

Курс МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕТРОЛОГИЯ

доктор геолого-

минералогических наук,

профессор

Евгений Витальевич ШАРКОВ

- Сегодня мы начинаем курс минералогии и петрологии. Необходимость в этом очевидна – Земля является нашим домом, и, как хорошие хозяева, мы должны знать, как она устроена, из чего сделана, чем живет и где и что искать для того, чтобы наша жизнь была комфортной, а также какие неожиданности нас могут поджидать.
- Нам, живущим в центре Восточно-Европейской платформы, может казаться, что земная твердь незыблема. Однако это не так.
- Как показывает геологические данные и инструментальные измерения, земная кора далеко не стабильна. Отдельные ее участки постепенно поднимаются с образованием горных хребтов или опускаются с формированием крупных депрессий, заполняемых морской водой. Огромные блоки континентальной коры (материки) движутся в разных направлениях, в результате чего между ними разрастаются океаны, а там где 'эти материки сталкиваются друг с другом, образуются горные цепи. Все это сопровождается землетрясениями и вулканизмом, что сильно осложняет жизнь людей, живущих на подобных территориях. Причиной этих явлений лежат глубоко под нами, на глубинах в сотни и даже тысячи километров в мантии Земли, а возможно, даже и в ядре нашей планеты.
- Все это мы будем рассматривать и обсуждать на протяжении нашего курса лекций.

- То же самое относится и к климату. Еще несколько десятков тыс. лет назад здесь был ледник, покрывавший всю Скандинавию и северную часть Русской платформы. При этом ледник то наступал, то отступал, и тогда на территории будущей Москвы даже росли пальмы.
- Последнее оледенение здесь было всего около 10 тыс. лет назад и оставило после себя морены – ледниковые отложения, т.е. то, что движущийся с севера ледник притащил с собой. Это в основном, несортированный материал: крупные валуны и более мелкие фрагменты древних пород из Карелии и Кольского полуострова, с Балтийского щита. При таянии ледника образовывались реки, где материал сортировался с образованием галечников, песков и глин. Естественно, особенно широко ледниковые отложения представлены на нашем севере, в районе Санкт-Петербурга, в Карелии и на Кольском полуострове. Ледник окончательно сошел с территории нашей страны около 6 тыс. лет назад, когда образовались Балтийское и Белое моря, Ладожское и Онежское озера, реки Нева, Свирь и т.д. Так что когда в Египте уже правили первые фараоны, здесь еще никто не жил.
- Я специально обращаю ваше внимание на это в связи с тем, что сейчас широко обсуждается проблема глобального потепления, и это часто связывается с деятельностью человека, с выбросами так называемых парниковых газов, в основном – CO₂, т.е. углекислым газом. Так вот, 10, 50, 100 тысяч лет назад промышленности не существовало, однако климат менялся как в ту, так и в другую сторону. Поэтому в настоящее время для ученых так и остается неясным – связано ли наблюдаемое очевидное изменение климата с деятельностью человека, или мы просто живем в период межледниковья.

- Сейчас считается, что возникновение крупных оледенений, в значительной мере, связано с вулканической активностью, задымляющей атмосферу и ионосферу и уменьшающей инсоляцию поверхности Земли, и/или с изменениями рельефа, меняющими характер циркуляции атмосферы, т.е. в конечном счете с теми же крупномасштабными процессами в глубинах Земли. Они нам неподвластны, но знать и учитывать их необходимо
- Упомянутые мной действующие на Земле крупномасштабные процессы, очень трудно, а часто и невозможно смоделировать в лабораторных условиях или путем расчетов, поскольку при этом приходится прибегать к многим допущениям, значимость которых неизвестна.
- Поэтому единственный путь к пониманию того, что происходило, происходит и будет происходить на Земле – это реконструкция того, как именно происходят те или иные глобальные процессы на основе имеющихся фактов. И первыми помощниками в этом являются геология, минералогия и петрология.
- **Геология** дает нам ответ на вопрос, как устроена **земная** кора и какие горные породы ее слагают; **минералогия** - из чего «сделаны» горные породы, слагающие земную кору, а **петрология** – как образовались эти породы и что они претерпели за время своего существования. И это вопросы не праздные – каждый из вас рано или поздно с этими вопросами столкнется и надо быть готовыми к такому повороту дел.
- Про геологию вам уже говорили, а теперь познакомимся с минералогией и петрологией.

- Для начала необходимо определиться с базовыми понятиями, с которыми мы будем иметь дело на протяжении этого и последующих лекций.
- **Горная порода** - это естественный минеральный агрегат, образующий то или иное геологическое тело (слой, жилу, лавовый поток и т.д.). Этот агрегат имеет определенный состав и строение, которые позволяют отличать данную породу от других и судить о ее происхождении.
- Я вам напомню, что в настоящее время выделяют 3 главных класса горных пород:
- 1) магматические, т.е. происшедшие при затвердевании природных силикатных расплавов – магм;
- 2) осадочные, образовавшиеся при размыве более древних горных пород и отложении их мелких фрагментов на дне рек, озер и морей, в так называемых осадочных бассейнах;
- 3) метаморфические и метасоматические, образовавшиеся при изменении горных пород, когда они попадают в условия высоких температур и давлений

• Минерал

- Существует по крайней мере три определения минерала:
- (а) Встречающиеся в естественных условиях неорганические химические элементы или их соединения, имеющие определенный химический состав и характеризующиеся периодически повторяющимся расположением атомов (т.е. имеющие кристаллическую решетку), что и определяет их отличительные физические свойства.
- (б) Химические элементы или их соединения, имеющие кристаллическое строение и образовавшиеся в результате геологических процессов. Традиционным исключением из требования кристаллического строения для минералов является ртуть. А вот вода не является минералом (но лед — минерал). Сложнее дело обстоит с материалами биологического или искусственного происхождения. По мнению многих специалистов, они не являются минералами, и с 1995 г. материалы, образованные из искусственных веществ, в качестве новых минералов не признаются.
- (в) Любое образовавшееся в естественных условиях неорганическое вещество, т.е. член царства минералов в отличие от царств растений и животных.

- **Минеральный агрегат**

- **Агрегат** - совокупность более чем одного кристаллического зерна, которая может быть представлена как одним, так и несколькими минералами; содержит более одной кристаллической решетки. Если связь между зернами слабая, то агрегат будет представлять собой **осадок**, если прочная — **горную породу**.

- **Минеральная ассоциация**

Совокупность минералов, составляющих горную породу. Понятие включает различные виды минералов и их количественные соотношения, но не учитывает структурные и текстурные особенности породы.

Наука о горных породах состоит из двух взаимосвязанных разделов - описательного (**петрография**) и генетического (**петрология**). Речь идет при этом о породах **магматических, метаморфических** и **метасоматических**; петрографию осадочных пород обычно называют **литологией**.

Как я уже говорил, осадочные породы образуются за счет размыва более древних горных пород и осаждения их дезинтегрированных фрагментов преимущественно в водных бассейнах – это песчаники, глины, галечники и т.д. Другая группа осадочных пород – хемогенная, образуется при осаждении твердых фаз из пересыщенных растворов. Это преимущественно карбонаты, за счет которых образуются известняки, и так называемые эвапориты, формирующиеся за счет испарения морской воды и осаждения солей в прогретых мелководных бассейнах, как это, например, имеет место в заливе Кара-Богаз-Гол на Каспии или в Мертвом море в Аравии. В рамках этого курса мы осадочными породами специально заниматься не будем.

- **Петрография** как самостоятельная наука возникла в середине XIX века после того, как в 1834 г. английский физик Г. Толбот создал **поляризационный микроскоп**, а Г. Сорби в 1858 г. применил его для исследования горных пород. Дело в том, что если сделать тонкий срез горной породы, то большинство минералов становятся прозрачными. А поскольку они различаются по оптическим свойствам, то визуально легко диагностируются под поляризационным микроскопом. Для петрографических исследований пластинка горной породы толщиной 0.3 мм наклеивается на полоску стекла канадским бальзамом или эпоксидной смолой. В результате получается **петрографический шлиф**, который и изучается под микроскопом. Это все мы вам покажем.
- На протяжении последующих ста лет наблюдения под микроскопом оставались по сути дела единственным методом петрографии.
- Этап микроскопической петрографии был очень плодотворным. В это время были описаны сотни видов и разновидностей магматических и метаморфических горных пород и разработаны основы их систематики. Благодаря фундаментальным трудам немцев Г. Розенбуша (1836-1914) и Ф. Циркеля (1838 - 1912), а также наших российских академиков Ф. Ю. Левинсона-Лессинга (1861-1939), А. Н. Заварицкого (1884-1952) и других ученых открылся многообразный и гармоничный мир горных пород.
- Микроскопические исследования продолжают оставаться одним из главных петрографических методов и поныне.

Новый этап развития петрографии, который начался в 1960-х годах, связан с внедрением в практику исследований рентгеноспектрального микроанализатора (электронного микронзонда). Принцип действия этого прибора основан на том, что узкий (диаметром около 1 мкм) пучок электронов с высокой энергией, попадая на полированную поверхность минерала, возбуждает слагающие его атомы и вызывает рентгеновское излучение. Анализ рентгеновских спектров с помощью компьютера позволяет определить качественный набор химических элементов, входящих в состав минерала, а сравнение с эталонами - оценить их относительные количества. Новая техника дает возможность получать сведения о химическом составе, строении и морфологии минеральных зерен с такой полнотой, точностью и быстротой, которые были недоступны оптическому методу.

Важным направлением, особенно сейчас, в связи с развитием нанотехнологий, приобретают электронная микроскопия, электронография и другая современная техника. Все большее значение придается изотопно-геохимическим методам, позволяющим определить возраст пород, что имеет огромную важность для геологии, а также источники магм и флюидов.

- Первые серьезные обобщения, касающиеся происхождения магматических, метаморфических и метасоматических пород, появились только в 1920-1940-х годах. Будучи основаны на геологических и петрографических наблюдениях при весьма ограниченном экспериментальном материале, они явились примером поразительной интуиции исследователей, стоявших у истоков петрологической науки: американцев А. Харкера (1859-1939), Н. Боуэна (1847-1936), Р. Дэли (1871-1957), англичанина Дж. Тирреля (1883--1961), финнов П. Эскола (1883-1964), Я. Седерхольма (1863-1934), наших академиков – уже упоминавшихся Ф. Ю. Левинсона-Лессинга (1861-1939) и А. Н. Заварицкого (1884-1952), а также Д. С. Коржинского (1899-1986), В.С. Соболева (1908-1982) и др. Плодотворные идеи, высказанные этими и другими учеными, а также внедрение новых аналитических и экспериментальных методов сделали возможным стремительный прогресс петрологии во второй половине нашего столетия.
- Большой объем информации о химическом составе кристаллических и стекловатых фаз, слагающих горные породы, достоверные сведения о температуре и давлении при их формировании позволили в полной мере использовать физико-химическую теорию для решения петрологических задач. У вас будет самостоятельный курс по геохимии, где вас со всем этим познакомят.

В настоящее время петрологические исследования в том или ином объеме выполняются на всех стадиях геологоразведочных работ и включают следующую последовательность операций.

- 1. Полевые наблюдения**, выполняемые в процессе геологического картирования, при документации горных выработок и керн скважин. По результатам этих наблюдений составляется визуальное (макроскопическое) описание горных пород и дается их предварительная диагностика.
- 2. Изучение горных пород под микроскопом** для получения точных и полных сведений об их составе и строении, в том числе количественных характеристик, необходимых для окончательного определения отдельных минералов и породы в целом.
- 3. Анализ химического состава горных пород и минералов** и их исследование с помощью специальных лабораторных методов.
- 4. Синтез геологической, петрографической и геохимической информации и обоснование выводов об условиях формирования пород**; сопоставление результатов с экспериментальными данными и в случае необходимости - постановка новых опытов.

- Каждая из этих стадий исследований требует профессиональных навыков и умения, а две последние, кроме того, специальной аппаратуры. Однако никакие самые совершенные аналитические приемы не могут заменить полевых наблюдений и изучения горных пород под микроскопом. Дело в том, что природные системы очень сложны и далеко не всегда подчиняются закономерностям, описанным в учебниках. Поэтому только наблюдательные факты, собранные при полевых исследованиях, могут дать ответ на вопрос, как же это происходило на самом деле. Следы геологических и петрологических процессов всегда остаются, но надо уметь их увидеть, и в этом умении заключается квалификация специалиста.
- Вместе с тем, пренебрежение точными лабораторными методами не позволяет судить о составе, строении и происхождении горных пород с той степенью конкретности и определенности, которая доступна современной науке, так что все это надо знать и уметь.

- Итак, сегодня мы начинаем курс лекций по минералогии и петрологии. **Петрология**, как я уже говорил, изучает горные породы, т.е. минеральные агрегаты, которые образуют земную кору, как определенные геологически-самостоятельные ее части.
- Главным характерным признаком горных пород является способ их образования - какие именно физические, химические и физико-химические процессы контролировали формирование данной породы, как она «была сделана», т.е. какова была *технология* процесса. И пока мы этого не определим, все дальнейшие рассуждения будут всего лишь более-менее правдоподобными предположениями, мало что дающими для понимания сущности изучаемого явления.
- Работа петролога, впрочем как и любого геолога, по своим принципам мало чем отличается от работы криминалиста, археолога или историка, когда по оставшимся следам, запечатленным в структурах и текстурах пород, их химическом и изотопном составе, составе минералов, пространственному распределению пород в пределах конкретного тела или территории мы должны восстановить ход и сущность событий, завершившихся миллионы и даже миллиарды лет назад.

И именно этим петрология отличается от **геохимии**, занимающейся в основном проблемами, связанными с концентрациями элементов в горных породах. Однако в природе элементы не существуют сами по себе, а входят в состав вещества, где они являются только «членами команды». А вещество имеет свои физические свойства, может быть твердым, жидким и газообразным, и здесь уже вступают в силу другие законы – макромира, где ведущую роль играют законы физической химии, физики, геомеханики, кинетики и т.д. Иными словами, возможности геохимии на деле сильно ограничены, эта информация необходима, но никак не достаточна для описания реальных явлений.

Геохимия, по существу, представляет собой материаловедение - очень важную науку, но другую. В отличие от петрологии, она отвечает на вопрос – из чего это сделано, а не как это было сделано. В настоящее время, благодаря внедрению в практику геологических работ современной прецизионной высокопроизводительной аналитической техники и широкому использованию изотопии, именно в геохимии достигнуты большие и очевидные успехи.

Но парадокс заключается в том, что это только часть необходимой информации, и пока между нашими науками существует серьезное недопонимание – петрологи больше придают значения наблюдательным геологическим фактам, а геохимики – общепринятым формулам, часто пренебрегая изучением структуры процессов, и именно в этом состоит различие между этими науками.

Различие между геохимией и петрологией я хочу показать на таком примере. Например, вы имеете какую-то деталь, допустим, шестеренку. Ее можно выточить на токарном станке из болванки, отштамповать из толстого листа, отлить в изложнице, спрессовать из специального порошка и т.д. Если вы сделаете ее химический анализ, то только определите, что она изготовлена из железа с некоторым количеством примесей хрома, никеля и др. Изотопный анализ позволит вам определить, было ли это железо получено из бобовых руд, из железистых кварцитов, например, Курской магнитной аномалии или другого месторождения, или же из металлического лома.

Но это вам ровным счетом ничего не даст для понимания того, как была изготовлена эта деталь. А для этого необходимо изучить ее поверхность, под микроскопом исследовать структуру материала, определить его минеральный состав и т.д. Только так вы сможете узнать, как же эта деталь была сделана, подходит ли она для ваших целей и как можно было бы наладить ее производство, если это необходимо. Как вы, наверное, знаете, именно технология является главной целью промышленного шпионажа, а отнюдь не элементный состав объекта.

- Большой прогресс достигнут и в экспериментальных физико-химических исследованиях процессов выплавления и затвердевания магматических расплавов, которые в природе отнюдь не являются равновесными и обратными друг другу, так что здесь все тоже не так просто.
- Применение компьютеров позволяет создавать сложные количественные модели магматических процессов, но правомерность таких моделей во многих случаях все же так и остается под вопросом, поскольку мы не можем, да и вряд ли когда-нибудь сможем заглянуть внутрь Земли, где они происходят.
- Ну, а насколько сложны природные явления вы каждый день убеждаетесь на примере хотя бы прогнозов погоды – казалось бы, все ясно, все у нас перед глазами, везде метеостанции, работают метеоспутники, все законы газовой динамики известны – а погоду в лучшем случае более-менее надежно можно предсказать только на день-два.

- То же самое относится и к различным экспериментам и моделированию. Те, кто с этим хоть однажды сталкивался, хорошо знают, что достаточно незначительно изменить характер одного из параметров эксперимента или модели, как сильно меняется и сам результат. А природные системы - это сложные системы, где таких параметров может быть много, и они могут меняться в ходе самого процесса.
- Поэтому совершенно необходимо на наблюдательных фактах восстановить, как именно образовались в природе конкретные геологические тела или месторождения. Только это может позволить определить значимость того или другого факта, ввести разумные ограничения для полета фантазии и тем самым разобраться в том, что имело место на самом деле.
- Как говорили древние, тысячи путей ведут к заблуждению, а к истине – только один. Проверять все эти тысячи путей не хватит никакой жизни и никаких ресурсов, поэтому только понимание того, как это происходило на самом деле, может позволить выработать разумный алгоритм решения.

Я думаю, что петрология, а строго говоря – и экология - это науки XXI века, когда во главе угла становятся фундаментальные междисциплинарные проблемы конкретных механизмов реализации таких крупномасштабных процессов, как геологических, которые именно из-за своих масштабов часто не поддаются современному компьютерному моделированию – слишком много допущений приходится делать.

XX век в основном занимался описанием явлений и накоплением данных по вещественному составу пород, в частности, геохимии, а в последние годы - изотопной геохимии. Однако, серьезное осмысление этих материалов предстоит уже вашему поколению.

- Основная цель этого курса - ввести вас в круг основных проблем современной петрологии магматических, а также метаморфических и метасоматических горных пород и познакомить с методами и подходами к решению этих проблем.
- Петрология имеет много общего с химической технологией, только в отличие от вас, мы имеем дело с природными процессами, параметры которых в большинстве случаев неизвестны, а масштабы на порядки отличаются от тех, с которыми вы будете иметь дело на производстве, хотя вы столкнетесь с сходными проблемами. Так же, как и нам, вам придется на основании имеющихся данных решать обратную задачу – как это произошло? Почему процесс шел (или идет) так, а не иначе?

- Как я уже говорил, петрология имеет дело с тремя типами природных процессов: магматическими, метаморфическими и метасоматическими.
- **Магматические процессы** связаны с возникновением, перемещением и затвердеванием природных расплавов - магм. Излившиеся на поверхность лавы уже отличаются от магм тем, что, попав в условия низких давлений, они подверглись дегазации, а в результате контакта с атмосферой – и окислению.
- В зависимости от состава магм, лавовые потоки могут свободно течь, или медленно перемещаться, сметая все на своем пути.
- Не менее опасны взрывы, сопровождающие извержения газонасыщенных магм, в результате которых жидкая горячая лава распыляется на мелкие частички – вулканический пепел, который может выбрасываться на высоту в десятки километров и затем падает на землю в форме пеплопада, нередко приводя к катастрофическим последствиям. Извержения вулканов также часто сопровождаются образованием грязевых потоков, палящих туч, истечением ядовитых газов и другими опасными явлениями.

Извержение базальтов вулкана Килауэа, Гавайии





Извержение вулкана Карымский, Камчатка

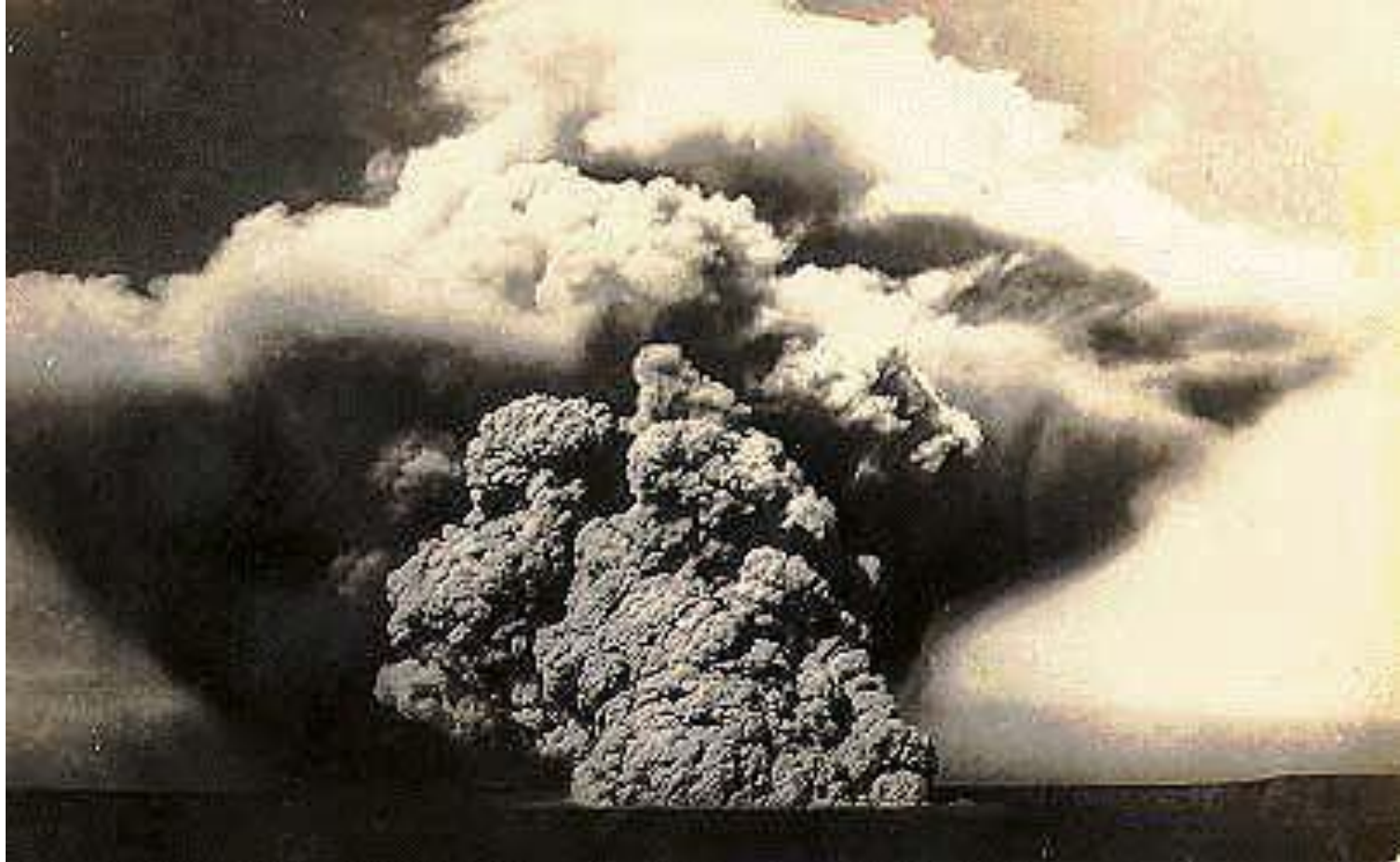




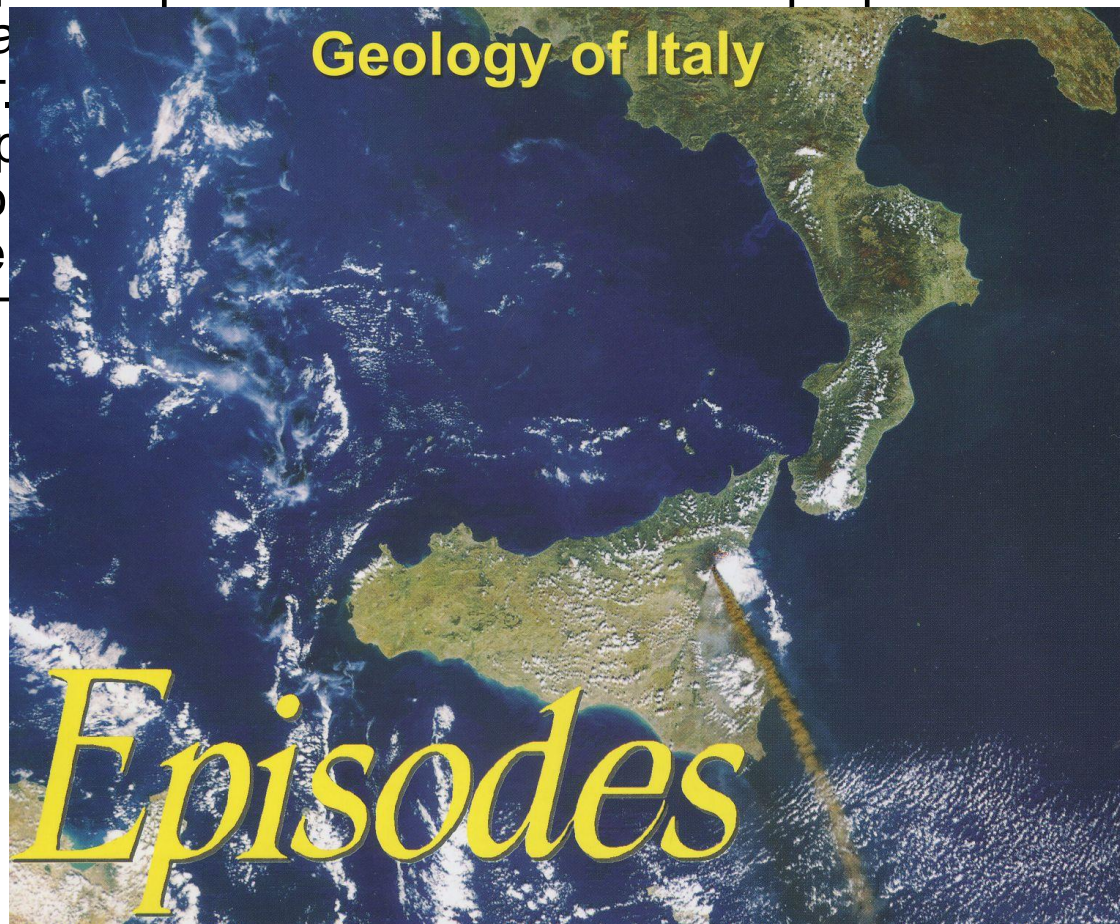
Из-за трения пепловых частиц о воздух, они часто электризуются, благодаря чему извержения таких вулканов обычно сопровождаются сильными грозами.

Извержение
вулкана
Ключевская
Сопка, Камчатка

Катастрофическое извержение вулкана Безымянный, Камчатка, 1956 г.



Но даже когда извержения и не носят катастрофического характера, над вулканами возникают облака **аэрозолей**, т.е. мельчайших взвешенных частичек пепла, которые попадая в турбины самолетов, быстро выводят их из строя. Вот так выглядит спокойное извержение **вулкана Этна** на Сицилии. По этой причине аэропорт Анкоридж на Аляске считается опасным, и трассы самолетов рассчитываются исходя из розы ветров



та и
которые
я. Вот так
и. По
сным, и

Но даже когда извержения и не носят катастрофического характера, над вулканами возникают облака **тонкого пепла** и **аэрозолей**, т.е. мельчайших взвешенных частичек пепла, которые попадая в турбины самолетов, быстро выводят их из строя. Вот так выглядит спокойное извержение **вулкана Этна** на Сицилии. По этой причине аэропорт Анкоридж на Аляске считается опасным, и трассы самолетов рассчитываются исходя из розы ветров

А если извержения проходят под водой, как это имеет место в океанах, то образуются так называемые **пиллоу-лавы**, или подушечные лавы, когда отдельные порции расплава, окруженные паровой оболочкой, сворачиваются под давлением воды в шары или плоские трубы, которые в поперечном разрезе выглядят как подушки. Снаружи эти «подушки» окружены корками закалочного вулканического стекла, а внутри их порода имеет мелкозернистую структуру. Вот так выглядят современные пиллоу-лавы на дне Тихого океана.



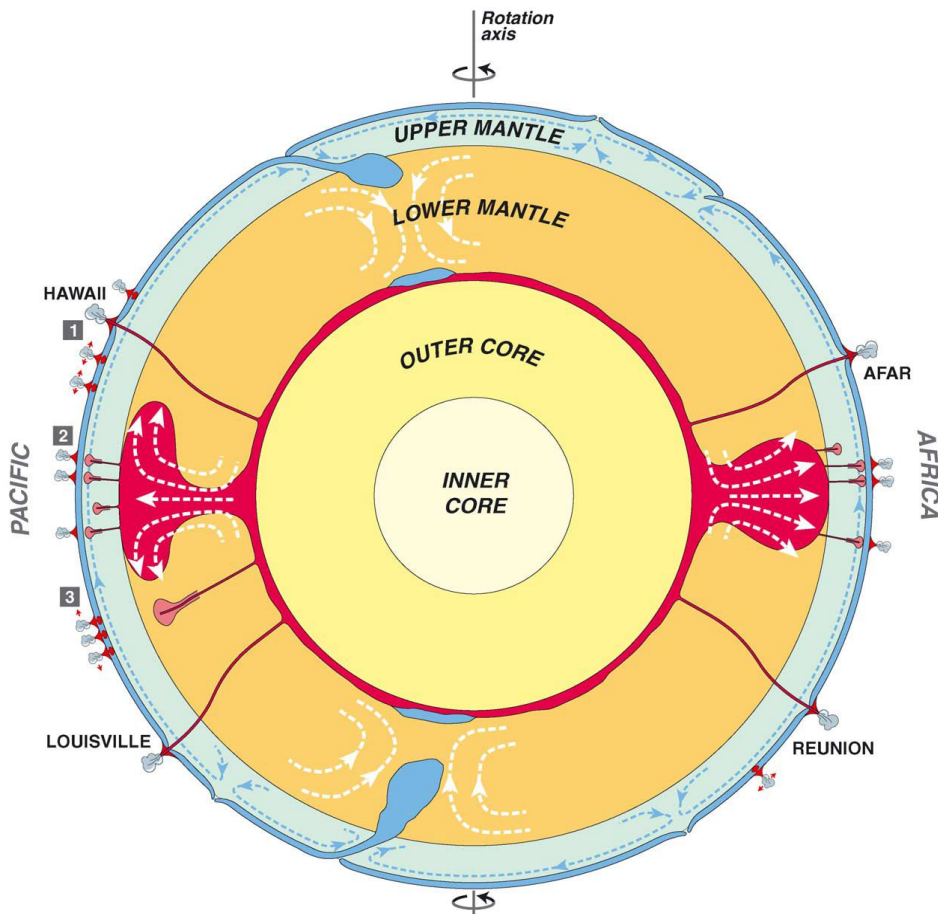


А вот так, например, выглядят древние пиллоу-лавы в обнажениях на северо-западе Кольского полуострова, в районе Печенги. Их возраст в данном случае около 2 млрд. лет.

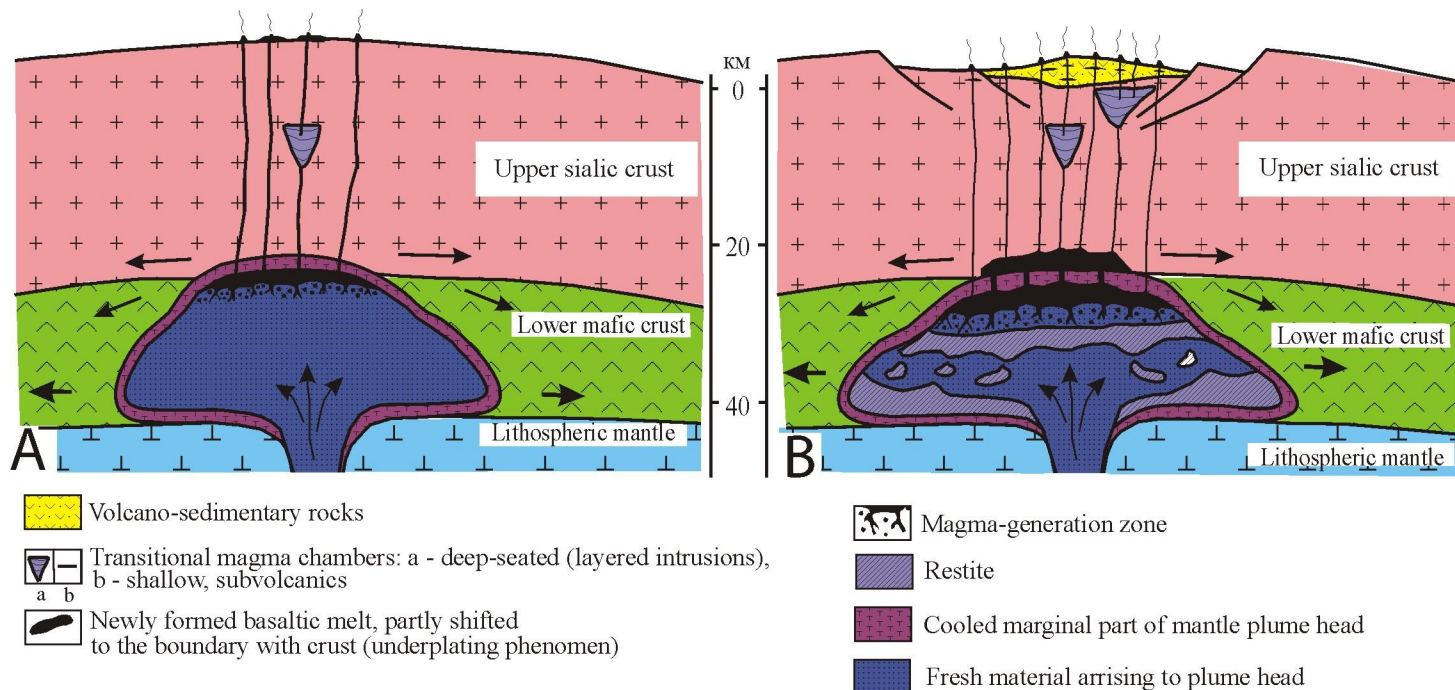


- Однако поверхности достигает только часть образующихся расплавов. Согласно расчетам, от 50 до 70% новообразованных расплавов по пути из зоны генерации магм может оставаться в толще земной коры в промежуточных очагах. Эти затвердевшие очаги представляют собой огромные отливки – **интрузивы**. Интрузивные породы имеют уже кристаллическую структуру, и типичным примером интрузивных пород являются всемирно известные граниты, образованные кристаллами кварца и полевых шпатов.
- Размеры этих интрузивов могут быть колоссальными, достигая тысячи и десятки тысяч квадратных километров при толщине в несколько километров. Изучение таких крупных интрузивов показывает, что они, конечно, произошли не в результате одноактного внедрения моря расплава в готовую магматическую камеру, где затвердевали как промышленная отливка в изложнице.
- Наиболее крупные интрузивы формировались в течение сотен тысяч лет над локальными источниками магм, откуда в затвердевающую интрузивную камеру периодически поступали новые порции свежих расплавов, и она постепенно «разбухала» до современных размеров.

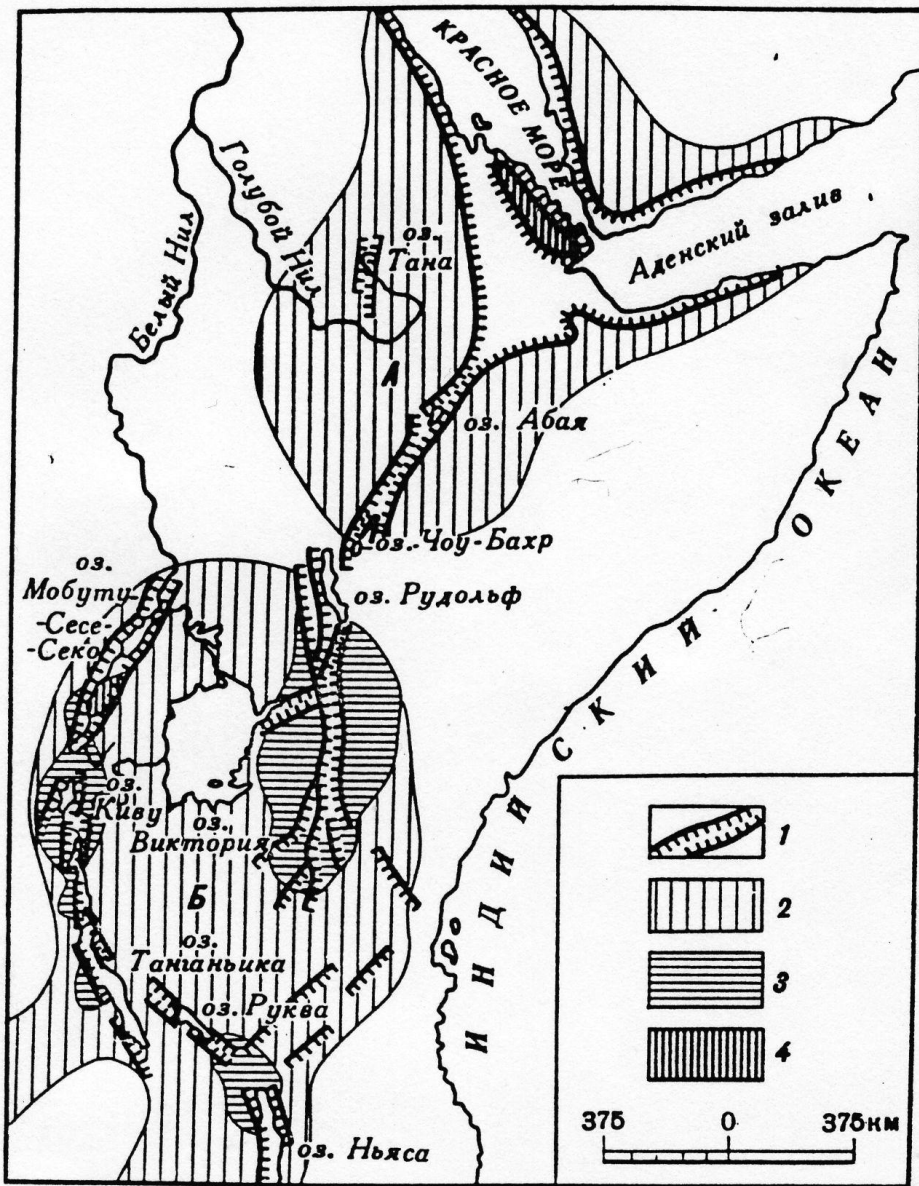
Но же это за истончением магмы? Вы, наверное, слышали, что температура в Земле постепенно повышается от поверхности вглубь. Это явление называется **геотермическим градиентом**. Было бы соблазнительно считать, что в какой-то момент при этом достигается температура плавления пород и возникает огромная область плавления. Однако, согласно геофизическим данным, Земля твердая вплоть до внешнего жидкого ядра, состоящего в основном из расплавленного железа. С этим согласуются и расчетные данные, свидетельствующие о том, что величина геотермического градиента слишком мала, чтобы обеспечить плавление.



- Вместе с тем, современные геофизические исследования показали, что в толще мантии Земли существуют **мантийные плюмы** – локализованные потоки разогретого мантийного вещества, поднимающиеся от границы силикатной мантии с жидким железо-никелевым ядром.



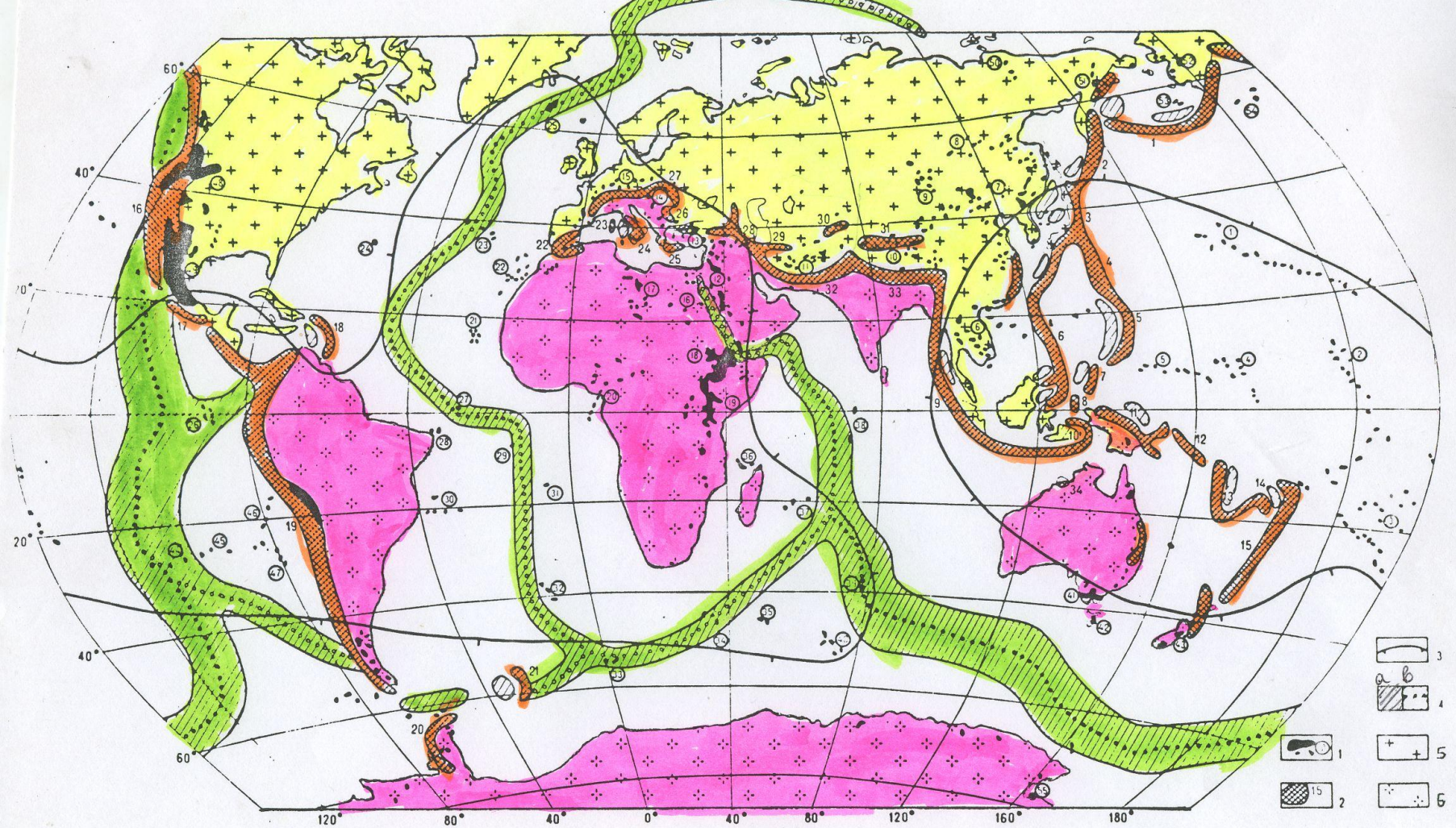
- Мантийные плюмы достигают уровня своей плавучести, где и растекаются в форме шляпки гриба, вызывая деформации в земной коре, т.е. тектонические процессы.
- Из-за крайне низкой эффективности кондуктивной теплопроводности, эти плюмы в значительной мере сохраняют свою температуру на протяжении сотен и тысяч километров пути. Поэтому, когда горячее вещество плюмов поднимается и попадает в область пониженных давлений, оно начинает плавиться, так как температура плавления напрямую зависит от давления – чем оно ниже, тем при более низкой температуре плавится материал. Это называется **адиабатическим плавлением**, поскольку подъем мантийного плюма происходил практически без обмена теплом с окружающей средой. Таким образом мантийные плюмы «перекачивают» тепло и вещество на из самых глубоких недр земли во внешние оболочки, обеспечивая существование тектономагматических процессов.



На континентах над растекающимися головными частями мантийных плюмов возникают области растяжения, где формируются так называемые **рифты** – системы глубоких долин, ограниченных разломами. На территории нашей страны это Байкальский рифт, где широко развиты подобные структуры, и сам Байкал является одной из них.

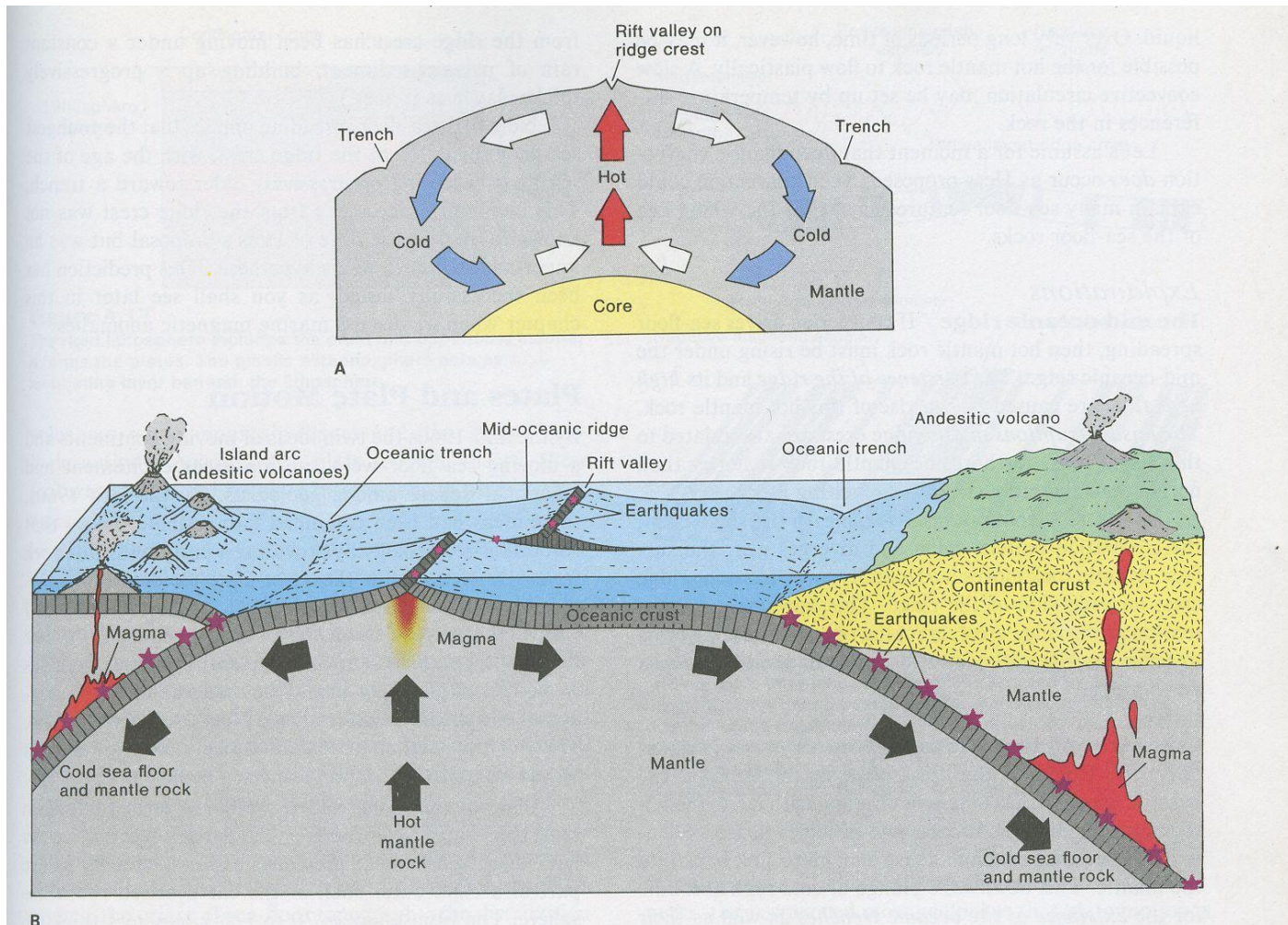
Наиболее известные примеры – Восточно-Африканская рифтовая система, протягивающаяся от Оманского залива до Кении и Танзании, а на западе США – Провинция Бассейнов и Хребтов в штате Невада.

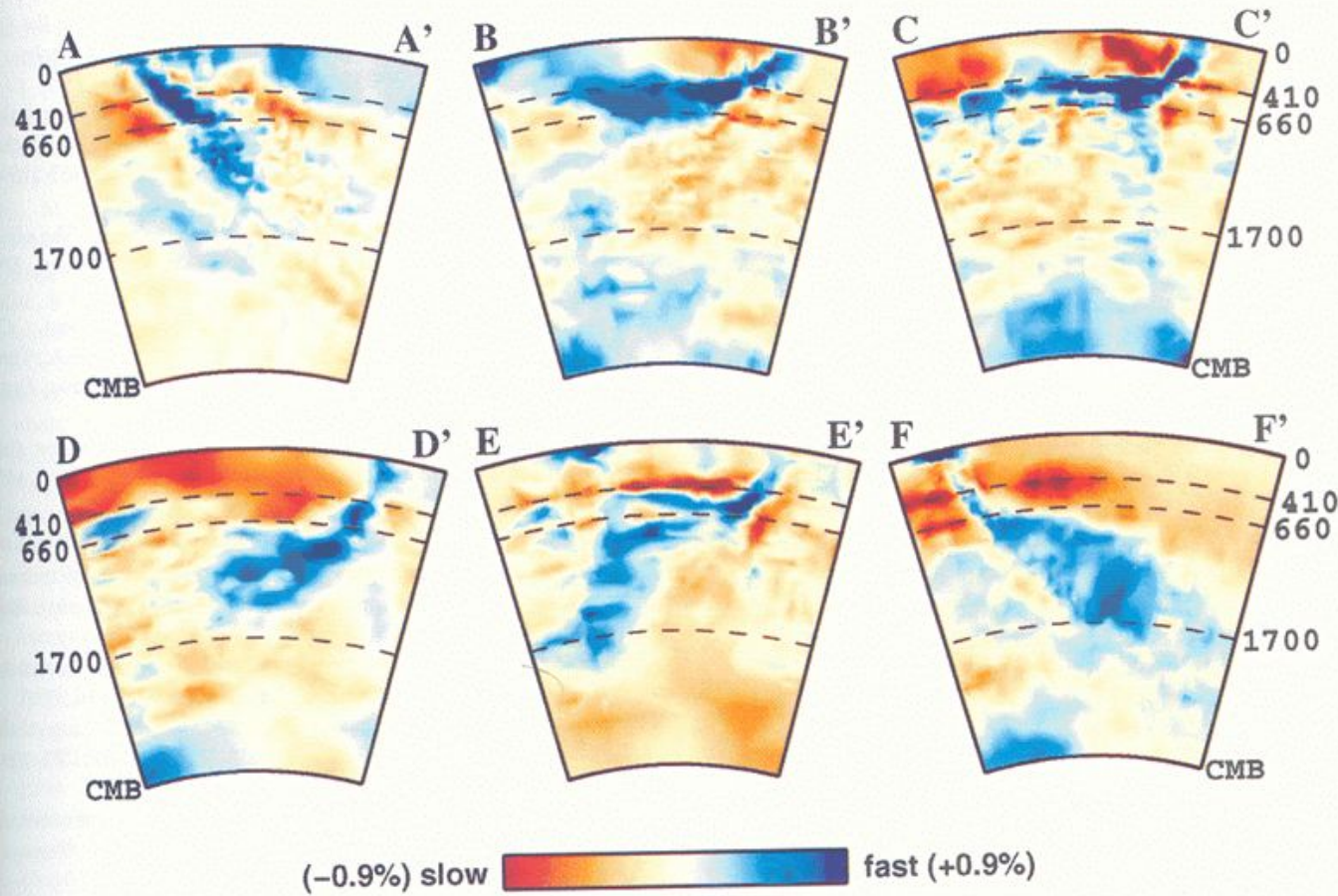
Процессы рифтообразования обычно сопровождаются мощным базальтовым вулканизмом за счет адиабатического плавления головных частей плюмов



Но наибольший интерес представляют значительно более масштабные структуры – срединно-океанические хребты, где раздвиг идет настолько эффективно, что континентальная кора разрывается и идет крупномасштабное формирование новой океанической коры за счет излияния базальтов в их осевых частях – срединно-океанических хребтах. При этом происходят разрывы более древней континентальной коры, которая расчленяется на крупные блоки – материки, движущиеся в разных направлениях.

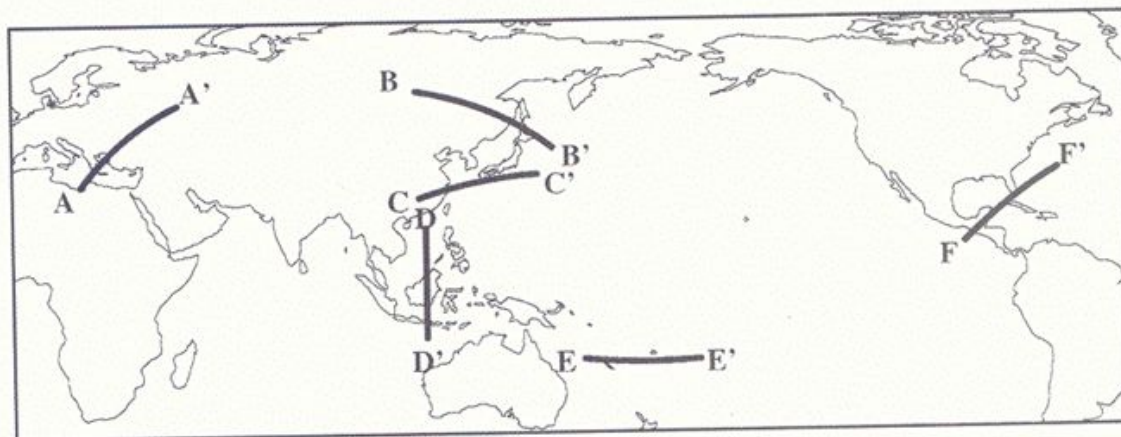
- Избыток новообразованной коры погружается под континенты в мантию вдоль так называемых **зон субдукции**, где мощные (до 80 км толщиной) плиты океанической литосферы прослеживаются до глубин 600-800 км и больше. В отличие от зон растяжения, где формируются магмы основного состава – базальтовые, в зонах сжатия преобладают магмы среднего и кислого состава – андезиты и дациты. Благодаря такому различию, мы можем определить в древних складчатых областях, какой там был в то время тектонический режим.





Так выглядит строение областей, где в настоящее время происходит субдукция литосферных плит (по данным сейсмической томографии).

Голубым показан плотный холодный субдуцируемый материал, погружающийся в менее плотную разогретую мантию вплоть до земного ядра.



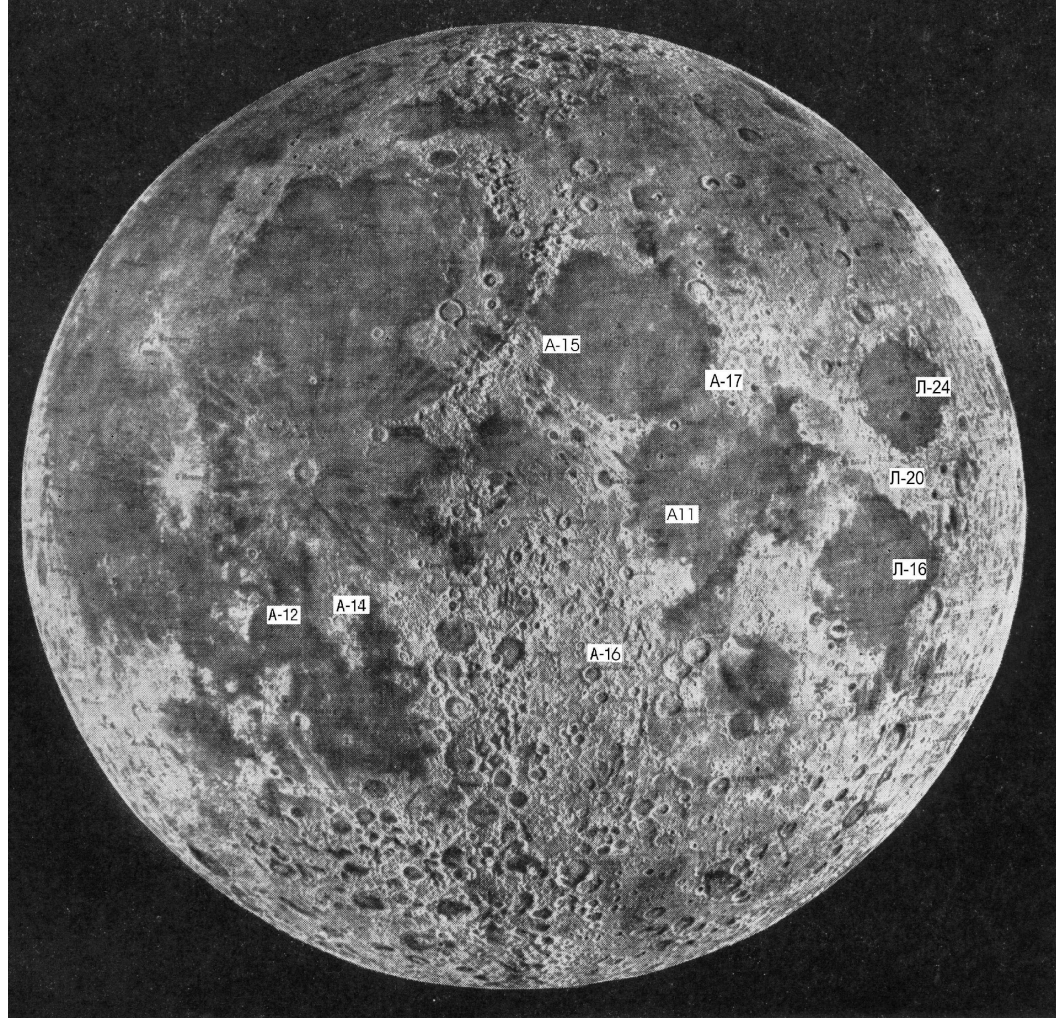
Таким образом, в геодинамические процессы Земли вовлечены все геосферы, начиная от ядра и кончая земной корой.

- Согласно современным представлениям тектоники плит, о которых мы будем говорить в следующих лекциях, земная кора сейчас состоит из крупных литосферных плит, движущихся в разных направлениях. В настоящее время выделяется два типа границ литосферных плит:
- 1) **конструктивные**, где рождается новая океаническая кора – это срединно-океанические хребты;
- 2) **деструктивные**, или конвергентные, где эта кора погружается вглубь мантии по зонам субдукции.
- И для каждой такой структуры, как я уже говорил, характерен свой магматизм.

- Ну, и наконец, чтобы вы получили представление о земной коре в целом, можно провести мысленный эксперимент. Вот если осушить океанические бассейны, оказывается, что земная кора на 60% состоит из базальтов, слагающих дно океанов. Над этими равнинами в среднем примерно на 5 км возвышаются материки, сложенные более легкими и более древними гранитными породами.

Еще один аспект петрологии – это изучение тектономагматических процессов на других планетах земной группы. Как и Земля, они состоят из силикатной оболочки и железного ядра, т.е. в плане внутреннего строения Земля не одинока, и развивались они в целом по одному сценарию. Это открывает широкие возможности для сравнительной планетологии, используя данные по развитию Земли для интерпретации материалов по другим планетам и наоборот.

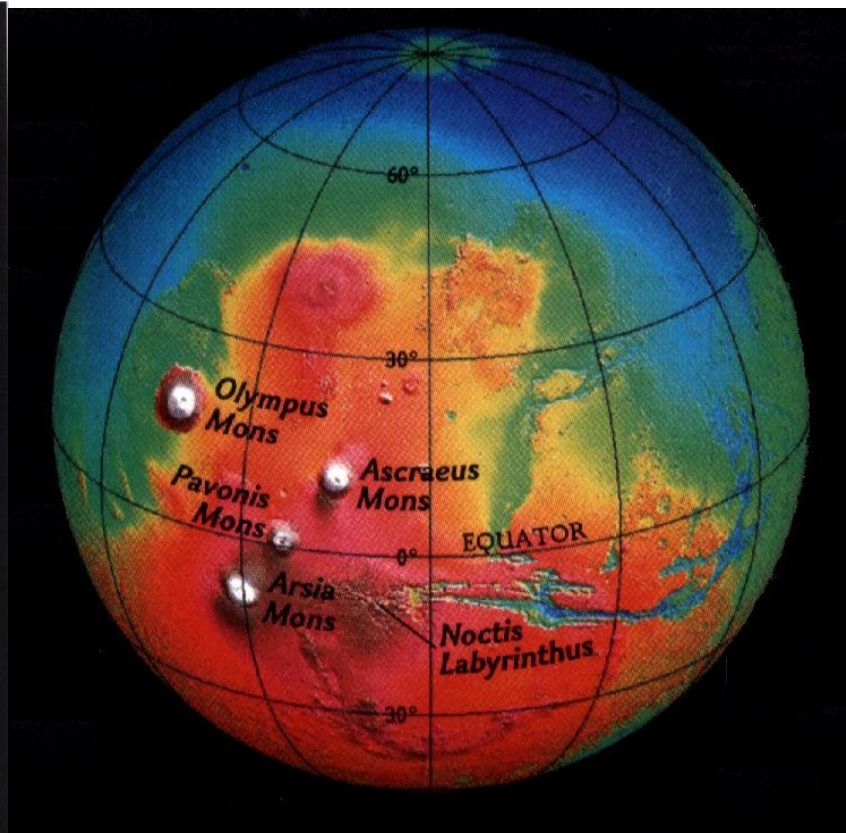
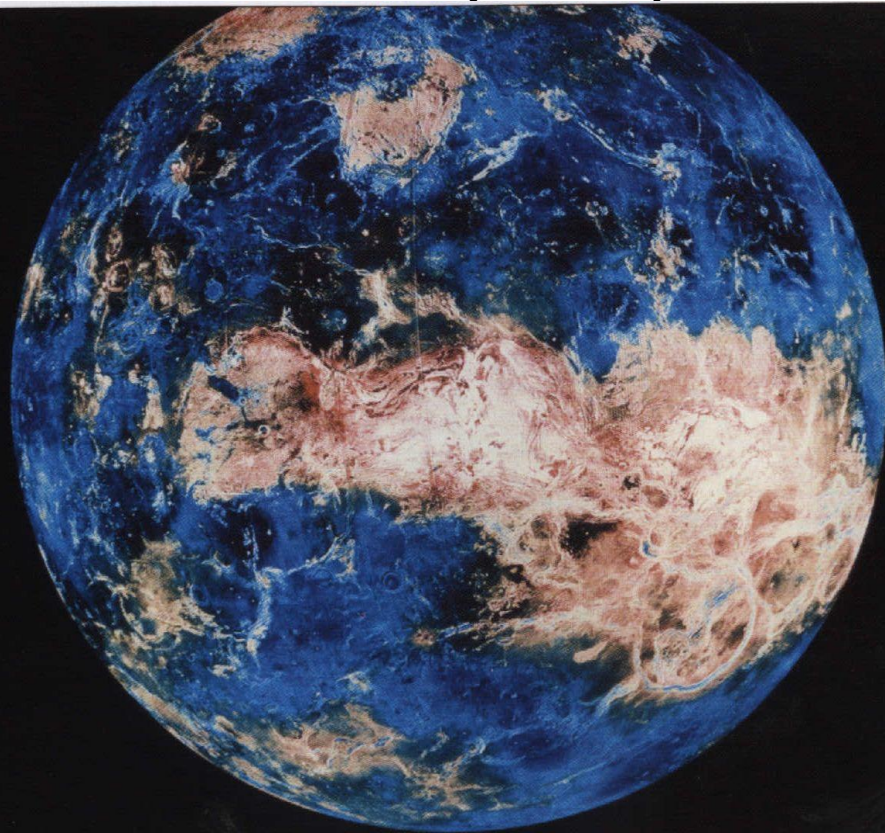


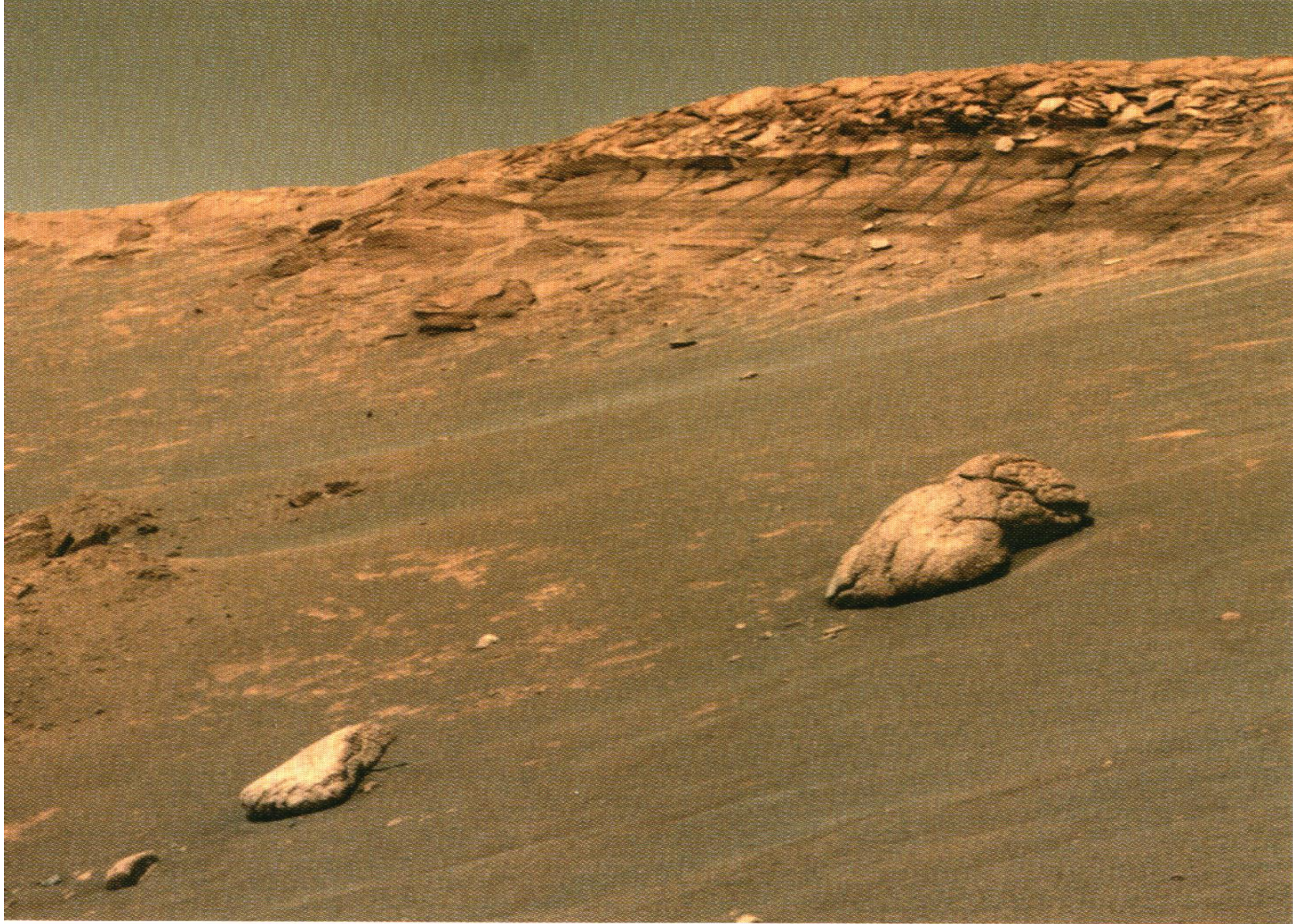


Земная кора в основном сложена магматическими горными породами, и поэтому мы будем заниматься преимущественно ими. Кстати, аналогичная ситуация имеет место и на **Луне** и на других твердых планетах земной группы, так что результаты изучения земного магматизма будут полезны и при будущих геологических исследованиях планетных тел. Так, например, моря Луны (темно-серое) - крупные депрессии, заполненные базальтами, многими исследователями считаются результатами ударов крупных метеоритов, тогда как химизм этих базальтов близок к земным расплавам, связанным с активностью мантийных плюмов.

На Венере и Марсе также развиты два главных типа морфоструктур – молодые обширные низменные равнины, залитые базальтами, и поднятия, сложенные древним легким материалом (*тессеры* на Венере и *земли* на Марсе). В целом, если осушить земные океаны, она будет выглядеть также, только на Венере, близкой по размерам к Земле, на долю океанической коры приходится около 80% поверхности.

Когда-то и на этих планетах была вода, однако Марс из-за своего слабого поля тяжести, в значительной мере потерял свою атмосферу, что привело к похолоданию климата (средняя температура: -60°C) и исчезновению гидросферы, а на Венере, расположенной ближе к Солнцу – наоборот, возник разгоняющий парниковый эффект, в результате чего температура на ее поверхности составляет около 500°C , а давление – около 100 атм. Сейчас это уже «мертвые» тела.





- Обнажения осадочных пород, преимущественно, сульфатов, на Марсе, борт впадины Эндурэнс (Endurance)



- К **метаморфическим породам** относятся породы, погружившиеся в толщу земной коры, где претерпели преобразования в минеральном составе (метаморфизм). Он связан с тем, что породы попали в новые термодинамические условия, где первичные минералы стали неустойчивыми, и вместо них образовались новые минеральные ассоциации.
- Иногда это сопровождается даже плавлением корового вещества с образованием так называемых **мигматитов**. Об этом мы тоже поговорим особо.



- И, наконец, последний тип пород, которые мы будем рассматривать – это **метасоматические породы**. Дело в том, что в толще земной коры циркулируют различные флюиды, которые могут выносить из пород некоторые компоненты, или, наоборот, привносить их в породу

- Таким образом, сегодня мы познакомились с минералогией и петрологией, науками, изучающими горные породы, которыми сложена земная кора. Как следует из названия, минералогия занимается изучением минералов, которыми сложены горные породы, а петрология – составом и происхождением горных пород. Мы узнали, что горные породы бывают магматическими, метаморфическими и метасоматическими, а также осадочными, образованными за счет размыва этих пород и их осаждения в водных бассейнах, или за счет выделения минералов в пересыщенных растворах – это преимущественно карбонаты (известняки) и соли. Более подробно обо всем этом, за исключением осадочных пород, мы поговорим в последующих лекциях.
- На следующих занятиях мы познакомим вас с основами минералогии и различными магматическими, метаморфическими и метасоматическими породами, методами их изучения (петрографическими и геохимическими). С ними вас познакомит Михаил Константинович Суханов.