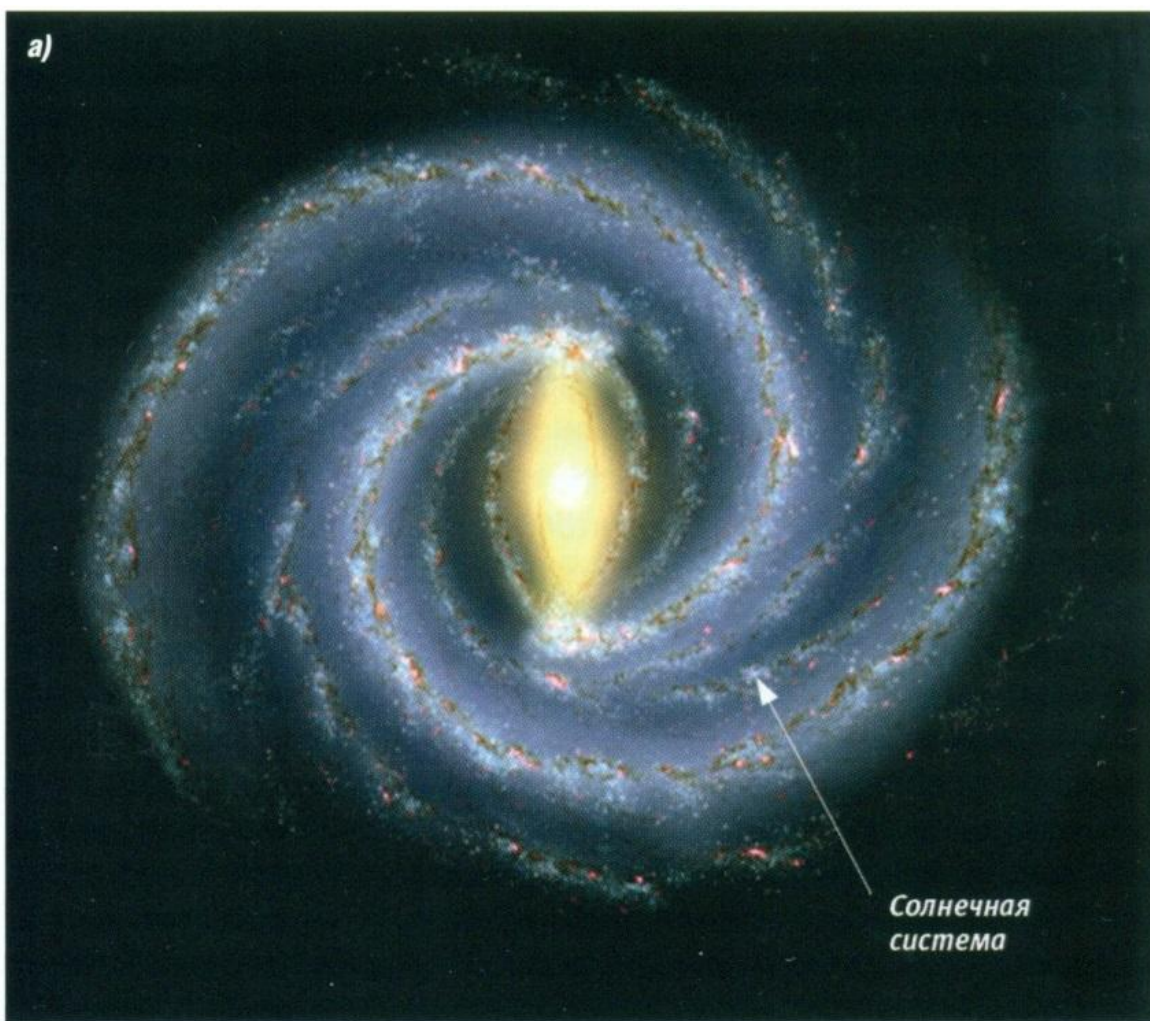


*Н.П. Лаверов*

A hand is shown from the bottom, holding a glowing blue globe of the Earth. The globe is illuminated from behind, creating a bright blue halo effect. The background is a dark blue gradient. The text is overlaid on the bottom of the image.

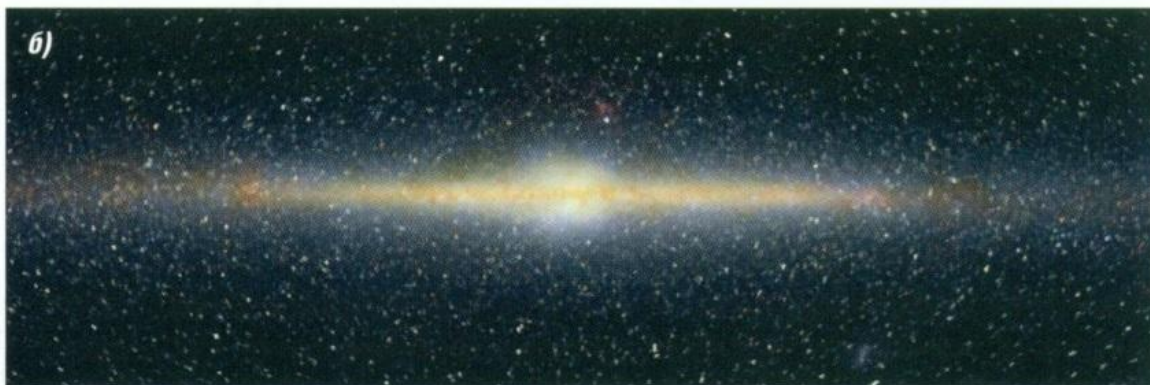
**ВАЖНЕЙШИЕ ВЕХИ В ИСТОРИИ  
ЗЕМЛИ**



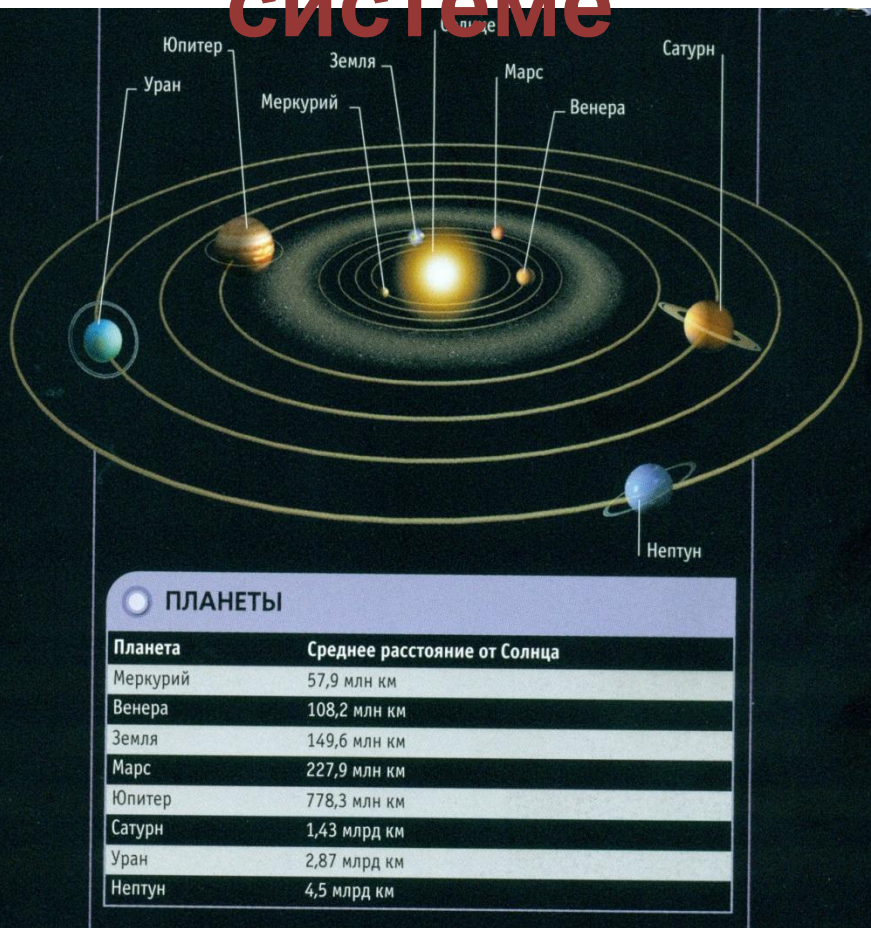
Расположение Солнечной системы в нашей Галактике Млечный Путь

а) вид сверху; б) вид сбоку

Изображение получено на основе трехмерной компьютерной модели, построенной на основе наблюдений, проведенных космическими инфракрасными телескопами «Спитцер» и СОВЕ



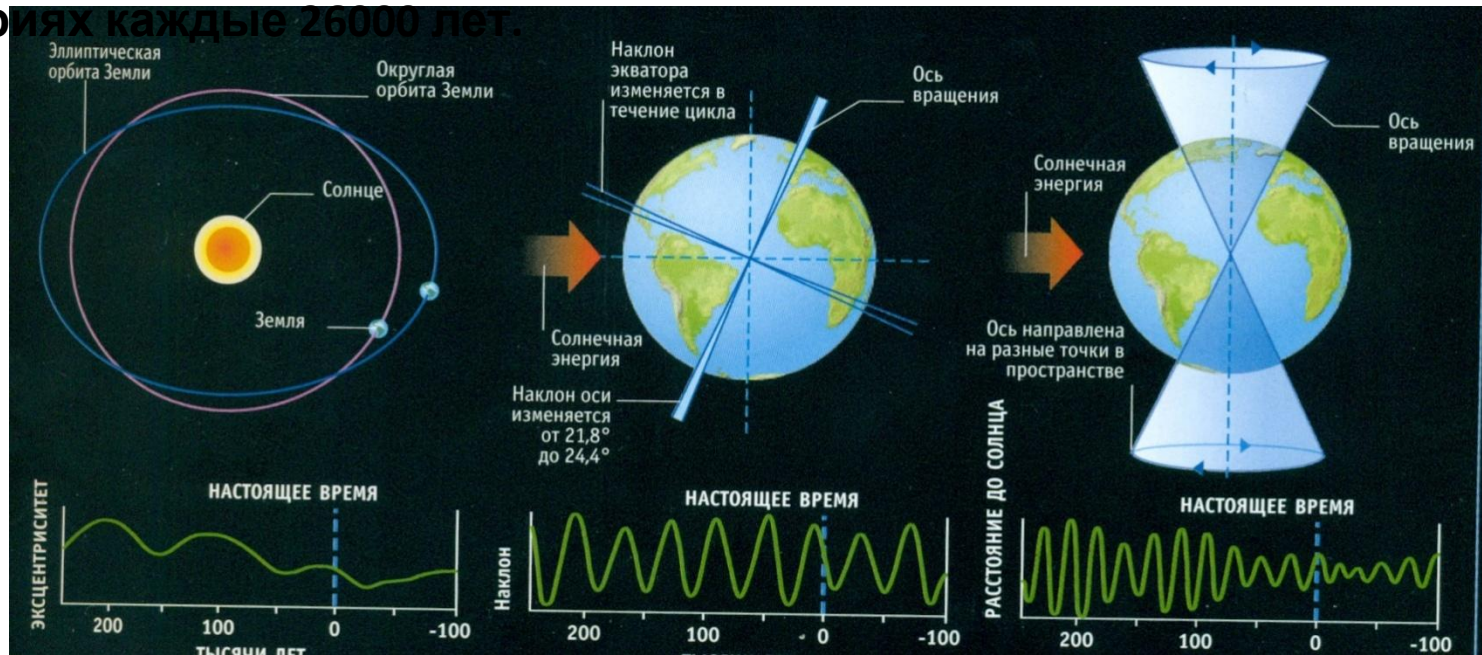
# Земля в Солнечной системе



Размеры Земли, ее орбита и положение в Солнечной системе оптимальны для возникновения и эволюции жизни. Только Земля, третья планета от Солнца, располагается в обитаемой зоне, где есть благоприятные условия для жизни. Расстояние от Земли до Солнца, а также масса планеты, притяжение, геологическая активность позволили выработать и сохранить богатую кислородом атмосферу и изобилующую водой поверхность. По сравнению с Землей маленькая безжизненная Луна быстро остыла, имеет тонкую атмосферу, а вода на поверхности отсутствует. Вращение Земли вокруг Солнца и вокруг собственной оси сглаживают разность температур на освещенной и теневой сторонах,<sup>3</sup>

# Орбитальные циклы

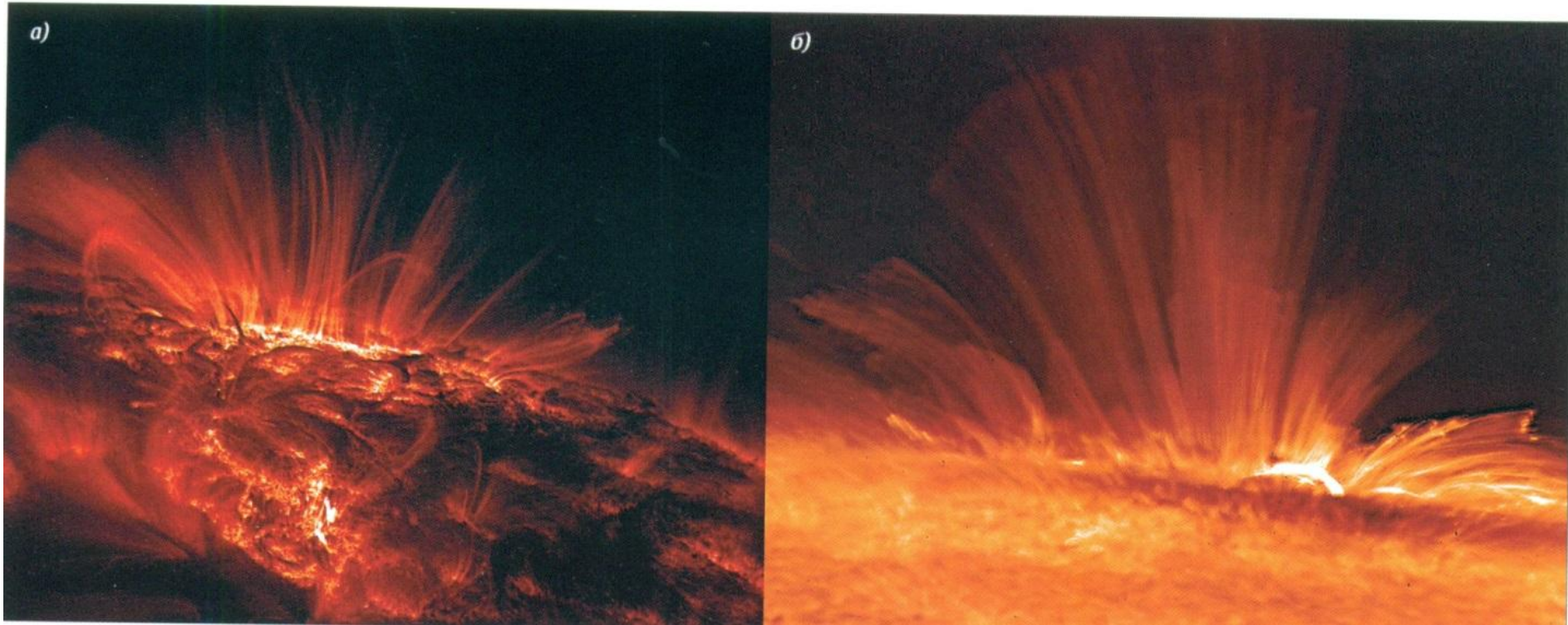
На протяжении больших периодов времени количество солнечного излучения, достигающее поверхности Земли и влияющее на ее климат изменяется. Форма земной орбиты изменяется от округлой до эллиптической с циклом продолжительностью 90000-120000 лет и около 413000 лет. Ось вращения перемещается между 21,80 и 24,40 каждые 41000 лет. При максимальном наклоне оси лето делается теплее, а зимы становятся холоднее. Ось вращения также колеблется под влиянием притяжения Солнца и Луны, а также Юпитера и Сатурна. Это вызывает изменение интенсивности солнечного излучения и длительности времен года в Северном и Южном полушариях каждые 26000 лет.



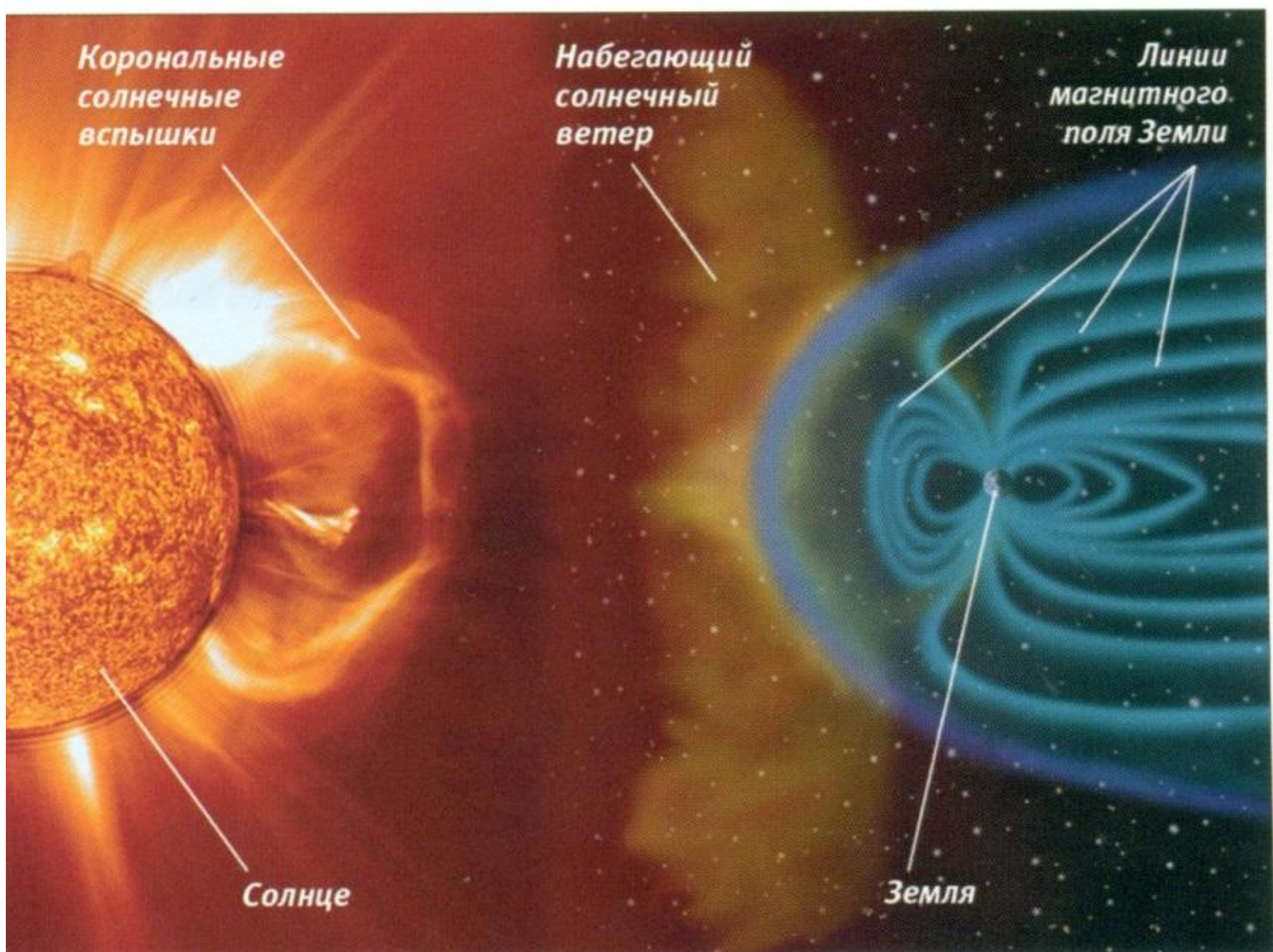
Эксцентриситет  
орбиты

Наклон

Прецессия



Извержения светящегося газа из солнечных пятен, полученные с помощью космических обсерваторий а) TRACE и б) Hinode



Пример воздействия солнечного ветра на конфигурацию магнитосферы Земли (относительные масштабы объектов не соблюдены)

# Методы определения возраста объектов исследований

## Методы определения возраста

Поначалу определение возраста горной породы основывалось на анализе распространённых окаменелостей. Виды в прошлом, как и поныне, эволюционировали, поэтому и типы окаменелостей изменяются от слоя к слою. Геохронологический возраст Земли и отдельных формаций пытались определить различными способами, но ни один из них не мог считаться точным, пока в конце XIX в. не было открыто явление радиоактивности. Тот факт, что радиоактивные элементы распадаются и имеют изотопы (см. ниже), позволил учёным установить возраст некоторых минералов магматических пород, что сделало возможным выявить последовательность геологических событий на Земле.

### РАДИОМЕТРИЧЕСКОЕ ДАТИРОВАНИЕ ПОРОД

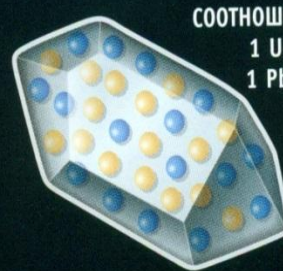
Радиоактивные элементы, например уран, постепенно распадаются, превращаясь в другие элементы или изотопы. Этот распад происходит с определённой, постоянной для каждого изотопа скоростью, не зависящей от температуры, давления и иных внешних факторов. Измерение относительного количества изотопов может показать время, прошедшее с момента образования формации.

**КЛЮЧ** ● Атом урана-235 (U-235)  
● Атом свинца-207 (Pb-207)



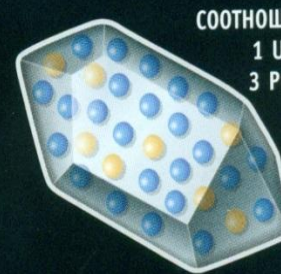
### В МОМЕНТ ОБРАЗОВАНИЯ

Минерал кристаллизуется из расплавленной породы и содержит радиоактивный уран-235, который будет распадаться с образованием изотопа свинца-207.



### 700 МЛН ЛЕТ СПУСТЯ

Половина (50%) атомов урана превратились в атомы свинца-207. Таким образом, период полураспада урана-235 составляет 700 млн лет.



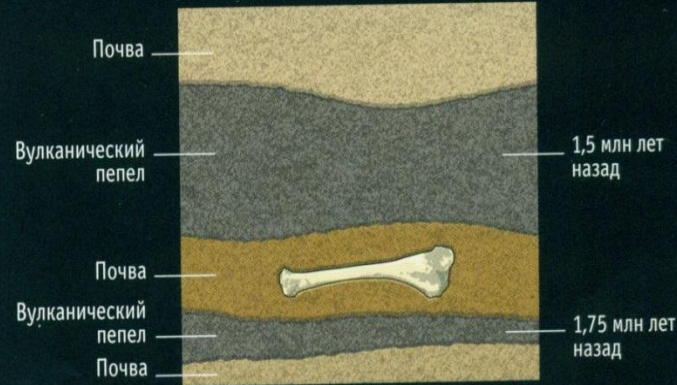
### 1400 МЛН ЛЕТ СПУСТЯ

К этому времени 50% от оставшихся атомов урана-235 распались с образованием свинца-207. Соотношение атомов урана и свинца составляет 1:3.



### 2100 МЛН ЛЕТ СПУСТЯ

Геолог измеряет соотношение изотопов в породе (1:7) и датирует породу временем, равным 3 периодам полураспада (2100 млн лет).



### ДАТИРОВАНИЕ ОКАМЕНЕЛОСТЕЙ

Радиометрическое датирование окаменелостей проводят путем определения возраста подстилающих и перекрывающих их магматических пород, например лавы и вулканического пепла. Датировка слоёв пепла выше и ниже окаменелостей даёт максимальный и минимальный возраст.

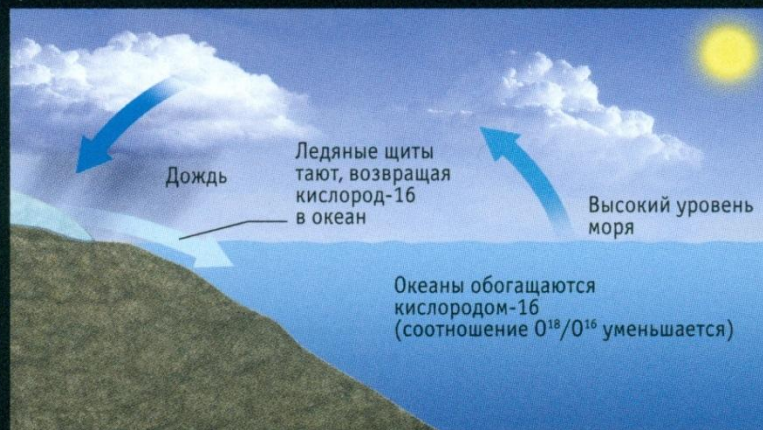
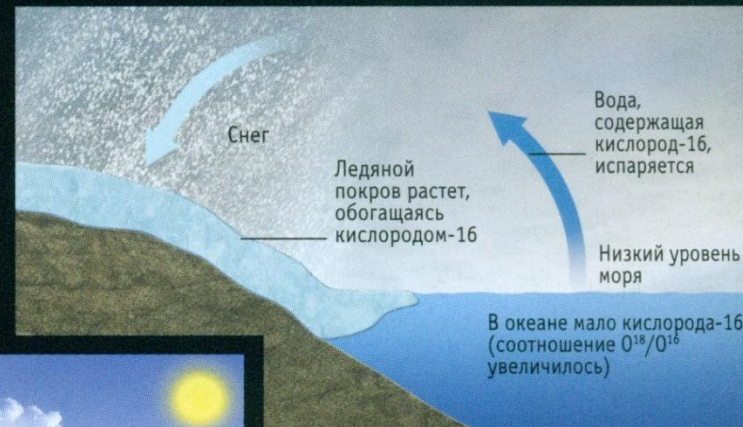
## Изотопы кислорода

Изотоп — это разновидность химического элемента, атомное ядро которого включает то же число протонов, но отличается числом нейтронов. В воде встречаются два изотопа кислорода: O-16 и O-18. Кислород-16 более лёгкий, и вода с таким атомом испаряется быстрее. В течение ледникового периода водяной пар, обогащённый O-16, осаждался в виде льда и снега, истощая количество этого изотопа в океане и обогащая его O-18 (см. ниже). При этом некоторые морские организмы откладывали карбонатные скелеты, извлекая кислород из морской воды. Содержание кислорода в этих скелетах и раковинах отражает соотношение лёгкого и тяжёлого изотопов в воде, а значит, и температуру в это время. Измерение этого соотношения в ископаемых раковинах фораминифер позволяет учёным подсчитать изотопный состав кислорода морской воды и восстановить климат того времени.



### Ископаемые фораминиферы

Разделённые на камеры раковины состоят из карбоната кальция, который выделяется одноклеточными микроорганизмами — фораминиферами. Они широко распространены в океанах и поныне.



### ЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД

Преимущественное испарение лёгкого изотопа кислорода-16 в атмосферу в виде водяного пара и его консервация в виде снега и льда привели к увеличению доли кислорода-18 в морской воде во время оледенения.

### МЕЖЛЕДНИКОВЫЙ ПЕРИОД

В период межледниковья таяние ледников возвращает большой объём воды, богатой кислородом-16, в океан, при этом изменяется соотношение изотопов кислорода в морской воде.



## Первые материи

В настоящее время материи составляют треть поверхности Земли. Они включают древнейшие породы на планете возрастом свыше 3,8 млрд лет. Кроме того, при изучении этих пород был обнаружен ещё более древний минерал циркон, образованный 4 млрд лет назад. Геохимическое исследование циркона и мелких фрагментов, заключённых внутри него, показало, что их формирование происходило в расплаве, богатом водой и кремнезёмом, при относительно низких давлении и температуре, на конвергентных границах плит, таких как вулканические островные дуги. Это наводит на мысль, что такие перемещения плит и субдукция, а также жидкая вода и континентальная кора существовали раньше 4 млрд лет назад. Субдукция первичной коры привела к избирательному плавлению с возрастающей температурой на глубине. Преимущественное плавление силикатных минералов, сформировало магму, которая, поднявшись в кору и затвердев, образовала гранитные тела близ её поверхности. Исходные островные дуги, микроконтиненты и их гранитные тела росли, сливаясь в материи.

### РАЗВИТИЕ КОНТИНЕНТАЛЬНОЙ КОРЫ

Вероятно, первые массивы континентальной коры начали образовываться сразу же после формирования первичной океанической коры и начала конвекции в мантии.

Континентальная кора образуется в процессе дифференциации мантии, то есть плавления пород и последующего их затвердевания.

Погружение мантии не замедляет дифференциацию коры, в таких местах развивается настоящая континентальная кора

Осадочные породы накапливаются на поверхности древнего континента

Первичная океаническая кора

В процессе вулканической активности восходящие потоки доставляют к поверхности Земли магматические породы

Над погружающимся мантийным потоком кора сжимается и утолщается

Первичная континентальная кора

Нисходящее течение мантии

Восходящее течение мантии

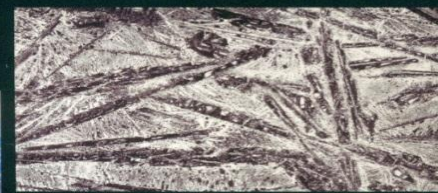
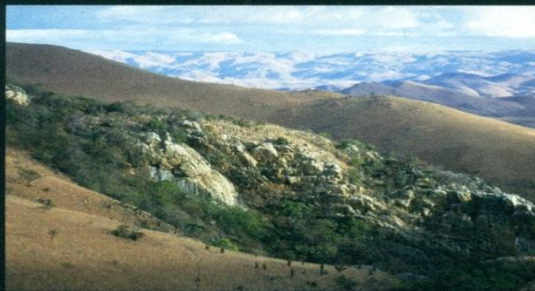
Зеленокаменные и базальтовые пояса

Плавление вызывает некоторое изменение состава остальной массы коры, ведущее к формированию пород, называемых зеленокаменными

Базальты непрерывно вытекают из магмы, задерживая дифференциацию коры

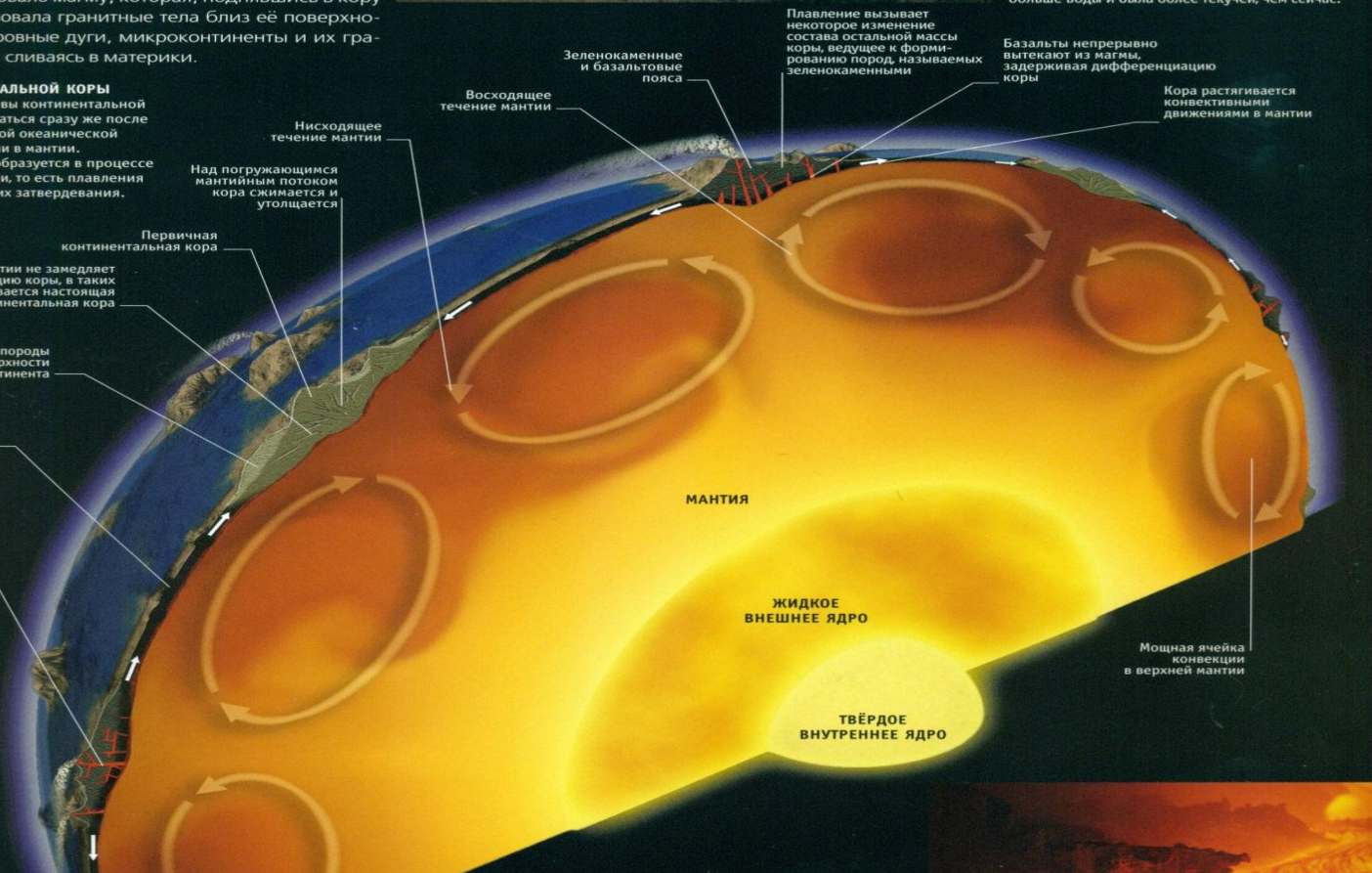
Кора растягивается конвективными движениями в мантии

Мощная ячейка конвекции в верхней мантии



### ЗЕЛЕНОКАМЕННЫЙ ПОЯС БАРБЕРТОН

Подушечные лавы и отложения Южно-Африканского зеленокаменного пояса Барбертон (слева), имеющие возраст 3,5 млрд лет, сохранили остатки пород вулканической островной дуги. Эти богатые магнием породы, называемые коматитами, доказывают наличие жидкой воды в это время. Лава излилась на дно древнего океана и охладилась с образованием иглоподобных кристаллов (вверху). Излияние такой лавы доказывает, что мантия в то время была горячее, содержала больше воды и была более текучей, чем сейчас.



### ЛАВА

Вулканическая активность формировала Землю с момента её происхождения. Лавой называется магма (расплавленные породы верхней мантии), которая поднимается, проходит сквозь земную кору и изливается на её поверхность. Кроме того, этот термин используется для твёрдых пород, образующихся при остывании лавового потока.



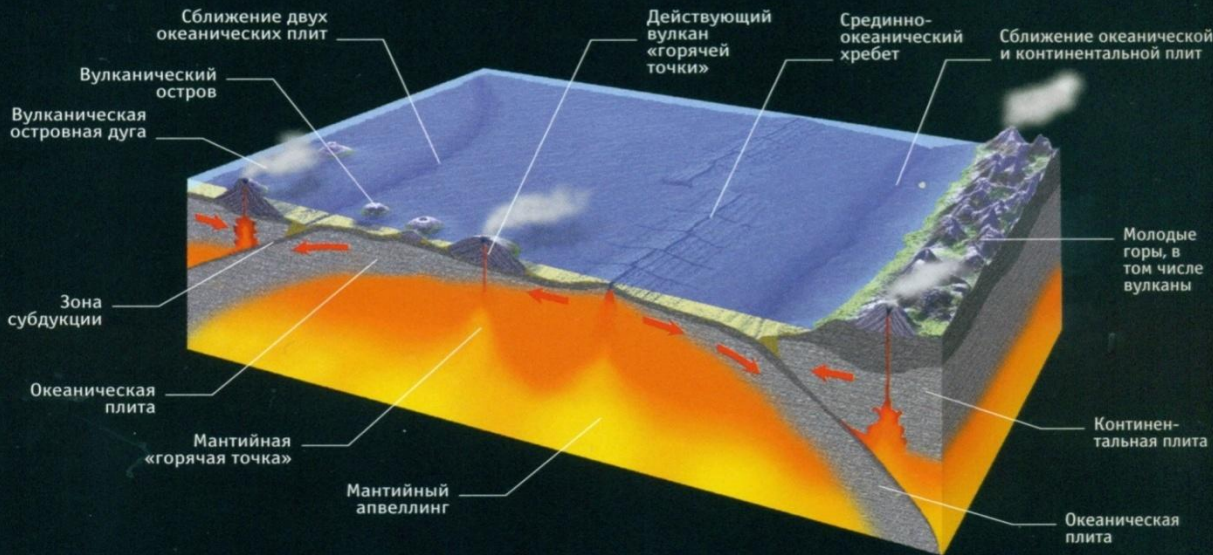
## Вулканы и землетрясения

Вулканы и землетрясения — яркое проявление внутренних динамических процессов Земли. Вулканическая и сейсмическая активность приурочены к границам плит и тесно связаны с их взаимодействиями. Расходящиеся плиты растягиваются и ломаются, вызывая поверхностные землетрясения и извержения вулканов, большинство из которых изливаются на дне океана. Изливающаяся при этом магма является преимущественно базальтовой. Сближающиеся плиты вызывают землетрясения на глубине до 700 км. Магма проходит сквозь кору, поглощая каменный материал и изменяя свой состав, что приводит к взрывному извержению вулканов, часто формирующих вулканические острова.



### ПОДВОДНЫЕ ВУЛКАНЫ

Вулканы могут образовываться в океане и далеко от границ плиты, на так называемых «горячих точках» в мантии. Таков вулкан Килауэа.



### ВУЛКАНЫ И ПЛИТЫ

подавляющее большинство активных вулканов Земли располагается вдоль границ литосферных плит, в основном в зонах спрединга океанического дна. Вулканы зон субдукции менее многочисленны, но более заметные. Кроме того, небольшое число извержений происходит над «горячими точками» в середине плит, где плюмы расплавленных пород поднимаются из глубин мантии.

### РАЗЛОМ САН-АНДРЕАС

Движение Тихоокеанской и Североамериканской плит имеет зримое выражение в виде разлома Сан-Андреас длиной 1300 км. Плиты вдоль разлома смещаются на 35 мм в год. В 1906 г. их движение вызвало катастрофическое землетрясение в Сан-Франциско.

Вулканы и землетрясения — яркое проявление внутренних динамических процессов Земли. Вулканическая и сейсмическая активность приурочены к границам плит и тесно связаны с их взаимодействиями. Расходящиеся плиты растягиваются и ломаются, вызывая поверхностные землетрясения и извержения вулканов, большинство из которых изливаются на дне океана. Изливающаяся при этом магма является преимущественно базальтовой. Сближающиеся плиты вызывают землетрясения на глубине до 700 км. Магма проходит сквозь кору, поглощая каменный материал и изменяя свой состав, что приводит к

# Тектонические реконструкции позднего протерозоя

750 Ma



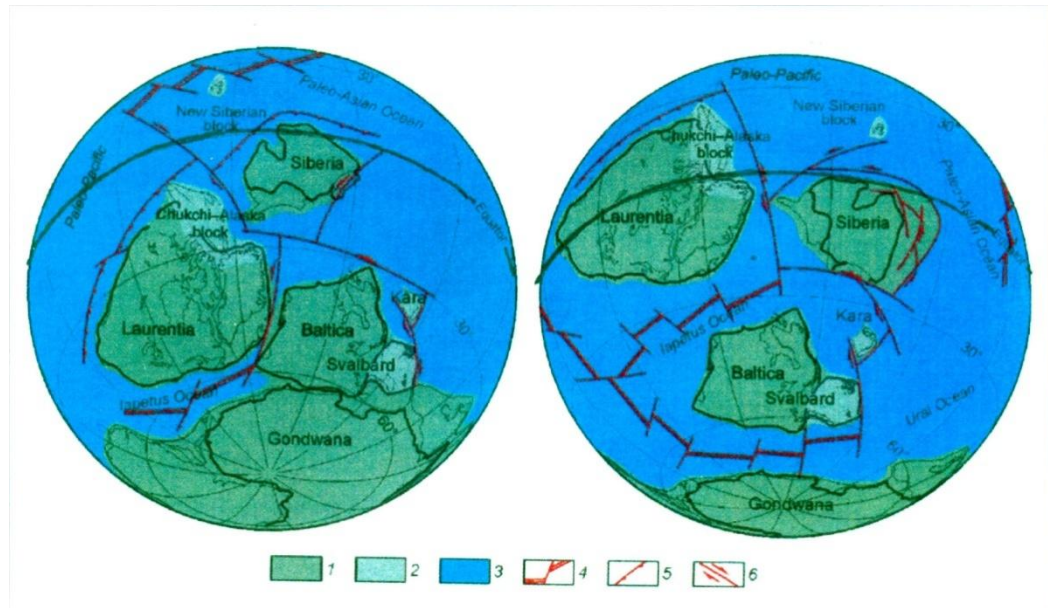
650 Ma



# Тектонические реконструкции палеозоя

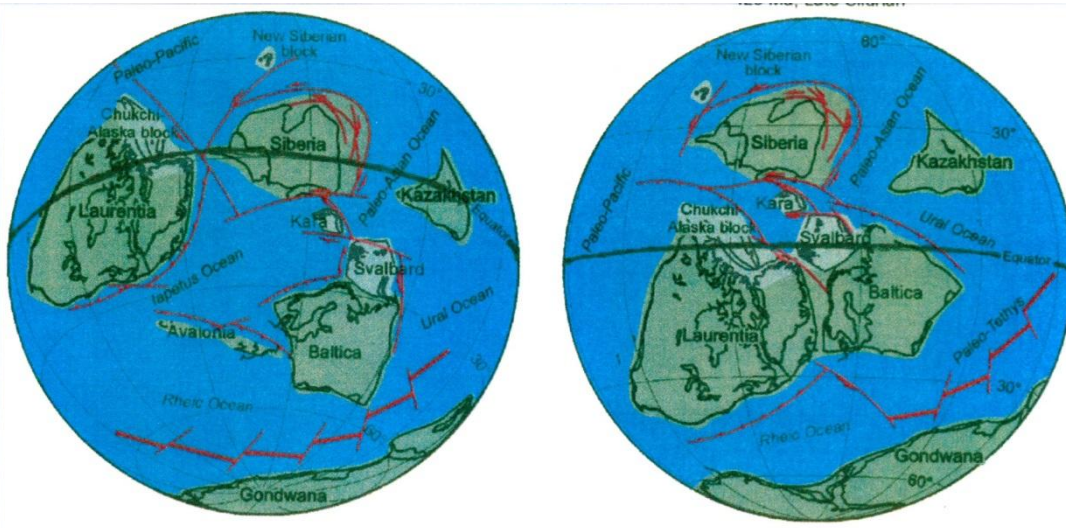
540 Ма, ранний кембрий

500 Ма, поздний кембрий

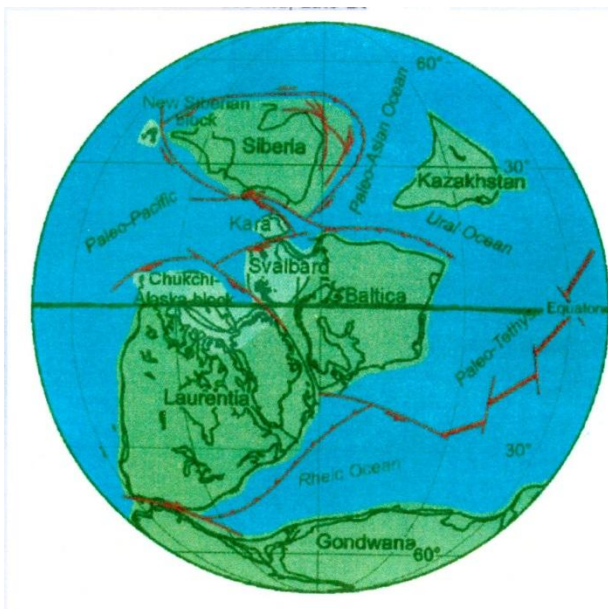


450 Ма, поздний ордовик

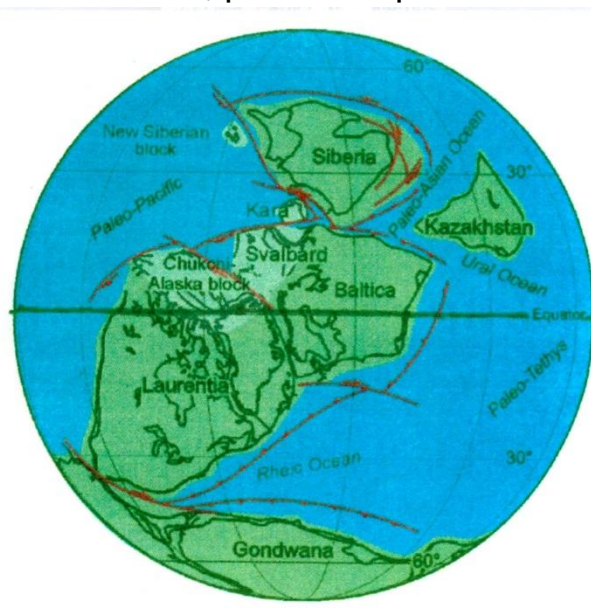
420 Ма, ранний девон



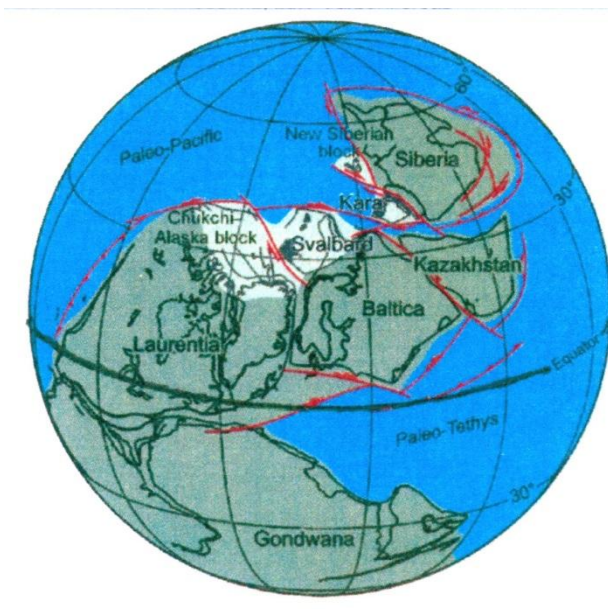
380 Ma, поздний девон



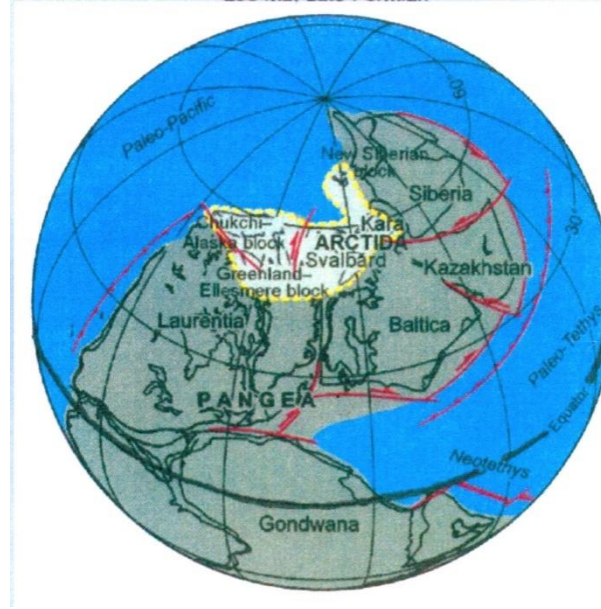
360 Ma, ранний карбон



305 Ma, поздний карбон

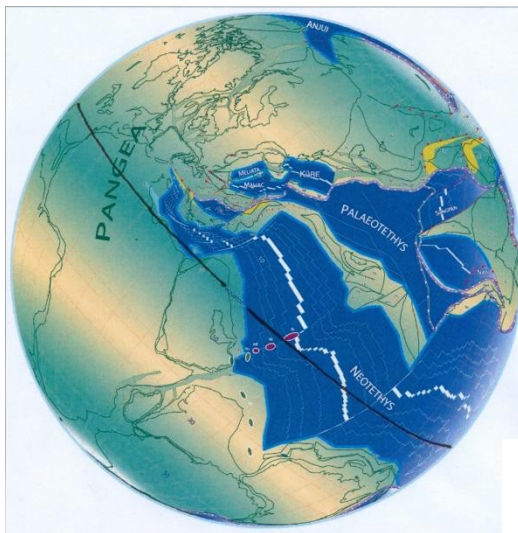


250 Ma, поздняя пермь

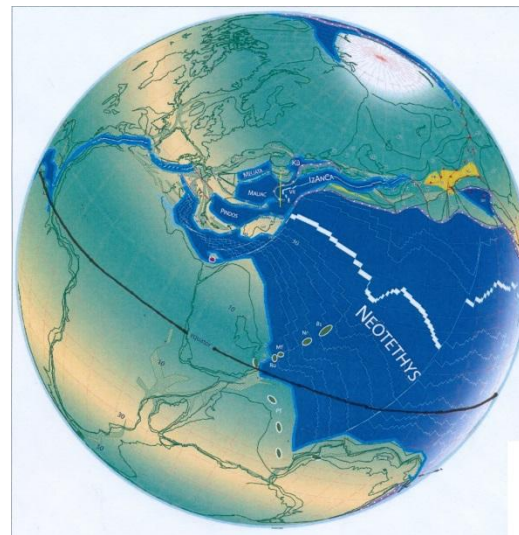


# Тектонические реконструкции мезозоя

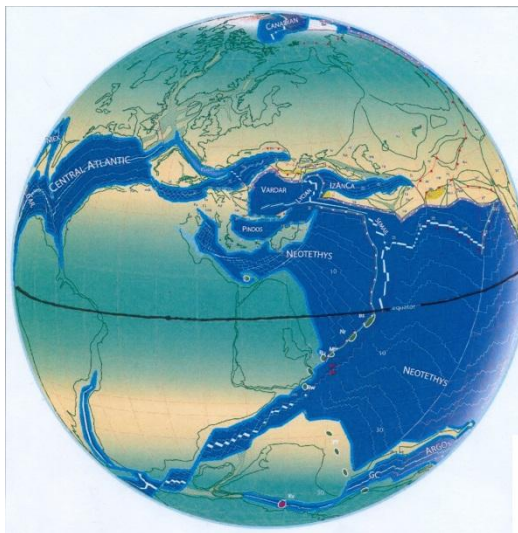
230 Ма, триас



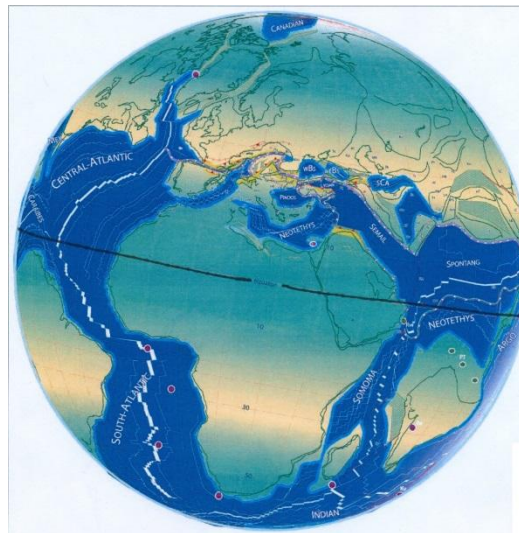
180 Ма, юра



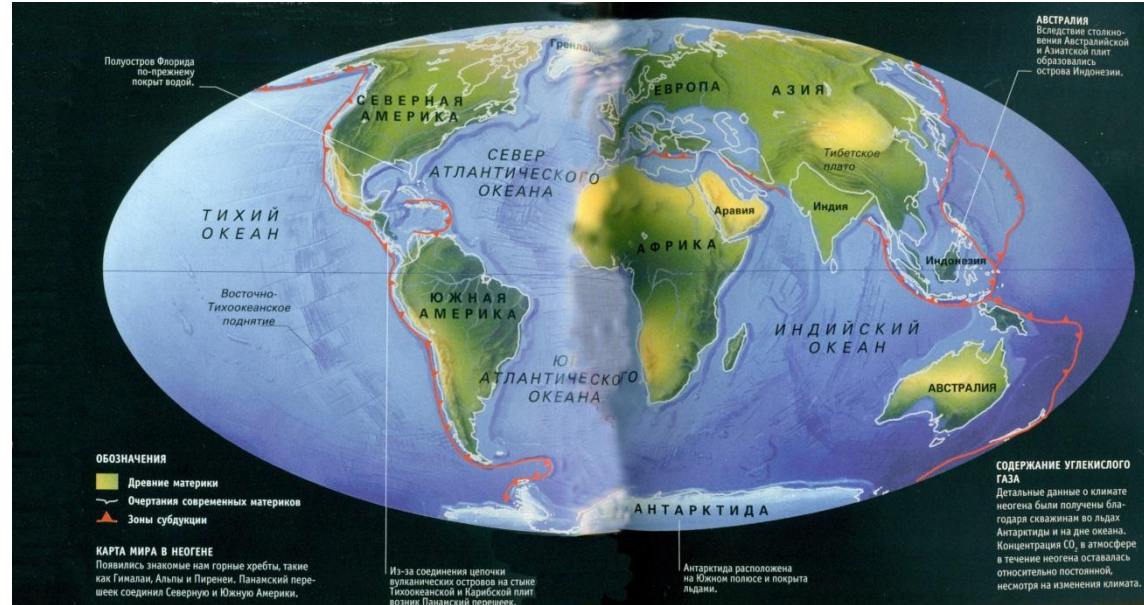
120 Ма, ранний мел



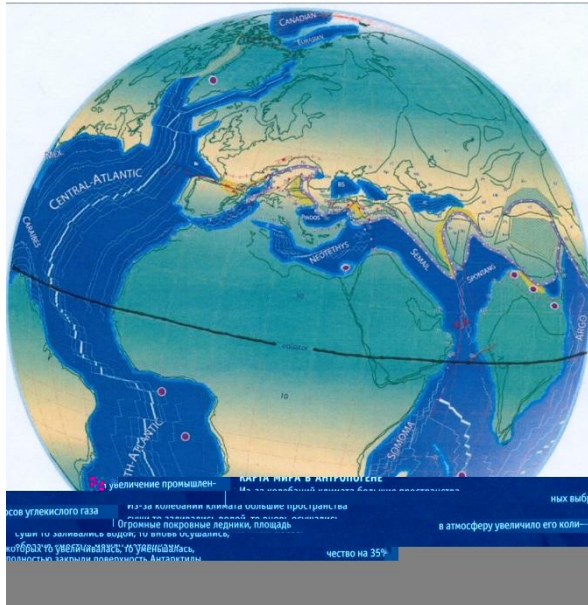
70 Ма, поздний мел



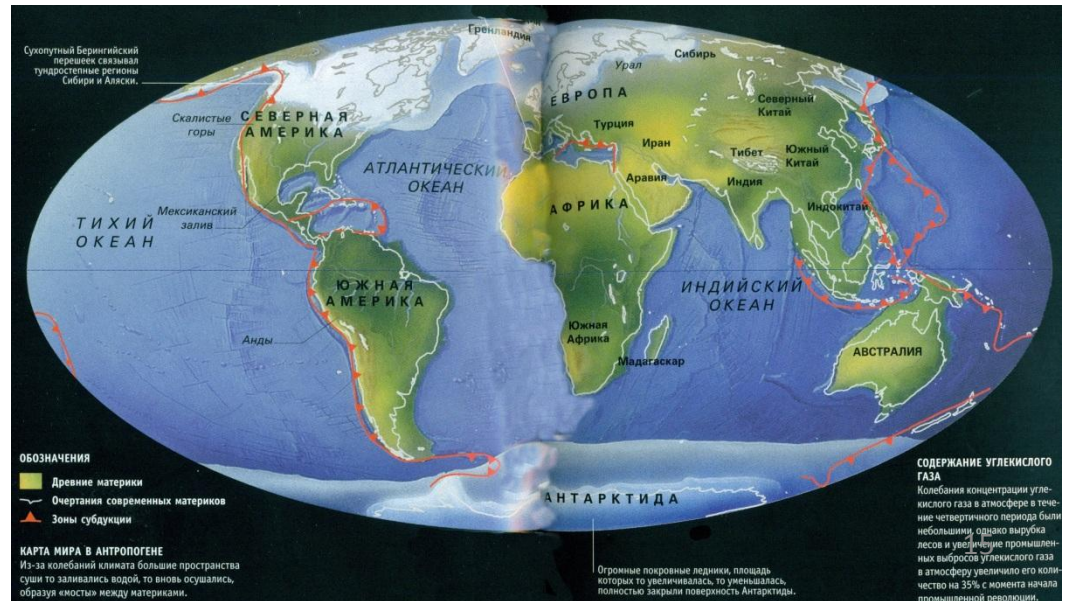
## 5 Ма, неоген (плиоцен)



## 45 Ма, палеоген (эоцен)



## 20,0 тыс. лет, время последнего оледенения (антропоген)



# Состав атмосферы

Циклы Миланковича — не единственный и не главный фактор изменения климата. Причины многих изменений надо искать на самой Земле. Большое влияние оказывает состав атмосферы, особенно концентрация углекислого газа, метана и паров воды. Известные как парниковые газы, эти вещества поглощают инфракрасное излучение, испускаемое поверхностью Земли, и направляют его обратно к поверхности. Когда их содержание растёт, климат теплеет. Концентрация парниковых газов изменяется в зависимости от биологической активности, вулканических извержений и выветривания горных пород (см. ниже). Организмы обмениваются углекислым газом с атмосферой при дыхании и фотосинтезе; вулканы выбрасывают большие количества газа при извержении; а многие минералы вступают в реакцию с углекислым газом и водой, изымая углекислый газ из атмосферы.

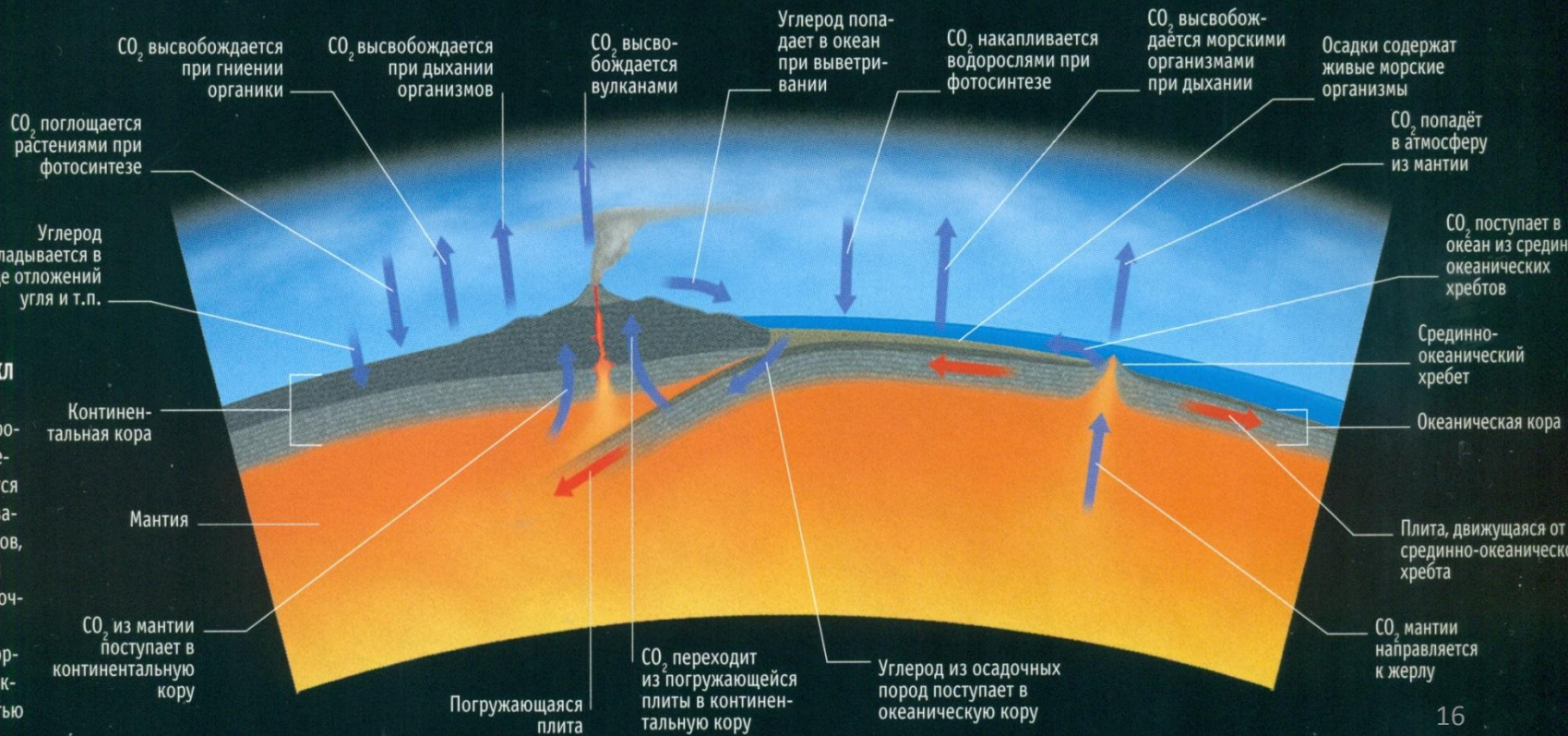


## УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗ И ТЕМПЕРАТУРА

Изменение концентрации углекислого газа может быть измерено по пузырькам воздуха, вмёрзшим в лёд. Этот график, построенный на материалах керна антарктического льда, показывает тесную корреляцию между содержанием углекислого газа и температурой. На этом графике наблюдается четыре гляциальных цикла.

## АТМОСФЕРА ЗЕМЛИ И УГЛЕРОДНЫЙ ЦИКЛ

В природе постоянно идёт круговорот углерода. Атмосферный углекислый газ поглощается растениями, накапливается в телах организмов, растворяется в воде и откладывается в осадочных породах, из которых может быть повторно введён в оборот тектонической активностью и эрозией.





Возраст  
(млн. лет)

4200-2500

2500-570

570-51

0

510-44

0

440-41

0

410-36

0

360-29

0

290-25

0

250-20

0

200-14

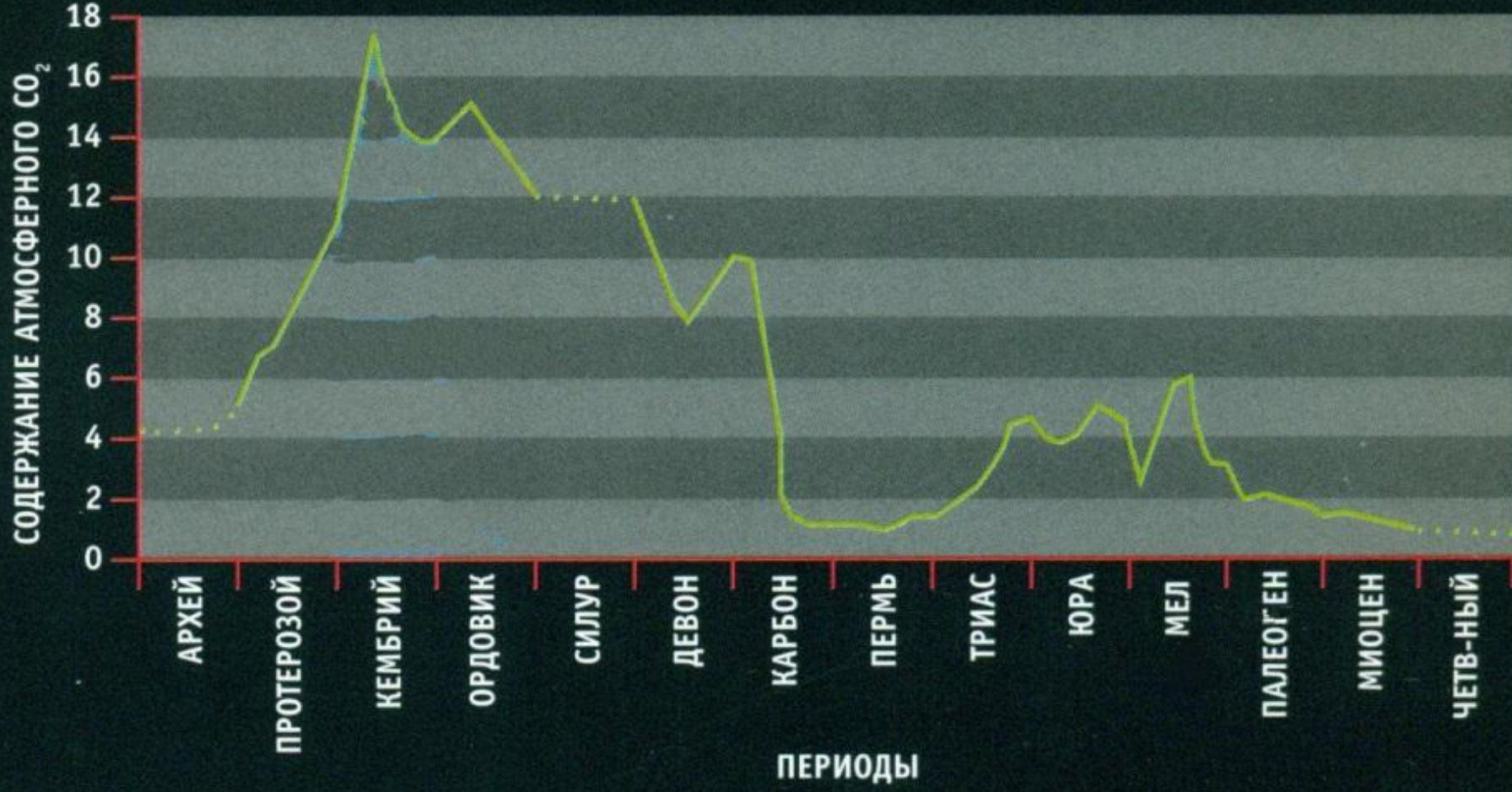
5

145-65

65-23

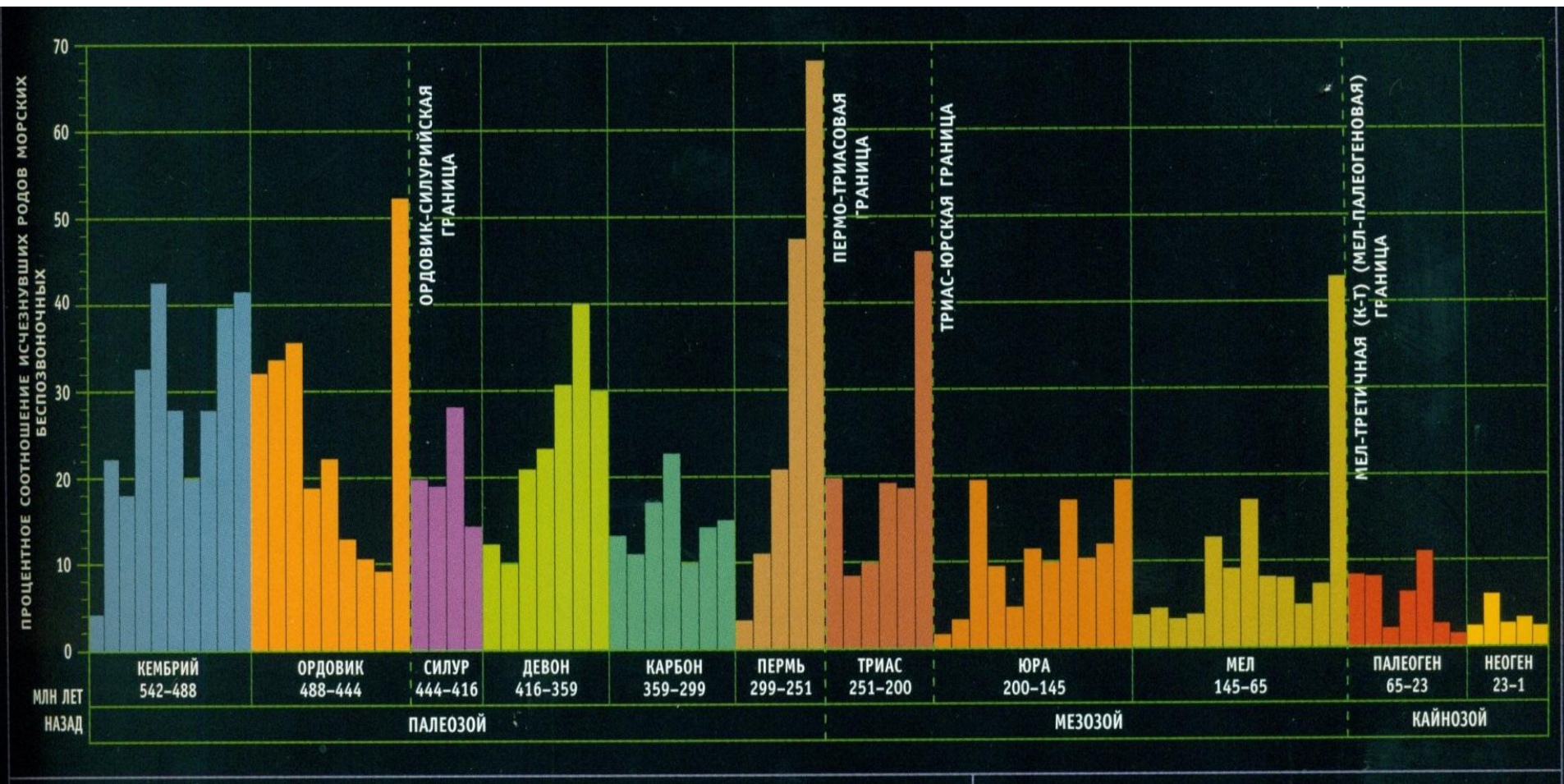
23-5,3

5,3-0



**«Выживает не сильнейший  
из видов и не самый умный...  
Выживает тот, кто более  
других способен изменяться»**

*Чарлз Дарвин*



570-510

510-440

440-410

410-360

355-290

290-250

250-200

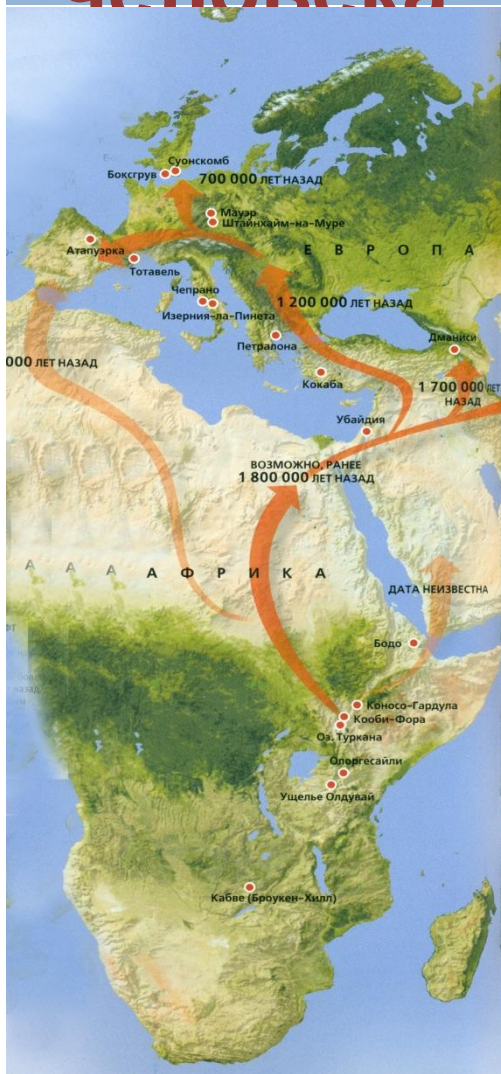
200-145

145-65

65-23

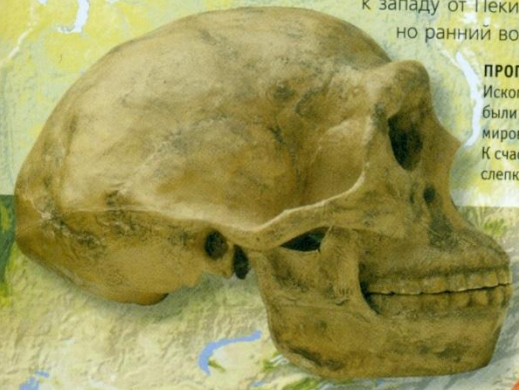
23-1,5

# Первое расселени е человека



## Дальний Восток

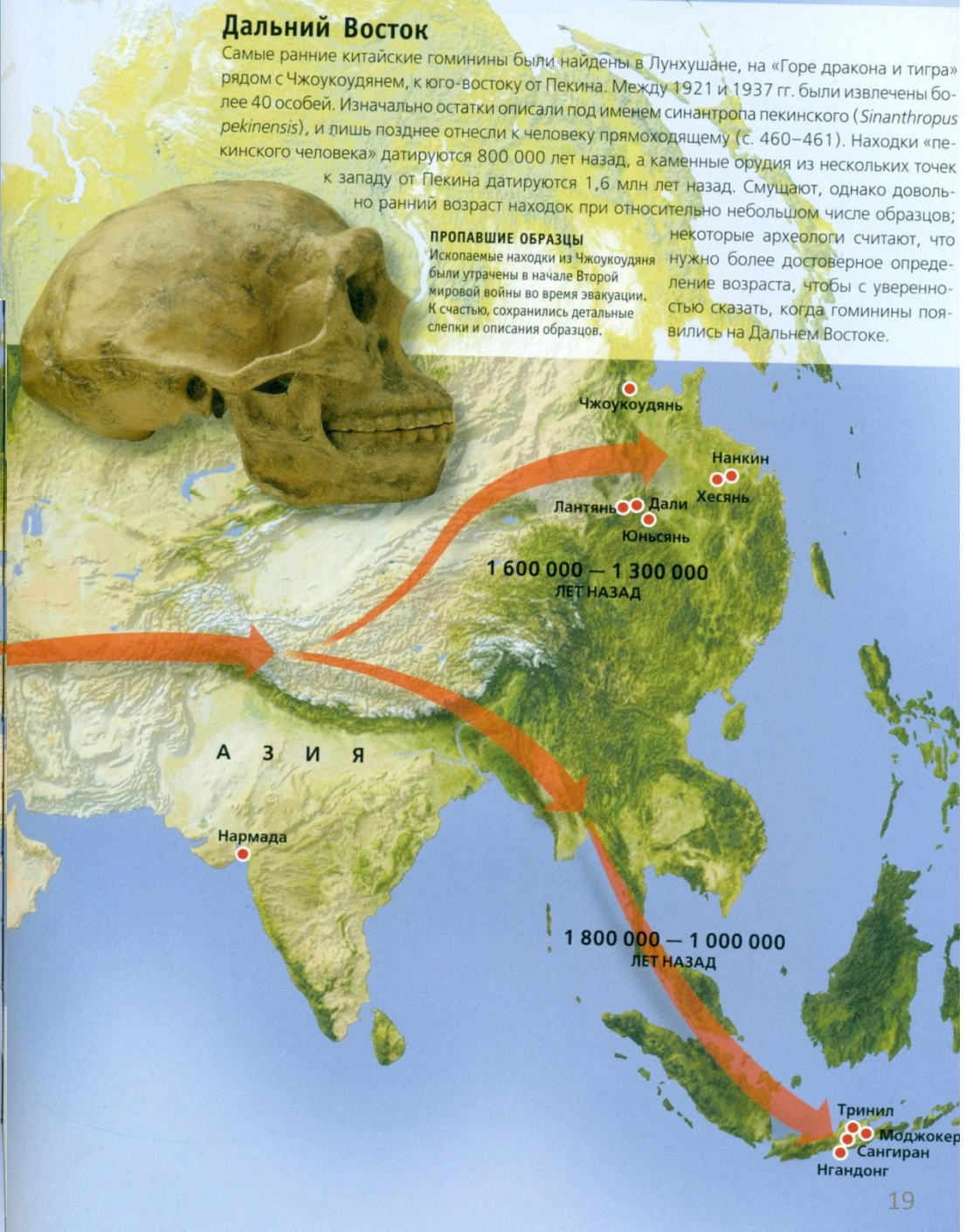
Самые ранние китайские гоминины были найдены в Лунхуане, на «Горе дракона и тигра» рядом с Чжоукоудянем, к юго-востоку от Пекина. Между 1921 и 1937 гг. были извлечены более 40 особей. Изначально остатки описали под именем синантропа пекинского (*Sinanthropus pekinensis*), и лишь позднее отнесли к человеку прямоходящему (с. 460–461). Находки «пекинского человека» датируются 800 000 лет назад, а каменные орудия из нескольких точек к западу от Пекина датируются 1,6 млн лет назад. Смущают, однако довольно ранний возраст находок при относительно небольшом числе образцов; некоторые археологи считают, что



### ПРОПАВШИЕ ОБРАЗЦЫ

Ископаемые находки из Чжоукоудяня были утрачены в начале Второй мировой войны во время эвакуации. К счастью, сохранились детальные слепки и описания образцов.

некоторые археологи считают, что нужно более достоверное определение возраста, чтобы с уверенностью сказать, когда гоминины появились на Дальнем Востоке.





**ОБОЗНАЧЕНИЯ**  
 → Пути расселения человека разумного  
 ○ Места находок раннего человека разумного

**БЕРИНГИЯ**  
 Берингов пролив между северо-восточной Сибирью и Аляской — очевидный маршрут расселения человека. В последнее оледенение эта область была сушей. Эта территория, названная Берингией, была похожа на европейские степи.

**ПУТЬ В АМЕРИКУ**  
 Во время последнего оледенения Северная Америка была покрыта двумя огромными ледовыми щитами. Возможно, был свободный от льда «коридор», который позволял пройти между ними, или люди шли по побережьям.

**АТЛАНТИЧЕСКИЙ МОРСКОЙ МАРШРУТ**  
 Согласно одной спорной гипотезе, до Северной Америки люди могли добраться на лодках через Атлантику или вдоль края северных льдин из Европы. Эта теория основывается на сходстве каменных наконечников соли-третейской технологии из Франции и в Кловисе в Северной Америке. Однако Солотре опережает Кловис на 5000 лет, и маловероятно, чтобы древние люди были в состоянии совершить столь длительное путешествие.

**ЛЕВАНТ**  
 Археологическая летопись Леванта на юго-западе Азии предполагает сложные модели распространения гоминин из Африки. Группы современных людей и неандертальцев приходили сюда и уходили при изменениях климата.

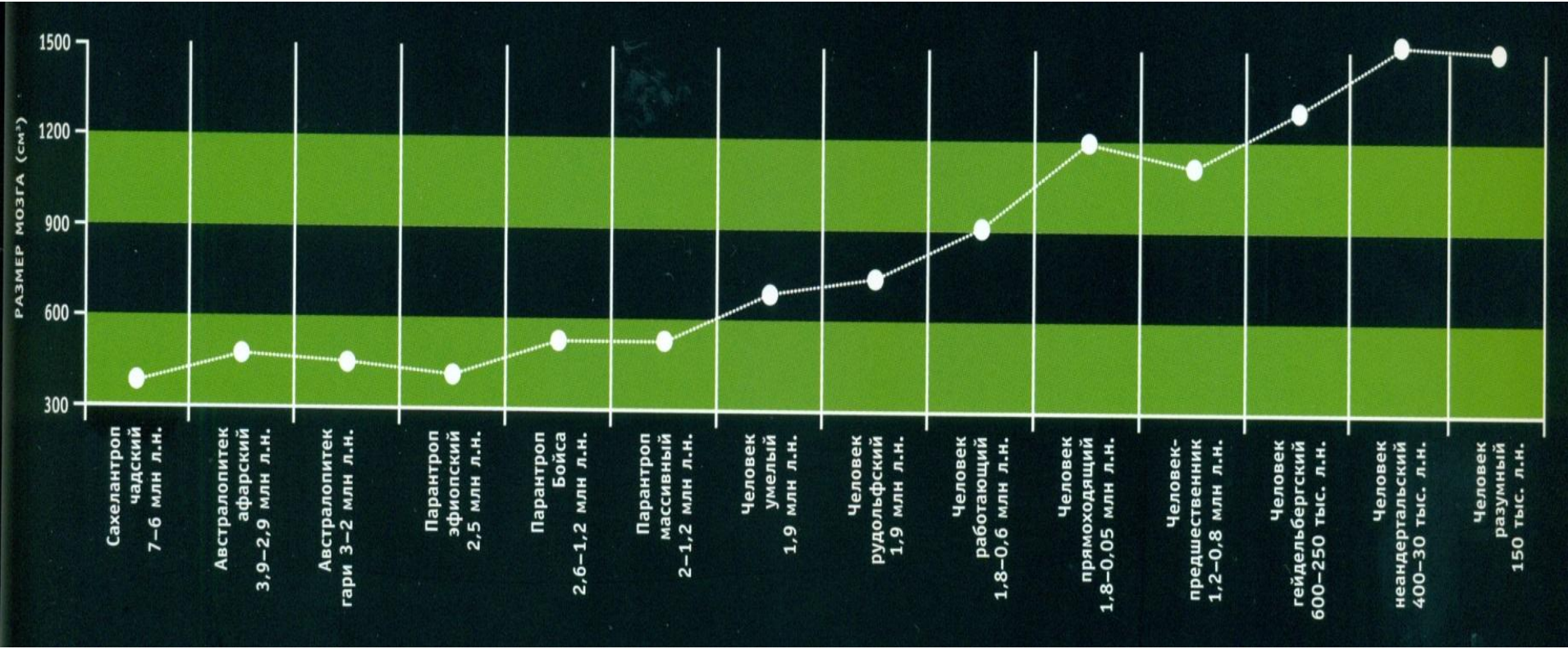
**КОЛОНИЗАЦИЯ АВСТРАЛИИ**  
 Человек разумный первым из гоминин достиг Австралии, возможно, 40 000 лет назад. Ландшафты Австралии не похожи на соседние области, что могло замедлить её заселение.

**МОНТЕ-ВЕРДЕ**  
 Одна часть места раскопок в Монте-Верде в южном Чили уверенно датирована 15 тыс. лет назад, там найдены остатки растительной пищи и жилищ. Другая часть спорно датирована примерно 33 тыс. лет назад.

**В АФРИКЕ**  
 Устье реки Класис — это одни из самых сложных, украшения и т.п., а также слож-новым металлом

# Расселение человека за пределы Африки

# Схема развития мозга гоминин



Сахелантроп чадский  
7-6 млн.л.н.

Австралопитек афарский  
3,9-2,9 млн. л.н.

Австралопитек гари  
3-2 млн.л.н.

Парантроп эфиопский  
2,5 млн.л.н.

Парантроп Бойса  
2,6-1,2 млн.л.н.

Парантроп массивный  
2-1,2 млн.л.н.

Человек умелый  
1,9 млн.л.н.

Человек рудольфский  
1,9 млн л.н.

Человек работающий  
1,8-0,6 млн л.н.

Человек прямоходящий  
1,8-0,05 млн л.н.

Человек предшественник  
1,2-0,8 млн л.н.

Человек гейдельбергский  
600-250 тыс. л.н.