Существуют понятия об относительном и абсолютном возрасте горных пород.

*Относительный геологический возраст* – время какого-либо события относительно другого геологического события. Определяется по остаткам вымерших организмов, содержащихся в горных породах – палеонтологический метод, и по соотношению геологических тел: слоев, линз, потоков между собой – геолого-стратиграфический метод.

Основой палеонтологического метода служит принцип последовательной смены неповторяющихся в разрезах фаунистических и флористических комплексов, отражающих этапность их исторического развития. Они используют одно из основных положений эволюционного учения – необратимость эволюции: организм не может вернуться, хотя бы частично, к прежнему состоянию, которое было уже осуществлено в ряду его предков. Те или иные виды растений и животных могут существовать на Земле только один раз. Они появляются, максимально возможно расселяются на земной поверхности, а затем вымирают, уступая жизненную арену более приспособленным к изменившейся окружающей среде организмам. Поэтому, каждый комплекс ископаемых организмов, приуроченный к тому или иному слою, отражает определенный этап развития органического мира и является неповторимым. Это и дает возможность использовать остатки ископаемых организмов для определения относительного возраста горных пород, определить какие отложения древнее, а какие – моложе, даже если они друг с другом не контактируют.

Помимо палеонтологического широко применяются микропалеонтологический, спорово-пыльцевой, диатомовый и другие методы.

Геолого-стратиграфический метод основан на том положении, что в разрезе нормально залегающих отложений (не перевернутых после накопления) нижележащий слой всегда древнее вышележащего (закон Н. Стено 1669 г.), а прорванные породы – более древние по отношению к прорывающим.

Определение относительного возраста горных пород позволило все известные отложения земного шара разделить на пять группы: архейскую, протерозойскую, палеозойскую, мезозойскую и кайнозойскую. Время накопления отложений групп названо эрой. Эры разделяются на периоды (табл. 10).

Архейская эра означает древнейшая, а с учетом последующей протерозойской – времени первичной жизни или возникновения жизни, дожизненная. Палеозойская эра – время древней жизни, мезозойская – средней жизни, кайнозойская – молодой жизни.

***Таблица 10. Геохронологическая шкала***

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Ф ане р озой | Эры | Периоды |
| Кайнозойская – Kz | Четвертичный – Q |
| Неогеновый – N |
| Палеогеновый –  ~~P~~  |
| Мезозойская – Mz | Меловой – K |
| Юрский – I |
| Триасовый – T |
| Палеозойская – Pz | Пермский – P |
| Каменноугольный (карбон) – C |
| Девонский – D |
| Силурийский – S |
| Ордовикский - O |
| Кембрийский -  ~~С~~ |
| Докембрий, криптозой | Протерозойская – Pt |   |
| Архейская - Ar |

Относительная геохронология не дает реального представления об истинной продолжительности эр и периодов. Она позволяет судить лишь о последовательности их во времени. Продолжительность эр и периодов в миллионах лет решает абсолютная геохронология.

*Абсолютный геологический возраст* – возраст горных пород, минералов, руд, устанавливаемый различными радиологическими методами по накоплению в минералах и горных породах продуктов распада радиоактивных изотопов и выраженный в единицах астрономического времени. Исчисление ведется от настоящего времени, в нисходящем порядке.

Для определения абсолютного возраста используются данные по радиоактивному распаду урана, тория, калия, углерода и некоторых других химических элементов. Для радиоактивных изотопов экспериментальным путем определен период полураспада – промежуток времени, в течение которого любое количество данного неустойчивого изотопа уменьшится наполовину, превратясь в стабильные изотопы других химических элементов. Период полураспада Th232 равен13,9 млрд. лет, U238 – 4,51 млрд. лет, U235 – 710 млн. лет, C14 – 5,5-6 тыс. лет.

Наиболее распространен метод определения абсолютного возраста по изотопам урана и тория, их превращению в стабильные изотопы свинца и гелия. Для определения по этому методу используются минералы, содержащие до 1% U или Th: монацит, циркон и др.

U238 → 8He4 + Pb206

U235 → 7He4 + Pb207

Th232 → 6He4 + Pb208

Применяется аргоновый: K40 → Ar40, стронциевый: Rb87 → Sr87 и др. Радиоуглеродный метод основан на изучении распада С14, образующегося под воздействием космической радиации на С12 воздуха.

Самыми древними на Земле определены песчаники из Западной Австралии, возраст цирконов в которых достигает 4,2 млрд. лет. Имеются публикации и о более древнем абсолютном возрасте в 5,6 млрд. лет и более, но официальной наукой такие цифры не принимаются. Возраст кварцитов из Гренландии и Северной Канады определен в 4 млрд. лет, гранитов Австралии и Южной Африки до 3,8 млрд. лет.

Начало палеозоя определено в 570 млн. лет, мезозоя – в 240 млн. лет, кайнозоя – в 67 млн. лет

**Архейская эра.** Самые древние породы, обнажающиеся на поверхности материков, образовались в архейскую эру. Распознавание этих пород затруднено, поскольку их выходы рассредоточены и в большинстве случаев перекрыты мощными толщами более молодых пород. Там, где эти породы обнажаются, они настолько метаморфизованы, что зачастую нельзя восстановить их исходный характер. Во время многочисленных продолжительных этапов денудации были разрушены мощные толщи этих пород, а сохранившиеся содержат очень мало ископаемых организмов и поэтому их корреляция затруднительна или вообще невозможна. Интересно отметить, что самые древние известные архейские породы, вероятно, представляют собой сильно метаморфизованные осадочные породы, а более древние породы, перекрытые ими, были расплавлены и разрушены в результате многочисленных магматических интрузий. Поэтому до сих пор не обнаружены следы первичной земной коры.

В Северной Америке имеются два больших ареала выходов на поверхность архейских пород. Первый из них – Канадский щит – расположен в центральной Канаде по обе стороны Гудзонова залива. Хотя местами архейские породы перекрыты более молодыми, на большей части территории Канадского щита они слагают дневную поверхность. Древнейшие известные в этом районе породы представлены мраморами, аспидными и кристаллическими сланцами, переслаивающимися с лавами. Первоначально здесь были отложены известняки и глинистые сланцы, впоследствии запечатанные лавами. Затем эти породы испытали воздействие мощных тектонических движений, которые сопровождались крупными гранитными интрузиями. В конечном итоге толщи осадочных пород подверглись сильному метаморфизму. После длительного периода денудации эти сильно метаморфизованные породы местами были выведены на поверхность, но общий фон составляют граниты.

Выходы архейских пород имеются также в Скалистых горах, где слагают гребни многих хребтов и отдельные вершины, например Пайкс-Пик. Более молодые породы там разрушены денудацией.

В Европе архейские породы обнажаются на территории Балтийского щита в пределах Норвегии, Швеции, Финляндии и России. Они представлены гранитами и сильно метаморфизованными осадочными породами. Такие же выходы архейских пород имеются на юге и юго-востоке Сибири, в Китае, западной Австралии, Африке и на северо-востоке Южной Америки. Древнейшие следы жизнедеятельности бактерий и колоний одноклеточных сине-зеленых водорослей *Collenia* были обнаружены в архейских породах южной Африки (Зимбабве) и провинции Онтарио (Канада).

 **Протерозойская эра.** В начале протерозоя после длительного периода денудации суша была в значительной степени разрушена, отдельные части материков испытали погружение и были затоплены мелководными морями, а некоторые низменные котловины начали заполняться континентальными отложениями. В Северной Америке самые значительные выходы протерозойских пород имеются в четырех районах. Первый из них приурочен к южной части Канадского щита, где мощные толщи глинистых сланцев и песчаников рассматриваемого возраста обнажаются вокруг оз. Верхнего и северо-восточнее оз. Гурон. Эти породы имеют как морское, так и континентальное происхождение. Их распределение указывает на то, что положение мелководных морей на протяжении протерозоя значительно менялось. Во многих местах морские и континентальные осадки переслаиваются с мощными лавовыми толщами. По окончании осадконакопления происходили тектонические движения земной коры, протерозойские породы претерпевали складкообразование и формировались крупные горные системы. В предгорных районах к востоку от Аппалачей имеются многочисленные выходы протерозойских пород. Первоначально они отлагались в виде пластов известняков и глинистых сланцев, а затем во время орогенеза (горообразования) метаморфизовались и превратились в мрамора, аспидные и кристаллические сланцы. В районе Большого каньона мощная толща протерозойских песчаников, глинистых сланцев и известняков несогласно перекрывает архейские породы. В северной части Скалистых гор была отложена толща протерозойских известняков мощностью ок. 4600 м. Хотя протерозойские образования в этих районах испытали воздействие тектонических движений и были смяты в складки и разбиты разломами, эти подвижки были недостаточно интенсивными и не могли привести к метаморфизации пород. Поэтому там сохранились исходные осадочные текстуры.

В Европе значительные выходы протерозойских пород имеются в пределах Балтийского щита. Они представлены сильно метаморфизованными мраморами и аспидными сланцами. На северо-западе Шотландии мощная толща протерозойских песчаников перекрывает архейские граниты и кристаллические сланцы. Обширные выходы протерозойских пород встречаются на западе Китая, в центральной Австралии, южной Африке и центральной части Южной Америки. В Австралии указанные породы представлены мощной толщей неметаморфизованных песчаников и глинистых сланцев, а в восточной Бразилии и южной Венесуэле – сильно метаморфизованными аспидными и кристаллическими сланцами.

Ископаемые сине-зеленые водоросли *Collenia* весьма широко распространены на всех материках в неметаморфизованных известняках протерозойского возраста, где также обнаружены немногочисленные обломки раковин примитивных моллюсков. Однако остатки животных очень редки, и это свидетельствует о том, что большинство организмов отличалось примитивным строением и еще не имело твердых оболочек, которые сохраняются в ископаемом состоянии. Хотя следы ледниковых периодов фиксируются для ранних этапов истории Земли, обширное оледенение, имевшее почти глобальное распространение, отмечается только в самом конце протерозоя.

**Палеозойская эра*.*** После того, как суша пережила длительный период денудации в конце протерозоя, некоторые ее территории испытали прогибание и были затоплены мелководными морями. В результате денудации возвышенных участков осадочный материал сносился водными потоками в геосинклинали, где накопились толщи палеозойских осадочных пород мощностью более 12 км. В Северной Америке в начале палеозойской эры образовались две крупные геосинклинали. Одна из них, называемая Аппалачской, протянулась от северной части Атлантического океана через юго-восточную Канаду и далее на юг к Мексиканскому заливу вдоль оси современных Аппалачей. Другая геосинклиналь соединяла Северный Ледовитый океан с Тихим, проходя несколько восточнее Аляски на юг через восточную часть Британской Колумбии и западную часть Альберты, далее через восточную Неваду, западную Юту и южную Калифорнию. Таким образом Северная Америка была разделена на три части. В отдельные периоды палеозоя ее центральные районы отчасти затоплялись и обе геосинклинали соединялись мелководными морями. В другие периоды в результате изостатических поднятий суши или колебаний уровня Мирового океана происходили морские регрессии, и тогда в геосинклиналях откладывался терригенный материал, смытый из сопредельных возвышенных районов.

В палеозое сходные условия существовали и на других материках. В Европе огромные моря периодически затопляли Британские о-ва, территории Норвегии, Германии, Франции, Бельгии и Испании, а также обширную область Восточно-Европейской равнины от Балтийского моря до Уральских гор. Крупные выходы палеозойских пород имеются также в Сибири, Китае и северной Индии. Они являются коренными породами в большинстве районов восточной Австралии, северной Африки, а также в северных и центральных районах Южной Америки.

Палеозойская эра делится на шесть периодов неодинаковой продолжительности, чередующихся с кратковременными этапами изостатических поднятий или морских регрессий, во время которых в пределах материков осадкообразование не происходило (рис. 9, 10).

*Кембрийский период* – самый ранний период палеозойской эры, названный по латинскому названию Уэльса (Камбрия), где впервые были изучены породы этого возраста. В Северной Америке в кембрии обе геосинклинали были затоплены, а во второй половине кембрия центральная часть материка занимала столь низкое положение, что оба прогиба соединялись мелководным морем и там накапливались слои песчаников, глинистых сланцев и известняков. В Европе и Азии происходила крупная морская трансгрессия. Эти части света были в значительной степени затоплены. Исключение составляли три крупных обособленных массива суши (Балтийский щит, Аравийский п-ов и южная Индия) и ряд небольших изолированных участков суши в южной Европе и южной Азии. Менее крупные морские трансгрессии происходили в Австралии и центральной части Южной Америки. Кембрий отличался довольно спокойными тектоническими обстановками.

В отложениях этого периода сохранились первые многочисленные ископаемые, свидетельствующие о развитии жизни на Земле. Хотя наземные растения или животные не отмечены, мелководные эпиконтинентальные моря и затопленные геосинклинали изобиловали многочисленными беспозвоночными животными и водными растениями. Наиболее необычные и интересные животные того времени – трилобиты (рис. 11), класс вымерших примитивных членистоногих, были широко распространены в кембрийских морях. Их известково-хитиновые панцири обнаружены в породах этого возраста на всех материках. Кроме того, существовало много типов плеченогих (брахиопод), моллюсков и других беспозвоночных. Таким образом, в кембрийских морях присутствовали все основные формы беспозвоночных организмов (за исключением кораллов, мшанок и пелеципод).

В конце кембрийского периода бóльшая часть суши испытала поднятие и произошла кратковременная морская регрессия.

*Ордовикский период* – второй период палеозойской эры (называющийся по имени кельтского племени ордовиков, населявшего территорию Уэльса). В этот период материки снова испытали прогибание, в результате чего геосинклинали и низменные котловины превратились в мелководные моря. В конце ордовика ок. 70% территории Северной Америки было затоплено морем, в котором отложились мощные толщи известняков и глинистых сланцев. Морем были покрыты также значительные территории Европы и Азии, частично – Австралия и центральные районы Южной Америки.

Все кембрийские беспозвоночные продолжали развиваться и в ордовике. Кроме того, появились кораллы, пелециподы (двустворчатые моллюски), мшанки и первые позвоночные. В Колорадо в ордовикских песчаниках обнаружены фрагменты самых примитивных позвоночных – бесчелюстных (остракодерм), у которых отсутствовали настоящие челюсти и парные конечности, а передняя часть тела была покрыта костными пластинками, образующими защитный панцирь.

На основе палеомагнитного изучения пород установлено, что на протяжении большей части палеозоя Северная Америка располагалась в экваториальной зоне. Ископаемые организмы и широко распространенные известняки этого времени свидетельствуют о господстве в ордовике теплых мелководных морей. Австралия располагалась близ Южного полюса, а северо-западная Африка – в районе самого полюса, что подтверждается запечатлевшимися в ордовикских породах Африки признаками широкого распространения оледенения.

В конце ордовикского периода в результате тектонических движений происходили поднятие материков и морская регрессия. Местами коренные кембрийские и ордовикские породы испытали процесс складкообразования, который сопровождался ростом гор. Этот древнейший этап орогенеза носит название каледонской складчатости.

*Силурийский период.* Впервые породы этого периода были изучены также в Уэльсе (название периода происходит от кельтского племени силуров, населявшего этот регион).

После тектонических поднятий, ознаменовавших окончание ордовикского периода, наступил денудационный этап, а затем в начале силура материки снова испытали прогибание, а моря затопили низменные районы. В Северной Америке в раннем силуре площадь морей существенно сократилась, однако в среднем силуре они заняли почти 60% ее территории. Сформировалась мощная толща морских известняков ниагарской формации, получившей свое название от Ниагарского водопада, порог которого она слагает. В позднем силуре площади морей сильно сократились. В полосе, простирающейся от современного штата Мичиган до центральной части штата Нью-Йорк, накапливались мощные соленосные пласты.

В Европе и Азии силурийские моря были широко распространены и занимали почти те же территории, что и кембрийские моря. Незатопленными оставались те же изолированные массивы, что и в кембрии, а также значительные территории северного Китая и Восточной Сибири. В Европе мощные известняковые толщи накапливались по периферии южной оконечности Балтийского щита (в настоящее время они частично затоплены Балтийским морем). Небольшие моря были распространены в восточной Австралии, северной Африке и в центральных районах Южной Америки.

В силурийских породах обнаружены в общем те же основные представители органического мира, что и в ордовикских. Наземные растения в силуре еще не появились. Среди беспозвоночных гораздо более обильными стали кораллы, в результате жизнедеятельности которых во многих районах сформировались массивные коралловые рифы. Трилобиты, столь характерные для кембрийских и ордовикских пород, утрачивают свое доминирующее значение: их становится меньше как в количественном, так и видовом отношениях. В конце силура появилось множество крупных водных членистоногих, называемых эвриптеридами, или ракоскорпионами.

Силурийский период в Северной Америке завершился без крупных тектонических подвижек. Однако в Западной Европе в это время образовался пояс каледонид. Эта горная цепь простиралась на территории Норвегии, Шотландии и Ирландии. Орогенез происходил также в северной Сибири, в результате чего ее территория была так высоко поднята, что больше уже никогда не затоплялась.

*Девонский период* назван по имени графства Девон в Англии, где впервые были изучены породы этого возраста. После денудационного перерыва отдельные районы материков снова испытали погружение и были затоплены мелководными морями. В северной Англии и частично в Шотландии молодые каледониды препятствовали проникновению моря. Однако их разрушение привело к накоплению мощных толщ терригенных песчаников в долинах предгорных рек. Эта формация древних красных песчаников известна хорошо сохранившимися ископаемыми рыбами. Южная Англия в это время была покрыта морем, в котором отлагались мощные толщи известняков. Значительные территории на севере Европы были тогда затоплены морями, в которых накапливались слои глинистых сланцев и известняков. При врезании Рейна в эти толщи в районе массива Эйфель образовались живописные утесы, которые поднимаются по берегам долины.

Девонские моря покрывали многие районы европейской части России, южной Сибири и южного Китая. Обширный морской бассейн затопил центральную и западную Австралию. Эта территория не покрывалась морем с кембрийского периода. В Южной Америке морская трансгрессия распространилась на некоторые центральные и западные районы. Кроме того, существовал узкий субширотный прогиб в Амазонии. В Северной Америке очень широко распространены девонские породы. На протяжении большей части этого периода существовали два крупных геосинклинальных бассейна. В среднем девоне морская трансгрессия распространилась на территорию современной долины р. Миссисипи, где накопилась многослойная толща известняков.

В верхнем девоне мощные горизонты сланцев и песчаников сформировались в восточных районах Северной Америки. Эти обломочные толщи соответствуют этапу горообразования, начавшемуся в конце среднего девона и продолжавшемуся до окончания этого периода. Горы простирались вдоль восточного крыла Аппалачской геосинклинали (от современных юго-восточных районов США до юго-восточной Канады). Этот регион был сильно поднят, его северная часть претерпела складкообразование, затем там произошли обширные гранитные интрузии. Этими гранитами сложены горы Уайт-Маунтинс в Нью-Гэмпшире, Стоун-Маунтин в Джорджии и ряд других горных сооружений. Верхнедевонские, т.н. Акадские, горы были переработаны денудационными процессами. В результате к западу от Аппалачской геосинклинали накопилась слоистая толща песчаников, мощность которых местами превышает 1500 м. Они широко представлены в районе гор Кэтскилл, откуда и пошло название песчаников Кэтскилл. В меньших масштабах горообразование в это же время проявилось в некоторых районах Западной Европы. Орогенез и тектонические поднятия земной поверхности послужили причиной морской регрессии в конце девонского периода.

В девоне произошли некоторые важные события в эволюции жизни на Земле. Во многих районах земного шара были обнаружены первые бесспорные находки наземных растений. Так, например, в окрестностях Гилбоа (шт. Нью-Йорк) было найдено много видов папоротникообразных, включая гигантские древовидные.

Среди беспозвоночных были широко распространены губки, кораллы, мшанки, брахиоподы и моллюски (рис. 12). Существовало несколько типов трилобитов, хотя их численность и видовое разнообразие значительно сократились по сравнению с силуром. Девон часто называют «веком рыб» благодаря пышному расцвету этого класса позвоночных. Хотя еще существовали примитивные бесчелюстные, преобладать стали более совершенные формы. Акулообразные рыбы достигали в длину 6 м. В это время появились двоякодышащие рыбы, у которых плавательный пузырь трансформировался в примитивные легкие, что позволяло им существовать какое-то время на суше, а также кистеперые и лучеперые. В верхнем девоне обнаружены первые следы наземных животных – крупных саламандроподобных земноводных, называемых стегоцефалами. Особенности скелета показывают, что они развились из двоякодышащих рыб путем дальнейшего усовершенствования легких и видоизменения плавников и превращения их в конечности.

*Каменноугольный период.* После некоторого перерыва материки снова испытали погружение и их низменные участки превратились в мелководные моря. Так начался каменноугольный период, получивший свое название по широкому распространению угольных залежей как в Европе, так и в Северной Америке. В Америке его ранний этап, характеризовавшийся морскими обстановками, раньше называли миссисипским по мощной толще известняков, сформировавшейся в пределах современной долины р. Миссисипи, а теперь его относят к нижнему отделу каменноугольного периода.

В Европе на протяжении всего каменноугольного периода территории Англии, Бельгии и северной Франции были большей частью затоплены морем, в котором сформировались мощные горизонты известняков. Затоплялись также некоторые районы южной Европы и южной Азии, где отложились мощные слои глинистых сланцев и песчаников. Некоторые из этих горизонтов имеют континентальное происхождение и содержат много ископаемых остатков наземных растений, а также вмещают угленосные пласты. Поскольку нижнекаменноугольные формации мало представлены в Африке, Австралии и Южной Америке, можно предполагать, что эти территории находились преимущественно в субаэральных условиях. Кроме того, имеются свидетельства широкого распространения там материкового оледенения.

В Северной Америке Аппалачскую геосинклиналь с севера ограничивали Акадские горы, а с юга, со стороны Мексиканского залива, в нее проникало Миссисипское море, которое заливало и долину Миссисипи. Небольшие морские бассейны занимали некоторые участки на западе материка. В районе долины Миссисипи накапливалась многослойная толща известняков и сланцев. Один из этих горизонтов, т.н. индианский известняк, или спергенит, является хорошим строительным материалом. Он использовался при сооружении многих правительственных зданий в Вашингтоне.

В конце каменноугольного периода в Европе широко проявилось горообразование. Цепи гор простирались от южной Ирландии через южную Англию и северную Францию в южную Германию. Этот этап орогенеза называют герцинским, или варисцийским. В Северной Америке локальные поднятия происходили в конце миссисипского периода. Эти тектонические движения сопровождались морской регрессией, развитию которой способствовали также оледенения южных материков.

В целом органический мир нижнекаменноугольного (или миссисипского) времени был таким же, как и в девоне. Однако, помимо большего разнообразия типов древовидных папоротников, флора пополнилась древовидными плаунами и каламитовыми (древовидными членистостебельными класса хвощей). Беспозвоночные в основном были представлены теми же формами, что и в девоне. В миссисипское время стали более обычными морские лилии – донные животные, по форме сходные с цветком. Среди ископаемых позвоночных многочисленны акулоподобные рыбы и стегоцефалы.

В начале позднекаменноугольного времени (в Северной Америке – пенсильванского) условия на материках стали быстро меняться. Как следует из значительно более широкого распространения континентальных осадков, моря занимали меньшие пространства. Северо-западная Европа бóльшую часть этого времени находилась в субаэральных условиях. Обширное эпиконтинентальное Уральское море широко распространилось в северной и центральной России, а крупная геосинклиналь простиралась через южную Европу и южную Азию (современные Альпы, Кавказ и Гималаи расположены вдоль ее оси). Этот прогиб, именующийся геосинклиналью, или морем, Тетис, существовал на протяжении ряда последующих геологических периодов.

На территории Англии, Бельгии и Германии простирались низменности. Здесь в результате небольших колебательных движений земной коры происходило чередование морских и континентальных обстановок. Когда море отступало, формировались низменные заболоченные ландшафты с лесами из древовидных папоротников, древовидных плаунов и каламитовых. При наступании морей осадочные образования перекрывали леса, уплотняя древесные остатки, которые превращались в торф, а затем в уголь. В позднекаменноугольное время на материках Южного полушария распространилось покровное оледенение. В Южной Америке в результате морской трансгрессии, проникавшей с запада, была затоплена бóльшая часть территории современных Боливии и Перу.

В раннепенсильванское время в Северной Америке Аппалачская геосинклиналь замкнулась, утратила связь с Мировым океаном, и в восточных и центральных районах США накапливались терригенные песчаники. В середине и конце этого периода во внутренних районах Северной Америки (так же, как в Западной Европе) преобладали низменности. Здесь мелководные моря периодически уступали место болотам, в которых накапливались мощные торфяные залежи, впоследствии трансформировавшиеся в крупные угольные бассейны, которые простираются от Пенсильвании до восточного Канзаса. Некоторые западные районы Северной Америки заливались морем на протяжении большей части этого периода. Там отлагались слои известняков, сланцев и песчаников.

Широкое распространение субаэральных обстановок в значительной мере способствовало эволюции наземных растений и животных. Гигантские леса из древовидных папоротников и плаунов покрывали обширные заболоченные низменности. Эти леса изобиловали насекомыми и паукообразными. Один из видов насекомых, самый крупный в геологической истории, был похож на современную стрекозу, но имел размах крыльев ок. 75 см. Значительно большего видового разнообразия достигли стегоцефалы. Некоторые превышали в длину 3 м. Только в Северной Америке в болотных отложениях пенсильванского времени было обнаружено более 90 видов этих гигантских земноводных, имевших сходство с саламандрами. В этих же породах были найдены остатки древнейших пресмыкающихся. Однако из-за фрагментарности находок трудно составить полное представление о морфологии этих животных. Вероятно, эти примитивные формы были похожи на аллигаторов.

*Пермский период.* Изменения природных условий, начавшиеся в позднекаменноугольное время, еще больше проявились в пермском периоде, завершившем палеозойскую эру. Его название происходит от Пермской области в России. В начале этого периода море занимало Уральскую геосинклиналь – прогиб, следовавший согласно простиранию современных Уральских гор. Мелководное море периодически покрывало некоторые районы Англии, северной Франции и южной Германии, где накапливались слоистые толщи морских и континентальных осадков – песчаников, известняков, глинистых сланцев и каменной соли. Море Тетис существовало на протяжении большей части периода, и в районе северной Индии и современных Гималаев образовалась мощная толща известняков. Пермские отложения большой мощности представлены в восточной и центральной Австралии и на островах Южной и Юго-Восточной Азии. Они широко распространены в Бразилии, Боливии и Аргентине, а также в южной Африке.

Многие пермские формации в северной Индии, Австралии, Африке и Южной Америке имеют континентальное происхождение. Они представлены уплотненными ледниковыми отложениями, а также широко распространенными водно-ледниковыми песками. В Центральной и Южной Африке этими породами начинается мощная толща континентальных отложений, известная как серия кару.

В Северной Америке пермские моря занимали меньшую площадь по сравнению с предыдущими периодами палеозоя. Главная трансгрессия распространялась из западной части Мексиканского залива на север через территорию Мексики и проникла в южные районы центральной части США. Центр этого эпиконтинентального моря располагался в пределах современного штата Нью-Мексико, где сформировалась мощная толща известняков серии кэпитен. Благодаря деятельности подземных вод эти известняки приобрели сотовую структуру, особенно ярко выраженную в знаменитых Карлсбадских пещерах (шт. Нью-Мексико, США). Восточнее, в Канзасе и Оклахоме, отложились прибрежные фации красных глинистых сланцев. В конце перми, когда площадь, занятая морем, значительно сократилась, сформировались мощные соленосные и гипсоносные толщи.

В конце палеозойской эры, отчасти в каменноугольном периоде и отчасти – в пермском, во многих районах начался орогенез. Мощные толщи осадочных пород Аппалачской геосинклинали были смяты в складки и разбиты разломами. В результате образовались горы Аппалачи. Этот этап горообразования в Европе и Азии называют герцинским, или варисцийским, а в Северной Америке – аппалачским.

Растительный мир пермского периода был такой же, как и во второй половине каменноугольного. Однако растения имели меньшие размеры и не были так многочисленны. Это указывает на то, что климат пермского периода стал холоднее и суше. Беспозвоночные животные перми были унаследованы от предыдущего периода. Большой скачок произошел в эволюции позвоночных (рис. 13). На всех материках континентальные отложения пермского возраста содержат многочисленные остатки пресмыкающихся, достигавших в длину 3 м. Все эти предки мезозойских динозавров отличались примитивным строением и внешне были похожи на ящериц или аллигаторов, но иногда имели необычные особенности, например, высокий парусообразный плавник, протягивающийся от шеи до хвоста вдоль спины, у диметродона. Все еще многочисленными были стегоцефалы.

В конце пермского периода горообразование, проявившееся во многих районах земного шара на фоне общего поднятия материков, привело к столь значительным изменениям окружающей среды, что начали вымирать многие характерные представители палеозойской фауны. Пермский период был заключительной стадией существования многих беспозвоночных, особенно трилобитов.

**Мезозойская эра,** подразделяемая на три периода, отличалась от палеозойской преобладанием континентальных обстановок над морскими, а также составом флоры и фауны. Наземные растения, многие группы беспозвоночных и особенно позвоночные животные приспособились к новым обстановкам и претерпели существенные изменения.

*Триасовый период* открывает мезозойскую эру. Его название происходит от греч. trias (троица) в связи с четким трехчленным строением толщи отложений этого периода в северной Германии. В основании толщи залегают красноцветные песчаники, в середине – известняки, а вверху – красноцветные песчаники и глинистые сланцы. На протяжении триаса значительные территории Европы и Азии были заняты озерами и мелководными морями. Эпиконтинентальное море покрывало Западную Европу, причем его береговая линия прослеживается на территории Англии. В этом морском бассейне и накапливались вышеупомянутые стратотипические осадки. Песчаники, залегающие в нижней и верхней частях толщи, отчасти имеют континентальное происхождение. Другой триасовый морской бассейн проникал на территорию северной России и распространялся к югу по Уральскому прогибу. Огромное море Тетис тогда покрывало примерно такую же территорию, как и в позднекаменноугольное и пермское время. В этом море накопилась мощная толща доломитовых известняков, которыми сложены Доломитовые Альпы северной Италии. На юге центральной Африки триасовый возраст имеет бóльшая часть верхней толщи континентальной серии кару. Эти горизонты известны обилием ископаемых остатков пресмыкающихся. В конце триаса на территории Колумбии, Венесуэлы и Аргентины образовались покровы алевритов и песков континентального генезиса. Пресмыкающиеся, найденные в этих слоях, обнаруживают удивительное сходство с фауной серии кару в южной Африке.

В Северной Америке триасовые породы не так широко распространены, как в Европе и Азии. Продукты разрушения Аппалачей – красноцветные континентальные пески и глины – накапливались во впадинах, расположенных восточнее этих гор и испытывавших погружение. Эти отложения, переслаивающиеся с горизонтами лавы и пластовыми интрузиями, разбиты разломами и имеют падение к востоку. В Ньюаркском бассейне в Нью-Джерси и долине р.Коннектикут им соответствуют коренные породы серии ньюарк. Мелководные моря занимали некоторые западные районы Северной Америки, где накапливались известняки и глинистые сланцы. Континентальные песчаники и глинистые сланцы триаса выходят по бортам Большого каньона (шт. Аризона).

Органический мир в триасовом периоде был существенно иным, чем в пермском периоде. Для этого времени характерно обилие крупных хвойных деревьев, остатки которых часто встречаются в триасовых континентальных отложениях. Глинистые сланцы формации чинл на севере Аризоны насыщены окременелыми стволами деревьев. В результате выветривания сланцев они обнажились и теперь образуют каменный лес. Широкое развитие получили саговниковые (или цикадофиты), растения с тонкими или бочонковидными стволами и свисающими с макушки рассеченными, как у пальм, листьями. Некоторые виды саговниковых существуют и в современных тропических районах. Из беспозвоночных самыми распространенными были моллюски, среди которых преобладали аммониты (рис. 14), имевшие отдаленное сходство с современными наутилусами (или корабликами) и многокамерную раковину. Существовало много видов двустворчатых моллюсков. Значительный прогресс произошел в эволюции позвоночных. Хотя стегоцефалы были еще довольно обычны, преобладать стали пресмыкающиеся, среди которых появилось множество необычных групп (например, фитозавры, форма тела которых была, как у современных крокодилов, а челюсти узкие и длинные с острыми коническими зубами). В триасе впервые появились настоящие динозавры, эволюционно более развитые, чем их примитивные предки. Конечности у них были направлены вниз, а не в стороны (как у крокодилов), что позволяло им передвигаться подобно млекопитающим и поддерживать тело над землей. Динозавры передвигались на задних ногах, удерживая равновесие при помощи длинного хвоста (как кенгуру), и отличались небольшим ростом – от 30 см до 2,5 м. Некоторые пресмыкающиеся приспособились к жизни в морской среде, например ихтиозавры, туловище которых походило на акулье, а конечности трансформировались в нечто среднее между ластами и плавниками, и плезиозавры, туловище которых стало уплощенным, шея вытянулась, а конечности превратились в ласты. Обе эти группы животных стали более многочисленными в последующие этапы мезозойской эры.

*Юрский период* получил свое название от гор Юра (в северо-западной Швейцарии), сложенных многослойной толщей известняков, глинистых сланцев и песчаников. В юре произошла одна из крупнейших морских трансгрессий в Западной Европе. Огромное эпиконтинентальное море распространялось на большей части Англии, Франции, Германии и проникало в некоторые западные районы европейской России. В Германии известны многочисленные выходы верхнеюрских лагунных мелкозернистых известняков, в которых были обнаружены необычные ископаемые. В Баварии, в знаменитом местечке Золенхофен, найдены остатки крылатых пресмыкающихся и оба из известных видов первых птиц.

Море Тетис простиралось от Атлантики через южную часть Пиренейского п-ова вдоль Средиземного моря и через Южную и Юго-Восточную Азию выходило к Тихому океану. Бóльшая часть северной Азии в этот период располагалась выше уровня моря, хотя эпиконтинентальные моря с севера проникали в Сибирь. Континентальные отложения юрского возраста известны в южной Сибири и северном Китае.

Небольшие эпиконтинентальные моря занимали ограниченные площади вдоль побережья западной Австралии. Во внутренних районах Австралии имеются выходы юрских континентальных отложений. Бóльшая часть Африки в юрский период располагалась выше уровня моря. Исключение составляла ее северная окраина, заливавшаяся морем Тетис. В Южной Америке вытянутое узкое море заполняло геосинклиналь, размещавшуюся примерно на месте современных Анд.

В Северной Америке юрские моря занимали весьма ограниченные территории на западе материка. Мощные толщи континентальных песчаников и кроющих глинистых сланцев накопились в районе плато Колорадо, особенно к северу и востоку от Большого каньона. Песчаники образовались из песков, слагавших пустынные дюнные ландшафты котловин. В результате процессов выветривания песчаники приобрели необычные формы (как, например, живописные остроконечные пики в национальном парке Зайон или национальный памятник Рейнбоу-Бридж, представляющий собой возвышающуюся на 94 м над дном каньона арку с пролетом 85 м; эти достопримечательности находятся в штате Юта). Отложения глинистых сланцев формации моррисон знамениты находками 69 видов ископаемых динозавров. Тонкодисперсные осадки в этом районе, вероятно, накапливались в условиях заболоченной низины.

Растительный мир юрского периода в общих чертах был сходен с существовавшим в триасе. Во флоре доминировали саговниковые и хвойные древесные породы. Впервые появились гинкговые – голосеменные широколиственные древесные растения с опадающей осенью листвой (вероятно, это связующее звено между голосеменными и покрытосеменными растениями). Единственный вид этого семейства – гинкго двулопастный – сохранился до настоящего времени и считается самым древним представителем древесных, поистине живым ископаемым.

Юрская фауна беспозвоночных весьма сходна с триасовой. Однако более многочисленными стали кораллы-рифостроители, широко распространились морские ежи и моллюски. Появились многие двустворчатые моллюски, родственные современным устрицам. Все еще были многочисленны аммониты.

Позвоночные были представлены преимущественно пресмыкающимися, поскольку стегоцефалы вымерли в конце триаса. Динозавры достигли кульминации своего развития. Такие травоядные формы, как апатозавры и диплодоки, стали передвигаться на четырех конечностях; многие имели длинные шею и хвост. Эти животные приобрели гигантские размеры (до 27 м в длину), а некоторые весили до 40 т. У отдельных представителей травоядных динозавров меньших размеров, например стегозавров, развился защитный панцирь, состоявший из пластин и шипов. У плотоядных динозавров, в частности аллозавров, сформировались крупные головы с мощными челюстями и острыми зубами, в длину они достигали 11 м и передвигались на двух конечностях. Другие группы пресмыкающихся тоже были весьма многочисленны. В юрских морях обитали плезиозавры и ихтиозавры. Впервые появились летающие пресмыкающиеся – птерозавры, у которых развились перепончатые крылья, как у летучих мышей, а масса уменьшилась за счет трубчатых костей.

Появление птиц в юре – важный этап в развитии животного мира. В лагунных известняках Золенхофена были обнаружены два птичьих скелета и отпечатки перьев. Однако эти примитивные птицы еще имели много черт, общих с пресмыкающимися, включая острые зубы конической формы и длинные хвосты.

Юрский период завершился интенсивной складчатостью, в результате которой на западе США сформировались горы Сьерра-Невада, которые простирались дальше на север в пределы современной западной Канады. Впоследствии южная часть этого складчатого пояса снова испытала поднятие, которое предопределило строение современных гор. На других материках проявления орогенеза в юре были незначительны.

*Меловой период.* В это время накапливались мощные слоистые толщи мягкого слабо уплотненного белого известняка – мела, от которого произошло название периода. Впервые такие слои были изучены в обнажениях по берегам пролива Па-де-Кале близ Дувра (Великобритания) и Кале (Франция). В других частях света отложения соответствующего возраста тоже называют меловыми, хотя там встречаются и другие типы пород.

В меловой период морские трансгрессии охватывали значительные части Европы и Азии. В центральной Европе моря заливали два субширотных геосинклинальных прогиба. Один из них располагался в пределах юго-восточной Англии, северной Германии, Польши и западных районов России и на крайнем востоке достигал субмеридионального Уральского прогиба. Другая геосинклиналь, Тетис, сохраняла свое прежнее простирание в южной Европе и северной Африке и соединялась с южной оконечностью Уральского прогиба. Далее море Тетис продолжалось в Южной Азии и восточнее Индийского щита соединялось с Индийским океаном. За исключением северной и восточной окраин, территория Азии на протяжении всего мелового периода не заливалась морем, поэтому там широко распространены континентальные отложения этого времени. Мощные слои меловых известняков представлены во многих районах Западной Европы. В северных районах Африки, куда заходило море Тетис, накопились большие толщи песчаников. Пески пустыни Сахара образовались в основном за счет продуктов их разрушения. Австралия покрывалась меловыми эпиконтинентальными морями. В Южной Америке на протяжении большей части мелового периода Андский прогиб заливался морем. Восточнее его на значительной территории Бразилии отложились терригенные алевриты и пески с многочисленными остатками динозавров.

В Северной Америке окраинные моря занимали береговые равнины Атлантического океана и Мексиканского залива, где накапливались пески, глины и меловые известняки. Другое окраинное море располагалось на западном побережье материка в пределах Калифорнии и доходило до южных подножий возрожденных гор Сьерра-Невада. Однако последняя самая крупная морская трансгрессия охватила западные районы центральной части Северной Америки. В это время сформировался обширный геосинклинальный прогиб Скалистых гор, и огромное море распространялось от Мексиканского залива через современные Великие равнины и Скалистые горы на север (западнее Канадского щита) вплоть до Северного Ледовитого океана. Во время этой трансгрессии была отложена мощная многослойная толща песчаников, известняков и глинистых сланцев.

В конце мелового периода происходил интенсивный орогенез в Южной и Северной Америке и Восточной Азии. В Южной Америке осадочные породы, накопившиеся в Андской геосинклинали за несколько периодов, были уплотнены и смяты в складки, что привело к образованию Анд. Аналогичным образом в Северной Америке на месте геосинклинали сформировались Скалистые горы. Во многих районах мира усилилась вулканическая деятельность. Лавовые потоки покрыли всю южную часть п-ова Индостан (таким образом сформировалось обширное плато Декан), а небольшие излияния лавы имели место в Аравии и Восточной Африке. Все материки испытали значительные поднятия, и произошла регрессия всех геосинклинальных, эпиконтинентальных и окраинных морей.

Меловой период ознаменовался несколькими крупными событиями в развитии органического мира. Появились первые цветковые растения. Их ископаемые остатки представлены листьями и древесиной пород, многие из которых растут и в настоящее время (например, ива, дуб, клен и вяз). Меловая фауна беспозвоночных в целом аналогична юрской. Среди позвоночных животных наступила кульминация видового разнообразия пресмыкающихся. Существовали три основные группы динозавров. Хищные с хорошо развитыми массивными задними конечностями были представлены тираннозаврами, которые в длину достигали 14 м, а в высоту – 5 м. Получила развитие группа двуногих травоядных динозавров (или траходонтов) с широкими уплощенными челюстями, напоминающими утиный клюв. Многочисленные скелеты этих животных встречаются в меловых континентальных отложениях Северной Америки. К третьей группе относятся рогатые динозавры с развитым костяным щитом, защищавшим голову и шею. Типичный представитель этой группы – трицератопс с коротким носовым и двумя длинными надглазными рогами.

В меловых морях обитали плезиозавры и ихтиозавры, появились морские ящерицы мозазавры с вытянутым туловищем и сравнительно небольшими ластовидными конечностями. Птерозавры (летающие ящеры) утратили зубы и лучше передвигались в воздушном пространстве, чем их юрские предки. У одного из видов птерозавров – птеранодона – размах крыльев достигал 8 м.

Известны два вида птиц мелового периода, сохранившие некоторые морфологические особенности рептилий, например размещенные в альвеолах зубы конической формы. Один из них – гесперорнис (ныряющая птица) – приспособился к жизни в море.

Хотя переходные формы, больше похожие на рептилий, чем на млекопитающих, известны с триаса и юры, впервые многочисленные остатки настоящих млекопитающих были обнаружены в континентальных верхнемеловых отложениях. Примитивные млекопитающие мелового периода отличались небольшими размерами и чем-то напоминали современных землероек.

Широко развитые на Земле процессы горообразования и тектонические поднятия материков в конце мелового периода привели к столь значительным изменениям природы и климата, что многие растения и животные вымерли. Из беспозвоночных исчезли господствовавшие в мезозойских морях аммониты, а из позвоночных – все динозавры, ихтиозавры, плезиозавры, мозазавры и птерозавры.

**Кайнозойская эра,** охватывавшая последние 65 млн. лет, подразделяется на третичный (в России принято выделять два периода – палеогеновый и неогеновый) и четвертичный периоды. Хотя последний отличался малой продолжительностью (возрастные оценки его нижней границы колеблются от 1 до 2,8 млн. лет), он сыграл большое значение в истории Земли, поскольку с ним связаны неоднократные материковые оледенения и появление человека.

*Третичный период.* В это время многие районы Европы, Азии и Северной Африки были покрыты мелководными эпиконтинентальными и глубоководными геосинклинальными морями. В начале этого периода (в неогене) море занимало юго-восточную Англию, северо-западную Францию и Бельгию и там накопилась мощная толща песков и глин. Все еще продолжало существовать море Тетис, простиравшееся от Атлантического до Индийского океана. Его воды заливали Пиренейский и Апеннинский полуострова, северные районы Африки, юго-западную Азию и север Индостана. В этом бассейне отлагались мощные горизонты известняков. Бóльшая часть северного Египта сложена нуммулитовыми известняками, которые использовались в качестве строительного материала при возведении пирамид.

В это время почти вся юго-восточная Азия была занята морскими бассейнами и небольшое эпиконтинентальное море распространялось на юго-востоке Австралии. Третичные морские бассейны покрывали северную и южную оконечности Южной Америки, а эпиконтинентальное море проникало на территорию восточной Колумбии, северной Венесуэлы и южной Патагонии. Мощные толщи континентальных песков и алевритов накапливались в бассейне Амазонки.

Окраинные моря располагались на месте современных Береговых равнин, прилегающих к Атлантическому океану и Мексиканскому заливу, а также вдоль западного побережья Северной Америки. Мощные толщи континентальных осадочных пород, образовавшихся в результате денудации возрожденных Скалистых гор, накапливались на Великих равнинах и в межгорных впадинах.

Во многих районах земного шара в середине третичного периода происходил активный орогенез. В Европе образовались Альпы, Карпаты и Кавказ. В Северной Америке на заключительных этапах третичного периода сформировались Береговые хребты (в пределах современных штатов Калифорния и Орегон) и Каскадные горы (в пределах Орегона и Вашингтона).

Третичный период ознаменовался существенным прогрессом в развитии органического мира. Современные растения возникли еще в меловом периоде. Большинство третичных беспозвоночных были непосредственно унаследованы от меловых форм. Многочисленнее стали современные костистые рыбы, уменьшились численность и видовое разнообразие земноводных и пресмыкающихся. Произошел скачок в развитии млекопитающих. От примитивных форм, похожих на землероек и впервые появившихся в меловом периоде, берут начало многие формы, относящиеся уже к началу третичного периода. Самые древние ископаемые остатки лошадей и слонов обнаружены в нижнетретичных породах. Появились плотоядные и парнокопытные животные.

Видовое разнообразие животных сильно возросло, однако многие из них вымерли уже к концу третичного периода, а другие (подобно некоторым мезозойским пресмыкающимся) вернулись к морскому образу жизни, как, например, китообразные и морские свиньи, у которых плавники представляют собой трансформированные конечности. Летучие мыши смогли летать благодаря перепонке, соединяющей их длинные пальцы. Динозавры, вымершие в конце мезозоя, уступили место млекопитающим, которые стали доминирующим классом животных на суше в начале третичного периода.

*Четвертичный период* подразделяется на эоплейстоцен, плейстоцен и голоцен. Последний начался всего 10 000 лет назад. Современный рельеф и ландшафты Земли в основном оформились в четвертичный период.

Горообразование, которое происходило в конце третичного периода, предопределило значительное поднятие материков и регрессию морей. Четвертичный период ознаменовался существенным похолоданием климата и широким развитием покровного оледенения в Антарктиде, Гренландии, Европе и Северной Америке. В Европе центром оледенения был Балтийский щит, откуда ледниковый покров распространялся до южной Англии, средней Германии и центральных районов Восточной Европы. В Сибири покровное оледенение имело меньшие размеры, в основном ограничиваясь предгорными районами. В Северной Америке ледниковые покровы занимали громадную территорию, включая бóльшую часть Канады и северные районы США вплоть до южного Иллинойса. В Южном полушарии четвертичный ледниковый покров характерен не только для Антарктиды, но и для Патагонии. Кроме того, на всех материках было широко распространено горное оледенение.

В плейстоцене выделяют четыре основных этапа активизации оледенения, чередовавшиеся с межледниковьями, во время которых природные условия были близки современным или даже более теплыми. Последний ледниковый покров на территории Европы и Северной Америки достигал наибольших размеров 18–20 тыс. лет назад и окончательно растаял в начале голоцена.

В четвертичный период вымерли многие третичные формы животных и появились новые, приспособившиеся к более холодным условиям. Особо следует отметить мамонта и шерстистого носорога, которые населяли северные области в плейстоцене. В более южных районах Северного полушария встречались мастодонты, саблезубые тигры и др. Когда ледниковые покровы растаяли, представители плейстоценовой фауны вымерли и их место заняли современные животные. Первобытные люди, в частности неандертальцы, вероятно, существовали уже во время последнего межледниковья, но человек современного типа – человек разумный *(Homo sapiens)* – появился лишь в последнюю ледниковую эпоху плейстоцена, а в голоцене расселился по всему земному шару.