

## **ОСНОВЫ ИСТОРИЧЕСКОЙ ГЕОЛОГИИ**

1. Методы исторической геологии. Абсолютный и относительный возраст горных пород.
2. Геохронологическая и стратиграфическая шкала.
3. Основные этапы истории развития Земли и земной коры.
4. Особенности развития земной коры в четвертичном периоде. Основные генетические типы четвертичных отложений.

### **1. Методы исторической геологии.**

#### **Абсолютный и относительный возраст горных пород**

Предметом изучения исторической геологии является история Земли и земной коры, а также закономерности, присущие их развитию. Восстановить историю Земли позволяют разнообразные горные породы с сохранившимися в них остатками растений и животных — окаменелостями. Значительные толщи горных пород часто снесены, переотложены экзогенными процессами. С этим связана неполнота геологической летописи конкретной территории. Так, на Кольском полуострове, в Карелии породы архея - протерозоя нередко перекрываются только четвертичными отложениями. Здесь существует длительный перерыв в осадконакоплении, который затрудняет расшифровку геологической истории данного района.

Историческая геология призвана решать следующие главные задачи:

1. Определение времени формирования (возраста) горных пород и Земли в целом. Эти вопросы изучает геохронология, используя различные методы. В результате сбора и обобщения большого фактического материала принята единая геохронологическая шкала, которая служит основой для сопоставления геологических событий различных районов.

2. Восстановление физико-географических условий прежних геологических эпох. В понятие «физико-географические условия» входят климат, рельеф, органический мир, проявления тектонических движений и т.д. Выяснение этих особенностей истории Земли базируется на изучении комплексов горных пород, образовавшихся в сходных условиях (фаций). Фациальный анализ включает методы полевых и лабораторных исследований горных пород. Все сведения о физико-географических условиях прошлого синтезируются при составлении палеогеографических карт.

3. Установление истории тектонических движений и особенностей развития главных структур земной коры, процессов магматизма и метаморфизма. Эти вопросы изучает историческая геотектоника. Основой восстановления тектонического режима Земли является анализ формаций — комплексов горных пород, образовавшихся в сходных условиях тектонического режима и климата.

Возраст Земли как планеты по последним данным оценивается ~ 4,6 млрд. лет. Однако самые древние породы Земли, доступные непосредственному изучению, имеют возраст около 3,8 млрд. лет. Поэтому весь более древний этап истории Земли носит название догеологической стадии. Объектом же геологического изучения является история Земли за последние 3,8 млрд. лет, которая выделяется в ее геологическую стадию.

Для выяснения закономерностей и условий образования горных пород необходимо знать последовательность их образования и возраст, т.е. установить их геологическую хронологию. Различают *относительный возраст* горных пород (относительная геохронология) и *абсолютный возраст* горных пород (абсолютная геохронология).

Абсолютная геохронология устанавливает возраст горных пород в единицах времени. Определение абсолютного возраста необходимо для корреляции и сопоставления биостратиграфических подразделений различных участков Земли, а также установления возраста палеонтологических остатков фанерозойских и докембрийских пород.

К методам определения абсолютного возраста пород относятся методы ядерной (или изотопной геохронологии) и не радиологические методы.

Методы ядерной геохронологии в наше время являются наиболее точными для определения абсолютного возраста горных пород, в основе которых лежит явление самопроизвольного превращения радиоактивного изотопа одного элемента в стабильный изотоп другого. Суть методов состоит в определении соотношений между количеством радиоактивных элементов и количеством устойчивых продуктов их распада в горной породе. По скорости распада изотопа, которая для определенного радиоактивного изотопа есть величина постоянная, количеству радиоактивных и образовавшихся стабильных изотопов, рассчитывают время, прошедшее с начала образования минералов и пород.

Разработано большое число радиоактивных методов определения абсолютного возраста: *свинцовый, калиево-аргоновый, рубидиево-стронциевый, радиоуглеродный* и др.

Не радиологические методы уступают по точности ядерным.

*Соляной* метод был применен для определения возраста Мирового океана. Он основан на предположении, что воды океана были первоначально пресными, то, зная современное количество солей с континентов, можно определить время существования Мирового океана (~ 97 млн. лет).

*Седиментационный* метод основан на изучении осадочных пород в морях. Зная объем и мощность морских отложений в земной коре в отдельных системах и объем минерального вещества, ежегодно сносимого в моря с континентов, можно вычислить продолжительность их наполнения.

*Биологический* метод базируется на представлении о сравнительно равномерном развитии органического мира. Исходный параметр – продолжительность четвертичного периода 1,7 – 2 млн. лет.

*Метод подсчета слоев ленточных глин*, накапливающихся на периферии тающих ледников. Глинистые осадки откладываются зимой, а песчаные летом и весной, таким образом каждая пара таких слоев есть результат годового накопления осадков.

Определение относительного возраста пород — это установление, какие породы образовались раньше, а какие — позже.

Относительный возраст осадочных горных пород устанавливается с помощью геолого-стратиграфических (стратиграфического, литологического, тектонического, геофизических) и биостратиграфических методов.

*Стратиграфический* метод основан на том, что возраст слоя при нормальном залегании горных пород определяется следующим образом: нижележащие их слои являются более древними, а вышележащие более молодыми.

*Литологический* метод основан на изучении и сравнении состава пород в разных обнажениях (естественных — в склонах рек, озер, морей, искусственных — карьерах, котлованах и т.д.). На ограниченной по площади территории, отложения одинакового вещественного состава, состоящие из одинаковых минералов и горных пород, могут быть разновозрастными. При сопоставлении разрезов различных обнажений используют маркирующие горизонты, которые отчетливо выделяются среди других пород и стратиграфически выдержаны на большой площади.

*Тектонический* метод основан на том, что мощные процессы деформации горных пород проявляются, как правило, одновременно на больших территориях, поэтому разновозрастные толщи имеют примерно одинаковую степень дислоцированности (смещения). В истории Земли осадконакопления периодически сменялись складчатостью и горообразованием. Возникшие горные области разрушались, а на выровненную территорию вновь наступало море, на дне которого уже несогласно накапливались толщи новых осадочных горных пород. В этом случае различные несогласия служат границами, подразделяющими разрезы на отдельные толщи.

*Геофизические* методы основаны на использовании физических характеристик отложений (удельного сопротивления, природной радиоактивности, остаточной намагниченности г.п. и т.д.) при их расчленении на слои и сопоставлении. Расчленение пород в буровых скважинах на основании измерений удельного сопротивления горных пород и пористости называется электрокаротаж, на основании измерений их радиоактивности — гамма-каротаж. Изучение остаточной намагниченности горных пород называют палеомагнитным методом; он основан на том, что магнитные минералы, выпадая в осадок, распределяются в соответствии с магнитным полем Земли эпохи их образования. Эта ориентировка сохраняется постоянно, если порода не подвергается нагреванию выше 500°C (точка Кюри) или интенсивной деформации и перекристаллизации. Следовательно, в различных слоях направление магнитного поля будет различным. Палеомагнетизм позволяет сопоставлять отло-

жения значительно удаленные друг от друга (западное побережье Африки и восточное побережье Латинской Америки).

*Биостратиграфические* или *палеонтологические* методы состоят в определении возраста горных пород с помощью изучения ископаемых организмов. Остатки растений и животных и продукты их жизнедеятельности называются окаменелостями. Процесс превращения отмерших организмов в окаменелости происходит при формировании из рыхлых осадков плотных горных пород. При этом органическое вещество замещается минеральным (карбонатным, кремнистым, железистым). Формы сохранности остатков животных разнообразны. Это целые скелеты, их части или отпечатки на поверхности слоев. Иногда сохраняются следы ползания или хождения животных, капролиты (ископаемый помет). Остатки растений представлены окаменевшими стволами деревьев, отпечатками листьев, ископаемыми спорами, пылью, плодами.

Палеонтологические методы основаны на следующих принципах:

- *эволюционности развития органического мира;*
- *этапности смены не повторяющихся во времени комплексов организмов;*
- *необратимости эволюции органического мира.*

Важнейшими положениями палеонтологических методов являются:

1. Для каждого комплекса осадочных образований характерны присущие только этому комплексу ископаемые организмы.

2. Толщи осадочных пород, имеющие одинаковый возраст и отложившиеся в одинаковых физико-географических условиях, содержат близкие ископаемые организмы.

3. Вертикальный разрез осадочных пород на всех материках имеет одну и ту же последовательную смену ископаемых организмов.

Для определения геологического возраста пород используют не все ископаемые организмы, а руководящие ископаемые. При этом они должны отвечать следующим требованиям: иметь быструю эволюцию (до 10 – 30 млн. лет); небольшое вертикальное и широкое горизонтальное распространение; характерные черты; хорошая сохранность; частая встречаемость.

Определение относительного возраста магматических и метаморфических горных пород осложнено отсутствием палеонтологических остатков. Возраст эффузивных пород, залегающих совместно с осадочными устанавливается по соотношению к осадочным породам. Относительный возраст интрузивных пород определяется по соотношению магматических пород и вмещающих осадочных пород, возраст которых установлен. Определение относительного возраста метаморфических пород аналогично определению относительного возраста магматических пород.

## 2. Геохронологическая и стратиграфическая шкала

Результаты изучения развития жизни на Земле позволили разработать *геохронологическую шкалу*, в которой вся история планеты разделена на отдельные отрезки времени. Среди геохронологических подразделений выделяются: *эон, эра, период, эпоха, век, время*. Каждому подразделению отвечает комплекс отложений, выделенный в соответствии с изменением органического мира: *эонотема, группа, система, отдел, ярус, зона*. Совокупность толщ горных пород, отложенных в различные временные отрезки эволюции Земли, называется *стратиграфической шкалой*, которая представляет собой комплекс слоев горных пород, лежащих в естественной последовательности их образования. Каждый отрезок времени и образовавшиеся в эти отрезки времени толщи горных пород имеют свои названия и соответствующие индексы. В настоящее время выделяются три наиболее крупных стратиграфических подразделения — эонотемы: *архейская, протерозойская и фанерозойская*. Архейская и протерозойская эонотемы, охватывающие почти 80% времени существования Земли, выделяются в криптозой, так как в докембрийских образованиях полностью отсутствует скелетная фауна и палеонтологический метод к их расчленению неприменим (рис. 1). Поэтому разделение докембрийских образований базируется в первую очередь на общегеологических и радиометрических данных. Фанерозойский эон охватывает всего 570 млн. лет и расчленение соответствующей эонотемы отложений базируется на большом разнообразии многочисленной скелетной фауны. Фанерозойская эонотема подразделяется на три группы: *палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую*, отвечающие крупным этапам естественной геологической истории Земли, рубежи которых отмечены достаточно резкими изменениями органического мира (рис. 2).

### ШКАЛА ДОКЕМБРИЯ

АКРОТЕМА	ЭОНОТЕМА (длительность в млн. лет)	ВОЗРАСТ млн. лет	ЭРАТЕМА	СИСТЕМА	ОТДЕЛ
П Р О Т Е Р О З О Й P R	ВЕРХНИЙ P R (1080)	650	К Р И П Т О З О Й К А Р Е Л И Й	ВЕНДСКАЯ V	ВЕРХНИЙ V <sub>2</sub>
					НИЖНИЙ V <sub>1</sub>
					ВЕРХНИЙ R
	СРЕДНИЙ R				
	НИЖНИЙ R				
	ВЕРХНИЙ P R <sup>*</sup>				
НИЖНИЙ P R <sup>*</sup>					
А Р Х Е Й A R	ВЕРХНИЙ A R (650)	2500			
	НИЖНИЙ A R (400)				

Абсолютный возраст по Стратиграфическому кодексу, 1992г.

Рисунок 1 – Геохронологическая шкала докембрия

ЭПОХА (ЭРА)	СИСТЕМА/ПОДСИСТЕМА (ПЕРИОД)	ОТДЕЛ (ЭПОХА) (для четвертичной системы – РАЗДЕЛ)	
КАЙНО- ЗОЙСКАЯ	ЧЕТВЕРТИЧНАЯ (АНТРОПОГЕНОВЫЙ) 1,806 Денуайе, 1829 г.	Q	ГОЛОЦЕН
		1,6	ПЛЕЙСТОЦЕН ЭОПЛЕЙСТОЦЕН
КАЙНО- ЗОЙСКАЯ 65 KZ	НЕОГЕНОВАЯ (НЕОГЕНОВЫЙ) (бывш. верхний отд. третичной системы) 23,03 Хорнс, 1853 г.	N	ПЛИОЦЕН N <sub>2</sub> Ч. Лейель, 1833 г.
		21,4	МИОЦЕН N <sub>1</sub> Ч. Лейель, 1833 г.
		P	ОЛИГОЦЕН P <sub>3</sub> Бейрих, 1854 г.
			ЭОЦЕН P <sub>2</sub> Ч. Лейель, 1833 г.
			ПАЛЕОЦЕН P <sub>1</sub> Шимпер, 1874 г.
	МЕЛОВАЯ (МЕЛОВОЙ) д'Омалиус д'Аллау, 1822 г.	K	ВЕРХНИЙ K <sub>2</sub> (поздняя)
		80,0	НИЖНИЙ K <sub>1</sub> (ранняя)
		145±4,0	
	ЮРСКАЯ (ЮРСКИЙ) А. Броньяр, 1829 г.	J	ВЕРХНИЙ (поздняя) J <sub>3</sub> А. Оппел, 1856 г.
		55,0	СРЕДНИЙ (средняя) J <sub>2</sub> А. Оппел, 1856 г.
		199±0,6	НИЖНИЙ (ранняя) J <sub>1</sub> Орбиньи, 1850 г.
	ТРИАСОВАЯ (ТРИАСОВЫЙ) Ф. Альберги, 1834 г.	T	ВЕРХНИЙ (поздняя) T <sub>3</sub>
		50,0	СРЕДНИЙ (средняя) T <sub>2</sub>
		251±0,4	НИЖНИЙ (ранняя) T <sub>1</sub>
	ПЕРМСКАЯ (ПЕРМСКИЙ) Р. Мурчисон, 1841 г.	P	ВЕРХНИЙ (поздняя) P <sub>2</sub>
50,0		НИЖНИЙ (ранняя) P <sub>1</sub>	
КАМЕННОУГОЛЬНАЯ (КАМЕННОУГОЛЬНЫЙ) С В. Конибир и В. Филлипе, 1822 г.	ПЕНСИЛЬ- ВАНИЙ	ВЕРХНИЙ (поздняя) C <sub>3</sub>	
		299±0,8	СРЕДНИЙ (средняя) C <sub>2</sub>
ДЕВОНСКАЯ (ДЕВОНСКИЙ) А. Седжвик и Р. Мурчисон, 1839 г.	МИССИ- СИПТИЙ	НИЖНИЙ (ранняя) C <sub>1</sub>	
		359±2,5	
СИЛУРИЙСКАЯ (СИЛУРИЙСКИЙ) Р. Мурчисон, 1839 г.	D	ВЕРХНИЙ (поздняя) D <sub>3</sub>	
		56,0	СРЕДНИЙ (средняя) D <sub>2</sub>
ОРДОВИКСКАЯ (ОРДОВИКСКИЙ) Ч. Лапворт, 1879 г.	S	НИЖНИЙ (ранняя) D <sub>1</sub>	
		416±2,8	
КЕМБРИЙСКАЯ (КЕМБРИЙСКИЙ) А. Седжвик, 1835 г.	O	ВЕРХНИЙ (поздняя) S <sub>2</sub>	
		28,0	НИЖНИЙ (ранняя) S <sub>1</sub>
КАМБРИЙСКАЯ (КАМБРИЙСКИЙ) А. Седжвик, 1835 г.	O	ВЕРХНИЙ (поздняя) O <sub>3</sub>	
		44,0	СРЕДНИЙ (средняя) O <sub>2</sub>
КЕМБРИЙСКАЯ (КЕМБРИЙСКИЙ) А. Седжвик, 1835 г.	E	НИЖНИЙ (ранняя) O <sub>1</sub>	
		488±1,7	
КАМБРИЙСКАЯ (КАМБРИЙСКИЙ) А. Седжвик, 1835 г.	E	ВЕРХНИЙ (поздняя) E <sub>3</sub>	
		54,0	СРЕДНИЙ (средняя) E <sub>2</sub>
КАМБРИЙСКАЯ (КАМБРИЙСКИЙ) А. Седжвик, 1835 г.	E	НИЖНИЙ (ранняя) E <sub>1</sub>	
		542±1,0	

Рисунок 2 – Геохронологическая шкала фанерозоя

### 3. Основные этапы истории развития Земли и земной коры

#### 3.1. Догеологический этап

На протяжении догеологического этапа формировались первичные оболочки планеты: лито-, атмо- и гидросфера. Первичная земная кора, возникшая из остывающего мантийного расплава, имела океанический тип строения – состояла из базальтового слоя. Она была хрупкой, тонкой, легко дробилась ударами метеоритов и тектоническими процессами. Ведущее место занимали эндогенные геологические процессы, а среди них – вулканизм. Образовалась первичная атмосфера, по составу предположительно аналогичная вулканическим газам. Остывание Земли вызвало конденсацию паров в атмосфере, что привело к формированию первичной гидросферы. Образование первичных оболочек обусловило начало деятельности экзогенных агентов: вступили в работу выветривание, поверхностные и подземные воды, ветер – началось накопление первых осадочных пород (в основном, обломочного состава).

#### 3.2. Архейская эра

*Архейский эра* — самая древняя эра истории Земли, охватывающая время от 4,0 до 2,5 млрд. лет назад. На протяжении архея произошло структурное разделение литосферы – обособились участки с земной корой океанического и континентального типа. В начале архея активно протекали интрузивный магматизм и трещинный вулканизм, и начались процессы метаморфизма. Метаморфизму подвергались как вулканогенные образования основного и ультраосновного состава, так и обломочные осадки, накопившиеся в неглубоких бассейнах. В результате возникли два комплекса древнейших горных пород Земли: кристаллических сланцев зеленокаменных поясов, а также гранитов и гранито-гнейсов. В раннем архее начались процессы складкообразования, сопровождавшиеся региональным метаморфизмом. Возникавшие горно-складчатые сооружения формировали крупные массивы коры материкового типа. В результате сформировались кристаллические фундаменты древних платформ. Примерно 2,9 – 2,7 миллиарда лет назад произошло первое покровное оледенение. В океанах распространились простейшие формы жизни, деятельность которых обусловила накопление осадочных пород органического типа.

В мелководных архейских морях возникли *строматолиты* – самые ранние карбонатные постройки органического происхождения, внешне напоминающие коралловые. Строматолиты явились продуктом деятельности одноклеточных безъядерных организмов – прокариот, представленных архебактериями и эубактериями, в том числе – сине-зелеными водорослями, распространившимися не менее чем 3,5 млрд лет назад. Изобилие бактерий 2,5 млрд. лет назад привело к появлению свободного кислорода в атмосфере.

### 3.3. Протерозойская эра

*Протерозойская эра* охватывает период от 2500 до  $541,0 \pm 1,0$  млн. лет назад. Пришла на смену архею. Протерозойская эра — самая длительная в истории Земли. Вся суша располагалась в Западном полушарии (на месте современного Тихого океана). Восточное полушарие занимал океан Панталасса (рис. 3). Суша была представлена тремя массивами. Из них своими размерами выделялись два главных: Северная Гондвана и Южная Гондвана. Северная Гондвана включала три платформы: Индостанскую, Австралийскую и Антарктическую. Южная Гондвана объединяла платформы Африканскую, Северо- и Южно-Американскую, Восточно- и Южно-Китайскую. Отдельно от них на юге размещалась Сибирская платформа. Около 580 млн. лет назад эти массивы сблизились, что привело к началу байкальской складчатости, и на несколько миллионов лет возник единый суперконтинент Паннотия (или Пангея-1).

В начале протерозоя в морской среде возникли *эукариоты* — организмы с обособленным ядром и хромосомным аппаратом. В породах нижнего протерозоя возрастом 2 млрд. лет в Южной Африке и Австралии обнаружены следы нефти, являющейся, возможно, наследием микрофлоры. Приблизительно такой же возраст установлен для окаменевших остатков многоклеточных водорослей, найденных в Северной Америке и Австралии.

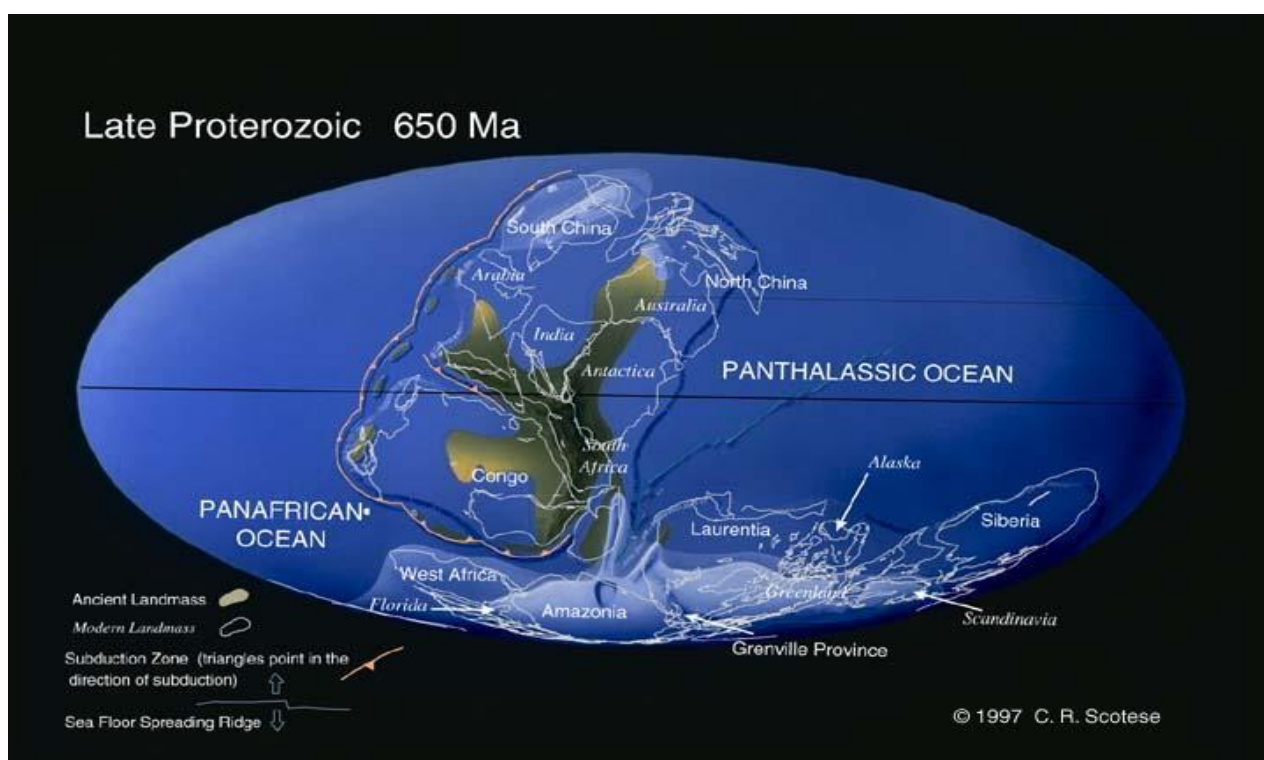


Рисунок 3 – Океаны и суша позднего протерозоя

Примерно 1 млрд. лет назад началось половое размножение организмов. Более 605 млн. лет назад произошел *первый биологический взрыв* — распространение получила *эдиакарская* фауна. Эдиакарская биота представлена

древнейшими многоклеточными мягкотелыми (студенистыми, не имевшими твердых частей тела). Возможно, эдиакарские обитатели являлись не фауной и не флорой, а совершенно особой ветвью органического мира. Их распространение совпало по времени с резким увеличением доли кислорода в атмосфере – от 0,2 % до 17 %. В конце протерозоя произошло первое массовое вымирание – исчезли практически все многоклеточные животные. В течение протерозоя имели место четыре ледниковых этапа: 2,3; 0,9; 0,8 и 0,6 млрд. лет назад.

Докембрийский этап охватывает около 85 % времени развития земной коры, и характеризуется господством эндогенных полезных ископаемых. В породах архея и протерозоя заключено до 80 % мировых запасов железа, титана, никеля, золота, платиноидов и урана; практически все коренные месторождения строительного камня: гранита, лабрадорита, мрамора и кварцита; крупнейшие запасы слюд и графита; свыше 25 % запасов марганца, хрома, меди, свинца и цинка.

### 3.4. Палеозойская эра

*Палеозойская эра* началась около 541 миллионов лет назад и закончилась примерно 250 миллионов лет назад. Она продолжалась около 290 миллионов лет. Палеозойская эра объединяет кембрийский, ордовикский, силурийский, девонский, каменноугольный и пермский периоды.

#### 3.4.1 Кембрийский период

*Кембрийский период* — геологический период, с которого началась палеозойская эра, как и весь фанерозойский эон. Начался  $541,0 \pm 1,0$  млн лет назад, закончился  $485,4 \pm 1,9$  млн лет назад. Продолжался, таким образом, примерно 56 млн лет. На протяжении кембрия существовало от трех до четырех крупных массивов суши и два океана. В начале кембрия суперконтинент Паннотия раскололся, из его раздвинувшихся частей сформировались четыре материка, распределившихся по Восточному и Западному полушариям. В Восточное полушарие сместилась Гондвана. В Западном полушарии находились три материка: Сибирь, Балтика (Восточно-Европейская платформа и большая часть Скандинавии) и Лаврентия (большая часть Северо-Американской платформы, Шотландия, Гренландия и Ньюфаундленд). Между материками Западного полушария простирался океан Япетус, а вокруг них – океан Панталасса.

В раннем кембрии завершилась *байкальская* складчатость, начавшаяся еще в позднем протерозое. В позднем кембрии материка сохранились прежние, но почти все они лежали в Южном полушарии (рис. 4). К Северному полушарию сдвинулись Лаврентия и Восточная Сибирь. В Южном полушарии возвышались Гондвана и Балтика. Рядом с Гондваной на дне океана лежали затопленные Авалония (восток Северо-Американской платформы), Иберия (Пиренейский полуостров) и Арморика (древняя часть Западной Европы).

Между северными и южными материками раскинулся океан Япетус. Перемещение Сибири на юг привело к столкновению с более мелкими обломками Паннотии – началась каледонская складчатость. В конце кембрия над водами поднимались Гондвана, Лаврентия и Балтика.



Рисунок 4 – Океаны и суша позднего кембрия

С началом кембрия связан *второй биологический взрыв*, хотя жизнь все еще была сосредоточена в океане. Кембрийская флора представлена различными водорослями. В морях появилась масса новых форм животных, но почти все – небольших размеров (до нескольких сантиметров). Развились первые животные с *наружным скелетом*. Известны конусовидные и блюдцеобразные карбонатные раковины примитивных моллюсков, в том числе плеченюгих (брахиопод) и головоногих (цефалопод). Возникли и приобрели порообразующее значение мельчайшие (до 1 мм) колониальные бентосные животные – мшанки. Развились панцирные формы древних членистоногих – *трилобитов* (с панцирями карбонатного или фосфатного состава). Широчайшее распространение и видовое разнообразие трилобитов превратило этих животных в символов кембрия и последующего ордовика. В середине кембрия произошло второе массовое вымирание, в результате которого исчезло 70 % видов животных. Затем последовал *третий биологический взрыв*, и господство получили членистоногие (панцирные трилобиты), иглокожие, мшанки, губки и щетинистые черви. Продолжили развитие брахиоподы. Из всех названных животных форм кембрия до наших дней дожили, почти не изменившись, головохоботные, мшанки и брахиоподы. Конец кембрия озна-

меновался третьим массовым вымиранием, охватившим более 50 % видов животных.

### 3.4.2 Ордовикский период

*Ордовикский период* — второй период палеозойской эры геологической истории Земли. Начался  $485,4 \pm 1,9$  млн. лет назад, закончился  $443,4 \pm 1,5$  млн. лет назад. Продолжался, таким образом, около 42 млн. лет. В этот период существовали четыре крупных массива суши и четыре океана. Большая часть суши по-прежнему находилась в южном полушарии (рис. 5).

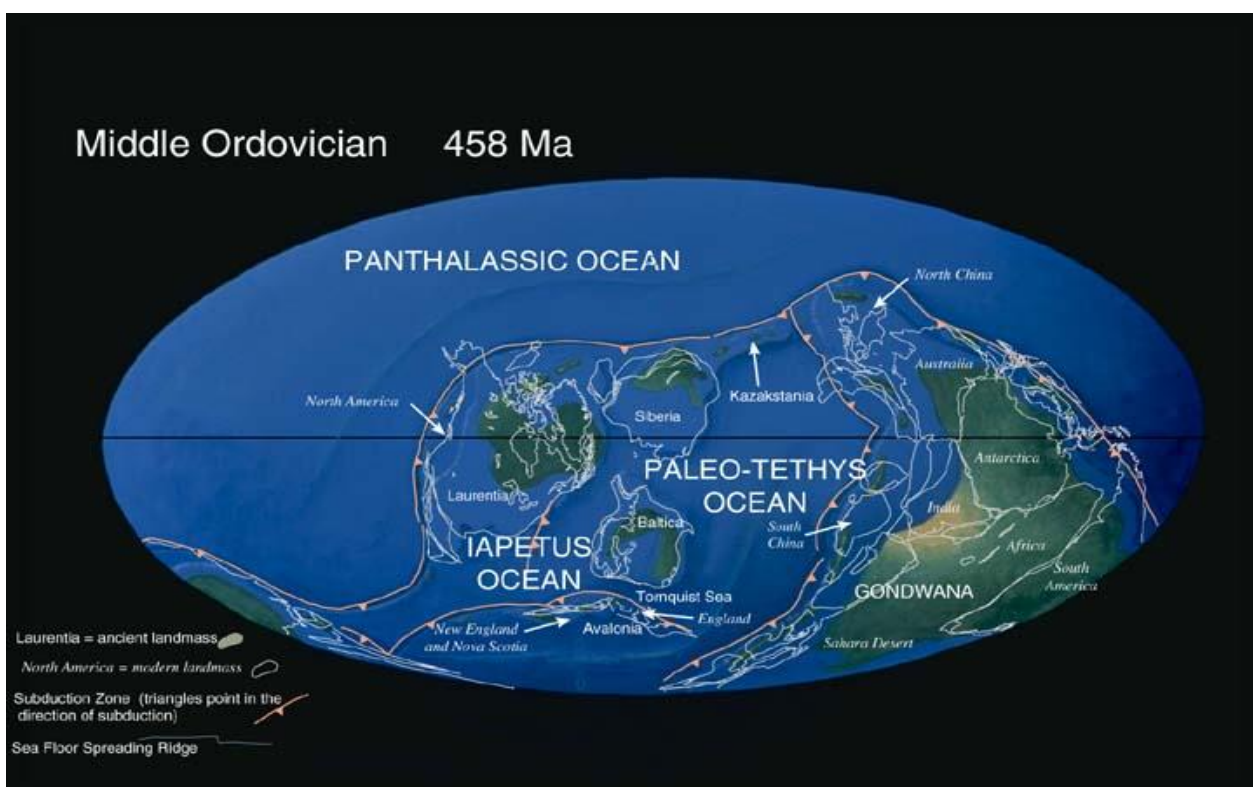


Рисунок 5 – Океаны и суша среднего ордовика

От Гондваны откололись и удалились Авалония (восток Северо-Американской платформы) и Арморика (древняя часть Западной Европы).

На юго-востоке, между Балтикой, Сибирью и Гондваной началось формирование Уральского океана. К северу от него, между Сибирью и севером Гондваны, возник океан Палеотетис. В ордовике происходили крупнейшие морские трансгрессии фанерозоя: погружались под воду Балтия, Лаврентия и Сибирь. В конце ордовика огромные массивы суши оказались близ Южного полюса – распространились покровные ледники Великого оледенения Гондваны.

Ордовикский период ознаменовался *четвертым биологическим взрывом*. По-прежнему господствовали мелкие формы морской жизни, насчитывавшие более 600 семейств. Для всего нижнего палеозоя важнейшими руко-

водящими являются четыре формы организмов: *трилобиты* (рис. 6), *брахиоподы*, *грантолиты* и *археоциаты*.



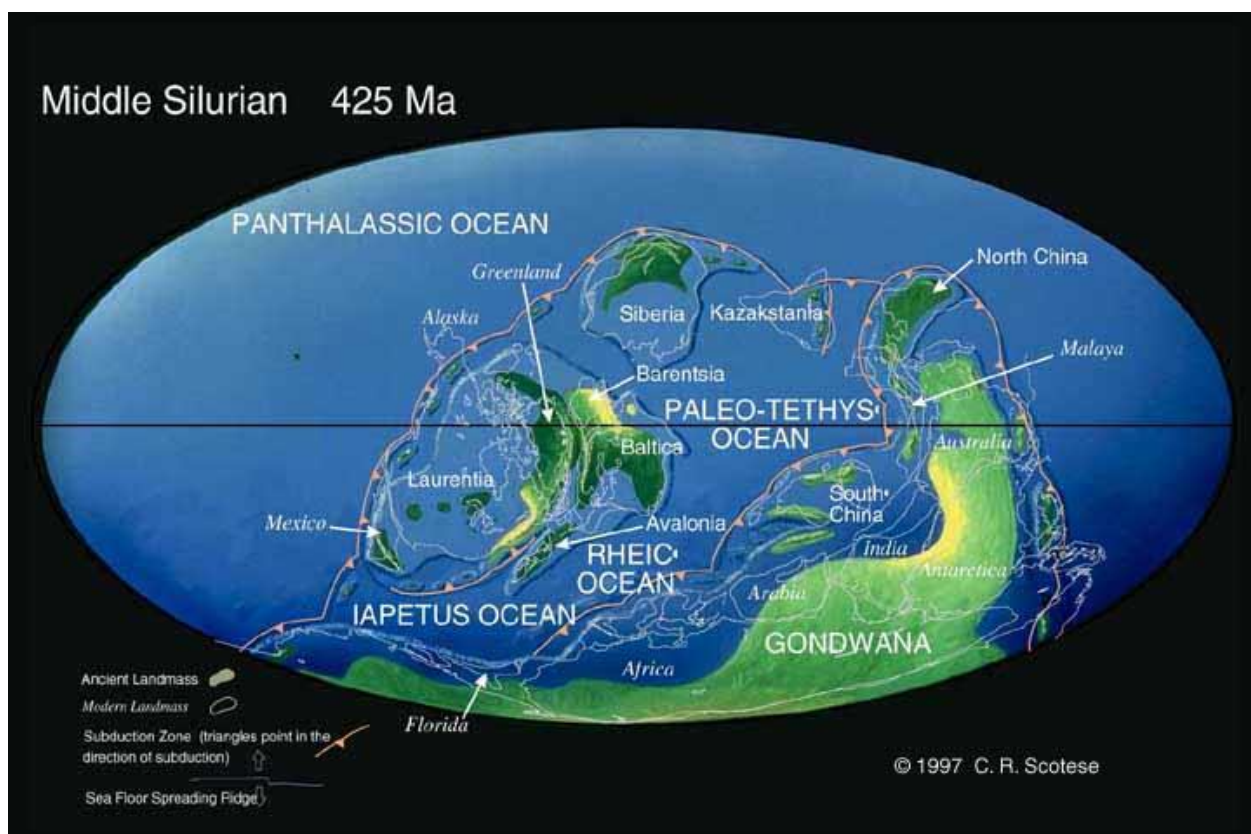
**Рисунок 6 – Окаменелость трилобита**

Возникли первые *истинные позвоночные* – они были представлены *бесчелюстными рыбами*. На сушу вышли растения и животные. Первыми *наземными растениями* были споровые мохообразные – *бриофиты*. Первыми *сухопутными животными* стали *членистоногие*. Большую часть ордовика климат сохранялся теплым и влажным, однако со второй его половины началось похолодание и иссушение. На конец ордовика пришлось Великое оледенение Гондваны, а также четвертое массовое вымирание животных (исчезло более 60% видов).

### **3.4.3 Силурийский период**

*Силурийский период* — геологический период, третий период палеозоя, после ордовика, перед девонем. Начался  $443,4 \pm 1,5$  млн лет назад, кончился  $419,2 \pm 3,2$  млн лет назад. Продолжался, таким образом, около 24 млн лет. Нижняя граница силура определяется по крупному вымиранию, в результате которого исчезло около 60 % видов существовавших в ордовике морских организмов, — так называемому ордовикско-силурийскому вымиранию. Во

время Чарльза Лайеля (середина XIX в.) силур считался самой древней геологической эпохой. Почти вся суша размещалась в южном полушарии и оледенение по-прежнему захватывало крупные участки Гондваны. Существовали три крупных массива суши и четыре океана. Северное полушарие находилось под водами океана Панталасса. Затопленная Лаврентия и Балтика сближались – в южном полушарии исчезал океан Япетус. Суша была представлена тремя материками: Лаврентией, Балтикой и Гондваной. Между этими тремя континентами раскинулся океан Рея (рис. 7).



**Рисунок 7 – Океаны и суша среднего силура**

На дне его лежали затопленные Авалония (восток Северо-Американской платформы) и Арморика (древняя часть Западной Европы). Авалония и Арморика постепенно смещались от Гондваны в сторону Лаврентии и Балтики. Лаврентия, в свою очередь, двигалась к Балтике. После столкновения Лаврентии с Балтикой океан Япетус исчез, на его месте возникли складчатые массивы.

Так завершались *каледонская* складчатость, и возник единый массив суши – Евразмерика (или Лавразия). Каледониды представлены Северными Аппалачами, горами востока Гренландии, горами Шпицбергена, Ирландии и Шотландии, Скандинавскими, Западным Саяном, Горным Алтаем, Кузнецким Алатау, сооружениями севера и центра Казахского мелкосопочника, хребтами Северного Тянь-Шаня и проч.

Силурийский период отмечен *пятым биологическим взрывом*, приведшим к дальнейшему росту размеров животных. В океане появились паукооб-

разные, а также водяные скорпионы. Начался расцвет позвоночных, в том числе с костным скелетом. Продолжилось развитие бесчелюстных. Появились челюстные рыбы и первые хрящевые рыбы. Главным событием в развитии сухопутной флоры явилось возникновение *прямостоячих сосудистых* растений – *псилофитов*. На суше господствовали членистоногие животные: распространились скорпионы, пауки и многоножки. В верхнесилурийских отложениях найдены древнейшие (420 млн л. н.) останки наземных хищников – клещей палеокаринусов.

### 3.4.4 Девонский период

*Девонский период* — четвёртый геологический период палеозойской эры. Начался  $419,2 \pm 3,2$  млн лет назад, закончился  $358,9 \pm 0,4$  млн лет назад. Продолжался, таким образом, около 60 млн лет. Девон являлся периодом относительного тектонического покоя. Существовали четыре океана, три крупных материка и несколько мелких. Суша была значительно раздроблена и почти целиком располагалась в Западном полушарии (рис. 8).

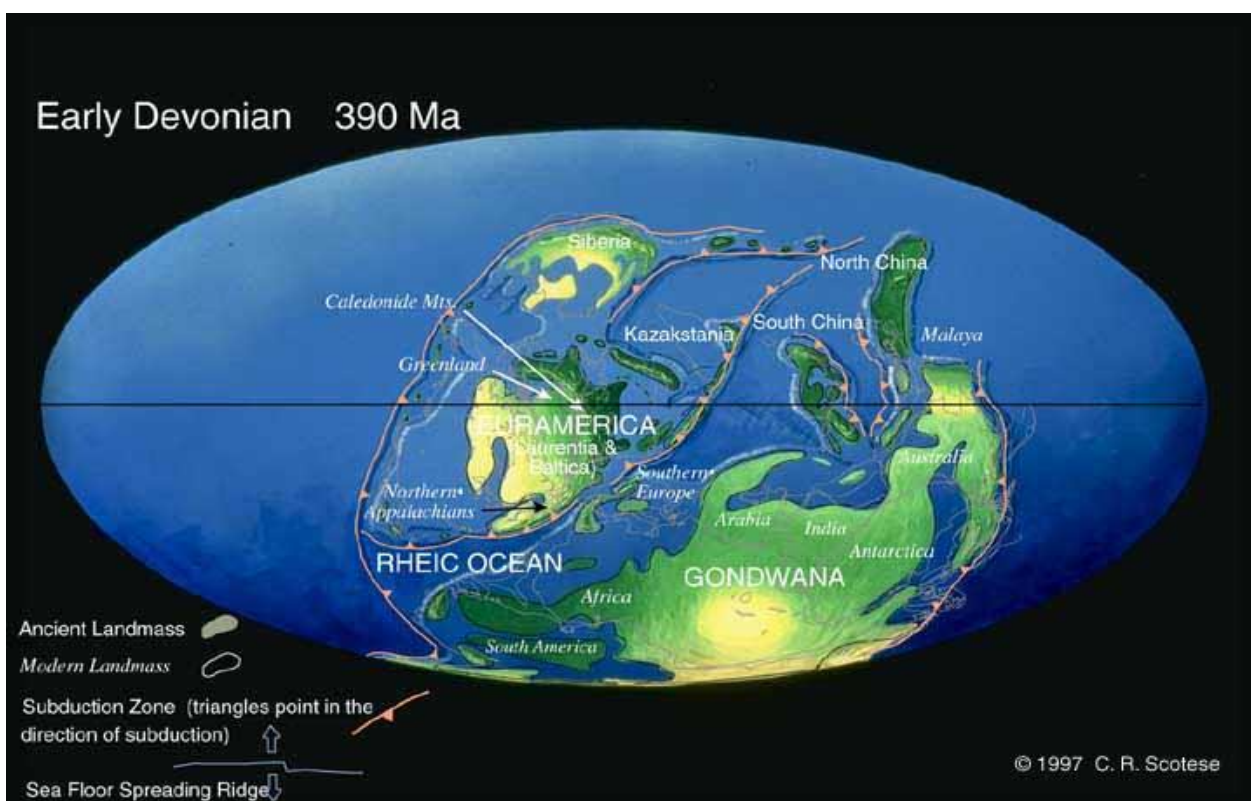


Рисунок 8 – Океаны и суша раннего девона

На юге Западного полушария разместилась Гондвана, а на севере – Еврамерика, Сибирь и более мелкие массивы. Континенты сближались, и лежавшие между ними океаны (Рея, Уральский и Палеотетис) медленно уменьшались в размерах. В состав Еврамерики входили Лаврентия, Балтика и Авалония (восток Северо-Американской платформы), а также затопленная Арморика (древняя часть Западной Европы). Рядом с Еврамерикой лежали

полузатопленные Иберия и Сибирь. В Восточном полушарии раскинулся океан Панталасса, из-под вод которого островами приподнимались фрагменты затопленной Китайской платформы.

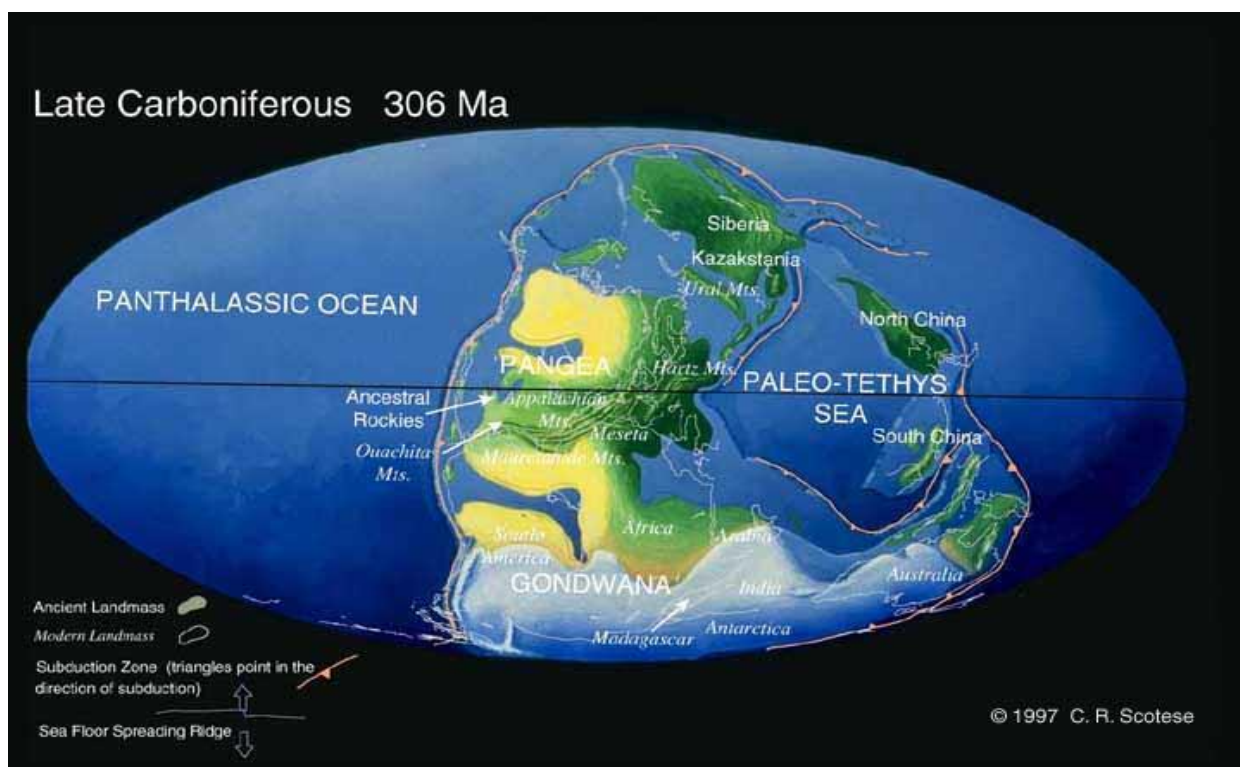
Девон – век рыб, на протяжении которого происходил дальнейший рост габаритов животных. Длина крупнейшей панцирной рыбы – динихтиса – превышала 10 м. К концу девона почти все бесчелюстные рыбы исчезли, из них выжили и сохранились до нашего времени только миноги и миксины. Челюстные рыбы разделились на группы: панцирные, лучеперые, кистеперые, истинные акулы, двоякодышащие рыбы. Среди морских беспозвоночных руководящее значение сохранили моллюски: брахиоподы и головоногие. Изменяется строение наземных растений – возникают прочные древесные ткани и органы, подобные корням. В середине девона, около 375 млн лет назад, на планете появились *первые лесные сообщества*. Первыми древовидными растениями были *споровые*: плауновидные, папоротниковидные, хвощевидные. В конце девона возникли первые *голосеменные* растения – кордаиты. В позднем девоне появились возможные предшественники наземных четвероногих позвоночных – рыбы пандерихтииды. В конце позднего девона распространились первые *четвероногие* амфибии с жабрами и легкими – стегоцефалы (ихтиостега и акантостега). На суше обитали не только членистоногие и земноводные, но и некоторые брюхоногие моллюски (или гастроподы). В позднем девоне произошло очередное массовое вымирание, охватившее более 50 % видов животных.

### 3.4.5 Каменноугольный период (карбон)

*Каменноугольный период* — предпоследний (пятый) геологический период палеозойской эры. Начался  $358,9 \pm 0,4$  млн. лет назад, закончился  $298,9 \pm 0,15$  млн. лет назад. Продолжался около 60 млн лет. Название получил из-за сильного углеобразования в это время. В каменноугольном периоде вся суша лежала в Западном полушарии. В результате сближения материков началась герцинская складчатость. Евразия вплотную приблизилась к Гондване. С севера к Евразии почти примкнули Сибирь и Казахстан, что привело к исчезновению Уральского океана. Таким образом, в карбоне началось формирование грандиозного суперконтинента Пангеи (рис. 9). После объединения древних платформ остался один океан – Панталасса. От него внутрь Пангеи гигантским заливом с востока внедрялся океан Палеотетис. Массив Гондваны в очередной раз оказался на Южном полюсе – началось покровное оледенение Гондваны. В это же время жаркий и влажный климат сохранялся в пределах Евразии – здесь активно накапливались гигантские запасы торфа, позднее превратившиеся в угли.

В карбоне бурно развивались леса, и содержание атмосферного кислорода достигло пика во всей истории Земли – 35 %. В лесах росли споровые и голосеменные деревья. Размерами и разнообразием выделялись древовидные папоротники, древовидные плауны – лепидодендроны и сигиллярии, древовидные хвощи – каламиты. Широко распространились голосеменные деревья

– кордаиты, а также древесные и кустарниковые формы глоссоптеридиевых. В океанах росло разнообразие акул и костных рыб. Землю заселили гигантские членистоногие. На суше обитали пульмоноскорпионы (до 70 см длиной) и древние пауки-сенокосцы. Возникли первые *летающие* обитатели планеты – гигантские стрекозы, с размахом крыльев до 1 м. На суше распространились такие амфибии, как антракозавры (их представитель – силванерпетон). Наконец, возникли первые *истинные яйцекладущие рептилии* – палеотирис и гилономус Лайеля.



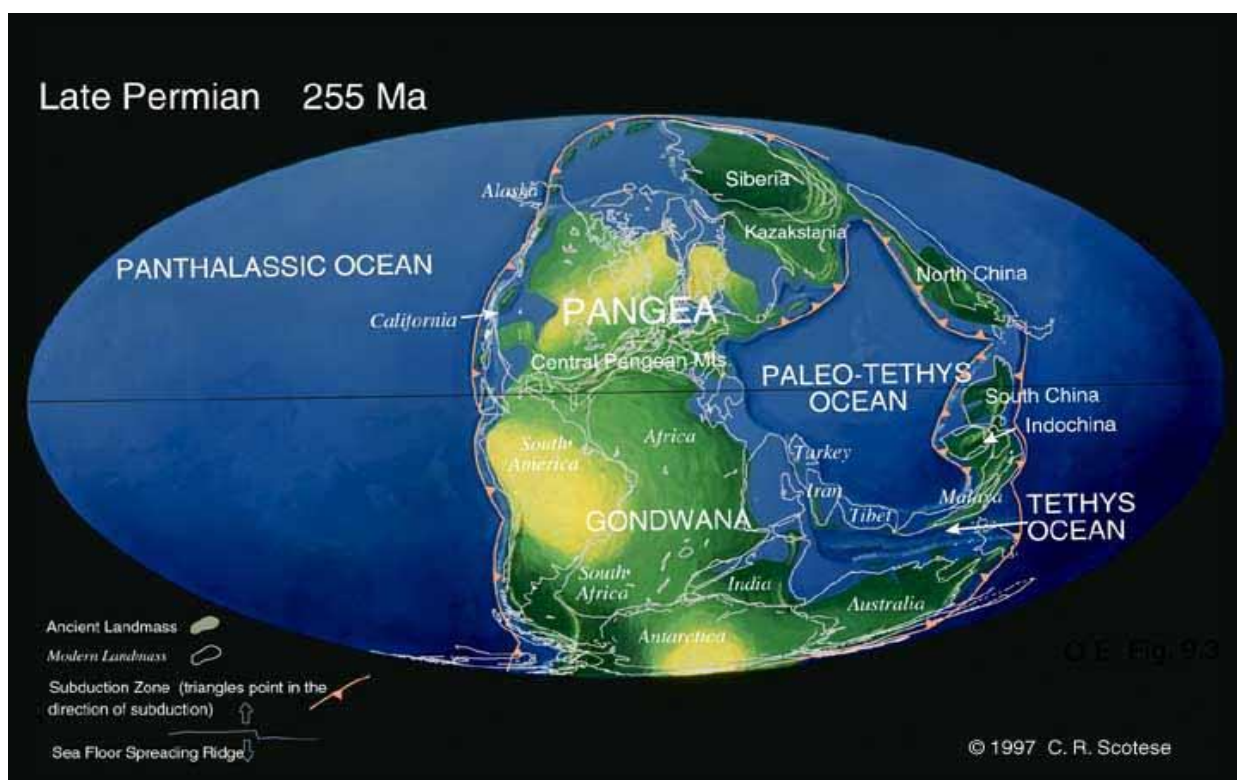
**Рисунок 9 – Океаны и суша позднего карбона**

В позднем карбоне яйцекладущие четвероногие разделились на две ветви: рептилий и синапсид. Среди руководящих морских беспозвоночных многообразием форм выделились представители фораминифер (одноклеточных простейших) – фузулиниды, длина их карбонатных раковин достигала 3 см. В конце карбона произошло покровное оледенение.

### 3.4.6 Пермский период

*Пермский период (пермь)* — последний геологический период палеозойской эры. Начался  $298,9 \pm 0,15$  млн. лет назад, закончился  $252,17 \pm 0,06$  млн. лет назад. Продолжался около 47 млн. лет. Массивы почти всех древних платформ соединились — завершилась *герцинская* складчатость, и на планете возник единый континент *Пангея*. Вокруг него раскинул воды океан Панталасса, а с востока внутрь Пангеи вклинился океан Палеотетис (рис. 10).

Складчатые сооружения герцинского возраста ныне представлены на всех материках. Прежде всего, ими сформированы кристаллические фундаменты молодых платформ: Патагонской, Западно-Европейской, Скифской, Туранской, Западно-Сибирской. К концу палеозоя завершается складкообразование в Южных Аппалачах, горах Герцинской Европы, на Урале, западе Казахского мелкосопочника, в Южном Тянь-Шане, на Алтае, Куньлуне, в Большом Водораздельном хребте, Капских горах и проч. От Гондваны откололись и двинулись на север центральные массивы современных Анатолийского, Иранского и Тибетского нагорий. В пермском периоде уровень морских вод упал до минимальной отметки за всю историю фанерозоя.



**Рисунок 10 – Океаны и суша поздней перми**

Герцинский орогенез сопровождался крупнейшим вулканизмом на территории Сибирской платформы – из трещин изливались потоки базальтовых лав, формируя огромные трапповые покровы. Гигантские размеры суши и обмеление океана обусловили невиданную степень аридности климата, что привело к сокращению роли споровых растений и росту значения голосеменных. Шельфовые моря превращались в лагуны, где активно накапливались соли – свыше 80 % мировых запасов калийной соли имеют пермский возраст. В конце пермского периода начался раскол Гондваны, ее обширные участки вновь испытали покровное оледенение.

В ранней перми вся суша объединилась в один массив – Пангею, что привело к резкому усилению континентальности климата. С этим связана деградация споровых (особенно древовидных плаунов и хвощей) и начало расцвета голосеменных. Среди голосеменных формировались птеридоспермо-

вые, хвойные, цикадовые и гинкговые – все они получили лидерство позднее, в мезозое. В начале перми суша северного полушария находилась в теплых климатических условиях – здесь росли примитивные хвойные, тогда как в более прохладном южном полушарии распространились голосеменные папоротники. В конце перми полное господство на Земле получили голосеменные. Развитие сухопутных рептилий ознаменовалось распространением синапсид. В ранней перми среди синапсид появились холоднокровные пеликозавры – они составляли 75 % числа всех видов наземных четвероногих. В поздней перми пеликозавры вымерли, зато распространились терапсиды, а среди них – цинодонты. Цинодонты («собачьи зубы») обладали рядом признаков, характерных млекопитающим: они были первыми четвероногими с дифференцированными зубами, ноги цинодонтов располагались под туловищем (как у современных млекопитающих), а не сбоку от него (как у нынешних рептилий) (рис. 11).



**Рисунок 11 – Цинодонт**

В перми возникла *первая летающая рептилия* – целурозавравус. Роль крыла у нее выполняла кожистая пленка, натягивавшаяся между длинными ребрами. На конец перми приходится *величайшая экологическая катастрофа* – самое страшное за всю историю массовое вымирание животных. Погибло 90 % видов морских беспозвоночных (из 250 000 видов выжило 10 000), среди них – все трилобиты и фузулиниды, почти все брахиоподы. На суше исчезло 2/3 семейств терапсидов и 1/3 семейств амфибий.

### **3.5 Мезозойская эра**

*Мезозойская эра* — геологическая эра, которая продолжалась от 252,17 ± 0,06 млн. лет назад до 66,0 млн. лет назад (всего около 186 млн. лет). Мезозой следовал за палеозоем и предшествовал кайнозою. Вместе эти три эры составляют фанерозойский эон. Мезозойская эра делится на три периода: триасовый, юрский и меловой.

### 3.5.1 Триасовый период

*Триасовый период* или *триас* — первый геологический период мезозойской эры. Следует за пермским периодом, предшествует юрскому. Начался  $252,17 \pm 0,06$  млн. лет назад, закончился  $201,3 \pm 0,2$  млн лет назад. Продолжался около 51 млн лет. Триасовый период характеризуется относительным тектоническим покоем и преобладанием геократических условий. Только в позднем триасе проявились первые фазы киммерийской складчатости. В меридиональной плоскости Земля разделялась на две части: одна из них была занята океаном Панталасса, другая – Пангеей и расширявшимся океаном Тетис (рис. 12).

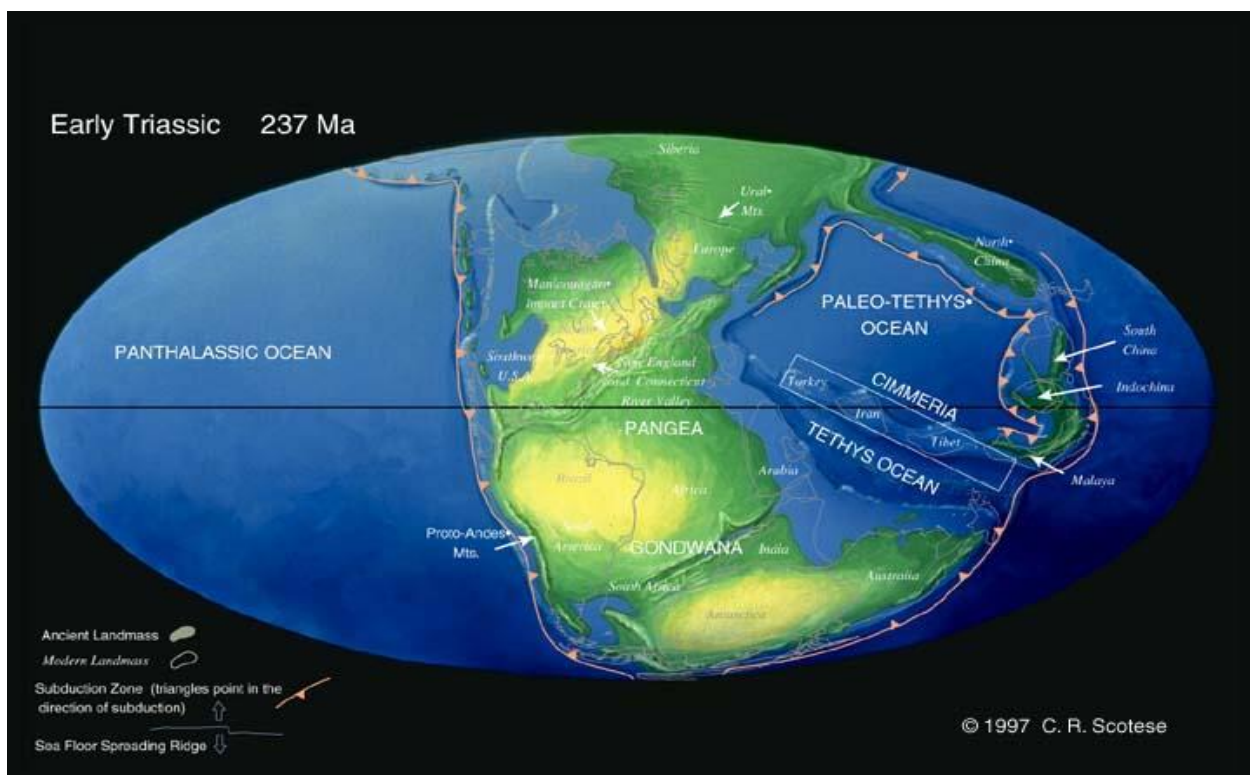


Рисунок 12 – Океаны и суша раннего триаса

Единый массив Северного, Южного Китая и Индокитая примкнул к юго-западной окраине Лавразии. Южнее, до границ Гондваны, простирался океан Тетис. Продолжались распад Гондваны и излияния трапповых лав в Сибири.

На протяжении большей части триаса климат оставался континентальным. Триас является переходным периодом в развитии органического мира – наряду с появлением новых, мезозойских форм, продолжали существовать и представители палеозоя. В морях распространились головоногие моллюски, остаткам которых принадлежит руководящее значение. Среди них аммониты со спирально закрученной раковиной и белемниты с цилиндрическим ростром (рис. 13).



*a*



*б*

**Рисунок 13 – Аммонит (*a*) и белемнит (*б*)**

На смену вымершим древним кораллам пришли шестилучевые кораллы. Разнообразнее стали костные рыбы. На мелководье активно расселялись двустворчатые моллюски. Изменялась растительность суши – голосеменные древовидные папоротники исчезли, хотя их споровые представители сохранились. Процветали хвощи и цикадовые, увеличилось разнообразие хвойных – в целом на суше преобладали голосеменные. Изменялся животный мир суши: если в начале триаса еще широко распространены были хвостатые амфибии, то к концу триаса они вымерли, уступив место бесхвостым – лягушкам. Среди обитателей суши многие четвероногие перми также вымерли, но цинодонты сохранились, разнообразие их возросло. Цинодонты явились, вероятнее всего, прямыми предками древнейших млекопитающих. Первые *млекопитающие* возникли в триасе – они были яйцекладущими и отличались малыми размерами (длиной 5 – 15 см). Их представителями можно назвать птилидуса и мегазостродона. Среди водных рептилий господствовала новая группа – фитозавры. В конце триаса власть в небе захватили летающие рептилии – птерозавры, у которых кожистые перепонки натягивались уже не между ребрами, а между конечностями и туловищем. В триасе некоторые группы рептилий переходят к жизни в воде и быстро получают там господство – владыками морей стали ихтиозавры, в том числе крупнейшие из них – шонизавры (до 15 м в длину). В конце триаса на суше распространились потомки архозавров – *динозавры*. Возникла первая *птица* (нелетающая) – протоавис.

### **3.5.2 Юрский период**

*Юрский период (Юра́)* — средний (второй) период мезозойской эры. Начался  $201,3 \pm 0,2$  млн. лет назад, закончился 145,0 млн. лет назад. Продолжался около 56 млн лет. В пределах океана Панталасса формировалась котловина Палеотихого океана. Пангея разделилась крестообразно пересекающимися разломами и затем распалась – начал формироваться центр будущей Атлантики (рис. 14). Огромная Гондвана двинулась к югу. Лавразия раздробилась и сместилась на север. Северо-Американский блок вместе с Гренлан-

дией отделился от остальной части Лавразии и от Южной Америки – зарождались Северная Атлантика и Северный Ледовитый океан. В середине юры возник разлом между Африканской и Южно-Американской платформами – заложилась впадина Южной Атлантики (рис. 15). Начал закрываться океан Тетис – на его месте формировались горно-складчатые сооружения мезозойской (киммерийской) складчатости.

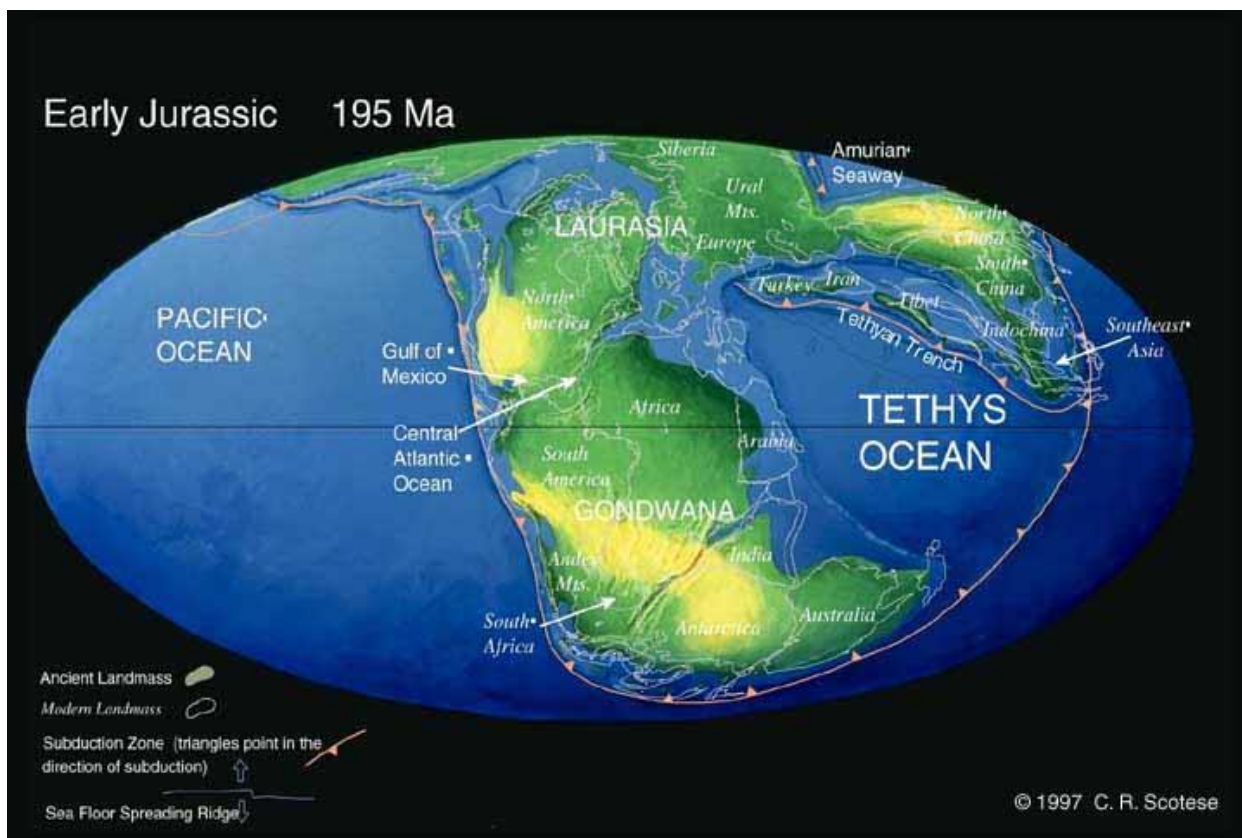
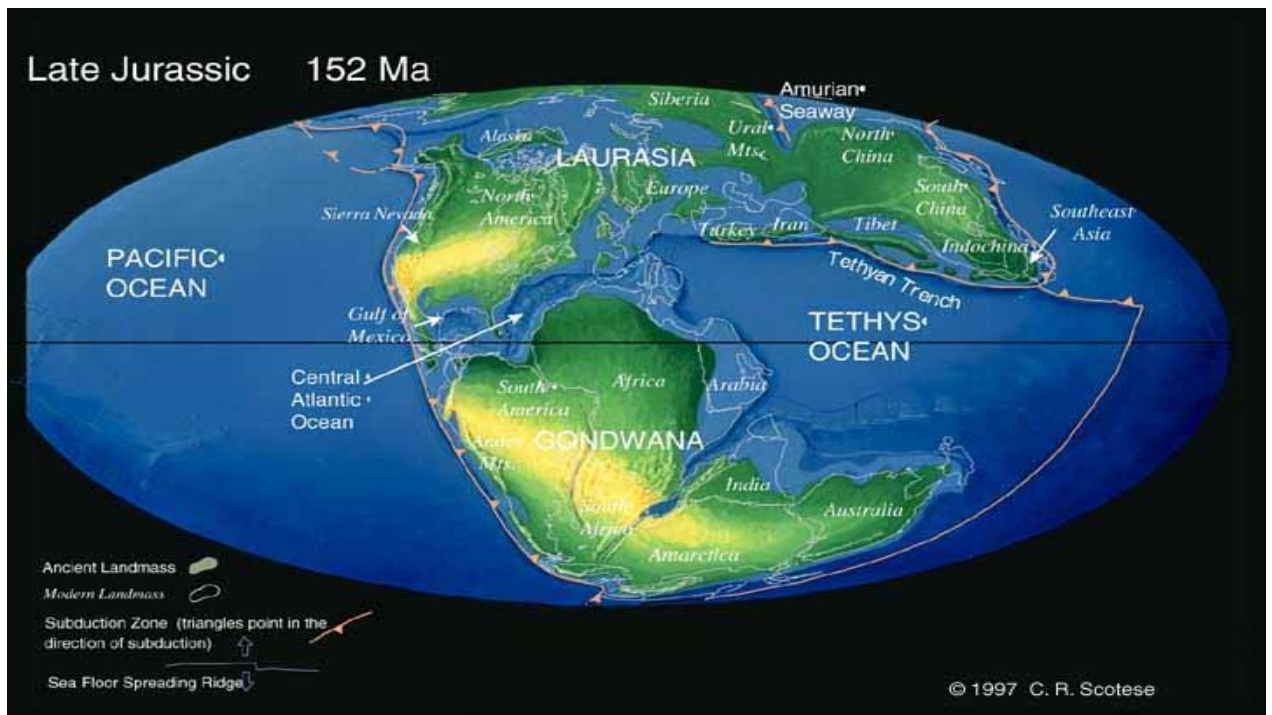


Рисунок 14 – Океаны и суша ранней юры

Распад Пангеи привел к прогрессирующим морским трансгрессиям. Окраины материков затопились мелкими шельфовыми морями, увеличились влажность и температура воздуха – климат стал «парниковым». В мелководных теплых морях широко распространились планктон и кораллы, возникли грандиозные коралловые рифы. Органический мир в юре приобрел типично мезозойский облик. Юра – это период расцвета рептилий, получивших господство в морях, на суше и в воздухе (юру часто называют веком динозавров). Среди морских беспозвоночных руководящее значение получили (и стали символом юрского периода) аммониты – головоногие моллюски, диаметр раковины которых мог превышать 2 м. Столь же широкое распространение получили и головоногие моллюски белемниты, подобные современным кальмарам. Окаменевший ростр белемнитов, или «чертов палец», достигает длины 40 см.



**Рисунок 15 – Океаны и суша поздней юры**

Появились и приобрели рифообразующее значение шестилучевые кораллы, аналогичные современным. Важнейшим событием явилось бурное развитие двух групп планктонных организмов: одноклеточных водорослей кокколитофорид и простейших фораминифер. Скопления их карбонатных скорлупок создали толщи известковых пород. Среди морских позвоночных господствовали рептилии: ихтиозавры (до 15 м длиной), плезиозавры (длинные ящеры до 14 м длиной) и плиозавры (короткошеие ящеры до 12 м длиной). Увеличилось разнообразие рыб. Преобладали костные ганоиды – рыбы округлой формы, с толстыми чешуями. Распространялись костистые рыбы, подобные современным. Существенно изменилась растительность суши. Сильно упала роль споровых – исчезли древовидные плауны и хвощи, хотя папоротники по-прежнему процветали. В юре продолжалось господство голосеменных. Их типичными представителями были деревья лиственные: цикадовые, беннетитовые, чекановские, а также гинкговые (дожили до наших дней). Развивались и хвойные (например, предки секвойи). Важнейшим событием раннего мела явилось возникновение *покрытосеменных* (цветковых) – колючих кустарников. Широкое распространение болот обусловило активное торфонакопление – юрские слои по запасам углей занимают второе место после карбоновых (в отложениях юры заключено более 15 % мировых запасов ископаемых углей). В животном мире суши господствовали динозавры, которых разделяют на две группы: звероящеров и птицеящеров. Группа звероящеров делится на два отряда: травоядных (зауроподы) и хищных (тероподы). Среди травоядных крупнейшими были брахиозавр, или рукоящер (длиной до 23 м и весом до 60 тонн), бронтозавр (весом до 30 тонн), диплодок (длиной до 23 м и высотой более 11 м), стегозавр (длиной до 9 м). Хищные динозавры были представлены аллозаврами. В числе птицетазовых ящеров

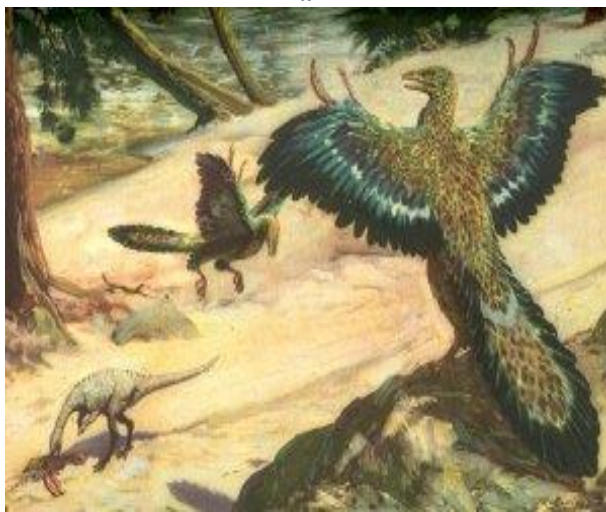
нужно отметить отряд анкилозавров – самых распространенных из растительноядных динозавров. В начале юрского периода развивается новая группа мелких млекопитающих – многобугорчатые млекопитающие, обитавшие на планете около 40 млн. лет. Многобугорчатые были живородящими и растительноядными. В воздухе продолжалось господство птерозавров: птеродактили, рамфоринхи, птеранодоны (с размахом крыльев до 12 м). Появляется первая летающая птица – археоптерикс (размером с сороку) (рис. 16).



*а*



*б*



*в*



*г*

**Рисунок 16 – Фауна юрского периода:**

*а* – брахиозавр; *б* – диплодок; *в* – археоптерикс; *г* – птеродактиль

### **3.5.3 Меловой период**

*Меловой период* — последний период мезозойской эры. Начался 145,0 млн лет назад, закончился 66,0 млн лет назад. Продолжался около 79 миллионов лет. Название происходит от писчего мела, который добывается из осадочных отложений этого периода, сформированных богатыми скоплениями ископаемых беспозвоночных морских организмов. В начале мелового периода большая часть суши находилась в Западном полушарии. Почти заверши-

лось разделение Южной Америки и Африки – продолжалось формирование Южной Атлантики. На восточной окраине Африканского разломами отделяются платформы Австралийская, Антарктическая, Индостанская и Мадагаскар. В результате заложилась впадина Индийского океана и восточная окраина Тетиса начала сужаться. Северная Америка с Гренландией отделились от Южной Америки и еще сильнее отодвинулись от Евразии – в итоге океан Тетис проник в Северную Атлантику и соединил западную и восточную окраины Палеотихого океана. Китайская платформа впервые целиком стала сушей. Во второй половине мела суша распределилась между Северным и Южным полушариями. В начале позднего мела возникло два новых массива суши: объединенные Антарктида и Австралия, а также Индостан с Мадагаскаром (рис. 17). Эти массивы окончательно распались в конце позднего мела, когда Австралия и Антарктида двинулись на юго-восток, а Индостан в сопровождении более мелких блоков (Иранского, Тибетского и проч.) – на север.

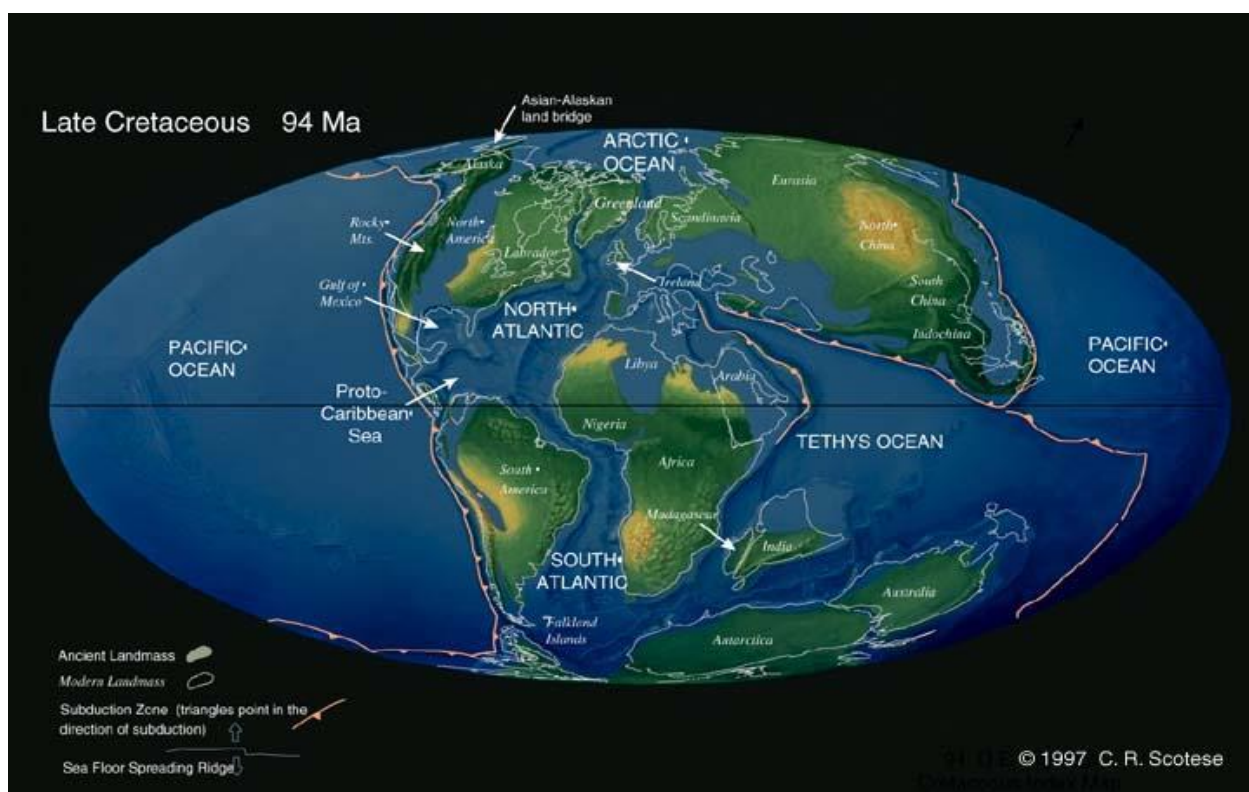


Рисунок 17 – Океаны и суша в начале позднего мела

Завершалась *киммерийская* (мезозойская) складчатость. Киммерийские горно-складчатые сооружения приурочены к двум поясам: Тихоокеанскому и Альпийско-Гималайскому. Они развиты в пределах Скалистых гор и Кордильер США и Канады, в Верхояно-Чукотской складчатой области и Сихотелине, в южном обрамлении Тибета, горах Индокитая и п-ова Малакка. На рубеже с палеогеном – 65 млн. лет назад, Земля подверглась страшным ударам астероидов: на севере современного Юкатана и на побережье Карского моря.

В меловом периоде моря охватили наибольшую площадь за всю историю фанерозоя. Благодаря этому климат оставался теплым и влажным. Изменяется растительность суши – если в раннем мелу господствовали голосеменные, преобладали кедры и секвойи, то с середины мела широко распространились покрытосеменные: предки современных магнолий, ив, тополей, платанов, лавров. К концу мела сложились все основные группы цветковых растений.

К концу мелового периода соединились в одно целое не только бассейны Северной и Южной Атлантики, но и все океаны. Атлантика на востоке сливалась с Тетисом, на севере – с Северным Ледовитым, а на западе – с Палеотихим океанами (рис. 18).

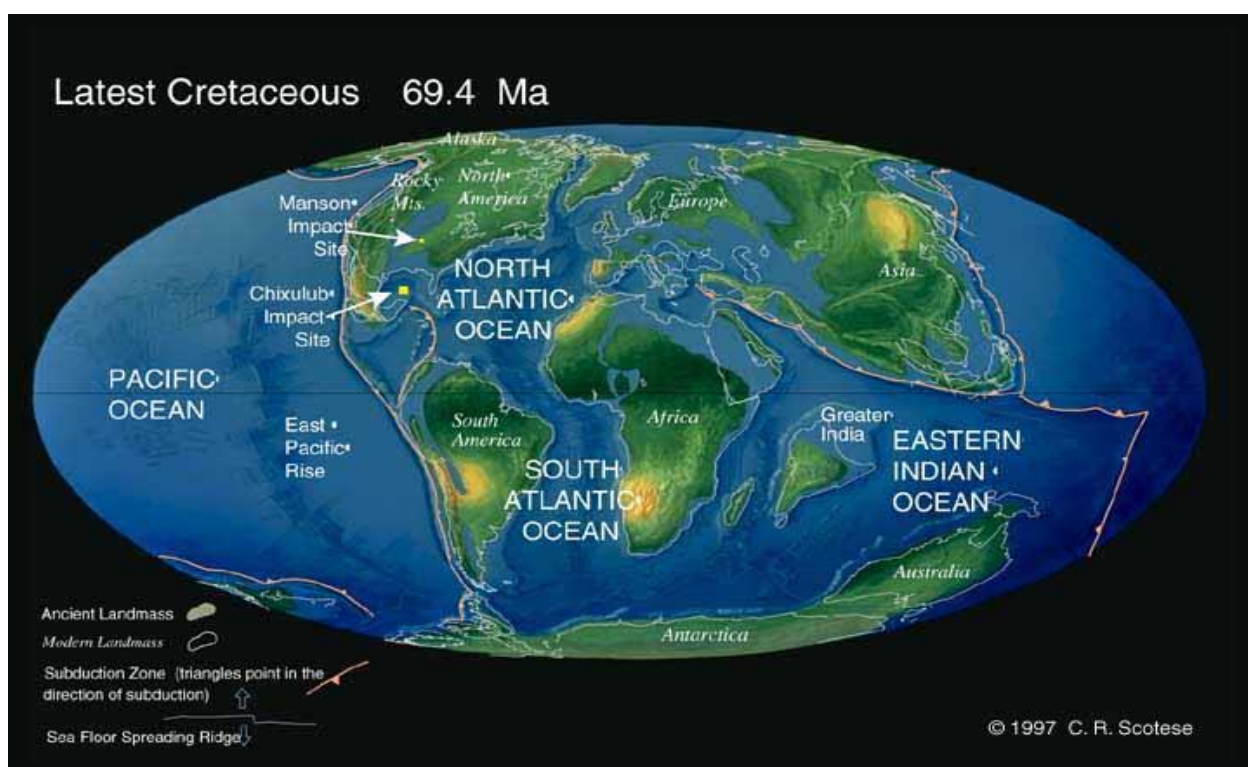


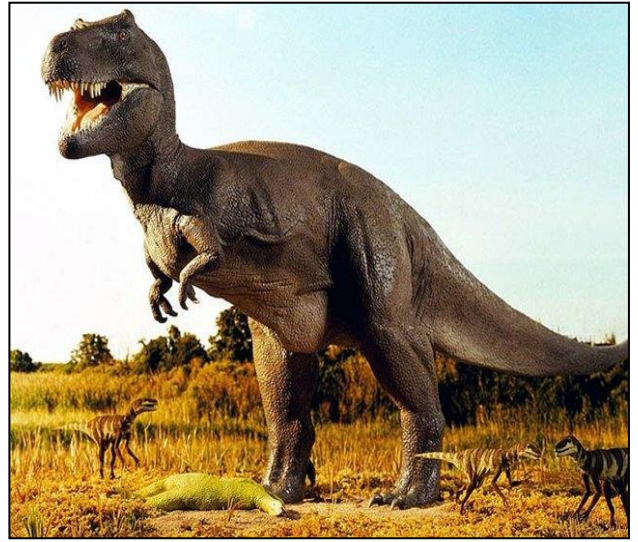
Рисунок 18 – Океаны и суша в конце позднего мела

В океане обитали те же группы беспозвоночных, что и в юре: аммониты, белемниты, шестилучевые кораллы. Широкое развитие получили микроскопические кокколитофориды, обусловившее накопление запасов белого писчего мела. Для многих беспозвоночных присущ гигантизм – диаметр раковин меловых аммонитов превышал 2 м. Среди морских позвоночных по-прежнему господствовали рептилии, однако на смену исчезающим ихтиозаврам пришли еще более грозные хищники – мозазавры, длина которых превышала 15 м. Мозазавры были крупнейшими и наиболее высокоразвитыми из морских рептилий. Распространились гигантские черепахи (длиной до 5 м). Развились также величайшие из животных, когда-либо обитавших на суше – стотонные сейсмозавры (или суперзавры) из группы травоядных звероящеров. Хищные динозавры также были крупнейшими за всю историю пло-

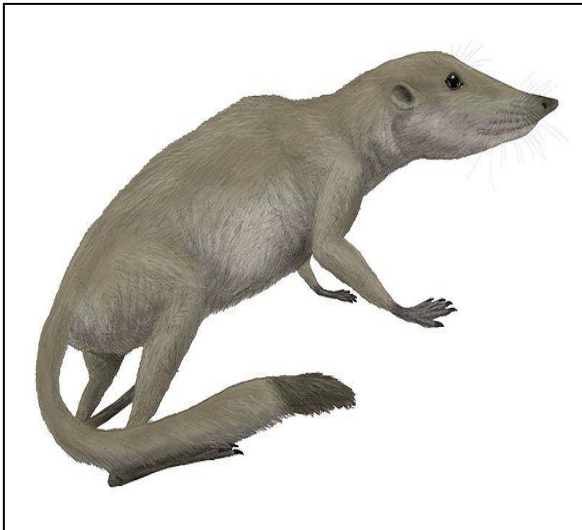
тоядными суши: в отряде карнозавров знамениты 12-тиметровой длины королевские тираннозавры (весом более 9 тонн). Млекопитающие в мелу оставались маленькими, но разделились на четыре типа: многобугорчатые (ныне вымершие, растительноядные), яйцекладущие (или однопроходные), сумчатые (или метатерии), истинные (или плацентарные, или эутерии). Представителями древнейших *плацентарных* были заламбдалестес (похожий на землеройку) и древнейший предок приматов пургаторий – все они, вероятно, питались насекомыми. Продолжалось развитие птиц, известны летающий ихтиорнис и подобный пингвину гесперорнис (рис. 19).



*а*



*б*



*в*



*г*

**Рисунок 19 – Фауна мелового периода:**

*а* – мозазавр; *б* – тираннозавр; *в* – заламбдалестес; *г* – ихтиорнис.

В конце мела произошло грандиозное вымирание – гибнут почти все рептилии мезозоя (морские, сухопутные и летающие), в целом же исчезло 75% видов животных. Кроме того, погибают многие наземные растения: полностью – птеридоспермовые, почти целиком – гинкговые и цикадовые.

Возможной причиной экологической катастрофы явились последствия падения астероидов – *Карского* на берегу Карского моря и *Чиксулубского* на северо-западе Юкатана. Чиксулубский астероид, диаметром около 10 км, врезался в Землю под малым углом и пропахал борозду протяженностью до 100 км и глубиной 12 км. Вал кратера достигал высоты 8 км. Взрыв выбросил в атмосферу до 50 000 км<sup>3</sup> измельченного известняка и миллионы тонн серы – последнее привело к массивным сернокислотным дождям. По суше пронеслись гигантские цунами, возникли ураганы и пожары, сажа от которых погрузила планету во тьму, вызвав дожди и глобальное похолодание. Свидетельством космического катаклизма выступает *иридиевая аномалия* – крайне высокое содержание иридия в горных породах возрастом 65 млн лет. Динозавры окончательно исчезли через 100 тыс. лет после катастрофы, аммониты – через 200 тыс. лет.

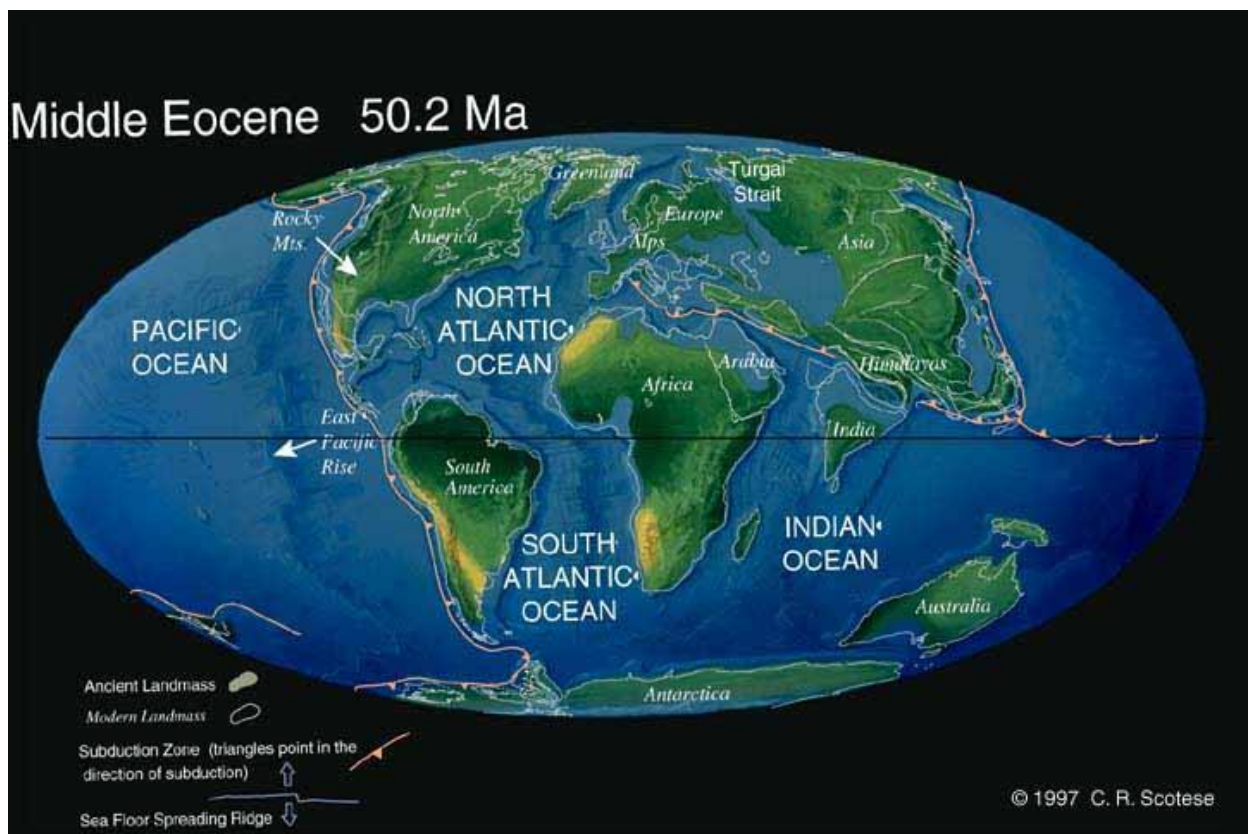
### 3.6 Кайнозойская эра

*Кайнозойская эра* — текущая эра геологической истории Земли. Началась около 65,0 миллионов лет назад (эта граница проведена по массовому вымиранию видов в конце мелового периода) и продолжается до сих пор. Кайнозойская эра делится на три периода: палеоген, неоген и четвертичный период (антропоген).

#### 3.6.1 Палеогеновый период

*Палеогеновый период* — геологический период, первый период кайнозоя. Начался 66,0 млн. лет назад, закончился 23,03 млн. лет назад. Продолжался, таким образом, около 43 млн. лет. Завершилось разделение Австралии и Антарктиды. На северо-востоке Африки началось формирование рифта Красного моря, от Африканской платформы отделился Аравийский блок (рис. 20). Африканская литосферная плита продвинулась севернее и Тетис разделился на две части: западную и восточную. На западе началось оформление Альп, гор Балканского полуострова и складчатого обрамления Анатолии. С Евразией столкнулась Иберия – возникли Пиренеи.

В результате горообразования западная часть Тетиса также распалась на Западный Паратетис (соединял Атлантический и Индийский океаны) и Восточный Паратетис (от предгорий Альп по Аральское море). В конце олигоцена восточная часть Тетиса исчезает – на ее месте возносится гигантская горно-складчатая система. В конце палеогена началось похолодание и в горах Антарктиды возникли ледники.



**Рисунок 20 – Океаны и суша среднего эоцена**

С начала палеогена постепенно падал уровень океанов, но климат оставался теплым и влажным. Лишь в конце палеогена морские регрессии обусловили рост континентальности и похолодание климата. Органический мир Земли приобрел черты, близкие к современным; господство получили млекопитающие. В океанах ведущая роль перешла к рыбам костистым и хрящевым (акулам), а также к древнейшим морским млекопитающим – китам. Среди фораминифер (морских простейших) в середине палеогена руководящее значение заняли нуммулиты, некоторые из них обладали огромными раковинами (диаметром до 10 см). Из беспозвоночных активнее всех развивались моллюски: двустворчатые и брюхоногие. В растительности суши произошел расцвет покрытосеменных. В мягком климате палеогена леса, подобные современным умеренных широт, распространялись почти до полярных кругов. На суше место гигантских рептилий мезозоя заняли гигантские же млекопитающие. Млекопитающие разделились на хищных, грызунов, насекомоядных, парно- и непарнокопытных, хоботных, сумчатых, рукокрылых и приматов. Быстро развивались птицы и насекомые. Из пресмыкающихся обитали ящерицы, крокодилы, змеи, черепахи; из амфибий – лягушки, жабы и саламандры. Другими крупными обитателями были носороги титанотерии, слоны динотерии и платибелодоны.

### 3.6.2 Неогеновый период

*Неогеновый период* — геологический период, второй период кайнозойской эры. Начался 23,03 млн. лет назад, закончился 2,588 млн. лет назад. Продолжался около 20 миллионов лет. Делится на две эпохи — миоцен и плиоцен. В начале неогена возникли складки Анд и Северо-Американских Кордильер, оформился Панамский перешеек (рис. 21). В результате прервалась связь центра Атлантики с Тихим океаном, обособились морские течения тропических широт и возник Гольфстрим. Индостан столкнулся с Евразией — вздыбились хребты Гималаев. Океан Тетис практически исчез — от него сохранилась лишь единая котловина Восточного Паратетиса, объединявшая современные Средиземное, Черное и Каспийское моря. Около 20 млн лет назад возникли первые ледники в пределах Антарктиды. Продолжился раскол Африки — оформлялся Восточно-Африканский континентальный рифт. Индо-Австралийская и Африкано-Аравийская плиты двигались все дальше на север, наращивая складчатые массивы Средиземноморско-Индонезийского пояса. Таким образом, альпийская складчатость привела не только к росту площади суши, но и увеличению ее средней высоты, что не могло не сказаться на климате.

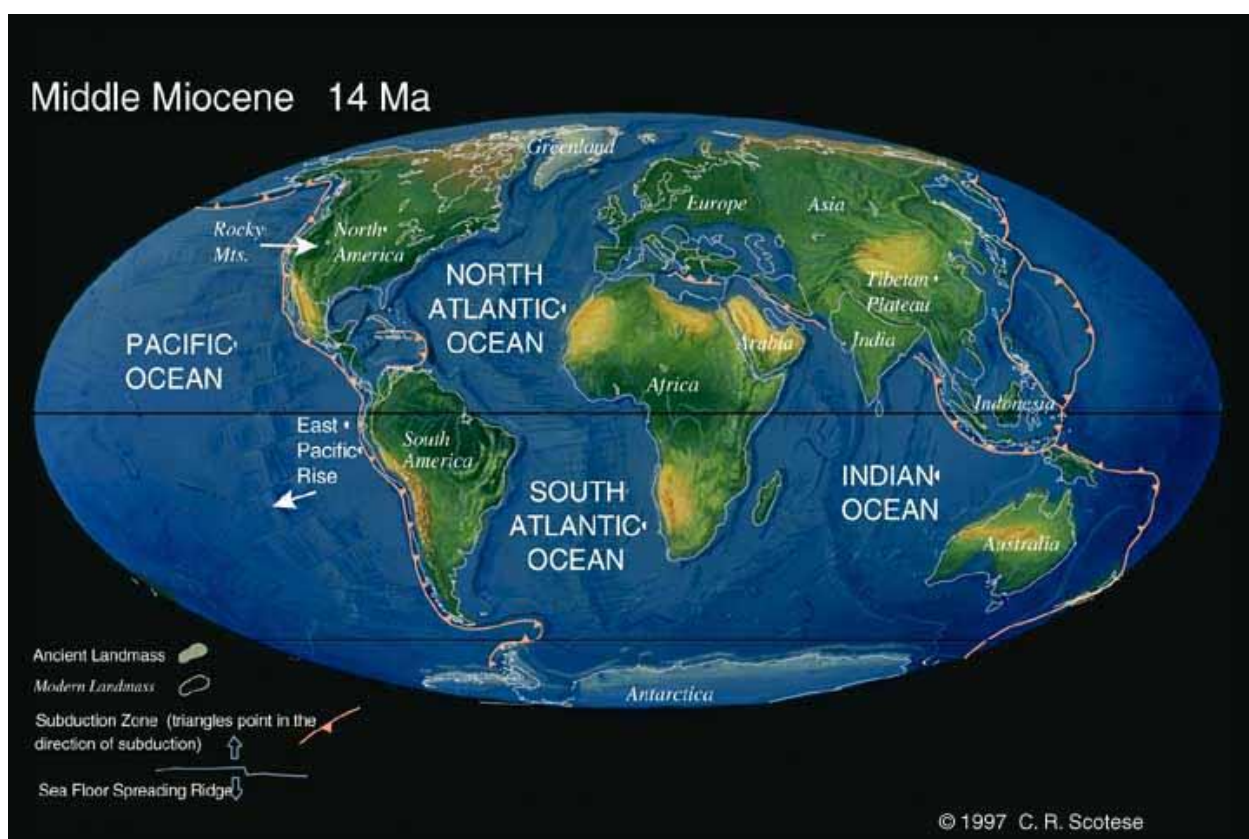


Рисунок 21 – Океаны и суша среднего миоцена

К концу неогена глобальное похолодание усилилось и горное оледенение Антарктиды перешло в покровное. Сформировались горные ледники в

Евразии и Северной Америке. Около 5 млн. лет назад возникла Исландия, почти сразу покрывшаяся льдами.

Прогрессировало похолодание и иссушение климата, начавшееся в позднем палеогене. В начале неогена (около 22 млн лет назад) в горах Антарктиды возникли ледники, а к концу неогена ледники охватили высокогорья северных материков. Лесные зоны сузились и отступили к более низким широтам. Широко распространились степи и саванны. Облик флоры и фауны стал еще ближе к современному. Разделение материков привело к тому, что развитие млекопитающих протекало по-разному. В пределах соединявшихся суши Евразии, Северной Америки и Африки быстро развивались копытные, собачьи, кошачьи, хоботные и медведи, а также узконосые обезьяны. На разрозненных южных континентах формировались специфические сообщества. В Южной Америке прогрессировали насекомоядные и обезьяны широконосые. В Австралии развивались наиболее примитивные млекопитающие: яйцекладущие и сумчатые.

### 3.6.3 Четвертичный период (квартер)

*Четвертичный период*, или *антропоген* — геологический период, современный этап истории Земли, завершает кайнозой. Начался 2,588 миллиона лет назад, продолжается по сей день. Четвертичный период подразделяется на две эпохи: плейстоцен и голоцен. Глобальное похолодание, начавшееся в миоцене, в квартере привело к развитию гигантских покровных ледников Северного полушария. Вся история четвертичного периода складывается из чередований волн тепла и холода — климат стал главным фактором, определявшим специфику природных геологических процессов. Во время ледниковых этапов господствующими агентами становились ледники. Во время максимального оледенения ледники занимали до 30% площади суши, а многолетняя мерзлота охватывала еще 20% (рис. 22).

В океанах до 50 % площади поверхности также покрывали шельфовые, припайные и плавучие льды. На суше ледниками накапливались толщи моренных и водно-ледниковых отложений. Атмосферная влага концентрировалась в ледниках, поэтому обводненность суши падала. Под давлением ледников земная кора прогибалась, уклоны рек уменьшались — падала скорость течения. Поэтому в речных долинах господствовали процессы аккумуляции, накапливались избыточные толщи аллювия. Во время межледниковий влажность климата увеличивалась, происходило гляциокомпенсационное поднятие материков — уклоны рек возрастали. Реки активизировали эрозионную работу, размывали и выносили аллювий — в речных долинах возникали надпойменные террасы. Накапливались толщи озерных и болотных отложений, формировались развитые горизонты почв.

Усиление похолодания привело к развитию покровных оледенений. В плейстоцене чередовались этапы холодные и сухие (ледниковые) с этапами теплыми и влажными (межледниковыми). Сильнее всего климатические ко-

лебания проявлялись в высоких и умеренных широтах, особенно на материках северных, тогда как на экваторе их почти не ощущалось.

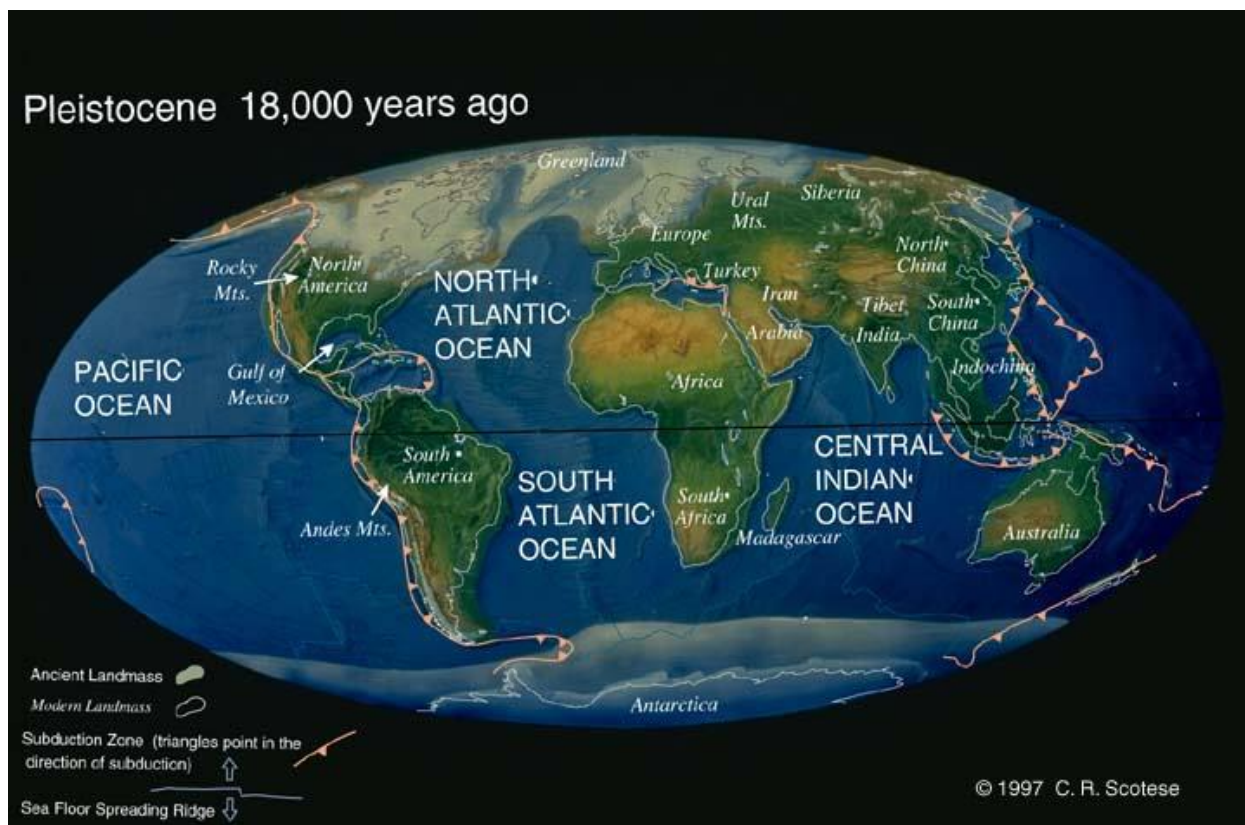


Рисунок 22 – Океаны и суша позднего плейстоцена

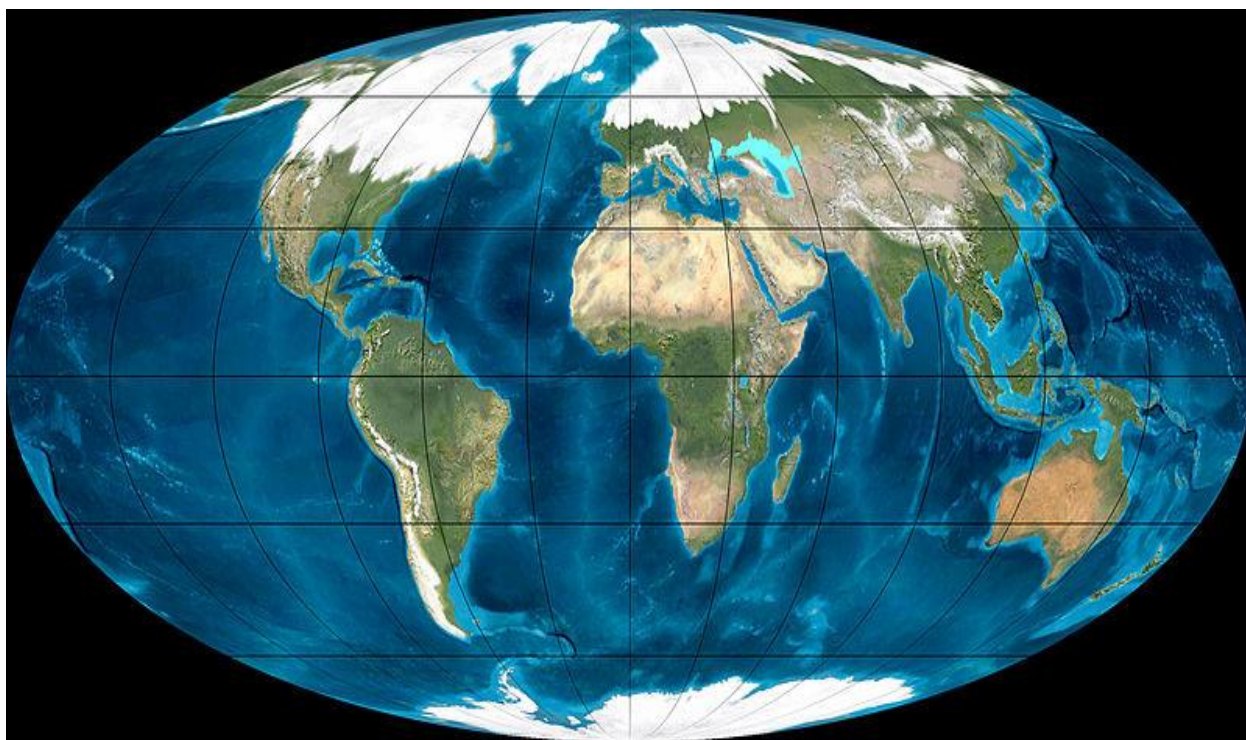
Синхронно господству холодных либо теплых условий изменялись и все природные процессы: падал либо повышался уровень океанов (с амплитудой до 120 м); сужались либо расширялись климатические пояса и природные зоны; земная кора испытывала гляциоизостатическое погружение либо поднятие; на северных материках доминировали гляциальные (ледниковые) либо флювиальные процессы. Важнейшими событиями в развитии органического мира четвертичного периода явились следующие: становление современного состава биоты; формирование современной структуры природной зональности; возникновение современных зон тундры, лесотундры и тайги; развитие и распространение современной формы человека разумного.

#### 4 Особенности развития земной коры в четвертичном периоде. Основные генетические типы четвертичных отложений

*Четвертичный период*, или *антропоген* — геологический период, современный этап истории Земли, завершает кайнозой. Начался 2,588 миллиона лет назад, продолжается по сей день. Это самый короткий геологический период, но именно в нём сформировалось большинство современных форм рельефа и произошло много важных событий истории Земли, важнейшие из которых — ледниковая эпоха и появление человека. Продолжительность чет-

вертичного периода так мала, что обычные методы относительного и изотопного определения возраста часто недостаточно точны и чувствительны. На таком коротком интервале времени применяется прежде всего радиоуглеродный анализ и другие методы, основанные на распаде короткоживущих изотопов. Специфика четвертичного периода по сравнению с другими геологическими периодами вызвала к жизни особую ветвь геологии — четвертичную. Четвертичный период подразделяется на две эпохи: плейстоцен и голоцен.

*Плейстоцен* (2,588 млн. — 11,7 тыс. лет назад) — время великих оледенений. Плейстоценовая эпоха сменила плиоценовую и сменилась голоценовой. В этой геологической эпохе суровые ледниковые периоды чередовались с относительно тёплыми межледниковьями. В начале плейстоцена на земле наступил длительный ледниковый период. В течение двух миллионов лет на планете многократно чередовались очень холодные и относительно теплые отрезки времени. В холодные промежутки, которые продолжались примерно 40 тысяч лет, континенты подвергались нашествию ледников. В промежутках с более тёплым климатом (межледниковьях) льды отступали, и уровень воды в морях поднимался (рис. 23).



**Рисунок 23 – Поздний плейстоцен (50 тыс. лет назад)**

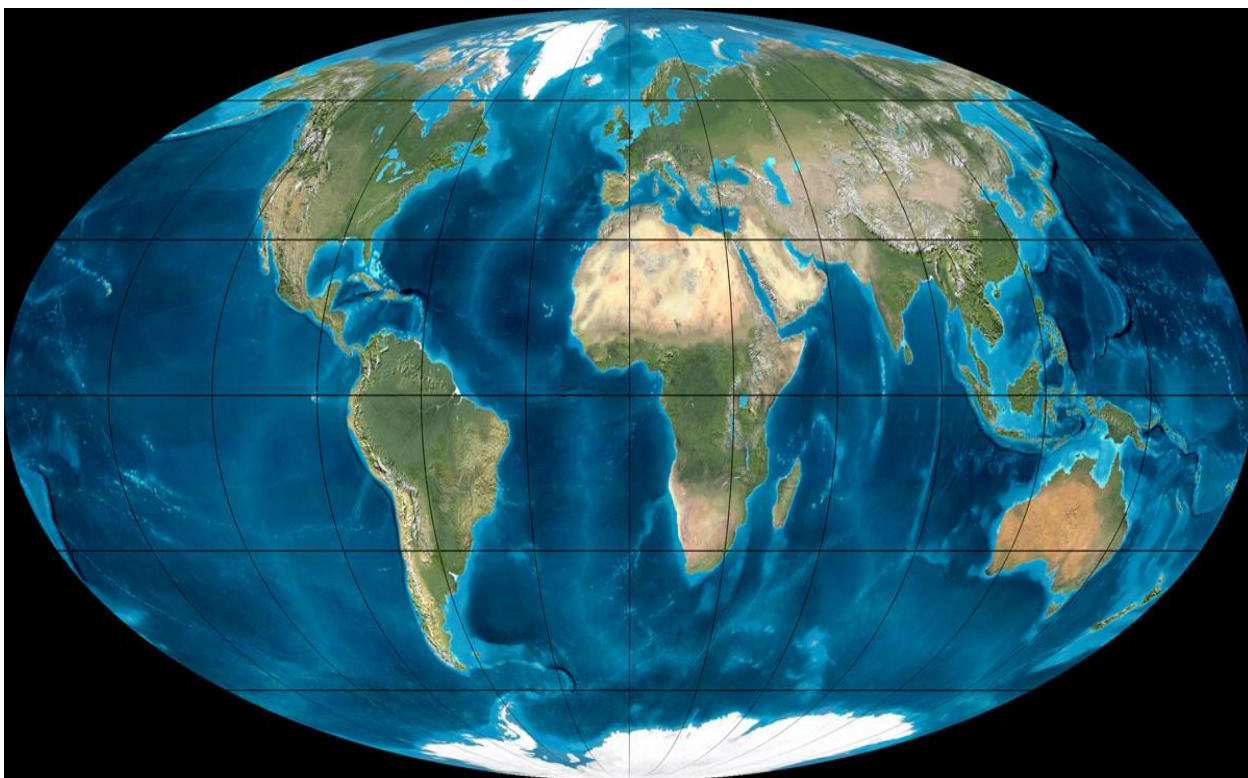
У многих животных холодных регионов планеты (например, у мамонта и шерстистого носорога) появился густой шёрстный покров и толстый слой подкожного жира. На равнинах паслись стада оленей и лошадей, на которых охотились пещерные львы и другие хищники. А приблизительно 180 тысяч лет назад на них начали охотиться и люди — сначала неандерталец, а затем и человек разумный. Однако многие крупные животные не смогли приспособ-

биться к резким колебаниям климата и вымерли. Около 10 тысяч лет назад ледниковый период окончился, и климат на Земле стал более тёплым и влажным. Это способствовало быстрому увеличению численности человеческой популяции и расселению людей по всему земному шару. Зато многие виды животных, с которыми люди испокон веков делили планету, оказались на грани исчезновения. Для Евразии и Северной Америки плейстоцен был характерен разнообразным животным миром, в который входили мамонты, шерстистые носороги, пещерные львы, бизоны, яки, гигантские олени, дикие лошади, верблюды, медведи (как существующие ныне, так и вымершие), гигантские гепарды, гиены, страусы, многочисленные антилопы. В позднем плейстоцене большая часть существовавшей мегафауны вымерла. В Южной Америке исчезли броненосец дедикурус, гигантская саблезубая кошка смилодон, копытное макраухения, ленивец мегатерий; в Северной Америке исчезают последний представитель птиц-тиранов или форораков — титанис Уоллера, десятки видов аборигенных копытных, включая американских лошадей, верблюдов, разнообразных оленей, вилороговых «антилоп» и быков; тундростепь Евразии и отчасти Аляски/Канады лишилась таких животных, как мамонт, шерстистый носорог, большерогий олень, пещерный медведь и пещерный лев; в Австралии исчезли сумчатые львы и дипротодоны — самые крупные (размером с носорога) сумчатые, когда-либо существовавшие на Земле. Предполагается, что вымирание вызвали первобытные охотники в конце последнего ледникового периода, либо вымирание произошло в результате изменения климата или комбинации этих факторов. Кроме того, неандертальцы не выдержали конкуренции с кроманьонцами и вымерли (возможно, были истреблены ими).

*Голоцен* (начался 11,7 тыс. лет назад — современность) — типичная межледниковая эпоха с относительно стабильным климатом. Перемещение континентов за последние 10 000 лет было незначительным — не более чем на километр. В то же время, уровень моря поднялся примерно на 35 метров в результате таяния ледников. Кроме того, многие области были продавлены ледниками и поднялись в позднем плейстоцене и голоцене примерно на 180 метров. Поднятие уровня моря и временное придавливание Земли привели к тому, что моря временно вторглись на территории, которые теперь далеки от них (рис. 24).

Начало голоцена характеризуется вымиранием большого количества видов животных, а середина — становлением человеческой цивилизации и началом её технического развития.

Жизнь животных и растений незначительно изменялась в течение голоцена, но имеются большие перемещения в их распределениях. Множество больших животных, включая мамонтов и мастодонтов, саблезубых кошек (подобно смилодонам и гомотериям) и гигантских ленивцев начали вымирать с позднего плейстоцена по ранний голоцен. В Северной Америке многие животные, процветавшие в других краях (включая лошадей и верблюдов), вымирали.



**Рисунок 24 – Голоцен (современность)**

Некоторые объясняют сокращение Американской мегафауны прибытием предков Американских индейцев, но все же большинство ученых утверждают, что большее влияние оказало изменение климата. В последние несколько сотен лет человек также истребил многие виды животных (например, дронты, эпиорнис, стеллерова корова). Около 70 лет назад климат стал несколько теплее (обычно это связывают с промышленной деятельностью человека, предположительно вызвавшей т. н. глобальное потепление), растаяли Североамериканский и Евразийский континентальные ледники, распался Арктический ледниковый покров, завершили существование многие горные ледниковые щиты, остались лишь сократившиеся щиты близ полярных шапок (Гренландия, Антарктида).

Совместное влияние различных геологических факторов в четвертичном периоде привело к формированию современного облика материков и отложению наносов, покрывающих сплошным чехлом, иногда значительной мощности, всю земную поверхность. По условиям образования и происхождению четвертичные отложения очень разнообразны: элювиальные, делювиальные, элювиально-делювиальные, пролювиальные, коллювиальные, аллювиальные, озерно-аллювиальные, ледниковые, флювиогляциальные, озерно-ледниковые, солифлюкционные, морские и др.

Четвертичные отложения *элювиального* происхождения наиболее широко развиты на плоских водораздельных пространствах, где процессы денудации не наблюдаются или в значительной степени ослаблены. *Делювиальные* отложения часто залегают в форме шлейфов у основания склона. Медленно разрастаясь в ширину, сливаясь с соседними шлейфами и постепенно подни-

маясь вверх по склону, делювий нередко достигает водораздела и соединяется с близким к нему по составу элювием. Так образуются смешанные элювиально-делювиальные отложения. Делювиальные и *пролювиальные* отложения широко распространены в горных и предгорных областях. Встречаются также смешанные *пролювиально-аллювиальные* отложения с неясно выраженной слоистостью и относительно повышенным содержанием илистой фракции в составе мелкозема.

*Коллювиальные* отложения характеризуются разнообразным составом и нередко образуют «каменные» реки и «россыпи». Они развиты в горных странах, где отсутствует вечная мерзлота нередко коллювий совмещается с горным делювием. В этом случае их объединяют под общим названием – *делювиально-коллювиальные* отложения.

*Аллювиальные* отложения широко распространены в речных долинах. Нередко среди них встречаются линзы торфа и включения остатков растительных и животных организмов, иногда кости позвоночных.

*Озерно-аллювиальные* отложения образуются в понижениях древнего рельефа, где в весеннее половодье возникают временные застойные бассейны. Обычно они имеют различный гранулометрический состав, преимущественно песчаный, и горизонтальную или слегка волнистую слоистость. В состав этих отложений нередко входят органогенные включения – прослойки и линзы сапропеля и торфа. В некоторых озерах осадки бывают засоленными, оглееными и т. д. Характер озерно-аллювиальных отложений зависит от физико-географических условий зоны, в которой находятся озера.

*Ледниковые*, или *моренные*, отложения занимают огромную площадь в пределах последнего покровного и горного оледенения. *Флювиогляциальные*, или *водно-ледниковые*, отложения в основном накапливались у края ледников. *Озерно-ледниковые* отложения образовались в приледниковых озерах, расположенных в плоских, часто весьма обширных понижениях рельефа. К ним относят ленточные глины и супеси, характеризующиеся горизонтальной слоистостью с ритмическим чередованием тонких песчаных прослоек и более мощных глинистых. При этом каждая пара слоев представляет собой результат годового накопления осадков в озере.

*Солифлюкционные* отложения разнообразны по гранулометрическому составу, часто включают крупные глыбы и щебень, обладают значительной плотностью и обычно не имеют слоистости. Они распространены в районах вечной мерзлоты. В некоторых местах бывает трудно провести границу между делювиальными и солифлюкционными отложениями. В этих случаях их объединяют в группу *делювиально-солифлюкционных* отложений.

*Морские* четвертичные отложения представляют собой отложения дна современных морей и океанов, вышедшие на земную поверхность в результате трансгрессии и последующей регрессии моря. Для них характерны отчетливо выраженная слоистость и хорошая послойная отсортированность. В прибрежной полосе преобладают песчаные, нередко песчано-галечные отложения, а в отдаленных от береговой линии зонах и в лагунах – глинистые. Гранулометрический состав их разнообразен. Они, как правило, сильно засо-

лены. Такие отложения распространены по побережью Северного Ледовитого океана, в окрестностях Аральского и Каспийского морей.

В отличие от четвертичных отложений все более ранние геологические образования, начиная с неогеновых, принято называть коренными породами. Это подчеркивает то, что четвертичные породы представляют собой свежие и рыхлые отложения, которые чаще всего имеют малую мощность и чрезвычайно пестрый минеральный и химический состав. Современные четвертичные отложения несут следы производственной деятельности человека.

На Земле из-за проявления различных геологических процессов нигде не сохранился полный разрез земной коры, состоящий из пород, начиная от кембрия до наших дней. Поэтому реконструировать геологическую историю Земли очень сложно, но такая реконструкция необходима, и не только для познания объективных законов развития Земли, но и для выяснения закономерностей размещения полезных ископаемых, формирования почв и разработке мероприятий по их охране и повышению плодородия.