюсов. Может быть, в этих

различиях нужно искать причину разрастания богатой, обильной флоры, которая оказалась исключительно пышной в следующий каменноугольный период.

Каменноугольный период (карбон) содержит немало загадочного в климатическом отношении.

В самом деле, чем объяснить небывалый расцвет пышной обильной, теплолюбивой растительности, создавшей залежи каменного угля. Возможно, это было вызвано потеплением климата. Но подобные залежи расположены и на широте 40–50° от экватора. Нам кажется, чтобы ответить на поставленный вопрос, необходимо представить себе все компоненты палеоландшафтов того времени, особенно палеоклиматические условия.

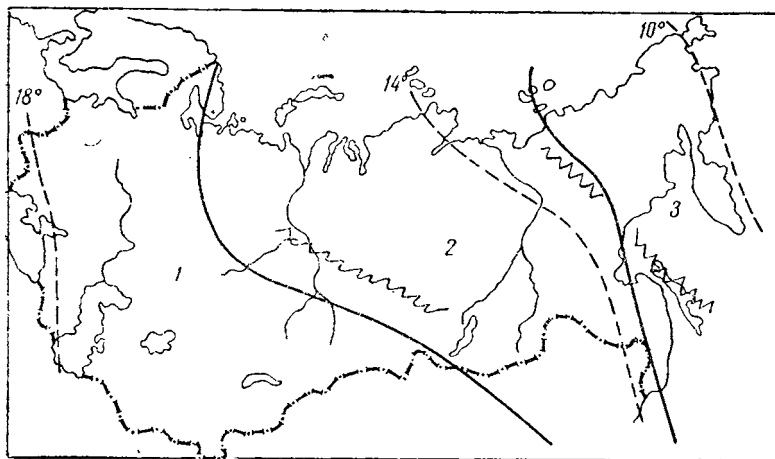


Рис. 9. Климаты девона.

1 — тропический влажный; 2 — субтропический; 3 — умеренно-теплый и влажный.

Каменноугольный период — период колебательных движений платформ: вначале погружалась Русская платформа, которая вновь поднялась к концу периода; Сибирская платформа с ранее пенепленизированными горами поднялась, а вокруг нее возникли горы и хребты. В общем же, для всего периода на территории СССР характерно увеличение материковой части. Северный полюс сильно сместился на север до 40-й параллели.

Большие изменения происходят и в органическом мире. Почти полностью теряют свое значение в этот период трилобиты и гигантские раки. Зато весьма характерно быстрое развитие на земной растительности на материках: папоротниковых, лепидофитов (чешуйчатоствольных) — древней вымершей группы плаунов с высотой 30–40 м и диаметром 1–2 м, а также наземных споровых растений — каломитов и клинолистов, родственных со временем хвощам.

Широкое развитие однообразной влаго- и теплолюбивой лепидодендроновой флоры свидетельствует о равномерном теплом и влажном климате суши (подхонтерины). По мнению М. В. Корчагиной, возникнув, по всей вероятности, в условиях дифференциации среды еще в среднем девоне, представители папоротникообразных и семенные папоротники из голосеменных сменили в конце девона постепенно потерявшие свое значение псилофиты и вошли в состав флоры раннего карбона — самой большой из всех флор Земли. Широчайшее распространение в это время и вплоть до начала перми древовидных прапапоротников с крупными, сильно рассеченными листьями под пологом гигантских мелколистных чешуедревов и каломитов возможно представить только при условии унификации благоприятных, вероятно, равномерно теплых и влажных климатических условий на обширных, почти планетарного масштаба пространствах.

Появление в среднем девоне семенных папоротников с их отличительными чертами нельзя не считать знаменательным фактом, так как он указывает не только на соответствующую дифференциацию растений, но и на дифференциацию климата, а это подтверждается указаниями геологов о возникновении в раннем и среднем девоне и далее в перми и в триасе обширных пустынных пространств, что совпадало с временем крупных регрессий (Вахрамеев).

Стала хорошо выраженной зональность растительности: появилась так называемая тунгусская флора на северо-востоке страны, приуроченная к умеренному климату, на что указывают ясно видимые годовые кольца ископаемых стволов деревьев; сохранялась тропическая флора на юго-западе, смещавшаяся еще дальше в этом же направлении.

Впрочем, климаты карбона могли быть весьма различны и поэтому характерны не только наличием годовых колец в ископаемых стволах деревьев, но их отсутствием. Угли же могли формироваться в условиях и тропического, и умеренного климатов. Следовательно, главное здесь в наличии влажного климата, а не в высокой температуре воздуха.

Что же могло повлиять на климат каменноугольного периода? Высказываются самые различные точки зрения. Сильное развитие на суше высшей растительности сопровождалось огромным потреблением CO_2 , выделением O_2 , а следовательно, процессы выветривания получали иной характер. Земная атмосфера по своему составу, видимо, приближалась к современной (Калесник, 1955). Высказывалось мнение и о том, что на всем земном шаре в каменноугольный период был одинаковый климат, так как могло быть очень большое количество CO_2 (?!), а следовательно, меньшее лученспускание тепла от Земли. Выдвигались положения о прохождении в то время экватора через Европу при положении Северного полюса в Тихом океане. С. С. Кузнецов (1962) стремится объяснить данный факт не астрономическими

данными, а характером рельефа и взаимоотношениями суши и моря. Обращают на себя внимание высказывания М. Шварцбах о том, что многочисленные аркозы с почти разрушенными полевыми шпатами указывают не на постоянную, а на периодическую засушливость в области болотистых лесов карбона; перемещение их с севера на юг угольного пояса в течение карбона могло быть только отчасти обусловлено перемещением влажной зоны климата, частично же оно могло объясняться тектоническими причинами.

Рассмотрением климатических границ в карбоне упомянутых ранее зон занимались А. Д. Миклухо-Маклай, А. Н. Криштофович, Н. М. Страхов, Ю. М. Шейнман, М. Шварцбах, Л. Б. Рухин и др. По мнению многих исследователей, тропический пояс в карбоне занимал Западную Украину, Донбасс с выходом на Южный Казахстан. Умеренная зона проходила к северо-востоку, отсюда перекрывая Западную Сибирь. Но холодных климатов не было не обнаружено и признаков полярной флоры и фауны. Точно так же необходимо отметить наступление засушливой зоны на юго-западе европейской территории СССР в конце каменноугольного периода, что привело здесь к соленакоплению в пермский период.

Климатообразующие радиационные и циркуляционные процессы каменноугольного периода на территории СССР характеризовались целым рядом особенностей, а именно: во-первых, смещением радиационных поясов и увеличением радиационного баланса, возможно, за счет солнечной активности и вследствие уменьшения лучеиспускания увеличивавшейся водной поверхности; во-вторых, развитием циклонической деятельности в умеренных широтах, сопровождавшейся увеличением осадков и теплообмена за счет тропических широт.

С увеличением меридионального переноса поступление теплых и влажных масс из тропической зоны сильно возросло, что привело к возникновению благоприятных климатических условий для произрастания гигантских папоротников, хвощевых, плауновых видов на суше, послуживших фундаментом залежей каменного угля, отчасти нефти и т. п. Не случайно в этот период засушливая зона, протягивавшаяся примерно от Вятских полей до Тянь-Шаня, сузилась, а главное получила древовидную растительность с наличием годовичных колец, что указывает на хорошо выраженную сезонность климата, которой характеризовалась вся умеренная зона.

Итак, расцвет пышной растительности, залежи каменного угля в карбоне, при некотором уменьшении площади суши, мы связываем с развитием меридиональной циркуляции, а следовательно, с дифференциацией климатов как в пространстве (обмен воздушными массами), так и во времени (усиление сезонности). Именно теперь, с расширением умеренной зоны (а это обусловилось, может быть, приближением Северного полюса) обострились контрасты в тепло- и влагорежиме между «севером» и «югом»

страны, а следовательно, активизировался обмен воздушных масс, тепла и влаги над умеренными широтами, являющимися ареной циклонической деятельности. Впервые циклоническая деятельность стала наиболее интенсивной, а между климатическими зонами резко обострились климатические фронты (зоны фронтогенеза). Активному выносу тепла и влаги из тропической зоны в умеренные широты благоприятствовало и сокращение субтропической зоны.

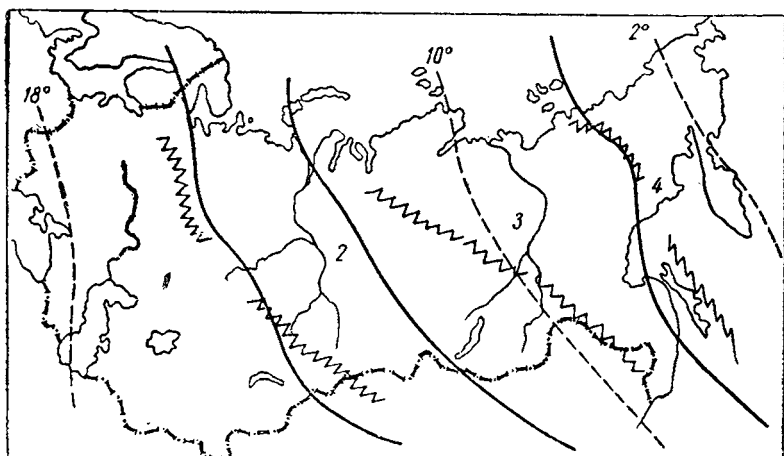


Рис. 10. Климаты карбона.

1 — тропический; 2 — субтропический; 3 — умеренный; 4 — субполярный.

Для каменноугольного периода можно выделить четыре климатические зоны (рис. 10): тропическую, субтропическую, умеренную и субполярную. Первая сместилась на юго-запад, вторая сузилась весьма значительно как по тектоническим условиям, так и в связи со смещением полюсов, умеренная зона сильно расширилась (средняя и северо-восточная Сибирь), к территории Союза приблизилась субполярная зона. Тропический климат имел те же показания, что и в девонский период. Субтропический климат (к северо-востоку от тропической зоны) характеризовался увеличением осадков (300—600 мм), усилением ветров, увеличением влажности (55—60%) и облачности. Для зоны умеренного климата средняя годовая температура была 8—12°, осадки 600—1000 мм, облачность 65—70%, ветер 5—7 м/сек., влажность 60—70%. Субполярный климат характеризовался средней годовой температурой 6—8°, осадками 400—600 мм, облачностью 65—70%.

Для каменноугольного периода были характерны колебания климата, обусловленные преимущественно тектоническими движениями. Таким образом, в этот период принципиально новых

климатических зон и даже условий не возникло ни по астрономическим, ни по геотектоническим причинам (они происходили в таких же масштабах и в предшествующие периоды). Главное же, по нашему мнению, состояло в развитии макроциркуляции и активном обмене воздушных масс тропических и умеренных широт в порядке циклонической деятельности, что вызвало изменения размеров климатических зон. Все это и повлекло за собой определенные климатические сдвиги в чертах климата, а отсюда и сдвиги в органическом мире, столь поразительном и, на первый взгляд, аномальном.

Пермский период в климатическом отношении значительно приближает нас к современной схеме общей циркуляции атмосферы, как и к ее составу.

Тектонические процессы по своему характеру мало отличались от таковых предшествующего периода, хотя резко усилились геократические условия, увеличился размер суши, оформился внутриконтинентальный рельеф. Продолжались угленосные отложения в Сибири и соленосные в Европе, медистые песчаники образовывались в Казахстане. Изменялось количество CO_2 в атмосфере. Северный полюс смещался медленно.

Наряду с большим сходством органического мира пермского периода с каменноугольным периодом были и существенные отличия: развивается голосеменная флора (хвойные, цикадовые, гинкговые), исчезают каломиты, лепидодендроны и многие папоротники, появляется фауна пресмыкающихся, быстро вымирают в морях членистоногие. Появление новых форм как бы омолаживает пермский период, тем самым завершая палеозойскую эру и подготавливая переход в мезозойскую. Интересно, например, появление средиземноморской фауны и зоопровинций.

Климатообразующие факторы пермского периода, как нам кажется, характеризовались усилением зональности. Это относится, во-первых, к распределению суши в связи с эпейрогеническими поднятиями как платформенных, так и многих геосинклинальных областей; во-вторых, зональное оформление рельефа усилило, с одной стороны, такое же распределение радиационных условий, с другой — расчленение циркуляции атмосферы. Циркуляционные процессы теперь с явно развитым широтным и меридиональным переносом разграничились в пространстве и времени (сезоны). Все это привело к формированию ландшафтно-климатических зон. Не случайно, по мнению большинства исследователей, в пермский период можно выделить те же четыре климатические зоны, что и в карбоне, но они более четкие в смысле границ, с некоторым ослаблением тропической зоны и ее уменьшением на территории Союза (Белоруссия, Черное море, юг Каспия и Туркмении) и увеличением субтропической зоны, охватившей среднюю часть европейской территории СССР, южную половину Урала и Казахстана; северо-восточная часть страны характеризовалась умеренно-теплым и влажным клима-

том; субполярная зона осталась прежней. Разумеется, общее направление климатических границ сохранилось в направлении с северо-северо-запада на юго-юго-восток (рис. 11).

Мы не останавливаемся на климатических индексах указанных территорий Союза в пермский период. Эти индексы по существу те же, если не считать, что в тропической зоне убывают осадки, в субтропической — возрастает континентальность и сезонность, а в умеренной зоне происходят некоторые снижения температур за счет влияния «северного» переноса и формируется гумидный климат.

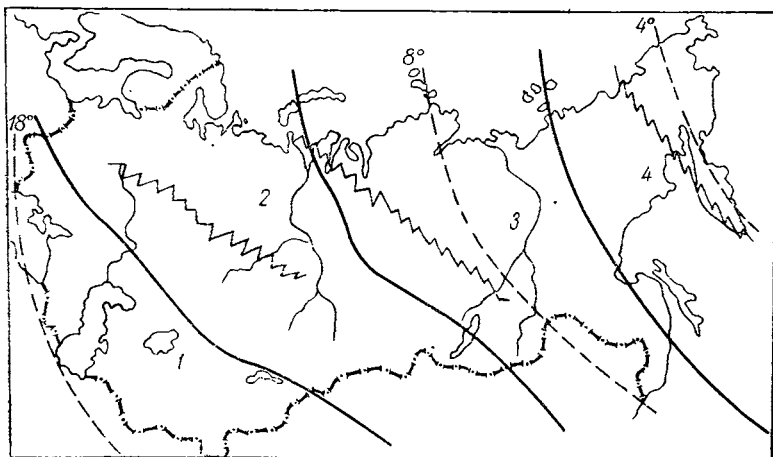


Рис. 11. Климаты перми.

1 — тропический; 2 — субтропический; 3 — умеренно-теплый и влажный; 4 — субполярный.

Мы считаем, что широко распространенное мнение о гумидном климате в перми относится лишь к субтропической и отчасти умеренной климатическим зонам. Уместно отметить, во-первых, «разрастание» умеренной зоны с гумидным климатом в некоторых частях ее, что в конечном итоге приводит к современному виду этой климатической зоны и, наоборот, тропическая зона как бы «выклинивается» и тоже в будущем займет положение, близкое к современному; во-вторых, увеличение континентальности климата субтропической зоны нашей страны, что тесно связано не только с увеличением поверхности суши (хотя это главное), но и с оформлением макроциркуляции, структурно близкой к современной схеме общей циркуляции атмосферы.

Не исключена возможность, что именно в пермский период окончательно оформляется устойчивая местная циркуляция в горах и на побережьях, которая сохраняется в третичный период и голоцен. Платформы и геосинклинали в конце палеозоя были велики и могут подтвердить сказанное (рис. 12). С ними связано

общее похолодание и туманность, климата умеренной зоны, увеличение континентальности на юге. Отчасти в этом сказалось ослабление солнечной активности.

Мезозойская эра представляет особенный интерес, как предшествующая современной, кайнозойской эре. В мезозойскую эру в целом произошли необычно новые тектонические процессы, а разнообразие форм их и фаз гораздо больше, чем в любую другую эру. Палло огромный процесс раскалывания и погружения

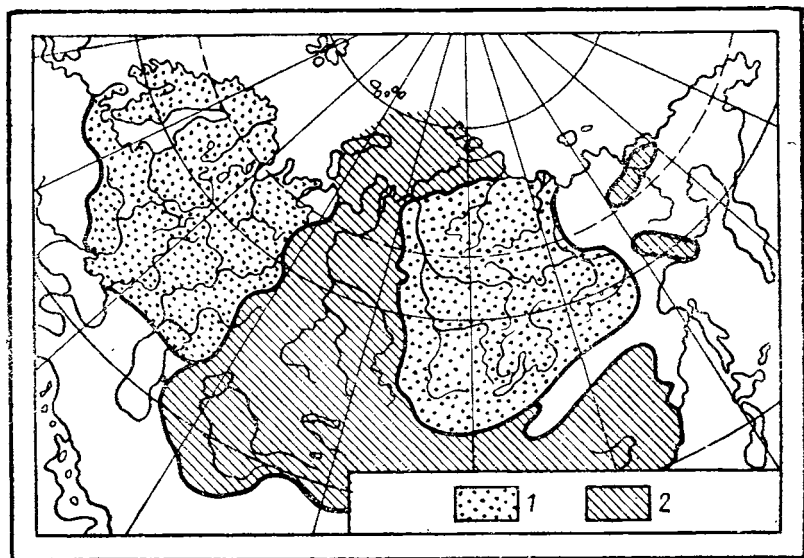


Рис. 12. Платформы и геосинклинальные области после герцинской складчатости (в конце палеозоя).

1 — платформы; 2 — моря.

(с конца триаса) крупных платформенных участков и превращение их в океанические бассейны Земли. Соотношение суши и моря изменилось резко в юрский период в связи с погружениями суши. В триасе и меле суша поднималась. Напряженность тектонической деятельности привела к такой контрастности высоких горных стран и океанических впадин, какая впервые характеризует рельеф земной поверхности. Между тем смещение Северного полюса (как и Южного) было равномерным, за исключением юрского периода. В этот период Северный полюс сместился примерно на 5° .

В органическом мире мезозоя появляется много нового. Значительно расширилась фауна. Возникли многочисленные специализированные формы пресмыкающихся, приспособленных к жизни на суше, в море, в пресных водах и в воздухе. Здесь и

морские лилии, и ежи, и аммоноидеи и другие брюхоногие моллюски, и родственные крокодилам, ящерицам и черепахам. Из палеозоя остались брахиоподы, амфибии, рептилии, почти закончившие свое существование в триасе. В растительном царстве, хотя и не так процветающем, как в каменноугольный период, преобладают хвойные (*Voltzia*), цикадовые, известывыделяющие водоросли. Но главной особенностью органического мира в начале мезозойской эры было появление млекопитающих, а в меле — появление покрытосеменных трав.

Триасовый период наиболее спокойный в тектоническом отношении. На севере нашей страны сохранился засушливый климат, чему способствовали внутригорные континентальные участки. Впрочем, в результате увеличения суши на стыке палеозоя с мезозоем рельеф триаса отличался частыми возвышениями и расчлененностью, а к концу периода он пенепленизируется. Северный полюс смещается медленно, занимая положение 42—44°. Органический мир разнообразен: хвощевые, папоротниковые, хвойные, цикадовые, известывыделяющие растения, а в животном мире — от морских до птицеподобных.

Влияние радиационных и макроциркуляционных условий на климат сходно с пермским периодом, влияние же рельефа существенно отличается. Преобладание суши, горных массивов и пересеченность делают климат более континентальным и обособленным. Радиационный режим в этих условиях способствует континентальности и дифференциации климата как вследствие орographicеских особенностей, так и вследствие свойств подстилающей поверхности. Действительно, на территории Союза имеют место области платформ и внутренних массивов в геосинклиналях, не занятые морем. Еще немало и водных пространств, но среди них часто встречаются озерно-речные ландшафты, мелкие моря, острова, грабены, не говоря о горных хребтах.

Все это порождало внутризональные радиационные различия, а отсюда формирование местных климатов. Эти особенности были наиболее присущи засушливой и отчасти тропической (фактически субтропической) зоне. Климат умеренной зоны был более однороден как в связи с наибольшей его «водностью», так и вследствие интенсивной циркуляции атмосферы в высоких широтах, сглаживавшей местные влияния. Впрочем, умеренная зона в целом, расширяясь, также становилась хорошей ареной для обмена воздушных масс различных широт. Сохранились элементы отложений каменного угля (Челябинская область), нефти (Урал—Эмба). Однако в целом триас беднее ископаемыми и они менее характерны. Климат большей части страны умеренно-континентальный. Зональность сохраняет прежнее направление, а именно с северо-запада на юго-восток.

Можно выделить три основные климатические зоны (рис. 13): субарктическую (Дальний Восток), умеренно-теплую континентальную (самую большую), занимающую значительную часть

Сибири и северную половину европейской территории СССР, и тропическую (юго-запад страны), которая теперь становится, по существу, влажной субтропической и наименьшей по площади.

Субтропический климат характеризуется средними годовыми температурами $4-6^{\circ}$, осадками от 300 до 400 мм, влажностью 50-60%, облачностью 70-80%, ветром 3-7 м/сек.

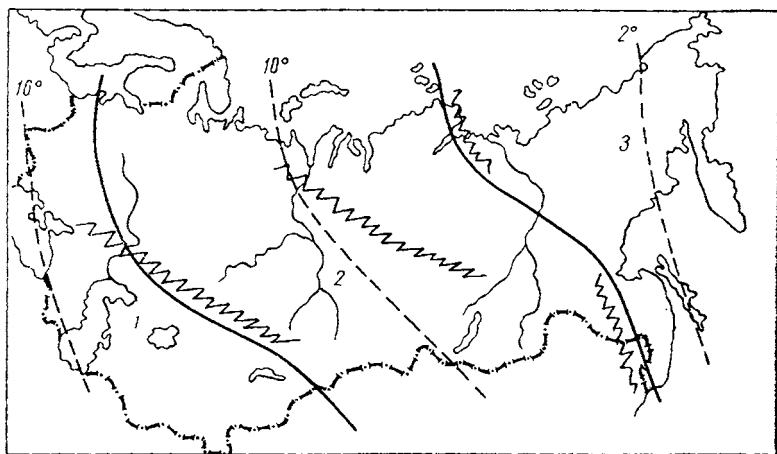


Рис. 13. Климаты триаса.

1 — субтропический; 2 — умеренно-теплый (континентальный); 3 — субарктический.

Умеренно-теплая континентальная зона напоминала лесостепь и степь (первая на северо-западе страны, вторая на юго-востоке) со средними годовыми температурами $6-12^{\circ}$ (в зависимости от местных условий) и большими амплитудами при средних летних температурах $20-25^{\circ}$, осадками от 400 мм (на равнинах) до 1000 мм (в горах), влажностью 50-55%, облачностью 45-55%, ветром 3-5 м/сек. Характерны интенсивные процессы испарения, что приводит к озерно-речным отложениям на платформах.

Тропическая — субтропическая зона влажного климата имеет среднегодовые температуры $16-12^{\circ}$, осадки 800-1200 мм (с резко выраженными сезонными колебаниями), сравнительно сухое, жаркое лето.

Как указывалось выше, увеличение континентальности, дифференциации и сезонности климата было присуще всему триасовому периоду. Как наиболее существенный климатический процесс в триасе мы отмечаем формирование местных климатов, свойственных оформившимся ландшафтным и особенно геоморфологическим фациям. Интересно, что о ярко выраженных песчаных и других фациях в триасе говорится в исследованиях М. Шварцбаха. Таким образом, типичные для триаса местные

климатические различия связаны с рельефом и подстилающей поверхностью при прочих равных условиях.

Юрский период в развитии климатов нашей страны, с точки зрения их дифференциации, является шагом назад. В этот период происходят крупнейшие колебания земной коры, в результате которых большие платформенные части СССР опускаются, особенно на европейской территории. Наступление моря усилилось, значительная часть Русской платформы оказалась под водой, которая покрывала и Западно-Сибирскую низменность. На территории СССР относительная однородность климата может быть связана и с заметным увеличением водной поверхности. Только в конце периода тектогенез вызвал поднятие суши. Так было в Якутии и на Дальнем Востоке, где в условиях влажного климата происходили наземные отложения, часто угленосные. Важно отметить большое и быстрое смещение Северного полюса (45—49°), что имело существенное значение для становления климатических зон в кайнозойской эре.

Органический мир юрского периода характеризуется полным исчезновением палеозойских групп животных: ортоцератитов, стегоцефалов и др. Но интересно, что в растительности господствуют голосеменные, особенно широко распространившиеся на север нашей Арктики и Сибири. На юге страны (Крым, Кавказ, Средняя Азия) много цикадовых (родственных цикадовым пальмам). По мнению М. В. Корчагиной, вероятное существование цветковых в юре, где они занимали, по-видимому, крайне второстепенное положение, указывает на неизмеримо большую в то время мощь в конкурентном отношении саговников и беннеттитов и других голосеменных. Это возможно себе представить только на базе благоприятствовавших им светового, теплового и водного режимов в случае унифицирования в какой-то мере климата за исключением возможных отклонений под влиянием чисто местной специфики физико-географических условий.

Относительную однородность климата почти на всем земном шаре в это время подчеркивал В. Д. Принада, исходя из поразительно слабой дифференциации юрской растительности, состоявшей из саговников, беннеттитов, гинкговых, древних типов хвойных и папоротников. Интересно, что возникновение многих из современных родов хвойных также приурочено к меловому периоду, так как они изменялись в сторону свето-, сухо- и холодоустойчивости.

Большое распространение получают представители беспозвоночного мира животных: головоногие моллюски, белемниты, аммониты, морские ежи, пластинчатожаберные моллюски, шестилучевые кораллы и насекомые. Много также летающих, прыгающих, пресноводных животных, рыб.

Геологи к этому времени относят возникновение Атлантической впадины, что имеет огромное значение в связи с будущим формированием здесь Азорского максимума атмосферного дав-

ления и Исландской депрессии на севере. Намечается также формирование Северного полярного моря с бореальной фауной того времени. Несмотря на преобладание водного мира, следует сказать, что оставшиеся материковые части страны характеризовались расчлененностью и, что очень важно, денудационными процессами (обломочный материал отложений).

Какие же особенности климата и его факторов были свойственны юрскому периоду? В общем, конечно, он отличался сравнительным однообразием. Сглаживание, происшедшее в рельефе и характере подстилающей поверхности с преобладанием воды, сильно повлияло на климат. Но климатическая зональность сохранила свои принципиальные черты, на что указывает расчленение юрских северных (хвощевых) и южных субтропических (цикадовых) органических признаков. Второй наиболее важной стороной климатообразования явилось смещение климатических границ (в связи с перемещением полюсов) и расширение умеренной зоны. В этом климате отлагались горючие сланцы (европейская территория СССР), горючие газы, элювиальные железные руды.

Радиационные условия характеризовались уменьшением баланса за счет убывания прямой радиации при увеличивающейся облачности (приближение полярных широт); убывание же радиационного баланса приводило к понижению температур. Это существенно способствовало усилению полярной циркуляции. Сравнительно близко расположенных теперь полярных широт. В частности, Чукотский полуостров находился в сфере полярной циркуляции и, видимо, с этого времени характеризовался наиболее холодным климатом. Разумеется, что это был еще далеко не современный суровый климат, так как указанная территория северо-востока страны находилась под водой.

Итак, нам кажется, что для юрского периода можно выделить три основные климатические зоны (рис. 14): умеренно-холодную (субарктическую) на Дальнем Востоке, умеренно-теплую (континентальную) в Сибири и на большей части европейской территории СССР и субтропическую на юге страны (Кавказ, Средняя Азия, юго-запад европейской территории СССР).

Для умеренно-холодного климата среднегодовые температуры могли быть близкими к 0° , но выше 10° летом, осадки не превышали 300—600 мм, облачность 60—70%, влажность выше 70%. Следовательно, это был первый на территории СССР умеренный климат, близкий к современному климату морского полярного воздуха.

Умеренно-теплый климат занимал самую большую площадь, характеризуясь, в общем, значительной континентальностью, особенно над материковыми участками. Средняя годовая температура $4-6^{\circ}$, осадки 400—600 мм, влажность 55—65%, облачность 60—65%.

Для субтропического климата средняя годовая температура 12—14°, осадки 600—1000 мм, облачность 50—60% и отчетливо выраженная сезонность с аридным летним режимом.

Общими чертами климата юрского периода были понижение температур и некоторое возрастание влажности. Возможно, в этот период зарождались крупные барические центры северного полушария как над Атлантикой, так и над Евразией. Для этого были благоприятные условия общей циркуляции атмосферы,

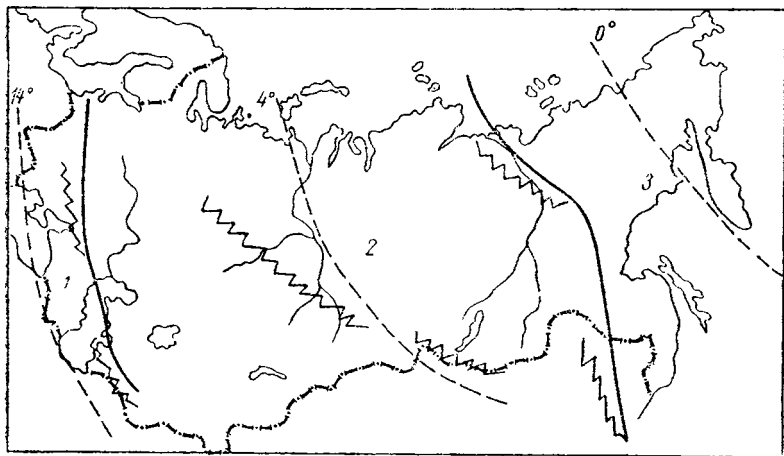


Рис. 14. Климаты юры.

1 - субтропический; 2 - умеренно-теплый (континентальный); 3 - умеренно-холодный (субарктический).

принципиально напоминающие современные (расположение азорского района в субтропиках и меландского, а отчасти сибирского, в умеренных широтах). Развитие же этой циркуляции и барических центров в дальнейшем соопутствует занятию полюсом современного положения и современному перераспределению материков и океанов (которых фактически ранее не было).

Таким образом, возникновение (в начальном виде) Азорского и Азиатского максимумов мы относим к юрскому периоду с последующим их развитием в третичный период, о чем будет сказано дальше. Можно сказать, что зональные климатические различия были связаны с трансгрессиями и орогенезом, сказавшимися на формировании новой циркуляции.

Меловой период вначале мало отличается от юры: небольшое изменение температур, климат становится умеренным и менее влажным, а в конце периода громадная морская трансгрессия приводит к похолоданию.

В начале периода европейская территория СССР и Западная Сибирь оставались под водой, были покрыты морем с расчлене-

нием его островами. В середине периода эти территории освобо-
ждаются от воды, площадь суши увеличивается, но в самом
конце вновь покрывается водами.

На Русской и Сибирской платформах оставались небольшие
морские лагуны, в которых сложились маломощные песчано-
глинистые осадки. Здесь и южнее Русской платформы в нижне-
меловых отложениях Геттиса много известняков и аммонитов, сви-
детельствующих еще о теплых водах субтропической зоны. На
самой Русской платформе отчетливо выражен умеренный климат,
о чем говорит присутствие ацелл и аммонитов определенных
родов. Еще севернее климат умеренно-холодный, так как здесь
налицо обеднение и карликовый характер рудистов в осадках
более северных территорий. Присутствие красноцветных песчани-
ков, гипса, калийной соли в меловых отложениях Средней Азии
свидетельствует о пустынной засушливой зоне. Площадь суши
в этот период колебалась от 50 до 60%, а Северный полюс сме-
стился незначительно — от 49 до 52° с. ш.

В органическом мире появляются покрытосеменные растения
как однодольные, так и двудольные; вымирают папоротники и
голосеменные. В конце периода на юге страны появляются род-
ственные современным лавры, магнолии, цветковые растения уме-
ренной и жаркой зон, что может быть связано с дифференциацией
климатов лишь при переходе в третичный период.

Интересные исследования флоры цветковых были проведены
по меловому периоду М. В. Корчагиной. Оказывается, с верхнего
силура до среднего девона было господство псилофитовидных,
а с конца нижнего мела — цветковых. Резкая дифференциация
покрытосеменных происходит с мелового периода. М. В. Корча-
гина правильно подчеркивает, что, видимо, были причины, сход-
ные с современными, ослабившие мощь господствовавшей до
мелового периода растительности. К первостепенным причинам
мы относим смену циркуляционных условий.

М. И. Голенкин (1947) пишет: «Быстрое распространение по-
крытосеменных на всей Земле и такое же быстрое и на первый
взгляд загадочное вымирание многих меловых папоротниковых,
беннеттитов, ряда саговников и хвойных может быть объяснено
только изменением климата, которое было связано с изменением
атмосферы, что помогло непосредственному проникновению сол-
нечных лучей на поверхность Земли, вызвало большую сухость
воздуха и почвы, иное распределение ветров и, может быть, мор-
ских течений».

Несомненно, что «если главное отправление растительного
организма зависит от света, то очевидно, что и главную особен-
ность растения должно искать в его оптических свойствах» (Ти-
мирязев).

В. А. Вахрамеев подтвердил гипотезу М. И. Голенкина в отно-
шении изменения климата в сторону сухости ко времени широ-
кого распространения цветковых и указал на наличие в конце

раннемеловой эпохи смешанной флоры из древних типов растительности и первых покрытосеменных, применив метод геологического анализа фациальных особенностей континентальных пород и фактов широкого распространения процессов выветривания с учетом характера и состава растительности на рубеже юрского и мелового периодов. Из животного мира преобладают головоногие моллюски, брюхоногие, некоторые формы птиц, костистые рыбы. Нахождение повсеместно остатков рептилий (динозавры) указывает на более или менее равномерный климат, несколько более суровый (покрытосеменные растения), чем в начале периода.

В литературе есть указания на понижение температуры меловых морей (Найдлин, 1954), а на побережье Дальнего Востока отмечается значительная примесь теплолюбивых форм (араукарий).

Климатообразующие процессы мало чем отличались от предшествующего периода. Происходили колебания климата в течение всего периода, обусловленные главным образом чередованием водной и материковой поверхности. По всей вероятности, увеличивалась облачность в планетарном масштабе, чему способствовали трансгрессии, последствия геосинклинальных поднятий и вулканической деятельности. Как следствие этого, с увеличением облачности понизились температуры воды и воздуха, уменьшились радиация и тепловой баланс. Циркуляция атмосферы на территории Союза характеризовалась почти беспрепятственными переносами воздушных масс из различных широт. (С этим фактом можно связать появление теплолюбивой фауны Дальнего Востока.) Заметим, что покрытосеменные более светолюбивы, чем голосеменные.

Изменение многих факторов среды могло способствовать ослаблению или вымиранию в меловом периоде упомянутых выше групп растений, но основной причиной следует считать изменение климатических факторов, так как они определяют изменение большинства других. Поскольку же цветковые заняли господствующие позиции почти по всему земному шару, то новое изменение климата по масштабу было не местным, а общепланетарным. Кроме того, из всего вышесказанного вытекает, что изменения климата в историческом аспекте были неоднократными, о чем свидетельствует неоднократная смена господства типов растений и специализация их структур соответственно изменению в пространстве и во времени ведущих факторов климата.

Для мелового периода можно выделить три климатические зоны, впрочем с нерезкими границами (рис. 15).

Субтропическая зона с расчленением на влажный и сухой климаты; влажный субтропический климат охватывал Крым, Черное море, Кавказ, юг Каспия; сухой — Среднюю Азию, современные степи, а также зону смешанных и лиственных лесов.

Умеренно теплая зона характеризовалась температурами 4—10°, осадками 300—600 мм, влажностью 60—65%, облачностью 60—70%; она занимала территории от современного Баренцева и Карского морей до Забайкалья включительно.

Для субарктической зоны (Дальний Восток) характерны средние температуры года 2—6° (с севера на юг), осадки 400—800 мм, влажность 65—75%, облачность 70—75%. Заметим, что в связи с геосинклинальными поднятиями здесь подготавливались условия для образования муссонной циркуляции, возникшей, по нашему мнению, в начале третичного периода, когда появились благоприятные условия для формирования Тихоокеанского барического максимума.

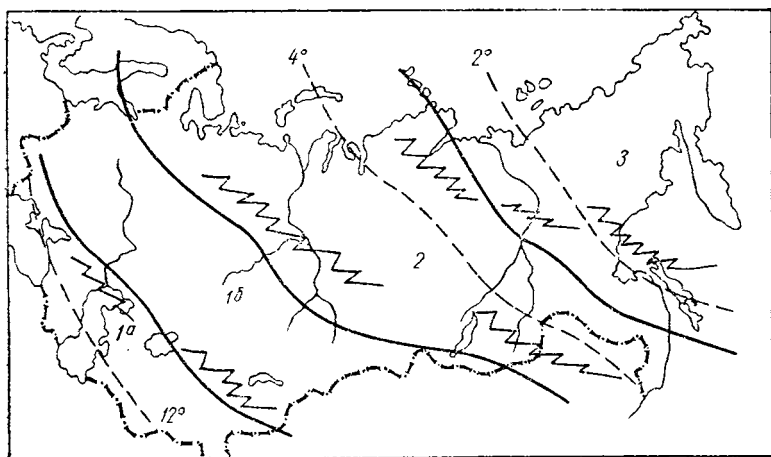


Рис. 15. Климаты мела.

1а - субтропический влажный; 1б - сухой; 2 - умеренно-теплый; 3 - субарктический.

Общей чертой климата было некоторое похолодание, а также увлажнение северных районов (в частности, северных и дальневосточных) и увеличение континентальности на юге. Все это мы связываем с местоположением полюсов и тектоническими процессами, оказавшими основное влияние на климатические условия нашей страны.

Кайнозойская эра в климатическом отношении представляется наиболее интересной. Дело не только в том, что на территории нашей страны в эту эру происходят громадные тектонические движения и активные оледенения, перераспределение суши и моря в ряде областей, но формируются определенные радиационные и циркуляционные факторы, с которыми связаны современные природные условия. Без знания климатообразующих факторов третичного и четвертичного периодов трудно пред-

ставить и понять глубину вопроса о формировании современного климата.

В *третичный период* на территории нашей страны подверглись наибольшему поднятию горы Большого Кавказа, Карпаты, Тянь-Шань, Дальневосточные цепи. Возникают современные зоны пустынь и полупустынь, муссонная область, а в конце периода зоны степей и лесостепей (рис. 16).

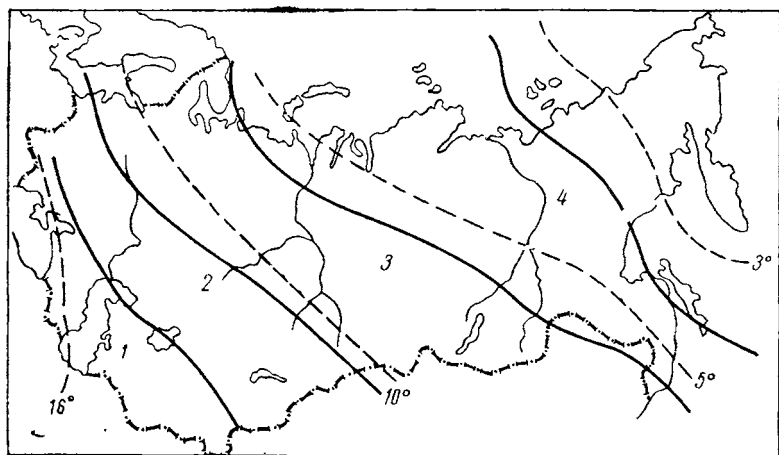


Рис. 16. Климаты третичного периода.

1 -- влажный субтропический; 2 -- умеренно-континентальный; 3 -- умеренно-влажный; 4 -- субарктический (муссонный).

Что касается горных образований, то их масштабы и мощность обусловили усиливающиеся размыв и денудацию. Большинство горных цепей нашей страны ориентировано в меридиональном направлении, поэтому они не препятствуют свободному обмену тропических и умеренных воздушных масс, а также далекому проникновению на юг арктического воздуха; такой режим способствует выравниванию теплового состояния атмосферы. Сибирь в третичном периоде характеризовалась еще умеренным влажным климатом, о чем говорят большие количества ископаемых стволов дуба, вяза, бука, ореха.

Разумеется, что с быстрым перемещением Северного полюса в плиоцене происходило смещение климатических границ и дифференциация зональности, которая в четвертичный период приобрела современный облик, но лишь после оледенений. Геологи связывают эти оледенения с похолоданием климата, вызванным поднятием материков на значительный средний уровень, что стало наиболее типично для плейстоцена.

В органическом мире третичный период знаменуется концом существования аммонитов, белемнитов, ихтиозавров, динозавров

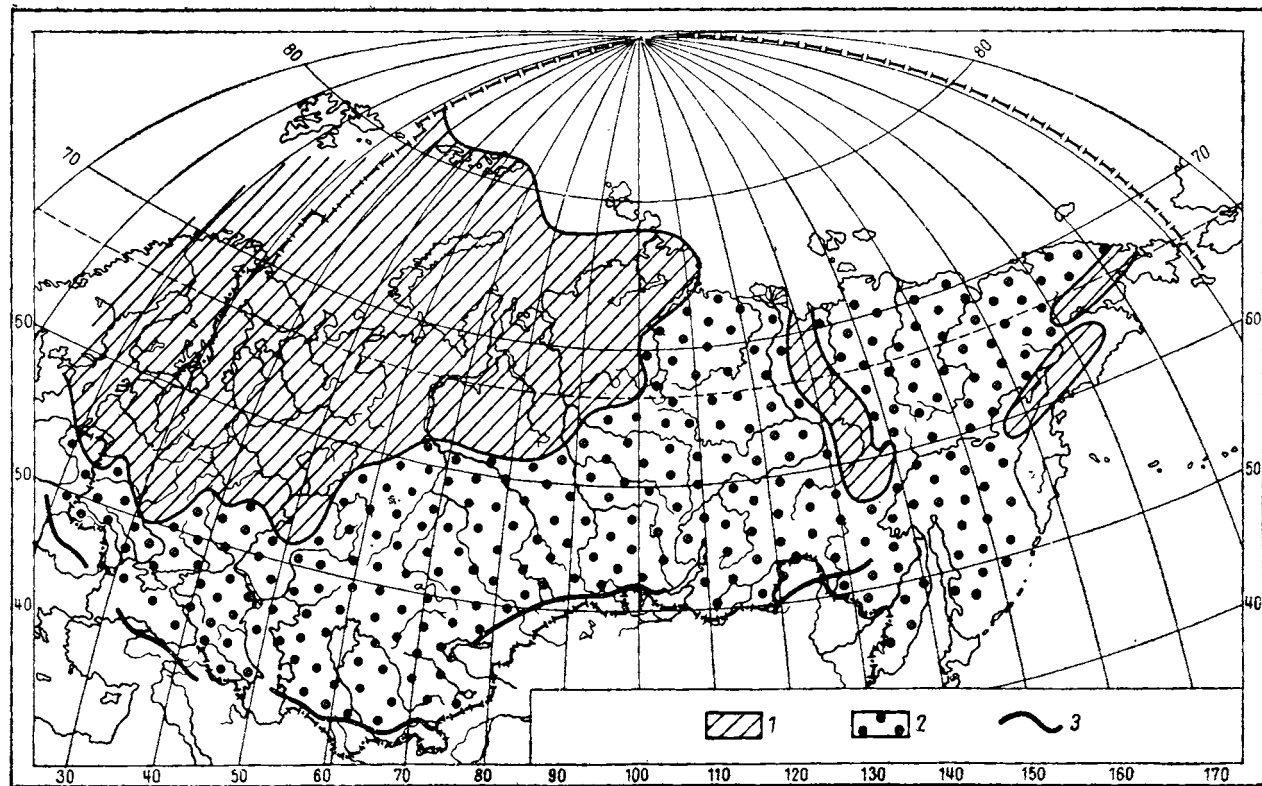


Рис. 17. Палеогеография середины четвертичного периода (время наибольшего продвижения ледников).
 1 — области распространения ледников; 2 — области платформ, не занятые морем; 3 — горные хребты.

и др. Возникают новые семейства и роды пластинчатожаберных и брюхоногих, а среди позвоночных получают развитие млекопитающие. Но эти изменения вряд ли больше тех, которые происходили ранее при переходе от одного геологического периода к другому.

Субтропическая и тропическая зоны сместились на юг, а севернее распространилась бореальная флора: дуб, бук, береза, каштаны, орех, тополь. С начала неогена стало характерным сокращение растительности субтропического типа и становление современной растительности. Увеличивается площадь суши (до 90% к современной ее площади), разнообразнее становится рельеф, возрастает интенсивность денудационных процессов (особенно в горах), что приводит к отложениям обломочного материала (главным образом в предгорьях). Однако в это время признаки теплого и даже жаркого климата обнаруживаются еще в арктических широтах (дуб, бук, каштан, магнолия). Похолодание начинается в конце миоцена и особенно сильно проявляется в плиоцене, когда происходят также горообразовательные движения (Скандинавия, Север) и колебания земной коры.

В *четвертичный период* происходят оледенения, чередующиеся межледниковыми периодами. И все это в течение одного миллиона лет. Эти оледенения были больше всех остальных, происходивших в другие эры (рис. 17).

Для всей области современной суши СССР четвертичный период был временем ясно выраженной геократической тенденции развития. Современная суша за исключением краевых прогибов и внутренних впадин в четвертичном периоде испытывает поднятие, сравнительно слабое в равнинных областях и сильное в горных. Вследствие этого эпейрогенического поднятия и процессов эрозии рельеф суши принимает расчлененный и возвышенный характер, который и свойствен суше в современную эпоху.

Весьма большие изменения по сравнению с третичным периодом происходят в климате. Равномерно теплый и лишенный ярких контрастов климат земной поверхности в третичном периоде сменяется теперь (точнее в неогене) климатом более холодным и резко дифференцированным на климатические пояса (рис. 18). Высшим выражением дифференциации явилось формирование холодного климата на севере, обусловившее образование континентальных ледниковых покровов. Они распространяются и на горные районы, что означает общее похолодание Земли. Совпадение материковых оледенений с прежними в Гондване раскрывает причину изменения климата с неогена, видимо, связанную с поднятием материков над уровнем моря.

Возникновение четвертичных оледенений совпадает по времени с эпохой затухания альпийской складчатости. Ритмичность же оледенений и межледенений, по мнению многих, обусловлена влиянием периодических изменений активности солнечной радиации, вызванных рядом астрономических условий. Подсчеты

Миланковича показали, что в зависимости от астрономических условий за последние 650 000 лет в интенсивности солнечной радиации на поверхности Земли имелись четыре ясно выраженных минимума, которые легко сопоставляются с четырьмя оледенениями в Западной Европе (Гюнц, Мендель, Рисс, Вюрм). Но самая связь гипотетична. Симпсон придерживается обратного мнения: усиление солнечной радиации вызывает оледенения. Ниже мы вернемся к этому вопросу.

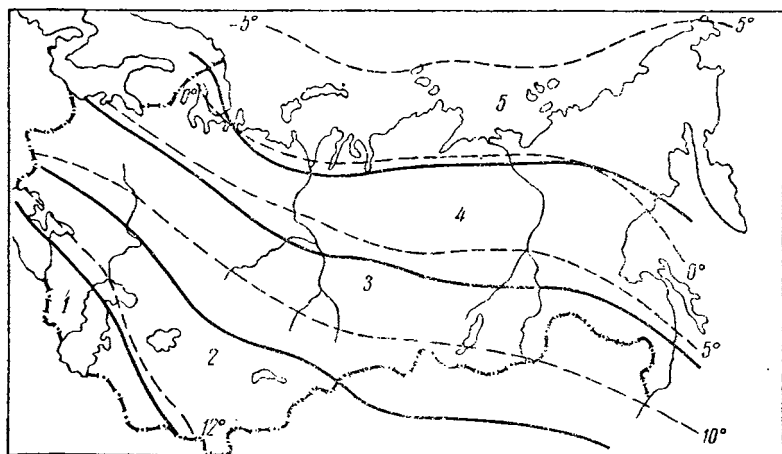


Рис. 18. Климаты четвертичного периода.

1 — субтропический влажный; 2 — континентальный (аридный); 3 — умеренно-теплый (влажный); 4 — умеренно-холодный; 5 — субарктический.

Знаменитый климатолог А. И. Воейков и геолог И. Д. Лукашевич высказали идею, что оледенение связано с крупными циклами тектогенеза, когда поднятия горных и платформенных областей ставят некоторые из них в более высокие и холодные слои атмосферы. Это ведет к общему охлаждению поверхности Земли. Необходимо прибавить, что увеличиваются материковые площади и происходит регрессия моря. Если вспомнить, что оледенения были в конце докембрия после мощных фаз тектогенеза, в верхнем палеозое во времена герцинского цикла и, наконец, в четвертичный период после альпийских движений земной коры, то приходится поставить в связь эти два явления. Но много и неясного. Прежде всего неоднократность ледниковых эпох в один и тот же геологический период. Вспомним, что наземная растительность появилась в поздний силур и ранний девон. Выход растений на сушу обусловил появление наземных животных. Слои с флорой девона выходят из-под льда Шпицбергена и это говорит об отсутствии тогда ледников в Арктике. Предполагают, что ледниковые покровы и условия для них в полярных областях появились в среднем плиоцене.

Двоякодышащие рыбы девонского периода доказывают, что моря пересыхали именно в девоне, а значит появились наземные рыбы и затем животные. Карбон был периодом господства земноводных, а пермь — пресмыкающихся. В перми были чередования сезонов, это видно и по остаткам деревьев и по составу фауны. Температура от Арктики до Антарктиды в перми была высокой или умеренной, но не низкой.

Климат юры в основном был более однообразен, чем в другие периоды.

Мощный тектогенез альпийского цикла, создав высокие горы, резко изменил рельеф нашей планеты, климаты и общие физико-географические условия. Это вызвало колоссальное вымирание гигантов пресмыкающихся и внезапный бурный расцвет млекопитающих. Климатические пояса в начале кайнозоя были слабо выражены и резко разграничились лишь в конце кайнозоя; установилось чередование сезонов: влажных и сухих в экваториальной зоне, теплых и холодных — в более высоких широтах. К этим переменам быстро приспособились птицы и млекопитающие.

Все эти палеогеографические особенности связаны с различными факторами, включая климатообразующие. Но похолодания и дифференциацию климата отдельных зон в третичный период следует объяснить тектоническими процессами (плиоцен). В четвертичный период нарушение климатической зональности и похолодания связаны с оледенениями; последующая четкая зональность и дифференциация климатов обусловлены положением полюсов и периодом относительного спокойствия тектонических процессов.

Как уже ранее отмечалось, нами получен график относительных изменений климатообразующих факторов за геологическое время (рис. 19). Следует отметить, что кривая колебаний солнечной активности, представленная на графике, весьма гипотетична, хотя при построении ее учитывались работы многих астрономов, склонных считать, что наблюдаемые вековые общепланетарные климатические изменения происходят синхронно с громадным вековым изменением деятельности Солнца: потеплениям соответствует увеличение солнечной активности, похолоданиям — периоды спокойствия Солнца (Эйгенсон, 1957).

Кривые хода относительных изменений климатообразующих факторов показывают отсутствие постоянной связи между какими-либо элементами: некоторые из них обнаруживают связь в одни периоды, другие — в иные. Это говорит о формировании и изменении климата под действием самых разных причин, которые накладывались друг на друга. Например, в периоды увеличения материковости климатический уровень температуры несколько повышается; при возрастании CO_2 климат становится теплее; общая тенденция спада температуры намечается с убыванием облачности при увеличении материковости.

Интересно отметить некоторые особенности радиационных условий. Наряду с их зональностью замечаются большие колебания в зависимости от материковости, а также от горообразования; кроме того, типично смещение радиационных границ, что больше всего согласуется со смещением полюсов и, видимо, солнечной активностью. Циркуляционные особенности характеризуются определенными фазами развития широтного и меридионального переносов, формированием циклонической деятельности, а также различной активностью обмена воздушных масс, ветрового режима, что, разумеется, сильно сказывается на климатических границах, не говоря о тенденции самих климатов.

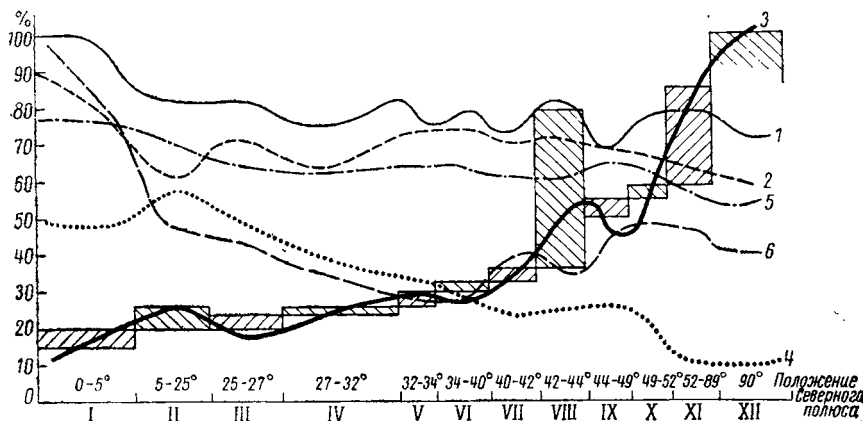


Рис. 19. Реконструкция относительных изменений отдельных факторов климата территории СССР за различные геологические периоды.

1 — температура; 2 — солнечная активность; 3 — континентальность; 4 — CO_2 ; 5 — облачность; 6 — осадки; штриховкой обозначена суша; I — архейская эра; II — протерозойская эра; III—VII — палеозойская эра (III — кембрий, IV — силур, V — девон, VI — карбон, VII — пермь); VIII—X — мезозойская эра (VIII — триас, IX — юра, X — мел.); XI—XII — кайнозойская эра (XI — третичный период, XII — четвертичный период).

Уместно отметить одну общую особенность климатической зональности в различные геологические периоды, а именно: если общее направление климатических границ за различные геологические периоды и эры может быть тесно связано с определенным расположением земных полюсов, то изменявшийся диапазон (размер) климатических границ разных широт следует связать прежде всего с циркуляционными условиями. Действительно, характер направления климатических зон и границ хорошо согласуется с перемещением полюсов. В связи с этим нами построена картосхема перемещения Северного полюса и климатических границ на территории Союза за различные геологические эры (рис. 20). Положение Северного полюса изменялось неравномерно и даже средняя скорость движения была весьма различной (табл. 10).

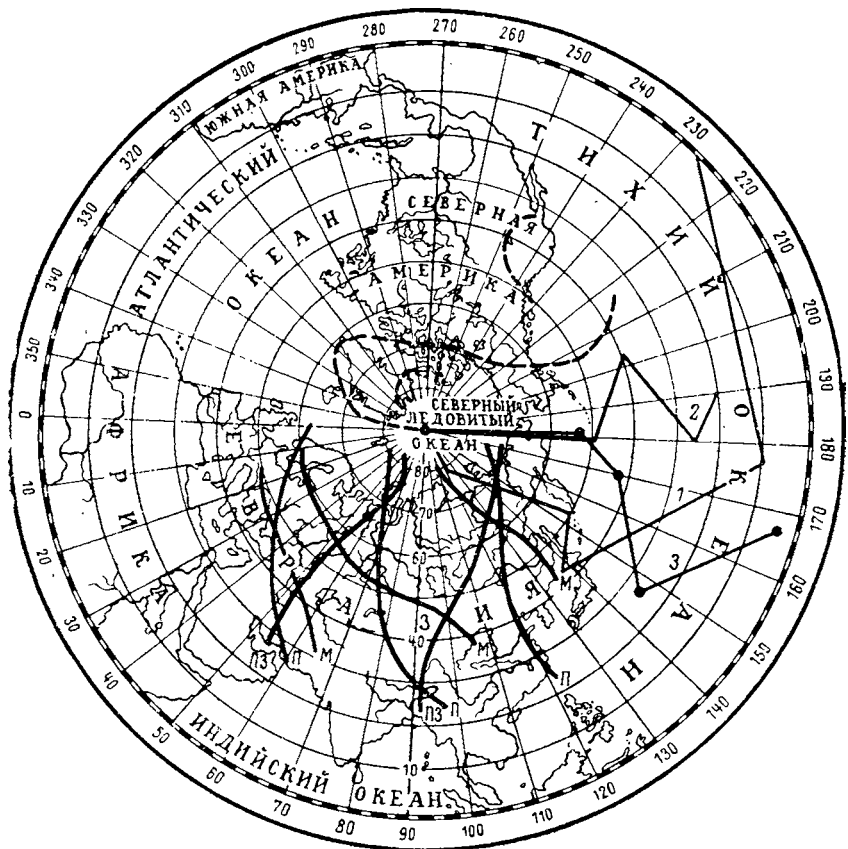


Рис. 20. Климатические границы в связи со смещением Северного полюса.
 1 — по Ранкору; 2 — по Рухину; 3 — по Борисову; ПЗ — протерозой; П — палеозой; М — мезозой.

Таблица 10

Средняя скорость перемещения Северного полюса Земли

Геологические эры	Продолжительность, млн. лет	Пройденное расстояние, км	Скорость перемещения полюса, см/год		
			по Ранкору	по Рухину	по Борисову
Палеозой	345	3080	12,5	9,4	8,9
Мезозой	155	1440	8,8	15,2	9,3
Кайнозой	70	4160	77,0	65,1	59,2

Из табл. 10 видно, что с наибольшей скоростью Северный полюс смещался в кайнозой (видимо, в плиоцене). Интересно, что по данным разных авторов эта скорость оказалась одного порядка величин.

Климатические границы сместились от палеозоя к кайнозой почти на 90° , в связи с чем климатические зоны во многих областях накладывались одна на другую. Разумеется, что климатические зоны в своем общем направлении следовали распределению солнечного тепла и являлись тем общим фоном, на котором происходили различные климатообразующие процессы. Также очевидно, что соотношение радиационных широтных зон оставалось более или менее постоянным, так как астрономические условия почти не изменялись, а временные существенные изменения однозначно отражались на климате всей планеты, включая территорию Союза. Между тем даже при беглом просмотре климатических карт за различные геологические периоды видно, что климатические зоны то расширялись, то сужались. Такого рода изменения происходили, как мы видели, именно при изменениях циркуляционных условий: развитии меридиональной циркуляции, перемещении климатических фронтов, а также формировании различных барических центров. Короче говоря, динамика атмосферных процессов больше всего могла влиять на динамику климатических зон и их границ. Разумеется, что внутризональные различия усиливались или ослабевали под воздействием еще и других географических факторов.

На смещение климатических и вообще природных границ за отдельные геологические периоды указывают многие исследователи. Интересная картосхема смещения аридных областей, в частности, показана Шейнманом (1957) для верхнего мезозоя и палеозоя (рис. 21). Эта карта хорошо согласуется с нашими данными и картами климатических границ на территории Союза за соответствующие периоды. Однако необходимо отметить, что рассмотрение такого рода палеогеографических данных и реконструкция картосхем за изолированные отдельные периоды иногда приводят к неточностям, которые обнаруживаются при изучении тех же вопросов за все последовательные геологические периоды. Этим можно объяснить тот факт, что границы верхнемезозойских аридных областей имеют весьма широтное (современное) направление, тогда как такое их становление происходило лишь в кайнозой.

Что можно сказать о климате и его тенденциях за рассмотренное геологическое время? На основании анализа климатообразующих факторов и характеристики палеогеографических условий в целом можно отметить некоторые особенности и показатели климата за различное геологическое время (табл. 11).

Обращает на себя внимание тот факт, что южная часть страны испытывала сравнительно небольшие термические различия за геологическое время от кембрия до миоцена; наиболь-

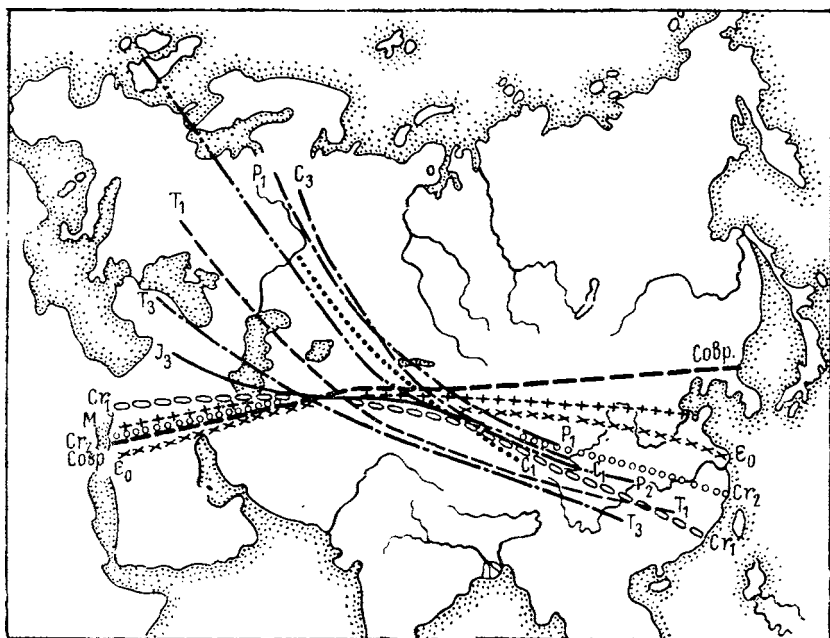


Рис. 21. Ориентировка северной границы верхнемезозойской и верхнепалеозойской аридных областей Евразии (по Шейнману, 1957).

Таблица 11

Показатели по главным элементам климата для трех основных частей Союза (северной, средней и южной) в различные геологическое время

Геологическое время	Средняя годовая температура воздуха, град			Годовая сумма осадков, мм		
	северная	средняя	южная	северная	средняя	южная
Архей	32	33	34	1500	1750	2000
Протерозой	5	15	30	600	1000	1500
Кембрий	10	14	20	1000	600	1200
Силур—ордовик	6	12	20	600	400	1000
Девон	10	14	18	400	300	800
Карбон	6	10	18	400	600	800
Пермь	4	8	14	300	400	600
Триас	6	12	16	400	600	1200
Юра	2	4	16	300	600	1000
Мел	4	10	16	400	600	до 1000
Третичный						
эоцен	0	3	14	300	400	600
миоцен	-2	10	20	400	600	1000
плиоцен	-15	3	12	200	400	1000
Четвертичный						
голоцен	0	5	10	200	400—600	600—1000

Эволюция климата и его радиационно-циркуляционных факторов за геологическое время

Эра	Период	Радиационные особенности	Циркуляционные особенности	Климат и его тенденции (зональность)
Кайнозойская	Четвертичный	Дифференцированное зональное распределение R и его компонентов (резкие аномалии). Ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Периоды колебаний циркуляции воздушных масс в связи с смещением барических центров	Потепления и похолодания в связи с оледенением и смещением барических центров. Сильная дифференциация климатов и зональности
	Третичный	Интенсивная дифференциация радиационного баланса внутри зон. Постепенное ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Формирование современных барических центров после оледенения	Коренные колебания с общим похолоданием. Дифференциация. Увеличение континентальности и аридности
Мезозойская	Мел	Смещение радиационных зон и колебания радиационного баланса. Незначительное усиление солнечной активности. Увеличение O_3	Увеличение арктических влияний, расширение умеренной зоны с однородной схемой циркуляции воздушных масс	Общее климатическое выравнивание в пространстве с похолоданием на суше
	Юра	Убывание в притоке радиации и радиационном балансе, сглаживание различий. Ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Формирование субтропической и полярной зоны циркуляции воздушных масс	Похолодание и увлажнение. Формирование полярного и средиземноморского климатов
	Триас	Общее увеличение радиационного баланса и его выравнивание. Усиление солнечной активности. Увеличение O_3	Активность и большой радиус обмена и различий в циркуляции воздушных масс	Развитие внутризональных различий. Теплый умеренно-влажный климат с местными различиями. Аридность

Палеозойская	Пермь	Появление внутризональных различий (аномалий). Ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Расчленение тропосферных фронтов и формирование принципиальной схемы современной циркуляции воздушных масс	Расширение климатических зон. Увеличение континентальности. Местные климаты. Формирование сезонов. Общее похолодание
	Карбон	Общее увеличение радиационного баланса и смещения радиационных зон. Постепенное ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Активный обмен воздушных масс между зонами; смещение циклонических областей	Теплый климат с интенсивным тепловлагообменом. Слабо выраженная сезонность
	Девон	Начекаются радиационные рубежи в направлении Север—Юг. Усиление солнечной активности. Увеличение O_3	Развитие меридиональной циркуляции воздушных масс и возникновение антициклональной полосы	Климат от умеренного до тропического включительно. Некоторое увеличение континентальности в конце периода (аридность)
	Силур—ордовик	Различия на платформах и горных цепях. Ослабление солнечной активности с последующим увеличением. Неравномерность в режиме O_3	Формирование областей низкого и высокого давления	Теплый климат с дифференциацией по увлажнению. Возникновение радиационных рубежей и первых барических центров, аридности
	Кембрий	Появление зональности и выравнивание радиационного баланса. Усиление солнечной активности. Увеличение O_3	Ослабление переноса воздушных масс и процессов выветривания	Признаки зональности с сглаженными условиями на огромных пространствах (ареалы климатов). Общее потепление
Протерозойская	Протерозой	Первые различия по макрообластям в радиационных условиях (оледенение). Ослабление солнечной активности. Уменьшение O_3	Появление циклонической деятельности. Усиление ветров	Климат жаркий, едва заметные различия в материковом (островном) и океаническом
Архейская	Архей	Однородность радиационного баланса. Усиленная солнечная активность. Увеличение O_3	Экваториально-тропическая циркуляция с развитой конвекцией	Жаркий «парниковый» без дифференциации. Однородность тепла и влаги. Общее потепление

шие изменения температуры происходили в средней части страны, а также в северной. Как указывалось ранее, начиная с плиоцена температура воздуха резко падала. Осадки характеризовались наибольшими различиями лишь в отдельные периоды, общий же уровень их для соответствующих широт, как правило, сохранялся на протяжении всего геологического времени.

Отметим также отсутствие строго выраженных колебаний температуры и осадков на протяжении геологического времени; наоборот, в колебаниях этих элементов не обнаруживается четкой закономерности. Это указывает на зависимость их от весьма разных причин.

Что касается климатических тенденций и преобразований климатообразующих факторов за геологическое время, то о них можно судить по табл. 12.

На основании табл. 12 можно утверждать, что некоторые коренные черты современного климата и факторов его формирования пришли из разных геологических периодов. Так, радиационные рубежи, свойственные территории СССР, возникли еще в силуре, так же как и первые очаги крупнейших барических центров в южных широтах. Формирование континентального климата на территории Союза началось с девона и усилилось в перми, отчасти в триасе, а затем в третичном периоде. Интенсивный теплообмен между разными климатическими зонами оформился в карбоне, усиливаясь в третичном периоде и затем в ледниковые эпохи. Местная циркуляция получила первое большое развитие в перми и особенно в триасе, а затем в плиоцене и голоцене. Формирование отчетливых сезонных явлений и местных климатов происходило в перми и резко возросло с дифференциацией климатов в третичном и четвертичном периодах. Субтропические, степные, лесостепные климаты нашей страны возникли в девоне, оформившись аналогами современных климатов с триаса, но установились окончательно лишь после плиоцена; холодные климаты (тайга, тундра, Арктика), а также муссонная циркуляция оформились в третичном периоде и установились окончательно после ледниковых эпох четвертичного периода. Наконец, систематические (ритмические) колебания климата происходили после плиоцена, когда коренные типы климатов СССР оформились окончательно при данных географических условиях.

Из табл. 12 видно также, что характер климата и его тенденции в разные геологические периоды были различными. В одни периоды происходило повсеместное (планетарное) коренное потепление (кембрий, миоцен) или похолодание (пермь), в другие — такое изменение климата охватывало отдельные области (силур, юра, ледниковые эпохи, плиоцен) или же происходили внутризональные изменения климата (карбон, мел). Наконец имевшее место смещение полюсов отразилось на соответствующем

щем перемещении климатических зон, накладывающихся друг на друга в течение геологического времени.

Таким образом, все изменения климатов, происходившие за геологическое время, можно типизировать и связать с определенными решающими факторами.

1. Изменения планетарные — однозначного направления на всем земном шаре в данный геологический период. Примером может служить общее потепление в кембрии или в миоцене, а также похолодание в перми. Эти изменения мы связываем с космическими причинами и в первую очередь с деятельностью Солнца.

2. Азональные изменения климата охватывали макрообласти, как-то: материки, платформы, ледниковые районы. Примером могут служить изменения, происходившие в силуре, юре, в ледниковые эпохи. Такие изменения могут быть связаны прежде всего с тектоническими колебаниями, трансгрессиями и регрессиями.

3. Зональные изменения происходили вследствие смещения полюсов и климатических зон. Они характеризовали все геологическое время и являлись как бы общим процессом и фоном, на который накладывались другие процессы.

4. Внутризональные изменения климата связаны с географическими факторами: циркуляцией атмосферы, влиянием рельефа, водоемов и т. п. Например, они были характерны для карбона, мела, межледниковых эпох.

Как показывают полученные характеристики палеоклиматов, полное становление современных климатов происходило в третичный и четвертичный периоды. В связи с этим необходимо остановиться специально на рассмотрении вопросов формирования современных климатов СССР, чему и посвящается следующая глава.



ГЛАВА 3

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ КЛИМАТОВ СССР

Климатообразующие факторы и климат в третичный и четвертичный периоды

В настоящее время, когда человек с успехом проникает в тайны природы как на земле, так и в космосе, интерес к палеоклиматологии особенно возрос. Знание климатов прошлого позволяет правильно понять и решить некоторые важные проблемы современной климатологии и географии, а также геологии и биологии. Известно, например, что залежи углей образуются во влажном климате, а гипс и эоловые песчаники — свидетели сухого пустынного климата. Чтобы понять, насколько это важно достаточно сказать, что в СССР пермские угли господствуют составляя 60% запасов угля всей страны (Кузнецкий и Тунгусский бассейны). Таким образом, зная ареалы распространения разных климатов в те или иные геологические эпохи, можно говорить о возможных месторождениях полезных ископаемых. Восстановление древних климатических зон помогает также судить о положении материков в соответствующие эпохи, а следовательно, и о происшедших тектонических движениях. Наконец изучение палеоклиматов может представлять чисто климатологический интерес — определение характера климатообразующих факторов.

Каковы же те главные климатообразующие факторы третичного и четвертичного периодов, с которыми были связаны изменения и колебания климатов, зональность климатов и ее нарушение и в конечном итоге формирование современных климатов?

В решении этих задач можно идти двояким путем. С одной стороны, зная общие черты палеоклиматов той или иной территории на основании изучения различных косвенных признаков (биологических, геологических, ландшафтно-географических) можно определить, какими были климатообразующие факторы с другой, — имея представление о качественных воздействиях различных климатообразующих факторов, выяснить их характер для той или иной геологической эпохи на основании построения со

ответствующих палеогеографических схем и догадок. Если учесть, что тот и другой пути затруднительны из-за скудности исходных данных, то станет ясным, что они не исключают друг друга, а дополняют. В связи с этим нами и были сначала реконструированы палеоклиматы, а затем анализировались данные о характере климатообразующих факторов. При этом, разумеется, мы не можем претендовать на безоговорочную точность и окончательность обобщений, которые в значительной степени не основываются непосредственно на климатических данных, а строятся по косвенным признакам и, в частности, по анализу пыльцевых комплексов для различных областей Евразии.

Мы стремимся систематизировать и обобщить представления об изменениях и колебаниях климатов нашей страны в различные геологические эпохи, начиная с миоцена, и наметить принципиальную схему палеоклиматов и их отличительные особенности. Это поможет приблизиться к выяснению роли современных климатообразующих процессов и их происхождения.

Как упоминалось ранее, в третичный период оледенения не имели места, зато систематически происходили тектонические движения (особенно большие в плиоцене) в той или иной части нашей планеты, вызвавшие смещение земной оси и, что особенно важно, перемещение полюсов.

Вполне естественно, что с перемещением полюсов было связано изменение радиационного режима, а следовательно, перемещение зональных климатических границ, тогда как развитие тектонических процессов способствовало дифференциации климатов и вместе с тем усилению зональности. Изменение положения земной оси и полюсов привело в конечном итоге к той принципиальной схеме распределения климатов, какую мы и видим в голоцене. Естественно, что при отсутствии крупных тектонических движений, а также оледенений климаты третичного периода формировались главным образом за счет планетарных явлений (положение земной оси, эклиптики, полюсов), обусловивших определенный радиационный режим, с которым в первую очередь и связаны палеоклиматы этого времени (Борисов, 1962). Радиационные факторы являлись непосредственными факторами в формировании климатов, хотя сами по себе определялись сложившимися ранее астрономическими и тектоническими условиями.

Как указывалось, плиоцен в Евразии характеризовался бурными тектоническими процессами, способствовавшими усилению зональности, а главное дифференциации климатов (преимущественно за счет обмеления морей). На рис. 22 показаны основные дислокации полюсов и тектонических процессов в различные геологические эпохи (по Л. Б. Рухину).

После плиоцена, в связи с новым положением полюсов, север Евразии получает особенно мало тепла по сравнению с тем, что

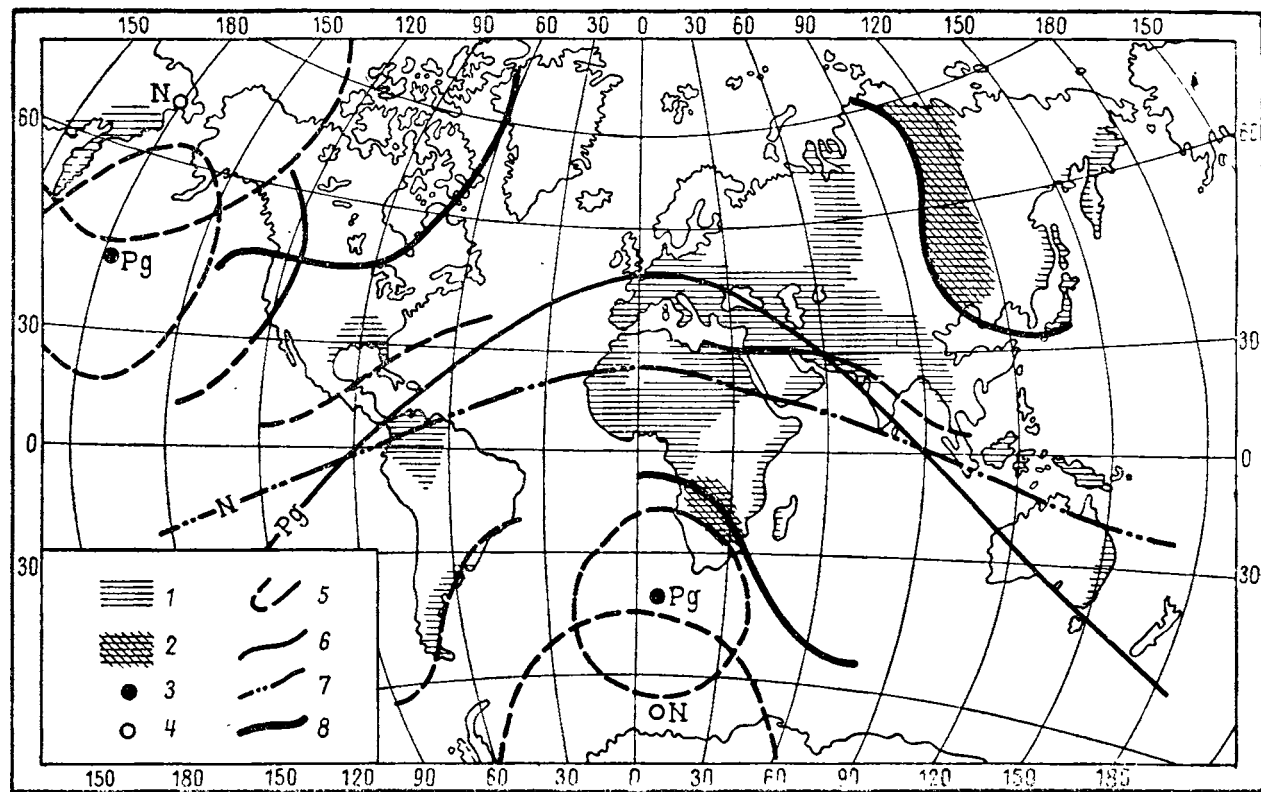


Рис. 22. Основные показатели в третичный период.

1 — палеогеновое море на современных материках; 2 — оледенение; 3 — среднее положение полюсов в палеогене; 4 — то же в неогене;

он получал до плиоцена. Так, современная приполюсная зона могла получать солнечного тепла в третичный период в 3—3,5 раза больше, чем в четвертичный. Особенно важно, что с четвертичного периода территория Евразии лежит не в зоне тропического климата, а в зоне теплового контраста Арктики и умеренных широт. Поэтому усиливается меридиональный перенос, возрастает интенсивность циркуляции с которой также усиливается влагообмен между низкими и высокими широтами. Короче говоря, происходит становление современной схемы общей циркуляции с окончательным формированием и развитием известных климатических фронтов.

Следовательно, главенствующая роль радиационных условий, свойственная тропическим широтам, теперь как бы отступает, тогда как циркуляционные процессы, наиболее активные в отношении фронтальной деятельности, выступают на первое место и непосредственно определяют формирование климатов. Астрономические и планетарные условия (эклиптика, земная ось, полюса) имеют более или менее постоянные параметры. Действительно, солнечная постоянная в четвертичный период почти не изменилась, а продолжительность суток в связи с неравномерностью вращения Земли удлиняется за столетие лишь на 0,0024 сек; положение эклиптики изменялось в пределах 2—2,05, что свойственно и голоцену; полюса переместились незначительно, земная ось также, а тектонические процессы характеризуются эпохой покоя.

Следовательно, для четвертичного периода самым характерным в формировании климатов является возрастание роли циркуляционных процессов, тогда как радиационные и тектонические процессы служат лишь необходимыми предпосылками их проявления.

Е. Н. Ананова (1962 б) выделила следующие основные особенности растительного покрова и природы вообще, характерные для четвертичного периода: 1) господство лесного таежного типа растительности с преобладанием формаций темнохвойных древесных пород, подобных елям, в северной половине северного полушария, за исключением эпох оледенений, когда основная территория распространения таежных лесов в пределах Русской равнины и Западной Сибири была занята материковыми льдами; 2) наличие безлесной степной и тундровой зон, располагающихся к северу и югу от таежной зоны; 3) наличие неоднородных смен более теплых и более холодных периодов; 4) наличие равнинного оледенения; 5) ярко выраженная дифференциация климата по временам года и т. д.

Естественно, возникает вопрос, присущи ли все перечисленные особенности только четвертичному периоду или какие-то из них имели место и на протяжении предшествующего времени?

По этому поводу Е. Н. Ананова пишет: «Наличие указанных растительных зон свидетельствует о дифференциации растительного покрова Русской равнины в направлении с севера на юг на протяжении всего плиоцена.

Крупные и неоднократные изменения границ растительных зон подтверждают неоднократные колебания климата, выражающиеся в чередовании более теплых и более холодных, более влажных и более сухих периодов на протяжении плиоцена. Конечно, климатические колебания носили совершенно другой характер, нежели в четвертичное время: гораздо меньшими были их амплитуды и более продолжительными периоды.

Факт появления и широкого распространения зоны темнохвойных лесов в северной половине Русской равнины и безлесного ландшафта степей в ее южной половине свидетельствует о том, что в это время произошли существенные изменения не только в растительном покрове, но и в процессах циркуляции атмосферы» (Ананова, 1962б). Последнюю особенность мы отметили еще раньше (Борисов, 1959б). Тогда же нами были даны конкретные климатические показатели для плиоцена по отдельным областям, включая темнохвойную тайгу, о которой Е. Н. Ананова говорит лишь в общих чертах. Как видно, эти высказывания подтверждаются нашими количественными характеристиками климата плиоцена и миоцена, приведенными в указанной статье и в данной работе.

При составлении характеристики климатов третичного и четвертичного периодов первоначально нами были определены основные климатические данные (с количественными показателями) различных геологических эпох на примере Крыма, по которому мы располагали значительными фактическими материалами (данные пыльцевого анализа и литературные источники). В дальнейшем задача расширилась до климатологической оценки подобных материалов, в особенности анализов спорово-пыльцевых комплексов по различным районам СССР. Таким образом, нами были построены палеоклиматические картосхемы для территории всей страны.

Мы начинаем рассмотрение палеоклиматов с миоцена (20 млн. лет тому назад), что совпадает с началом той эволюции флоры и фауны, которая постепенно привела к созданию современных форм. Эта геологическая эпоха интересует нас также потому, что в конце третичного периода появился человек; кроме того, и суша умеренного пояса начала сковываться ледниковыми покровами. При этом мы опираемся на геохронологическую схему, приведенную в табл. 13.

Невозможно сообщить все географические факты и сведения, относящиеся к характеристике той или иной геологической эпохи, почерпнутые из разнообразных источников. Поэтому ограничимся сводной таблицей (табл. 14) характерных географических процессов и элементов по отдельным областям страны для каж-

Главные особенности отдельных областей в различные геологические эпохи

Геологические эпохи	Палеогеографические области	Характерные географические процессы и элементы	Климатические характеристики
Миоцен, 1-я половина (рис. 23, а)	Северная (восточно-европейская провинция, северная подпровинция) (I)	Широколиственные леса с участием различных видов сосны, включая зонтичную; развиты элементы субтропической флоры; явления трансгрессии (особенно вдоль побережий)	Теплый климат лесов с жарким и теплым летом, мягкой, влажной, большей частью прохладной зимой; годовые амплитуды температуры значительны с отчетливо выраженной сезонностью; средняя температура за год 8—10°; осадки не более 1000 мм с некоторым преобладанием их летом; на побережьях тенденция к средиземноморскому типу климата, увеличение зимних осадков; континентальность от 30% на побережьях до 40% вдали от них
	Южная (восточно-европейская провинция, южная подпровинция) (II)	Развиты тропические флора и фауна; характерны процессы выветривания, особенно на побережьях; широкое распространение болот субтропического типа	Влажный субтропический (близкий к тропическому) теплый климат с инверсиями, эрозийными процессами (тип ленкоранского климата); средняя годовая температура 12—14°; осадки 1000—1200 мм при сравнительно равномерном их распределении в течение года; континентальность климата 20—30%
	Турано-казахская (III)	Развитие озер (трансгрессия); наличие степных ареалов растительности; преобладание широколиственных лесов; в долинах распространение болот; развитие речных артерий; дифференциация климатов	Умеренно-влажный климат с теплым летом, прохладной, влажной зимой; сравнительно большие амплитуды метеорологических элементов, ярко выраженная сезонность; континентальность около 50%; средняя годовая температура 6—8°; осадки менее 800—1000 мм с преобладанием их летом
	Западносибирская (IV)	Развитие степной растительности; активная эрозионная деятельность, особенно на возвышенностях; преобладание сосновых и широколиственных лесов с увеличением темнохвойных в юго-восточной части	Умеренно-теплый климат лесостепей с ярко выраженной сезонностью местных климатов; континентальность 50—60%; средняя температура за год 4—6°; осадки 600—900 мм с преобладанием летних; падение зимних температур и кратковременное замерзание водных бассейнов

Геологические эпохи	Палеогеографические области	Характерные географические процессы и элементы	Климатические характеристики
Мiocен, 2-я половина (рис. 23, б)	Восточносибирская (V)	Преобладание лиственных лесов с примесью ели, возрастающих к Байкалу; развитие террасообразования; изменение русел рек	Умеренный климат с влажным, теплым летом и холодной, сравнительно сухой зимой; большие амплитуды температур; континентальность 55—60%; средние годовые температуры 4—8°, летом 16—18°, зимой ниже 10°. Осадки 400—600 мм; зима сухая, антициклонная
	Дальневосточная (VI)	Смешанные леса; процессы выветривания, эрозии	Формирование муссонного климата
	Северная (I)	—	—
	Южная (II и IIa)	Появление степных ареалов растительности; развитие речных артерий; дифференциация климатов, особенно под влиянием рельефа; преобладание широколиственно-сосновых лесов с богатым травостоем	Умеренный климат лесов с теплым летом и прохладной, влажной зимой; амплитуды метеозаэментов весьма значительны; ярко выражена сезонность; средняя годовая температура 6—10°; осадки не более 1000 мм с преобладанием летом; увеличение континентальности от 40 до 50%
	Турано-казахская (III)	Преобладание широколиственных лесов с большим участием ольхи, березы, рябины, сосны; наличие степных пространств; изменение русел рек	Умеренно континентальный климат с умеренно теплым летом и холодной зимой; большие годовые амплитуды метеозаэментов; средняя годовая температура 4—6°; осадки 400—600 мм с преобладанием их летом; континентальность 50—60%; климат лесостепи
Западносибирская (IV и IVa)	Преобладание сосновых лесов с богатым травостоем и примесью широколиственных пород; возможны отложения красных глин; на юго-востоке переход к хвойным лесам	Умеренный климат с влажным, теплым летом и снежной зимой; средняя годовая температура 6—8°; осадки 600—1000 мм; континентальность 40—50% с увеличением на северо-восток; повышение влажности на юго-восток, где климат тайги	

Геологические эпохи	Палеогеографические области	Характерные географические процессы и элементы	Климатические характеристики
Плиоцен (рис. 24)	Восточносибирская (V и Va)	Преобладание ели; обеднение флоры и фауны; образование террас	Континентальный климат с влажным летом и сухой зимой; общая тенденция к усыханию; средняя годовая температура 2—4°; осадки 300—400 мм; континентальность 55—60%
	Дальневосточная (VI)	Широколиственные леса с богатым травостоем	Муссонный характер климата с теплым влажным летом
	Северная (I)	Общее похолодание, усыхание и обмеление водоемов; эрозия русел; внутрizonальная дифференциация климатов	Умеренно-теплый климат лесов с холодной зимой и ярко выраженными сезонами; средняя годовая температура 6—4°; осадки 400—600 мм с преобладанием их летом, на побережьях около 1000 мм; континентальность от 40 до 50%
	Южная (II)	Наряду с общим похолоданием сохранение теплого и влажного климата на побережьях; интенсивные процессы эрозии; преобладание степной флоры	Умеренно-теплый климат с жарким летом и мягкой зимой; средняя температура за год 6—8°; осадки 300—600 мм; ярко выраженная сезонность; континентальность около 50%
	Турано-казахская (III, IIIa)	Развитие сухих степей; признаки аридности климата	Континентальный сухой климат; средняя годовая температура 8—10°, амплитуда 20—24°; осадки 300 мм; становление преобладающих ветров с северной составляющей
	Западносибирская (IV)	Рост континентальности с запада на восток; однородная флора с севера на юг (отсутствие тундр)	Умеренно-холодный климат; средняя годовая температура 4—2°; осадки 300—400 мм с преобладанием летом; континентальность от 50 до 55%
	Восточносибирская (V и Va)	Усыхание и похолодание; обеднение флоры	Резко континентальный климат с сухой зимой; средняя годовая температура 2—4°; осадки 200—300 мм; континентальность 60—70%
	Дальневосточная (VI и VIa)	Дифференциация растительности; эрозия	Муссонный климат; в области VI отсутствие влажных зим (нет алеутской депрессии)

полии, падуб, шелковистая акация, Proteaceae, Castanaceae, Engelhartia, самшит, ольха). Первые из названных в качестве реликтов произрастают и сейчас.* Следует отметить, что из общего списка (несколько десятков видов) подавляющее большинство относится к субтропической влаголюбивой флоре южной области.**

В работах В. П. Гричук (1951), В. Ф. Козыревой, И. М. Покровской и других исследователей говорится об интенсивных процессах выветривания (эрозии) в мезотическую и сарматскую эпохи миоцена, об отложениях Terra rossa (красной земли). В современном хотя бы и теплом, но сухом климате эти процессы слабы. О наличии тропических болот (типа чаквы), поросших местами болотным кипарисом, пишут многие палеоботаники и геологи. Травяной покров нижнего миоцена представлен двухдольными (маревыми и розанными).

В сарматских отложениях Севастополя найдены остатки теплолюбивых животных (жирафы, обезьяны, антилопы). А. Н. Криштофович подчеркивает, что сарматская флора Таганрогского района была богаче современной флоры Западного Закавказья. Из деревьев с опадающей листвой на Украине росли бук, лавр, орех и др. Геологическая схема платформы горных цепей была близка к современной, за исключением крайнего юга. Естественно, что эти сведения говорят об определенных климатических условиях.

Почему мы ограничиваем для нижнего миоцена среднюю годовую температуру именно индексами 12—14°, а осадки 1000—1200 мм. Дело в том, что такие показатели свойственны лишь районам, где произрастают (не как реликтовые) в большом количестве те растения, которые обнаружены в начале миоцена (район Ленкорани, Риона), а чисто тропические растения хотя и встречаются, но являются реликтовыми. Кроме того, установлено, что в миоцене климат становится в дальнейшем более прохладным и сухим, а в олигоцене был тропическим — более влажным и теплым. Для произрастания же перечисленных видов растений принятые исходные климатические показатели наиболее благоприятны.

Что касается границ южной области, то они обусловлены имеющимися сведениями для ее отдельных территорий, охватывающих в целом эту область, тогда как по соседним районам подобные данные говорят уже о других климатических условиях. Так, например, на восток от Стерлитамака в первой половине миоцена существовала «тургайская» флора умеренного климата и росли тополь, ольха, дуб, а также растения, близкие к совре-

* Результаты палинологического анализа по всем областям заимствованы из атласов спорово-пыльцевых комплексов ВСЕГЕИ (1956 г.).

** Нами не приводятся списки спорово-пыльцевых комплексов по другим областям, содержащиеся в упомянутых выше атласах, вполне доступных читателям.

менным азиатским видам. Разумеется, говоря о границах разных палеоклиматов, следует иметь в виду их большую или меньшую амплитуду по эпохам, соответственно направленности геологических процессов.

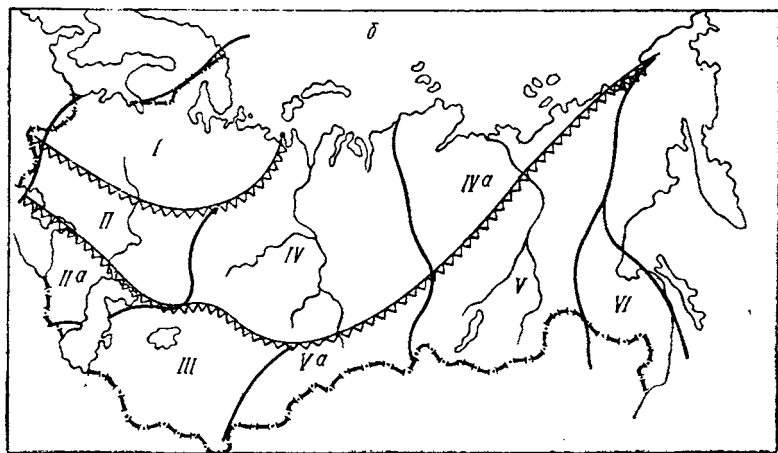
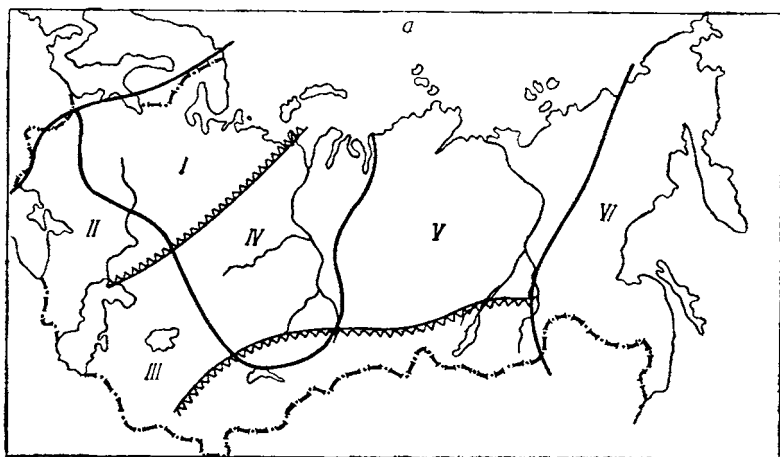


Рис. 23. Климатические границы в миоцене.
а -- первая половина; б -- вторая половина.

На представленных картосхемах (рис. 23) показаны ареалы распространения разных климатов миоцена (1-я и 2-я половины), а также плиоцена (рис. 24).

Нам представляется, что, помимо установления ориентировочных климатических показателей и масштабов, а также на

правленности изменений климатов в указанные геологические эпохи, следует еще обратить внимание на ряд вопросов.

Первой половине миоцена, как показывает изучение имеющихся материалов и построение карты, были присущи следующие черты: 1) наличие на территории СССР климатических зон, размещенных определенным образом с запада-юго-запада на восток-северо-восток, т. е. в ином направлении, чем современные; 2) еще сравнительно небольшая дифференциация климатов, в связи с чем можно говорить о немногочисленности типов климата и особенно внутризональных различий; 3) наиболее влажные и

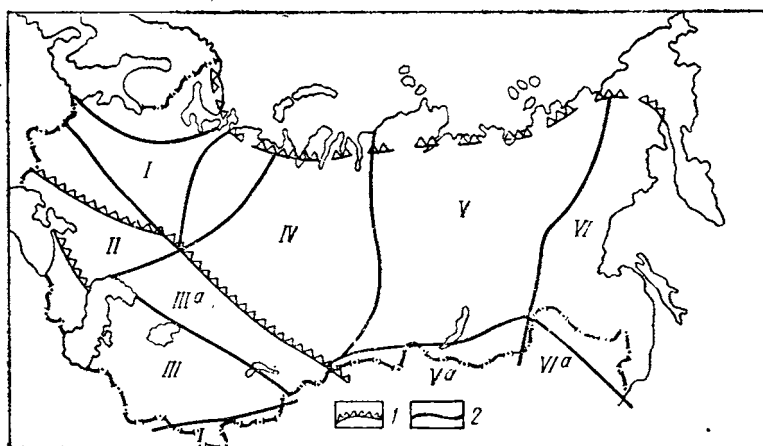


Рис. 24. Схема климатов плиоцена.

I — умеренный климат ($k=40-50\%$); *II* — умеренно-теплый климат ($k=45-50\%$); *III, IIIa* — континентально-аридный климат ($k=50\%$); *IV* — умеренно-холодный климат ($k=50-60\%$); *V, Va* — резко континентальный климат ($k=60-70\%$); *VI, VIa* — муссонный климат с дифференциацией на севере и юге; 1 — граница климатических зон; 2 — внутризональные области.

теплые климаты занимали европейскую территорию Союза, наиболее холодные и сухие были характерны для юга азиатской части (Алтай, Прибайкалье, Забайкалье, Дальний Восток); 4) переходные (бореальные) климаты располагались от Казахстана до Чукотского полуострова, включая Западную и Восточную Сибирь. Уральский хребет, по-видимому, является климатической границей, отделяя субтропические климаты от бореальных, которые вряд ли имелись тогда в европейской части Союза.

Вторая половина миоцена характеризовалась общим похолоданием и дифференциацией бореального климата, а также окончательным формированием муссонной климатической области. Дифференциация климатов была обусловлена как различиями в характере подстилающей поверхности, так и усилением континентальности за счет регрессии, на которую указывает большинство геологов.

Для плиоцена характерны похолодание и дальнейшее усиление климата, о чем говорят палинологические данные. Фауна плиоцена могла быть бореальной. По данным Е. Н. Анаповой, в бассейне р. Камы господствует пыльца древесных пород, составляющая 70—90% всего количества пыльцы. Основную массу образует пыльца ели (50—75% от всей пыльцы древесных пород); пыльца сосны составляет 1—2—6%, березы 2—5%, ольхи 2—6%, сфагновых мхов менее 3%; имеются остатки растительности мезозойской эры.

Флора в плиоцене претерпела значительные изменения: в начале распространялись темнохвойные (таежные) леса, потом светлохвойные (сосна, лиственница); широколиственных (липа, граб), встречавшихся ассоциациями, в области хвойных лесов было мало. Считается, что в верхнем плиоцене темнохвойные леса отступают на север в связи с длительным потеплением.

Климат же среднего плиоцена мог быть значительно теплее и мягче современного на тех же широтах, что позволило существовать здесь растениям, отсутствующим в настоящее время не только в пределах этого района, но и во всей зоне тайги на территории нашей страны (граб, лиственница и т. п.). В. П. Гричук считает, что амплитуда колебаний границы темнохвойных лесов была значительно меньшей, чем в четвертичное время, когда темнохвойные леса спускались много южнее.

По данным многих исследователей, с самого раннего плиоцена (понта) на Русской равнине зональность растительности была отчетливо выраженной. Растительные зоны в плиоцене сменяли одна другую в том же порядке и направлении, как это имеет место в настоящее время. К середине плиоцена произошло похолодание, вызвавшее продвижение темно-каштановых лесов к югу до широты Нижней Камы. В середине же плиоцена климат стал мягче, теплее. На юге были степи, а теплолюбивые леса продвинулись на север от Камы. В верхнеплиоценовое время вновь наступило потепление климата, хотя и меньшее, чем в киммерийское время. Интересно, что (по Анаповой, 1962 а) в плиоцене не было зоны тундр. К этому вопросу мы вернемся дальше.

А. Н. Криштофович (1916) отмечает резкий переход от третичной флоры к четвертичной именно в плиоцене. А. Ф. Шаффер считает, что в плиоцене повысилось значение восточноевропейской флоры. Плиоценовая флора резко зональная. Имеются основания думать, что в середине плиоцена теплый и влажный климат был на южных побережьях морей. Во второй половине плиоцена произошло обмеление водоемов, эрозия русел, дифференциация климатов. Зональность их приближается к современной по своему широтному характеру. По нашему мнению, именно тогда происходило полное становление современной схемы циркуляции в южных широтах, имели место интенсивные климатообразующие процессы, направленные на формирование современных климатов. Ниже будет сказано, почему становление ба-

рических центров на севере могло проходить лишь позже. На Дальнем Востоке получает широкое распространение и оформление муссонная циркуляция.

В четвертичный период дифференциация климатов наибольшая как зональная, так и внутризональная. Характерны элементы аридности, возрастание континентальности в горах, по крайней мере, в ледниковые эпохи. Мы относим развитие современных барических центров в северных широтах (Исландский и Алеутский минимумы) именно к межледниковым эпохам. Такие же современные центры действия атмосферы, как Азорский и Сибирский максимумы, оформились раньше, чем Исландский и Алеутский минимумы (а именно, в плиоцене). Об этом говорят прежде всего ареалы рассмотренных климатов в различные геологические эпохи; в миоцене европейская часть СССР (кстати сказать, и Западная Европа) характеризовалась влажным субтропическим климатом, что не свойственно климатам современной сферы действия упомянутых максимумов (например, степям); направление в расположении климатических зон иное, чем современных климатов, обусловленных другим распределением полюсов Земли и в значительной мере центров действия атмосферы.* Дальнейшее похолодание климата в плиоцене и четвертичном периоде, может быть, уже в значительной мере связано с этими мощными антициклонами, как факторами, способствующими выхолаживанию суши.

Можно было бы полагать, что Азиатский и Азорский максимумы возникли не в плиоцене, как мы утверждаем, а позже, в послеледниковые эпохи. Однако изучение природных условий четвертичного периода показывает, что к этому времени в южных областях страны уже сформировался климат, обусловленный названными центрами действия атмосферы; налицо была степная зона и климатические особенности (аридность), с которыми встретились ледниковые покровы, достигавшие самых южных областей СССР (рис. 25). К концу же третичного периода сместился и полюс из северной части Тихого океана на Аляску, а затем к современному положению.

В отношении северных центров действия атмосферы (Алеутского и Исландского) дело обстоит иначе. Они не могли сохранять свое действие в ледниковые эпохи: главные четвертичные ледниковые покрытия располагались на широте от 75° (гренландский) до 60° (лабрадорский); влияние Гольфстрима в третичном периоде было незначительным, так как не существовало перешейка, соединяющего Северную и Южную Америку, на что, как нам кажется, правильно указывает Л. Б. Рухин. И не случайно, что дифференциация климата шла с юга на север, а не наоборот. Лишь после ледниковых эпох, в голоцене, могли окончательно установиться эффективно действующие Исландский и

* Северный полюс находился в Тихом океане, недалеко от Аляски

Алеутский минимумы. С началом их окончательного становления и приближения к современным климатам и могла произойти дифференциация климатических зон на севере: тундры, лесотундры, отчасти тайга. Следовательно, климаты пустынь, степей и лесостепей сформировались намного раньше, чем тундры и лесотундры.

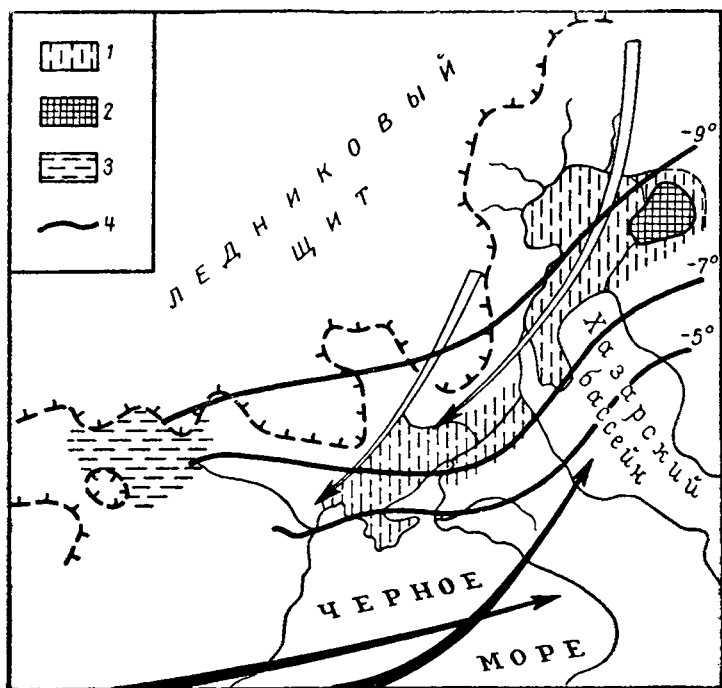


Рис. 25. Схема циркуляции атмосферы в днепровскую ледниковую эпоху (по В. П. Гричуку, с дополнениями автора).

1 — травянистая ксерофильная растительность; 2 — лесостепная растительность с *Betula*, *Larix* и полярными группировками; 3 — безлесная растительность равнин и предгорий с участием элементов аркто-альпийской флоры; 4 — изотермы; стрелками показана циркуляция воздушных масс.

На основании выше рассмотренного можно допустить, что интенсивность разных барических центров находится в связи с различной продолжительностью их действия: Азорский и Азиатский центры действуют как бы эффективнее в силу большего развития и являются, как известно, главными по достижению своей кульминации. Другие, ранее упомянутые центры, еще, может быть, не достигли своей кульминации и являются более молодыми. Разумеется, что такая постановка вопросов весьма гипотетична, но и не безынтересна. Из установленного принципиально разного характера расположения климатических зон в

миоцене и плиоцене вновь напрашивается вопрос о смещении земной оси. У нас этот вопрос возник в процессе работы, после того как были получены картосхемы палеоклиматов и нужно было искать объяснение иной, по сравнению с современной, направленности климатических зон в миоцене, а отчасти в плиоцене.

По данным астрономов и геологов, перемещение полюсов происходило наиболее быстро именно в третичный период (характерный интенсивными движениями земной коры), когда полюс переместился почти на 40° с линейной скоростью около 9 см в год.* Положение Северного полюса было $70\text{—}77^\circ$ с. ш. в миоцене, в плиоцене — $78\text{—}84^\circ$ с. ш.

Изменения палеоклиматов могут быть правильно объяснены перераспределением материков вследствие трансгрессий и регрессий, обусловивших также смещение полюсов, т. е. земной оси. В связи с этим, естественно, теория Вегенера не может быть подтверждена хотя бы потому, что в случае движения материков следы древней зональности климатов вряд ли сохранились бы до четвертичного времени.

Смещению земной оси могут сопутствовать и метеорологические факторы. Согласно Б. В. Шулейкину, общий избыток воздуха, лежащего в январе над Евразией, составляет около $5 \cdot 10^{12}$ тонн; летом эта масса возвращается к океану. Учет этого фактора позволил объяснить неравномерное смещение земной оси в последнее десятилетие.

Существенно поэтому же отметить, что центры оледенения в голоцене находились в умеренных широтах, а не у полюсов. И. Д. Лукашевич считает, что сами колебания климатов уже вызывают трансгрессии и регрессии, причем с первыми связано повышение температуры. Разумеется, сказанное здесь не дает права недооценивать ряд других факторов в формировании палеоклиматов (солнечная активность, состав атмосферы, очертания берегов, морские течения и т. д.), что особенно существенно для четвертичного периода, сравнительно «спокойного» в тектоническом отношении. Наряду с этим не представляется возможным учет скорости вращения Земли, сжатие и т. п., хотя эти факторы могли также оказывать влияние на изменения климата.

Заметим, что синхронизация климатов для ледниковых и межледниковых эпох четвертичного периода (голоцена) затруднительна, так как материалов еще недостаточно, а кроме того, здесь налицо господство ледникового климата на значительной части территории нашей страны. Даже южные области СССР

* Вопрос о смещении полюсов может трактоваться различно, о чем мы уже говорили ранее. В связи с этим мы рекомендуем читателям ознакомиться с книгой «Проблемы перемещения материков». Сборник статей. Перевод с английского. М.—Л., 1963.

в такие периоды испытывали весьма заметное влияние ледников, что нами было показано на примере Крыма (Борисов, 1955).

А. П. Криштофович отмечает, что каждое из оледенений уничтожало флору территории ледника и влияло на прилегающее пространство. Поодаль от края ледника могли простираться безлесные пространства, покрытые травами, кустарниками, видимо, без лесных формаций, хотя острова лесов могли быть и могли распространяться сразу после отступления льдов.

А. Н. Мазарович считает, что послеледниковое время по своим физико-географическим условиям принципиально ничем не отличается от межледниковых эпох.

По А. К. Веберу, после каждой ледниковой эпохи процесс развития растительности шел таким образом: вслед за арктической флорой развивались карликовая береза, ползучие ивы, водные растения, затем сосна, ель, пихта, осина, береза и уже потом широколиственные. При наступлении льдов отмирание шло в обратном порядке, на что указывают также Блитт, И. П. Герасимов, В. Н. Сукачев. Можно считать правильным также указание на то, что четвертичные оледенения сами по себе увеличивали дальнейшее похолодание климата. С климатологической точки зрения представляет интерес и тот факт, что если в третичный период колебания климата происходили в диапазоне от влажных субтропических до сухих ледниковых, то в четвертичном периоде этот диапазон несколько сократился и климаты на территории нашей страны изменялись уже от бореальных до ледниковых, а влажный субтропический климат отступил и сохранился лишь в западном Закавказье.

Интересные данные, содержащиеся в палеогеографическом исследовании М. И. Нейштадта (1957) по голоцену, свидетельствуют о существенных колебаниях климата и в последние тысячелетия. Между растительностью конца плейстоцена и начала древнего голоцена (антропогена) прослеживается прямая преемственность, а в раннем голоцене растительный покров значительно усложняется, становится более дифференцированным. В раннем голоцене климат был мягче, чем в среднем и особенно позднем, когда наблюдается похолодание (отступление северной границы лесов на юг и т. п.). Разумеется, изучение климата голоцена (последние 10 000 лет) представляет особый интерес и требует специальных исследований.

Из всего сказанного можно заключить, что, во-первых, в период от миоцена к голоцену климат СССР характеризовался общим похолоданием, отчасти усыханием, а также большими колебаниями внутри геологических эпох; во-вторых, наиболее интенсивная дифференциация климатов началась с плиоцена, когда происходило также становление современной схемы циркуляции атмосферы; в-третьих, в плиоцене получили оформление и развитие Азорский и Сибирский центры действия атмосферы, тогда как Алеутский и Исландский минимумы развивались

в четвертичный период, когда возникли также зоны тундр и лесотундр.

Выполненная реконструкция климатов показывает, что третичный период в основном характеризовался: а) постепенным смещением климатических границ от меридионального (по современной карте) до современного широтного их направления, т. е. на $40-45^\circ$, что соответствует также отсутствию резких колебаний климата в течение самого периода; б) дифференциацией климатов; в) усилением зональности (в смысле четкости границ) по сравнению с предшествующими периодами.

Четвертичный период характеризуется более или менее: а) устойчивой планетарной зональностью; б) резкими колебаниями климата (в связи с периодическими оледенениями, отличающими этот период от третичного); в) усилением дифференциации климатов.

Климат и ледниковые эпохи

Можно назвать четыре рода причин, вызывающих глубокие изменения климатов, с которыми так или иначе связаны оледенения: космические, астрономические, физические и геологические.

Космические причины заключаются не только в солнечной системе. Одни ученые предполагают, что солнечная система на своем пути пересекает более или менее нагретые части космического пространства. В частности, Шпиталер считает, что ледниковые эпохи наступают в связи с изменениями в интенсивности излучения со стороны Млечного Пути, через который проходит солнечная система. Другие ученые высказывают мнение, что Солнце представляет собой переменную звезду: в течение геологических периодов интенсивность солнечного излучения резко меняется в результате процессов, происходящих на Солнце. Вековое изменение солнечной активности хорошо согласуется с перераспределением глубоких циклонов (например, в Арктике).

Ряд исследователей видит причину изменения интенсивности солнечного излучения в том, что солнечная система проходит более или менее прозрачные части космического пространства. Они указывают, что в непосредственном соседстве с солнечной системой располагается туманность громадного протяжения; прохождение солнечной системы через такую туманность должно сильно ослабить солнечную радиацию. Если туманность состоит из нескольких частей, разделенных промежутками, то ледниковые эпохи должны сменяться межледниковыми. Сторонником такой гипотезы являлся акад. Л. С. Берг.

В связи с этой гипотезой стоит также теория английского метеоролога Симпсона о влиянии изменений количества солнечной радиации на течение оледенений. Увеличение количества

солнечного излучения имеет следствием повышение температур (большее на экваторе, чем у полюса), усиление ветров, усиление общей циркуляции, повышение облачности и количества осадков на всем земном шаре. С увеличением количества солнечной радиации в той или иной области соответственно повысится температура; от повышения температуры, а также от усиления атмосферной циркуляции усилится испарение, увеличится облачность, количество атмосферных осадков, мощность снежного покрова, рост ледников. Следовательно, повышение температуры повлечет за собой расширение ледникового покрова. Но это только начальная стадия процесса. При дальнейшем повышении температуры число дней со снегом уменьшается, начинается усиленное летнее таяние снегов и льдов, и в конце концов ледяной покров исчезает. Наступает межледниковая эпоха, для которой характерны большое количество солнечной радиации, высокая температура и большое количество осадков. Если солнечная радиация уменьшается, то опять возникает ледниковая эпоха, а когда солнечная радиация достигнет минимума, снова наступит межледниковая эпоха, но уже с холодным и сухим климатом. Итак, ледниковые эпохи бывают при повышении и понижении температуры на Земле.

Большинство авторов считает, что ледниковые эпохи отличались холодным и сравнительно влажным климатом; по Симпсону, ледниковые эпохи могут быть и при холодном и при теплом климате.

К астрономическим причинам изменения климатов относится прежде всего наклон эклиптики, изменяющейся в пределах от $21^{\circ} 58'$ до $24^{\circ} 36'$, т. е. почти на 4° за 40 000 лет. Увеличение наклона эклиптики обуславливает различный прогрев полярных и тропических широт. Если наклон эклиптики меняется в различные эпохи, то с этим связаны оледенения. При наклоне эклиптики до минимального предела температура лета может понизиться на 5° .

Подобные колебания климата могли бы произойти от изменения эксцентриситета земной орбиты и перемещения точки весеннего равноденствия, от перемещения земной оси, т. е. от причин, которые вызвали бы более или менее значительные смещения широт (Берг, 1938). Но оледенения от астрономических факторов происходили бы поочередно в северном и южном полушариях, однако имеются доказательства, что они были одновременно на всем земном шаре.

Аррениус объясняет причины колебания климатов физической теорией. Он указывает, что уменьшение содержания углекислоты в атмосфере в 2 раза вызвало бы понижение температуры в умеренных широтах на $4-5^{\circ}$. Увеличение же углекислоты в 2—3 раза повысило бы температуру приполярных областей на $8-9^{\circ}$. Таких изменений достаточно, чтобы объяснить чередование ледниковых и межледниковых эпох. Гамфрис полагает, что

колебания подобных размеров могут происходить в результате периодического замутнения атмосферы вулканической пылью.

К четвертому роду причин изменений климата относятся геологические процессы. В частности, Брукс выдвигает орографическую теорию колебания климатов: поднятия и опускания материков в высоких широтах благоприятствуют накоплению здесь льдов и понижению температуры, усилению циркуляции между полюсами и тропиками. По этой теории в тропиках возможно оледенение высоких гор. Однако данные биогеографии и геологии указывают на другое.

Для объяснения возможности развития полихронных флор и, в частности, пышного развития в геологическом прошлом флоры в Арктике А. Н. Криштофович (1957) считал удовлетворительной теорию пульсации климата, выдвинутую Бруксом, согласно которой теплая зона Земли испытывает то расширение, то сужение. Однако для объяснения материкового оледенения эта теория, как отмечает А. Н. Криштофович, оказывается недостаточной. Конечно, эпохи оледенений, в какой бы мере они ни были выражены, имели общепланетарное значение и не могли не влиять на изменение планетарного климата. Но для объяснения палеоклиматологических проблем широкого плана необходимо привлечь гипотезы более общего характера.

В этой связи заметим, что в четвертичный период полосы низкого давления вдоль 65° — 70° с. ш. и области высокого давления на 30° — 40° с. ш. могли бы оставаться почти неизменными, так как ни радиационные, ни тектонические факторы не претерпевали коренных изменений. Но этого не произошло. Указанные барические зоны периодически усиливались или ослабевали. Дело в том, что при существующей общей циркуляции атмосферы те горообразования, которые произошли в плиоцене (Скандинавия, Альпы — Кавказ — Средняя Азия), оказались благоприятными условиями, необходимыми для оледенений и наступления ледниковых эпох.* Нам представляется, что непосредственной причиной оледенений и ледниковых эпох служат изменения климата, происшедшие в связи с ранее указанными циркуляционными процессами и формированием климатических фронтов; необходимыми же предпосылками для них являются тектонические движения (горообразования, колебания земной коры):

* Напомним, что существует множество гипотез о причинах ледниковых периодов. Одни ученые утверждают, что причиной последних является повышение температуры земной поверхности или усиление меридионального переноса под влиянием повышения температуры, вызванного максимумами солнечной радиации (Симпсон); другие считают, что оледенения возникли вследствие понижения температуры при неизменном количестве осадков (Брикнер и Пенк); третьи полагают, что причина кроется в ослаблении меридионального переноса воздуха под влиянием понижения температуры земной поверхности (Предтеченский); К. К. Марков отмечает, что правы и Пенк, и Брикнер, и Симпсон, но каждая концепция имеет свое региональное ограничение и дополняет одна другую (Марков, 1961б).

Следовательно, роль последних в формировании климатов четвертичного периода состояла в том, что они являлись необходимыми предпосылками, т. е. обусловили оледенения, тогда как в третичный период такой предпосылкой послужило изменение положения полюсов, которое непосредственно влияло на радиационный режим. Теперь, когда Евразия оказалась не в тропиках, а в умеренных и высоких широтах, происшедших ранее тектонических движений стало достаточно для начала оледенений, тогда как такие же по масштабу движения в третичном периоде (если бы они и были) не могли обусловить оледенений в зоне тропических климатов Евразии.

По Симпсону, во время оледенения годовая температура экватора отличалась от современной в разных широтах так: 4—5° ... +6°; 45—70° ... —3°; 70—90° ... +3°. Следовательно, в одних широтах оледенение существовало в условиях потепления, а в других — в условиях похолодания. Симпсон отмечает также, что температуры эпох оледенения могли быть выше температуры холодного межледникового, т. е. главная причина наступления ледниковых эпох заключается не в температурах. Речь должна идти о других факторах и прежде всего о циркуляционных.

Как древнейшие, так и современные оледенения могут быть тесно связаны с зонами климатических фронтов. Например, в нижнем палеозое было оледенение в Южной Африке, согласующееся с реконструкцией климатических фронтальных зон того времени, так же как верхнепалеозойские ледниковые отложения соответствуют фронтальной деятельности в этой области. Оледенение, имевшее место на северо-востоке СССР в мезозое (мел), также произошло в зоне фронтальной деятельности при иной схеме циркуляции атмосферы. Оледенение в третичный период, установленное для соответствующих территорий южного полушария, может быть связано с фронтальной зоной, охватившей эти территории. Современные оледенения и распространения льдов происходят в зонах циклонической деятельности на главных климатических фронтах при наличии определенных ранее сложившихся тектонических условий. В местах оледенений накапливается большое количество льдов вследствие систематически усиленной фронтальной деятельности (фронтогенез). Теплые течения способствуют усилению этой деятельности.

Следовательно, недостаточно объяснить оледенения и ледниковые эпохи лишь колебаниями температуры или осадков. Речь должна идти о фронтальной деятельности атмосферы (в частности, ее зонах как метеорологической ситуации, вызывающей процессы оледенения при определенных тектонических условиях).

Нам кажется, что при современном положении полюсов и климатических фронтов, а также при сложившихся тектонических условиях постоянно возможны процессы оледе-

нений и наступление ледниковых эпох, сменяющихся межледниковыми. С наступлением ледниковых покровов последние сами по себе достигают такого развития, при котором нарушаются общая схема циркуляции атмосферы и положение климатических фронтов, что приводит к сокращению и прекращению оледенений, т. е. отступанию ледников, пока вновь не установится прежнее положение исходных условий и вновь не начнется наступление ледников, ледниковых эпох.

Не случайно, что ледники растут не у полюса и не узкой полосой вдоль течений или берегов, а на некотором расстоянии от них и могут проникать в сравнительно низкие широты, что также соответствует циклонической деятельности на климатических фронтах. Этим мы объясняем, в значительной мере, прирост ледниковых покровов на их периферии, где происходит обострение фронтальной деятельности, а не от центра, как это думали раньше (А. И. Воейков). Наконец, прямая связь между оледенениями и климатическими фронтальными зонами объясняет также возможность образования ледников одновременно у полюсов и на экваторе, что служит обычно аргументом против теории перемещения полюсов (рис. 26).

Из сказанного следует, что в четвертичный период лишь наступление ледниковых эпох могло вызвать изменения палеоклиматов через нарушение установившейся циркуляции атмосферы: очаги или центры низкого и высокого давления смещались или исчезали, а как следствие этого появлялись иные типы климатов над Евразией, накладывавшиеся друг на друга в соответствии с чередованием ледниковых и межледниковых эпох. Происходили изменения климатов.*

«Субтропическая» зона высокого давления с наступлением ледниковых эпох, естественно, расширилась за счет формирования мощных антициклонов, фронтальная зона сместилась и даже исчезла, покрываясь ледниками. Именно потому и формирование тундр и лесотундр происходило позднее, чем пустынь и степей, которые были свободны от ледников. Но степи и пустыни меняли свои границы в ледниковые и межледниковые эпохи, а тундры и лесотундры, возникшие после древнего оледенения, могли исчезнуть совсем при повторных оледенениях. Те из них, которые мы видим сейчас, являются результатом длительного формирования вслед за последним оледенением.

* Не случайно, некоторые исследователи подчеркивают совпадение явлений материкового оледенения и способности человека изготовлять орудия труда. Прогрессивное похолодание климата, происходившее на протяжении всего плейстоцена, особенно в течение верхней его части, вынудило человека бороться за свое существование: организовать себе кров и добывать пищу. Вполне понятно, что в условиях более сурового климата значительную эволюцию претерпевал мозг, совершенствовались руки. Возникновение материковых оледенений и способность человека изготовлять орудия труда в борьбе за жизнь находятся в прямой зависимости (Ананова, 1962б).

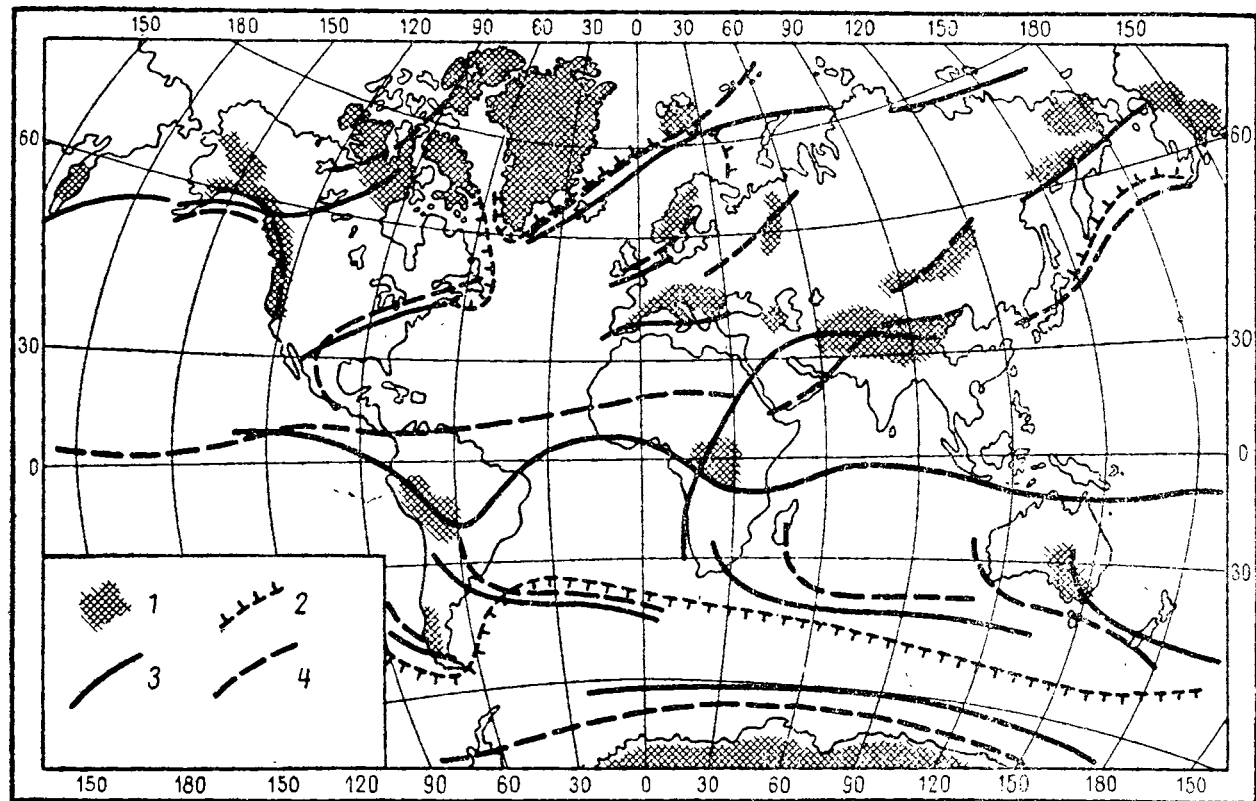


Рис. 26. Основные показатели современной эпохи.

1 — современные ледниковые покровы и зоны вечных снегов; 2 — средняя граница плавающих льдов в период их наибольшего распро-

Возникает и еще один важный вопрос: если ледниковые эпохи (оледенения) вызваны изменениями климата только при наличии определенных тектонических процессов, то каким образом и почему происходит смена ледниковых эпох межледниковыми? Ведь те и другие имели место уже при почти постоянных тектонических условиях и сложившейся в четвертичный период общей циркуляции атмосферы. Это вопрос сложный и трудный. Ему посвящено много работ и имеется немало различных точек зрения. Однако ни одна из них не отрицает решающей роли климатических факторов как причины чередования ледниковых и межледниковых эпох в четвертичный период.

Можно представить такую картину наступления и исчезновения ледниковых покровов: по мере роста ледников при сложившихся климатических циркуляционно-фронтальных и тектонических условиях происходит их движение (при этом приход больше расхода питания ледников). При достижении более или менее низких широт уменьшается питание ледника (происходящее с периферии) под воздействием более теплых условий и иной циркуляции атмосферы (приход не превышает расхода ледникового вещества), и вместе с тем сильно ослабляется интенсивность циклонической деятельности с севера (если речь идет о горной стране, то в высокогорной ее части) в полосе низкого давления (из-за установления антициклонов над ледниковым покровом). Следовательно, питание ледника сокращается как на периферии, так и в центре. В результате ледник отступает до восстановления первичных условий (наступает межледниковая эпоха). Затем начинается вновь процесс оледенения, хотя бы и при тех же циркуляционных и тектонических условиях. Следовательно, вовсе не было необходимости в совершенно новых тектонических явлениях перед каждым оледенением.

Так или иначе, в ледниковые и межледниковые эпохи непосредственно ведущей является фронтальная деятельность атмосферы. Мы вправе видеть причину четвертичных оледенений в образовании климатических фронтальных зон на гидротермических разделах подстилающей поверхности, что влекло за собой развитие оледенений. Вместе с тем это сопровождалось понижением температур и ослаблением меридионального переноса, хотя перед каждым оледенением меридиональная циркуляция и фронтотенез усиливались. Впрочем, это не значит, что мала климатообразующая роль самих ледниковых покровов. Наоборот, вследствие собственного развития они также влияли на климат, изменяя его в очагах своего господства. Можно сказать, что по сравнению с циркуляционными и планетарными факторами, климатообразующая роль ледников носит локальный характер.

В свете сказанного, нам представляется, что оледенение Антарктиды, существующее несмотря на низкие температуры, скудность атмосферных осадков, свидетельствует о современном

климате как условия, поддерживающем оледенение, но не являющимся его причиной. Возникновение и развитие оледенения происходило при более обильных осадках, а главное в других циркуляционных условиях, с наличием фронтальных зон в этой части земного шара. Не случайно, что некоторыми учеными граница Антарктиды и развитие шельфовых льдов связываются с областью конвергенции воздушных масс современной циркуляции атмосферы. Это хорошо согласуется с фронтальными зонами высоких широт южного полушария (Буйницкий, 1956, 1964).

На основании всего сказанного приходим к выводу, что:

во-первых, в четвертичное время главную роль непосредственно в формировании климатов и характера их зональности играют взаимообусловленные циркуляционные процессы и оледенения при определенных предшествующих тектонических движениях;

во-вторых, одной из причин четвертичных оледенений являются циркуляционные факторы (фронтогенез) с усилением меридионального переноса и развития фронтальной деятельности при перемене климата более теплого на умеренный (в связи с изменением характера зональности, вызванным смещением полюсов) над Евразией. Однако смена ледниковых эпох межледниковыми происходила вследствие ослабления меридионального переноса и нарушения циркуляции фронтов, приводивших к исходным условиям. Оледенения возникали при общем понижении температур и наличии определенных тектонических условий. Можно также сказать, что четвертичные эпохи оледенений — результат изменений циркуляционных условий, а с определенной стадии — влияния и самих оледенений. Следовательно, обнаруживается непосредственная связь между оледенениями и ледниковыми эпохами и климатическими фронтами (фронтогенезом);

в-третьих, чередование ледниковых и межледниковых эпох будет происходить до тех пор, пока качественно не изменится положение полюсов или же не произойдет новых горообразований которые приведут к перераспределению климатических фронтов и возникновению оледенений иного характера с новыми очагами.

Рассмотренные выше особенности палеоклиматов за третичный и четвертичный периоды показывают, что их основные черты по существу говоря, уже были такими, какие свойственны современным климатам. Разумеется, отдельные климатические факторы и явления пришли к нам из более ранних геологических периодов, на что указывалось нами при характеристике последних

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы и достижения современной науки позволяют по-новому рассматривать палеоклиматические условия различных геологических периодов, уточнить и дополнить существующие сведения о климатах и их формировании, изменениях и колебаниях, а также о связанных с ними оледенениях.

При изучении палеоклиматов большое значение имеет реконструкция климатообразующих процессов как метеорологических (радиационно-циркуляционных), так и физико-геолого-астрономических. В связи с этим нами составлена таблица показателей различных климатообразующих факторов для различных геологических периодов.

Необходимо подчеркнуть следующие палеоклиматические особенности территории СССР для отдельных эр:

1) архейская — климат территории СССР был очень жаркий, влажный, со слабыми ветрами, с однородным географическим распределением, вследствие чего не характерно формирование циклонов и антициклонов; происходило потепление планетарного масштаба, обусловленное солнечной и космической деятельностью;

2) протерозойская — первое формирование климатических фронтов на отдельных участках, появление климатических зон, связанное главным образом со смещением полюсов;

3) палеозойская — отчетливые радиационные рубежи и дифференциация климатов; оформление климатических фронтов в определенные периоды, появление сезонности; формирование аридных и гумидных климатов;

4) мезозойская — дифференциация климатов, влияние рельефа как фактора, выделение климатических зон, возрастание гумидности, возникновение муссонов;

5) кайнозойская — оформление современной схемы общей циркуляции с крупными барическими центрами, более четкое

зональность и дифференциация климатов, их колебания, связанные с оледенениями, смещение климатических границ.

Отметим наиболее типичные черты палеоклиматов и их тенденции для различных геологических периодов:

1) кембрий — общее потепление климата планетарного характера, обусловленное солнечной и космической деятельностью;

2) силур (ордовик) — макроклиматические различия по областям и зонам, обусловленные тектоническими процессами;

3) девон — зональные различия и общее увеличение континентальности, обусловленные как смещением полюсов, так и тектоническими процессами;

4) карбон — зональные изменения и различия климатов с увеличением тепло- и влагообмена, обусловленные циркуляционными процессами;

5) пермь — общее похолодание и гумидность климата, обусловленные тектоническими процессами и отчасти солнечной деятельностью планетарного порядка (ослабление солнечной активности);

6) триас — местные климатические различия, связанные с рельефом и особенностями подстилающей поверхности;

7) юра — резкие аazonальные и зональные различия климатов, связанные с трансгрессиями и регрессиями, а также орогенезом;

8) мел — климатические различия с усилением континентальности и похолоданиями в связи с местоположением полюсов и тектоническими процессами; возникновение муссонов;

9) третичный — похолодание и дифференциация климатов отдельных зон в связи с тектоническими процессами (плиоцен); окончательное оформление муссонной циркуляции;

10) четвертичный — нарушение климатической зональности и похолодания в связи с оледенениями, с последующей зональностью и дифференциацией климатов голоцена.

Следовательно, для всего геологического времени характерны изменения климатов, связанные с определенными главнейшими факторами, присущими каждому геологическому периоду.

В климатах прошлого СССР выявлен целый ряд общих и частных особенностей, с которыми связано формирование современных климатов. Наиболее существенными чертами современных климатов, пришедшими из разных геологических периодов, являются: радиационные рубежи и барические центры, возникшие в силуре и оформившиеся окончательно в третичном периоде; континентальность и аридность климата, начавшаяся с силура; активный меридиональный влаготеплообмен (с карбона); развитая местная циркуляция (с триаса); формирование местных климатов (триас — пермь); систематические изменения климатов внутри геологических периодов (после плиоцена).

Первичная зональность климатов появилась в протерозое, а дифференциация их (в современном понимании) — в триасе;

наиболее сильными были изменения климатов и их границ на территории СССР при переходе от силура к девону, в карбоне, меле и плиоцене.

Аридный климат начал формироваться с развитием антициклональной циркуляции в силуре, гумидный климат появился в терми. Окончательное развитие эти климаты получили в конце гретичного периода, после чего наблюдаются и в голоцене (Средняя Азия, степная зона, Дальний Восток).

Появление Азорского и Азиатского барических центров относится к юрскому периоду, когда Северный полюс находился на широте около 70° , оформились океаны и возник аналог современной схемы циркуляции атмосферы Земли. Первое формирование муссонов относится к меловому периоду.

Расцвет флоры в каменноугольный период объясняется увеличением радиационного баланса и особенно развитием меридиональной циркуляции с активным обменом воздушных масс тропического и умеренного, а также арктического происхождения.

Необходимо внести уточнение в пути перемещения Северного полюса на основе реконструкции палеоклиматов. Следует учитывать, что опускания суши соответствуют быстрому движению полюсов (юра, палеозой), а поднятия суши — медленному их перемещению (четвертичный период). Нами дается траектория смещения Северного полюса за геологическое время с учетом реконструкции палеоклиматов.

Современный климат, сформировавшийся в результате длительной истории развития Земли, характеризуется ритмическими колебаниями, выражающимися в кратковременных потеплениях и похолоданиях, усыханиях и увлажнениях, однако в пределах одних и тех же ранее установившихся типов климата. Таких потеплений и похолоданий за последние 5000 лет насчитывалось по 6—8.

Будущие климаты СССР связаны как с естественными условиями (положение полюсов, тектонические процессы, астрономические явления и состояние атмосферы), так и с деятельностью человека. Последняя может оказать большое влияние на преобразование климата прежде всего Арктики, Западной Сибири, Средней Азии, Каспия, Полесья, Дальнего Востока.

ЛИТЕРАТУРА

Ананова Е. Н. 1959. Флора и растительность района нижнего течения р. Камы в среднем плиоцене (по данным палинологического характера). Изв. ВГО, т. 91, вып. 3.

Ананова Е. Н. 1962а. О флоре и растительности Русской равнины в плиоцене (по палинологическим данным). Доклады советских палинологов. Л., Изд. АН СССР.

Ананова Е. Н. 1962б. О границе между четвертичным (антропоновым) и неогеновым периодами. Труды комиссии по изучению четвертичного периода, т. XX. Л., Изд. АН СССР.

Архангельский А. Д. 1941. Геологическое строение и геологическая история СССР. М., Изд. АН СССР.

- Атласы спорово-пыльцевых комплексов различных районов СССР. Под общ. ред. И. М. Покровской. 1956. М., Госгеолтехиздат.
- Берг Л. С. 1938. Основы климатологии. М., Учпедгиз.
- Берг Л. С. 1947. Климат и жизнь. М., ОГИЗ.
- Борисов А. А. 1950. Косвенный способ вычисления эффективного излучения. Изв. ВГО, т. 82, вып. 5.
- Борисов А. А. 1955. Климаты Крыма в различные геологические эпохи. Вестник ЛГУ, № 4.
- Борисов А. А. 1959а. К истории изучения СССР в климатическом отношении. Уч. зап. ЛГУ, № 269, сер. геогр. наук, вып. 13.
- Борисов А. А. 1959б. О палеоклиматических условиях формирования главных барических центров современного климата Земли. Изв. ВГО, т. 91.
- Борисов А. А. 1962. О климатообразующих факторах третичного и четвертичного периодов. Труды Всесоюзного метеорологического совещания, т. IV. Л., Гидрометеоздат.
- Буйницкий В. Х. 1956. Антарктическая конвергенция как физико-географическая граница Антарктики. Вестник ЛГУ, № 24.
- Буйницкий В. Х. 1964. Движение и баланс массы шельфовых льдов Антарктики. Вестник ЛГУ, № 6.
- Воейков А. И. 1952. Избр. соч., т. III. М., Изд. АН СССР.
- Герасимов И. П. и К. К. Марков. 1939а. Ледниковый период на территории СССР. М.—Л., Изд. АН СССР.
- Герасимов И. П., К. К. Марков. 1939б. Ледниковый период на территории СССР. Труды Ин-та географии АН СССР, т. 33.
- Григорьев А. А. 1942. Циркуляция атмосферы в период максимального оледенения как база для реконструкции климата ледниковой эпохи. Проблемы физической географии, т. XI. М., Изд. АН СССР.
- Гричук В. П. 1951. Материалы к палеоботанической характеристике четвертичных и плиоценовых отложений северо-западной части Прикаспийской низменности. М.—Л., Изд. АН СССР.
- Гричук В. П. 1956. Исторические этапы эволюции растительного покрова юго-востока Европейской части СССР в четвертичное время. Труды Ин-та географии, т. 50.
- Голенкин М. И. 1947. Курс высших растений. Л., Бюметгиз.
- Горецкий Г. И. 1947. Об одном способе палеогеографических реконструкций некоторых элементов пойменного ландшафта. Вопросы географии, сб. 3. Изд. АН СССР.
- Гумбольдт А. 1963. Космос, ч. I—V. М., Изд. АН СССР.
- Дзержевский Б. Л. 1962. Современное состояние вопроса о колебаниях климата. Изв. АН СССР, сер. географ., № 5.
- Дорофеев П. И. 1964. Развитие третичной флоры СССР по данным палеокартологических исследований. Л., Изд. АН СССР.
- Дроздов О. А., Т. В. Покровская. 1962. Анализ статистических, гео-климатических связей. Труды Всесоюзного метеорологического совещания, т. IV.
- Ермолаев М. М. 1959. О возможности применения некоторых методов современной физики к изучению географической оболочки Земли. Изв. ВГО, т. 91, вып. 3.
- Зубков А. И. 1959. Некоторые результаты определения абсолютного возраста радиоуглеродным методом. Сб. по палеогеографии и стратиграфии четвертичных отложений. Изд. ЛГУ.
- Иванов М. И. 1959. Историческая геология. М., Учпедгиз.
- Калесник С. В. 1955. Основы общего землеведения. Л., Учпедгиз.
- Карпинский А. П. 1887. Очерк физико-географических условий Европейской России в минувшие геологические периоды. СПб.
- Каттерфельд Г. Н. 1962. Лик Земли. М., Географгиз.
- Клейменова Г. И. 1959. О применении метода C^{14} в четвертичной геологии Швеции. Сб. по палеогеографии и стратиграфии четвертичных отложений. Изд. ЛГУ.

- Кондратьев К. Я. 1954. Лучистая энергия Солнца. Гидрометеоиздат.
- Корчагина М. В. 1959. О победе цветковых с позиции гелиогеофизики. Изд. ЛГУ.
- Криштофович А. Н. 1916. Некоторые представители китайской флоры в сарматских отложениях на р. Крынке (область Войска Донского). Изв. РГО., Спб.
- Криштофович А. Н. 1957. Вопросы географии Азии, т. 2. М., Изд. АН СССР.
- Кузнецов С. С. 1962. Историческая геология. М., Учпедгиз.
- Курс климатологии. Под ред. Е. С. Рубинштейн, ч. I и II. 1952. Л., Гидрометеоиздат.
- Леонов Г. И. 1956. Историческая геология. Изд. МГУ.
- Ломоносов М. В. 1949. О слоях земных. Л., Госгеолиздат.
- Ломоносов М. В. 1952. Полное собрание соч. М., Изд. АН СССР.
- Лукашевич И. Д. 1911. Неорганическая жизнь Земли, ч. III.
- Марков К. К. 1951. О задачах исторической климатологии (палеоклиматологии). Изв. АН СССР, сер. географ., № 4.
- Марков К. К. 1956. Происхождение современных географических ландшафтов. Вопросы географии.
- Марков К. К. 1960. Палеогеография. Изд. МГУ.
- Марков К. К. 1961a. Палеогеография. Изд. МГУ.
- Марков К. К. 1961b. О причинах ледникового периода. Изв. ВГО, № 2.
- Миланкович М. 1939. Материалистическая климатология и астрономическая теория колебаний климата. М.—Л., Изд. АН СССР.
- Найдлин Д. П. 1954. Некоторые особенности распределения в пределах Европы верхнемеловых белемнитов. Бюлл. МОИП, отд. геол., т. 29, вып. 3.
- Нейштадт М. И. 1957. История лесов и палеогеография СССР в голоцене. М., Изд. АН СССР.
- Огильви А. А. 1962. Геофизические методы исследований. Изд. МГУ.
- Панов Д. Г. 1963. Морфология мирового океана. М., Изд. АН СССР.
- Проблемы перемещения материков. 1963. Сб. статей. Перевод с английского. М.—Л., ИЛ.
- Рухин Л. Б. 1955. Климаты прошлого. Изв. ВГО, т. 87, вып. 2.
- Рухин Л. Б. 1959. Основы палеогеографии. Изд. ЛГУ.
- Синицын В. М. 1962. Палеогеография Азии. М., Изд. АН СССР.
- Старик И. Е. 1961. Ядерная геохронология. Л., Гостехиздат.
- Страхов Н. М. 1960. Типы климатов прогерозоя. Изв. АН СССР, № 3.
- Физическая география СССР. 1962. Под ред. А. Д. Архангельского. М., Учпедгиз.
- Шварцбах М. 1955. Климаты прошлого. М., ИЛ.
- Шварцбах М. 1959. Климаты прошлого. М., ИЛ.
- Шейнман Ю. М. 1957. О вулканизме платформ. Геологический сборник Львовского геол. об-ва, № 5.
- Щепли Н. 1958. Изменение климата. Сб. статей. М., ИЛ.
- Щербаков Д. И. 1952. Значение определения возраста интрузий для практической геологии. Труды Первой сессии комиссии по определению абсолютного возраста геологических пород. М., Изд. АН СССР.
- Эйгенсон М. С. 1957. Очерки физико-географических проявлений солнечной активности. Изд. Львовского гос. ун-та.
- Holmes A. 1947. Trans. Geol. soc. Glasgow, 21, 117, 145.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Введение	3
Глава 1. Методы и данные для исследования палеоклиматов	9
Глава 2. Древние климаты и их характеристика	25
Глава 3. Формирование современных климатов СССР	82
Заключение	107
Литература	109

Борисов Анатолий Александрович

Палеоклиматы территории СССР

Редактор *И. П. Дубровская*

Техн. редактор *Е. Г. Учаева*

Корректор *Ю. П. Андрейков*

Сдано в набор 25 VI 1965 г. М 29965. Подписано к печати 26 XI 1965 г.

Уч.-изд. л. 7,6. Печ. л. 7. Бум. л. 3,5. Формат бум. 60×90¹/₁₆.

Тираж 970 экз. Заказ 675.

Тематический план 1965 г. № 49 Цена 53 к.

Типография ЛОЛГУ. Ленинград, В-164, Университетская наб., 7/9.