

Глава 1. Магматические процессы

1.1. Сущность магматизма

Материалом для написания этой части послужили сведения, опубликованные в учебных пособиях, монографиях и справочниках [3,5,7,11,24,28,29,30,40].

Сущность магматических процессов заключается в явлениях дифференциации магмы: а) кристаллизационной; б) гравитационной; в) ликвационной; г) контаминацией (ассимиляцией).

Кристаллизационная дифференциация - это следствие неодновременного застывания всего магматического расплава. Из расплава вначале выделяется твердая фаза (тугоплавкая), одновременно происходит обогащение расплава легкоплавкими компонентами. Кристаллизация сопровождается накоплением элементов - примесей, которые не рассеиваются.

Гравитационная дифференциация - ранее выделившаяся фаза оседает на дно под действием силы тяжести. В нижней части магматического очага образуются более тугоплавкие, более основные парагенетические ассоциации минералов; в верхней части - более легкоплавкие кислые.

Основные магмы считаются источником всего разнообразия магматических пород, т.к. при дифференциации они могут привести к образованию ультраосновных пород и кислых гранитных.

Ликвационная дифференциация - это распад двух несмешивающихся между собой жидкостей с различной подвижностью и плотностью. Наиболее часто она отмечена для магм с высоким химическим потенциалом S , когда образуются 2 сосуществующих расплава: силикатный и сульфидный. Последний может полно отделиться и дать крупные залежи $Cu - Ni - Fe$ - сульфидов либо в пределах магматического очага, либо в тектонических трещинах.

Ассимиляция (контаминация) - изменение состава магмы за счет вмещающих пород.

Температура магматических процессов изменяется от 700 - 900°C на глубине до 1000 - 1200°C при излиянии магмы на поверхность. Роль давления сводится: 1) к удержанию в магматическом расплаве летучих веществ (H_2O , CO_2); 2) к образованию характерных для каждого давления парагенетических ассоциаций

В.Ф.Барабанов [3] пришел к выводу, что в современном понимании геохимия магматизма означает сложное, многообразное и противоречивое динамическое взаимодействие расплава, боковых пород, пропитывающих их нагретых минерализованных растворов и диффундирующих в этой сложной многофазовой системе многих компонентов. При этом магма все время что-то поглощает, ассимилирует, принимает и все время что-то теряет, выделяет, расходует. Магма выступает динамической, самоорганизующейся активной природной системой.

Магма - это глубинный, огненно-жидкий, силикатный раствор-расплав многих химических компонентов, насыщенный газовыми и легколетучими веществами. У магмы все время меняются её важнейшие характеристики: температура, давление, состав, местоположение, растворимость её компонентов. Изменению состава магмы сильно способствует её *подвижность*. Перемещаясь в различных горизонтах земной коры, пересекая различные по составу горные породы, магма взаимодействует с ними и таким образом меняет свой первоначальный состав, вплоть до обогащения рудным веществом.

Магма состоит, главным образом, из SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , FeO , CaO , Na_2O , K_2O - они входят в состав главных породообразующих минералов. В них также всегда есть вода (до 10 %). Остальных окислов, кроме Fe_2O_3 , меньше 1 % - это рассеянные, либо акцессорные компоненты. К рассеянным относят MnO , NiO , BaO и др. - они не дают самостоятельных минералов, а входят в виде изоморфных примесей в состав основных минералов. К акцессорным

относят те, которые уже при незначительном содержании образуют самостоятельные минералы, встречаются они в резко подчиненном количестве по отношению к породообразующим. Это ZrO_2 , P_2O_5 , TiO_2 , Fe_2O_3 , Cr_2O_3 , редкие земли.

По соотношению SiO_2 с другими окислами магматические парагенетические ассоциации и горные породы делятся на ультраосновные ($SiO_2 < 45\%$), основные (45-52 % SiO_2), средние (52 - 65 %), кислые (65 - 75%) и щелочные (52 - 65 %). В каком состоянии находится вещество в магме? Есть разные точки зрения. Ф.Ю. Левинсон-Лессинг считал, что в магме при дифференциации перемещаются, концентрируются не отдельные окислы, а комплексы, соответствующие будущим минералам. Д.П. Григорьев еще в 1937 г писал, что в жидком расплаве уже существуют готовые молекулы минералов или группы ионов, соответствующие этим отдельным молекулам.

Представления Лессинга и Григорьева развил академик Н.В. Белов. Сейчас доказано, что при кристаллизации магмы все процессы идут закономерно, а не произвольно. В природе известно около 600 изверженных горных пород, хотя число возможных сочетаний из 4000 минералов составляет астрономическое число $\sim 10^{28}$. Так вот эти закономерности управляются не только составом магмы, но, главным образом, термодинамическими параметрами системы (температура, давление, активность элементов).

Как происходит кристаллизация из магмы? Классическое представление эмпирически разработал американский ученый Н. Боуэн - по реакционному принципу. Он выделил два ряда: 1. Прерывистый меланократовый ряд: первым выделяется оливин - затем пироксен - амфибол - биотит 2. Непрерывный лейкократовый ряд: битовнит - лабрадор - андезин - олигоклаз - калишпат. Эти ряды смыкаются на мусковите, затем начинают

выделяться кварц - цеолиты - гидротермальные минералы. Н.В.Белов этому ряду дал кристаллохимическое и геоэнергетическое объяснение.

Таким образом, исследователи пришли к заключению, что магма - это есть расплав-раствор, в котором при высоких температурах реально существуют молекулярные группировки - зародыши будущих магматических минералов.

Было установлено, что основные и ультраосновные магмы более подвижные, а кислые очень вязкие. На понижение вязкости магмы большое влияние оказывают минерализаторы: F, Cl, OH. Особенно сильно понижают вязкость OH. Эксперименты и расчеты показали, что вода рождается в самой магме и может ассимилироваться из окружающих пород земной коры, а вместе с ней может ассимилироваться большое количество других растворенных веществ, в том числе и рудные.

Для эффузивных процессов характерны: быстрое остывание, более высокая температура, низкое давление, невысокая концентрация летучих веществ. Здесь невозможно образование водосодержащих минералов - биотита и роговой обманки. В результате закалки высокотемпературных фаз расширяются пределы изоморфной смесимости, причем весь парагенезис минералов близок к различным техническим продуктам. Важной особенностью эффузивов является образование стекла - это не минералы, а переохлажденный жидкий силикатный расплав, сохраняющийся в метастабильном состоянии.

1.2. Вещественный состав магматических пород

Под вещественным составом магматических пород понимается содержание химических элементов в свободном состоянии, либо в виде породообразующих, рассеянных и акцессорных окислов (в %) и минералов в виде главных породообразующих и акцессорных (содержание их в породах около 2 - 3 %.)

Средние содержания главных химических элементов и породообразующих окислов в магматических породах показано в таблице 1.1, а по основным типам магматических пород в таблице 1.2

Средние содержания химических элементов в магматических породах (по

[29]

Таблица 1.1

Элементы	Вес. %	Окислы	Вес %
O	47,72	SiO ₂	63,65
Si	29,74	TiO ₂	0,54
Al	7,66	Al ₂ O ₃	14,47
H	0,16	Fe ₂ O ₃	2,18
Na	2,60	FeO	3,19
Mg	2,23	MnO	0,07
Ca	3,06	MgO	3,70
Fe	4,04	CaO	4,28
K	2,36	Na ₂ O	3,51
Ti	0,33	K ₂ O	2,84
P	0,04	H ₂ O	1,47
Mn	0,06	P ₂ O ₅	0,10
Сумма	100	Сумма	100

Средний химический состав основных типов магматических пород (по[29])

Таблица 1.2

Окислы	Ультраосновные SiO ₂ <45 %	Основные SiO ₂ = 45- 52%	Средние SiO ₂ =. 52- 60 %	Кислые SiO ₂ . >- 60 %	Средний состав SiO ₂ =30- 75%
SiO ₂	42,37	48,34	57,14	65,88	58,08
TiO ₂	0,84	0,31	0,72	0,41	0,70

Al ₂ O ₃	12,6	16,81	18,51	16,03	16,40
Fe ₂ O ₃	4,26	3,93	3,06	2,13	2,88
FeO	4,73	6,32	3,02	1,81	3,45
MnO	0,17	0,21	0,17	0,11	0,14
MgO	17,52	5,60	2,27	1,22	3,96
CaO	6,91	8,68	4,52	2,34	4,74
Na ₂ O	5,12	3,51	5,37	4,42	4,37
K ₂ O	2,02	2,10	3,56	4,30	3,31
H ₂ O	3,05	2,71	1,60	1,79	1,76
P ₂ O ₅	0,33	0,42	0,24	0,14	0,18

Минеральный состав магматических пород разнообразен. Среди основных **породообразующих** минералов отмечены - *плагиоклазы*: альбит, олигоклаз, андезин, лабрадор, битовнит, анортит; *щелочные полевые шпаты*: санидин, ортоклаз, микроклин; *минералы кремнезема*: кварц, тридимит, кристобалит; *нефелин*; *лейцит*; *слюды*: мусковит, биотит, флогопит; *амфиболы*: тремолит, актинолит, нефрит, роговая обманка; *мелилиты*; *пироксены*: диопсид, авгит, геденбергит, родонит, эгирин, сподумен, энстатит; *оливины*: форстерит, фаялит; *гранаты*: гроссуляр, андрадит, альмандин, пироп.

К **акцессорным** минералам (их содержание в породах не превышает 2 - 3 %) отнесены: шпинели, магнетит, сфен, апатит, циркон, гематит, ильменит, рутил, турмалин, пирротин, пирит, халькопирит, пентландит, кальцит (индикатор глубинности и щелочности). Когда содержание кальцита в породе выше содержания силикатных минералов, то образуются новые породы - *карбонатиты*. Перечисленные выше сульфиды формируются при ликвации в основных и ультраосновных магмах с образованием крупных медно-никелевых месторождений (Норильские, Талнахские. Седбери, Бушвельд и др.).

Распределение перечисленных минералов в основных типах магматических пород показано в классификационных схемах (см. табл. 1.3; 1.4).

1.3. Классификация магматических пород

Большинство классификаций магматических пород построены по условиям их формирования, строению, минеральном и химическом составе (табл. 1.3, 1.4). Среди петрологов существуют различные подходы к решению этого вопроса. Международный союз геологических наук (IUGS), объединяющий геологов Мира, начиная с 1969 г. ведет дискуссию по классификации и номенклатуре магматических пород. В итоге была разработана классификация этих пород, основанная на системе двух координат: а) QAPF - где Q - кварц, А - щелочной полевой шпат, P - плагиоклаз, F - фельдшпатоид; б) TAS (Total Alkali-silica) или общая сумма щелочей ($\text{NaO} + \text{K}_2\text{O}$) и SiO_2 . Смысл этой классификации состоит в том, что если использовать ее в логической последовательности, то можно дать название любой магматической породе [21]

В этой сложной схеме многоступенчатой систематики магматических пород выделены: а) *по фацциальной принадлежности* следующие классы - плутонические, гипабиссальные, вулканические; б) *по содержанию кремнезема (в %)*: такие группы пород - ультраосновные (30 - 45 %), основные (45 - 53), средние (53 - 64), кислые (64 - 78); в) *по степени насыщенности щелочами ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$)* относительно содержания $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3$ следующие ряды - нормальные, умереннощелочные и щелочные; г) *по комплексу признаков* следующие виды пород - дуниты, перидотиты, пироксениты, трахиты, андезиты, липариты, граниты и др. Согласно этой классификации общее число терминов магматических пород составляет 297 наименований [21].

Классификация магматических пород по составу, строению, глубине формирования

Таблица 1.3

Группы пород по глубине формирования	Текстуры	Структуры	Кислые SiO ₂ >65%	Средние SiO ₂ =65-52%		Основные SiO ₂ 52-45%	Ультраосновные SiO ₂ 52 - 45 %	Щелочные SiO ₂ -52-65%+ Na ₂ O и K ₂ O
				с КППШ	с плагиоклазом			
Эффузивные	Плотная, пористая, флюидалная, миндалевая	Порфировая	Липарит	Трахит	Андезит	Базальт	Порфирит пикритовый	Фонолит
Интрузивные	Массивная, пятнистая, полосчатая	Зернистая, порфировидная	Гранит	Сиенит	Диорит	Габбро	Дунит	Сиенит нефелиновый
Минеральный состав (%)			Кварц (30), полевые шпаты, слюды,	Калишпаты (80), пироксены, амфиболы, кварц (1-3)	Плагиоклазы (70), амфиболы, пироксены, кварц (1-3)	Плагиоклазы пироксены (по 50)	Оливин, пироксены, плагиоклазы	Калишпаты, нефелин, амфиболы
Полезные ископаемые			Au, W, Sn, Mo, Pb, Zn, Sb, As, Hg	Au, Ag, Cu, Zn, Pb, Fe, строительный материал		Ti, Cu, Ni, Fe	Cr, Fe, Ni, Pt, Pd, алмазы, тальк, асбест	Zr, TR, Fe, апатит, корунд, глинозем
Формы залегания пород			Для интрузивных пород характерны как согласные залежи: силлы лакколиты, факолиты, лополиты, так и несогласные: батолиты, штоки, дайки Эффузивные породы имеют форму покровов, потоков, куполов, конусов и др.					

Классификация магматических пород по составу и строению

Таблица 1.4

Группа	Si O ₂	Na ₂ O +	Глубина формирования	Название породы	Минеральный	Текстуры	Структуры
--------	-------------------	---------------------	----------------------	-----------------	-------------	----------	-----------

	%	K ₂ O %	ния		состав		
Ультраосновные	33 - 45	0 - 1	Интрузивные (глубинные) Эффузивные (поверхностные)	Дунит Перидотит Пироксенит <i>Порфирит пикритовый</i>	Оливин (70-100%) пироксен (до 30%) Оливин, пироксен (30-70%) Пироксен (70-100%), оливин (до 30%)	Массивная Массивная Пористая Миндалекаменная	Зернистая Порфировая
Основные	45 - 52	1 - 4	Интрузивные Эффузивные	Габбро <i>Базальт</i>	Плагиоклазы и пироксены (по 50%) В породах - кальцит, кварц, плагиоклаз	Массивная, пятнистая, полосчатая Пористая, миндалекаменная	Зернистая Полустекловатая
Средние	52 - 65	4 - 6 6 - 12	Интрузивная Эффузивная Интрузивная Эффузивная	Диорит <i>Андезит</i> Сиенит <i>Трахит</i>	Плагиоклазы (до 70%) Кпш (до 5%), кварц (1-3%), пироксены, амфиболы На фоне стекла - плагиоклазы Кпш (до 80%), кварц (1-3%), амфиболы,	Массивная, пятнистая, полосчатая Массивная Массивная, пятнистая Массивная	Зернистая Порфировая Зернистая Порфировая

					пироксены На фоне стекла - ортоклаз		
Кислые	65 - 75	6 - 8	Интрузивная Эффузивная	Гранит <i>Липарит (риолит)</i>	КПШ, альбит, кварц (до 30%), слюды, амфиболы На фоне стекла - кварц, кпш	Массивная, пятнистая Массивная, пористая	Зернистая, порфировидная Порфировая
Щелочные	52 - 65	8 - 20	Интрузивная Эффузивная	Сиенит нефелиновый <i>Фонолит</i>	Кпш + нефелин (30 -60%), амфиболы На фоне стекла: нефелин, ортоклаз	Массивная Пятнистая Массивная, миндалекаменная	Зернистая Порфировая

По вспомогательной диаграмме (рис.1.1.) можно определять (вдоль вертикальных линий) процентное содержание минералов в интрузивных (низ диаграммы) и эффузивных (верх диаграммы) породах. Например, по первой (левой) линии видно, что дунит состоит из одного оливина, а по крайней правой линии можно установить, что в породах: нефелиновый сиенит - фонолит содержатся калишпаты, нефелин, амфиболы.

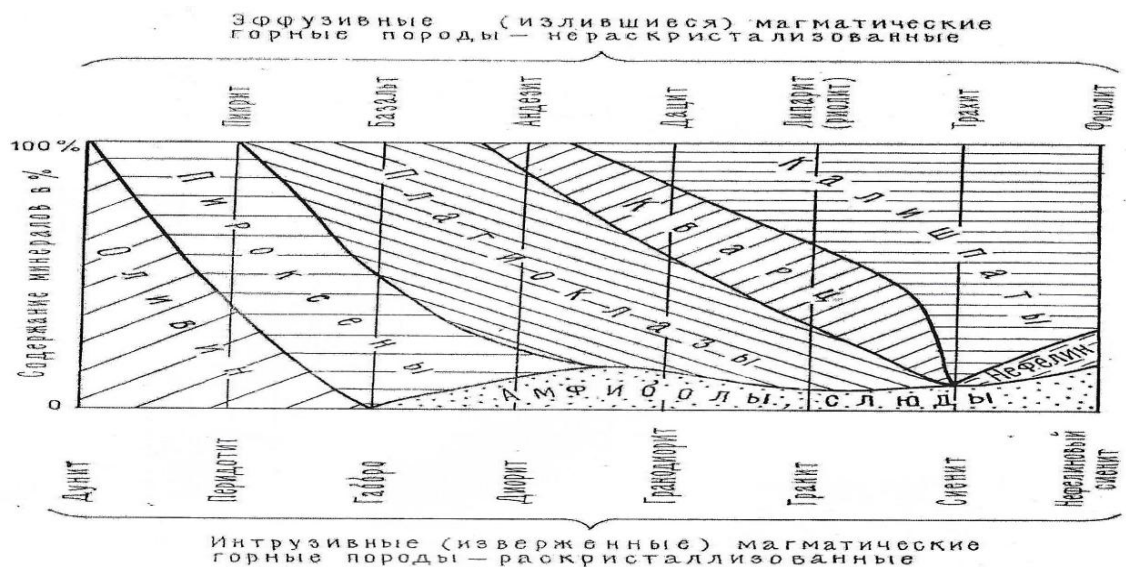


Рис. 1.1. Диаграмма определения минерального состава магматических пород

1.4. Краткая характеристика магматических пород

По вещественному составу, строению и глубине формирования выделяются следующие группы магматических пород: перидотита - пироксенита; габбро - базальта; диорита - андезита; сиенита - трахита; гранита - липарита; нефелинового сиенита - фонолита, краткая характеристика которых приводится ниже.

Группа гранита - липарита. Породы этой группы образуются из кислых магм. Главными породообразующими минералами являются кварц, полевые шпаты, кислые плагиоклазы (альбит, олигоклаз) и биотит, иногда мусковит и роговая обманка. Содержание темноцветных минералов не более 10 %. Окраска светлая. Глубинные породы кислой магмы развиты шире, чем излившиеся (липариты, пемза, обсидиан). Цвет гранитов светло - серый, розовато - серый до мясо - красного, в присутствии микроклина (амазонита) он становится зеленоватым, структура полнокристаллическая, нередко порфировидная, когда на фоне мелкозернистой основной массы находятся крупные вкрапленники ортоклаза (рис. 1.2); текстура чаще всего массивная, иногда пятнистая или полосчатая. Залегают граниты в форме батолитов или штоков, форма отдельности - матрацевидная. Граниты широко

распространены во всех горных областях, возраст гранитов от докембрийского до мезозоя. Липариты (риолиты), являющиеся эффузивным (излившимся) аналогом гранитов имеют белесовато - серый, желтоватый или розоватый цвет, массивную, плотную, иногда пористую или флюидальную текстуру и порфировую структуру. На фоне стекла порфировые выделения представлены, в основном кварцем, иногда калишпатом или биотитом. Липариты залегают в виде потоков, куполов, лакколлитов, даек, развиты меньше гранитов.



Рис.1.2. Гранит порфировидной структуры: на фоне мелкозернистой основной массы крупные вкрапленники ортоклаза.

Группа сиенита-трахита. Сиениты состоят из калишпата (70 - 80 %), средних плагиоклазов, роговой обманки, авгита (10 - 15 %), темноцветных минералов около 15%, поэтому породы светлоокрашенные, розоватые, сероватые, могут присутствовать пироксены и нефелин. Структура полнокристаллическая, чаще мелкозернистая (рис.1.3), реже - среднезернистая, иногда порфировидная. Текстура полосчатая, массивная, плотная. Породы залегают в виде штоков, лакколлитов, даек, часто по краям

гранитных интрузий. Трахиты (от греческого «трахус» - шероховатый), так как порода шероховата на ощупь. Окраска их сероватая, беловатая, желтоватая, буроватая; структура порфировая (рис.1.4): на фоне стекловатой массы выделяются небольшие вкрапленники розоватого полевого шпата (ортоклаза), реже - черного биотита или зеленоватой роговой обманки. Залегают трахиты в форме потоков, покровов и куполов.



Рис.1.3 Сиенит



Рис. 1.4. Трахит: на фоне стекловатой массы вкрапленники ортоклаза
(порфировая структура)

Группа диорита - андезита. В составе диоритов преобладают средние плагиоклазы и роговая обманка, присутствуют пироксены, кварц (до 1 - 3 %) и биотит. Темноцветных минералов около 25 %. Окраска серая, темно-серая или зеленовато-серая. Структура полнокристаллическая, мелкозернистая (рис.1.5); текстура массивная, пятнистая, полосчатая. Залегают в форме штоков, даек, жил. Андезиты - излившиеся аналоги диоритов, имеют серую, темно - серую до черной окраску. Структура порфировая: на фоне основной стекловатой или полукристаллической массы выделяются мелкие, иногда крупные кристаллы и зерна белого или серого плагиоклаза (рис.1.6), редко авгита, роговой обманки и биотита. Текстура плотная, иногда пористая. Формы залегания разнообразны: покровы, потоки, купола, дайки. Андезиты развиты на Камчатке, в Приморье, в Алтае, Урале. Ими сложены потухшие вулканы Казбек и Эльбрус.



Рис.1.5. Диорит



Рис. 1.6. Андезит: на фоне стекла порфировые выделения плагиоклаза

Группа габбро - базальта. Главными породообразующими минералами в этих породах являются основные плагиоклазы и пироксены (изредка в них могут встречаться оливин, роговая обманка и биотит). Темноцветных минералов до 45 - 50 %, поэтому цвета этих пород темно - серые, темно - зеленые до черных. Изменение минерального состава приводит к переходу в группу перидотита - пироксенита или в группу диорита - андезита или щелочных габброидов. К интрузивным породам здесь относятся габбро (рис. 1.7), нориты, анортозиты, лабрадориты, а к излившимся - базальты, базальтовые порфириды. У *габбро* окраска темно - зеленая, темно - серая или черная; текстура массивная, плотная, пятнистая, структура - средне - крупнозернистая; залегают в форме лополитов, лакколитов, штоков, даек. *Лабрадориты* почти целиком состоят из лабрадора, цвет у них темно-серый с синими отливами на плоскостях спайности; структура крупнозернистая, текстура плотная, порода хорошо полируется, поэтому высоко ценится как красивый облицовочный материал. У *базальтов* окраска от темно - серой до черной, структура от мелкозернистой до афанитовой.; текстура пористая, миндалекаменная, в порах могут присутствовать любые минералы (рис. 1.8), но чаще всего это исландский шпат (кальцит), аметист или роговая обманка или даже сульфиды. Залегают базальты в форме потоков (скорость движения базальтовой лавы очень большая), покровов и куполов. Мощность базальтовых покровов на платформах может достигать 1 км, а площадь - несколько тысяч км². Такие залежи базальтов названы траппами, в них форма отдельностей столбчатая, шестигранная или пластовая. Траппы широко развиты на Сибирской платформе, на Украине, в Индии, Гренландии, Австралии, Америке и др. Некоторые современные вулканы Камчатки, Италии, Исландии изливают базальтовую лаву. *Диабазы* имеют темно-зеленую и черную окраску, полнокристаллическую (мелко - тонкозернистую), иногда порфировую структуру. Вкрапленники у них

представлены плагиоклазом или авгитом. Текстура плотная, форма залегания в виде даек, покровов или мелких интрузивных тел.



Рис.1.7.Габбро



Рис.1.8. Базальт: миндалины кварца и кальцита

Группа дунита - перидотита - пироксенита - пикритового порфира - это ультраосновные беспалевошпатовые породы. Состоят только из цветных минералов: оливина, роговой обманки, пироксенов. Окраска их темно - зеленая, буровато - черная до черной. Второстепенные и акцессорные минералы: хромит, магнетит, ильменит, платиноиды. Породы тяжелые, удельный вес 3 - 3,4. Развиты редко и составляют всего 0,4 % от всей массы магматических пород, встречаются в форме интрузивных тел. Излившиеся аналоги их - пикриты и пикритовые порфиры. По минеральному составу различают *дуниты*, состоящие из оливина с примесью магнетита и некоторых других рудных минералов, имеющие массивную текстуру, кристаллическую структуру, черный, темно-серый с зеленоватым оттенком цвет; *перидотиты*, состоящие из оливина (40 - 90 %), пироксенов (10 - 60 %) и роговой обманки (5 - 40 %), имеющие черный и темно-серый с зеленым оттенком цвет, зернистую структуру и массивную текстуру; *пироксениты*, состоящие из пироксенов, оливина, роговой обманки; *пикриты*, имеющие массивную, реже флюидално-директивную, миндалекаменную текстуру, темно-бурю, темно-зеленую или почти черную окраску, залегают пикриты в

виде лавовых потоков или гипабиссальных тел; *кимберлиты* - это бесполовошпатовые породы, состоящие из биотита, пироксенов (основной минерал), серпентина, гранатов (пироп), ильменита, хромита, алмазов..

Группа нефелинового сиенита - фонолита - это щелочные породы с повышенным содержанием калия и натрия по отношению к алюминию и низким содержанием кремнезема. *Нефелиновый сиенит* состоит из нефелина, щелочного полевого шпата (калишпат), биотита, авгита, эгирина, роговой обманки; присутствуют ильменит, магнетит, апатит, циркон, сфен, породы розовато - светлые, темно - зеленые (рис. 1.9).

По количественному соотношению темноцветных минералов (пироксены, амфиболы, оливин, биотит) и светлых (полевые шпаты, кварц, нефелин, мусковит) магматические породы могут быть меланократовыми (темноокрашенные), лейкократовыми (светлоокрашенные) и мезократовыми (промежуточные). Чем кислее порода, тем она светлее, чем основнее и богаче железом и магнием - тем темнее.



Рис. 1.9. Нефелиновый сиенит

1.5.Строение магматических горных пород

Под строением пород понимаются структуры и текстуры.

Структура - это особенность внутреннего строения горных пород, которая определяется степенью кристаллизации, размером, формой и способом срастания минералов, находящихся в породе. Для магматических пород характерны следующие структуры.

Зернистая - порода полностью сложена кристаллическими зернами, по размерам зерен выделяют крупно - средне - мелко - тонкозернистые разновидности.

Афанитовая - кристаллы в породе различаются (узнаются) только под микроскопом.

Стекловатая - порода состоит из нераскристаллизованного стекловатого вещества.

Порфировая - порода состоит из стекловатой или скрытокристаллической основной массы и выделяющихся на ее фоне отдельных кристаллов или зерен, называемых порфировыми вкрапленниками.

Порфировидная - порода состоит из мелко-тонкозернистой раскристаллизованной основной массы и выделяющихся на ее фоне отдельных более крупных кристаллов или зерен.

Пегматитовая - характеризуется присутствием закономерно ориентированных вкрапленников зерен кварца в более крупных зернах полевого шпата, структура по рисунку напоминает еврейскую письменность.

Текстура - это особенность ее большей частью внешнего строения, определяемая характером размещения и взаимоотношением минеральных агрегатов, а также окраской, плотностью и других признаков. По особенностям взаимного расположения минеральных агрегатов и их закономерной ориентировкой (например, вдоль какой - нибудь линии или плоскости) выделяются следующие текстуры.

Массивная (однородная) - присуща интрузивным (глубинным) породам, не имеет каких-либо закономерностей в ориентировке минералов и их агрегатов.

Шлировая (или такситовая) - в ней отдельные участки отличаются различным строением или составом.

Шаровая - в ней минералы и агрегаты образуют концентрические зоны.

Полосчатая - в ней минеральные агрегаты имеют более или менее закономерную ориентировку вдоль одной плоскости.

Флюидальная (текстура течения) отражает особенности движения магматического расплава (лавы), которые проявляются в ориентированном расположении основной массы и порфировых вкрапленников минералов.

Плотная - в ней агрегаты прилегают друг к другу плотно без всяких пустот.

Пористая - в породе на фоне основной массы присутствуют незаполненные пустоты.

Миндалекаменная текстура характеризуется наличием минералов в виде миндалин, жеод (секреционных разновидностей) в пустотах, минералы в них формируются из остаточных растворов после затвердевания лавы.

1.6. Формы залегания магматических пород

Существуют два основных механизма внедрения магмы во вмещающие толщи. Она может проникать по плоскостям напластования осадочных пород или по трещинам, пересекающих вмещающие породы. В первом случае магма может приподнимать пласты кровли или, напротив, вызывать прогибание подстилающих пластов, воздействуя своей массой. При внедрениях крупных масс расплава магма прокладывает себе дорогу вверх путем обрушения пород кровли, которые тонут в магме и ассимилируются ею. В последнем случае магма сама формирует пространство, которое она занимает. От механизма внедрения магмы зависят форма и тип контактов с вмещающими породами. В зависимости от этого интрузивные тела делятся на согласные (конкордантные) и несогласные или секущие (дискордантные). Согласные тела формируются при внедрении магмы по плоскостям напластования осадочных пород. К ним относятся силлы, лакколиты, лополиты, факолиты. Несогласные интрузивные тела образуются при заполнении магмой трещин среди вмещающих пород и при внедрении магмы путем обрушения пород кровли - это дайки, жилы, штоки и батолиты.

Силлы - интрузивные залежи пластообразной формы, залегающие среди горизонтально - либо слабодислоцированных вмещающих толщ. В силлах различают кровлю (верхняя поверхность), подошву (нижняя поверхность), приводной канал и мощность. Кровля и подошва в силлах на значительном протяжении почти параллельны. Мощность их меняется от

долей метра до сотен метров, площадь очень велика - до нескольких тысяч км²., сложены они основными породами.

Лополиты - большие по размерам чашеобразные тела, опущенные в центре, обладают большой мощностью (несколько тысяч метров) и слагаются породами основного состава. Известный Бушвельдский лополит в Южной Африке, лополит Седбери в Канаде, Чинейский - в Забайкалье.

Лакколиты - караваеобразные интрузивные тела, имеющие плоское основание и куполообразную приподнятую кровлю, а в плане - округлую или эллиптическую форму. По размерам это относительно небольшие интрузивные тела с диаметром от сотен метров до первых км. По строению различают среди них симметричные и асимметричные, простые и сложные (многофазные). Слагаются преимущественно кислыми или субщелочными породами, исходные магмы которых имеют высокую вязкость и не могут распространяться на большие расстояния от подводящего канала.

Факолиты - выпукло-вогнутые линзовидные интрузивные тела, залегающие в ядрах антиклинальных или синклинальных складок, залегают в дислоцированных толщах и имеют небольшие размеры, слагаются породами различного состава.

Акмолиты - согласные интрузивные тела, имеющие форму ножа с лезвием, направленным вверх. Залегают в интенсивно дислоцированных складчатых толщах, имеющих субвертикальное залегание. Мощность акмолитов меняется от первых метров и даже сантиметров до сотен метров. Они нередко встречаются группами в виде параллельно расположенных тел значительной протяженности по простиранию, сложены кислыми и реже основными и ультраосновными породами.

Гарполиты - тела серповидной формы, внедрившиеся в деформированные толщи пород и секущие оси складок (синклиналей, антиклиналей).

Сфенолиты - интрузивное клинообразное тело, частично секущее вмещающие толщи.

Дайки - пластообразные тела, ограниченные вертикальными или крутопадающими стенками, имеющие большую протяженность при относительно небольшой мощности. Различают висячий и лежащий бока. Мощность даек - от нескольких сантиметров до десятков и сотен метров. По простиранию прослеживаются на десятки, сотни метров, редко до км. Кроме прямолинейных встречаются кольцевые и конические дайки.

Этмолиты (воронкообразные тела) - несогласные интрузивные тела, пересекающие слоистость вмещающих осадочных пород, имеют форму воронки, сужающейся к низу. Средняя часть их сложена основными породами, в нижней части этмолитов развиты ультраосновные, а в верхней - породы повышенной основности.

Штоки - несогласные интрузивные тела неправильной (ближе к изометричной) формы; контакты их падают круто до вертикальной. Размеры штоков различны, площади выходов на поверхность не превышают 100 км².

Батолиты представляют собой самые крупные интрузивные тела неправильной формы. Структурно-петрографическими и геофизическими исследованиями доказано наличие у батолитов кровли и подошвы.

Форма эффузивных тел различна.

Покровы образуются при излиянии основной лавы на сравнительно ровную земную поверхность. Остывшая лава покрывает сплошным плащом значительные пространства с образованием базальтового плато. Мощность покровов 6 - 30 м. На плоскогорье Декан в Индии совокупная мощность многократно изливавшихся лав (базальтовое плато) составляет 1800 м.

Потоки представляют собой языкообразные тела базальтовых или андезитовых пород, возникающих при излиянии лав на неровную расчлененную земную поверхность. Потоки имеют небольшую протяженность при мощности от первых до десятков метров. Потоки и покровы в дальнейшем могут перекрываться относительно молодыми отложениями и приобретают пластообразную форму.

Вулканические конусы возникают в связи с деятельностью вулканов центрального типа - это скопление больших масс вулканического материала около жерла вулкана. По составу различают лавовые конусы (гавайский тип), сложенные только лавовым материалом; пирокластические лавовые конусы, в которых чередуются лавовые и туфовые горизонты; туфовые конусы, почти целиком состоящие из рыхлых продуктов извержения.

Охарактеризованные формы магматических пород представлены на рис. 1.10.

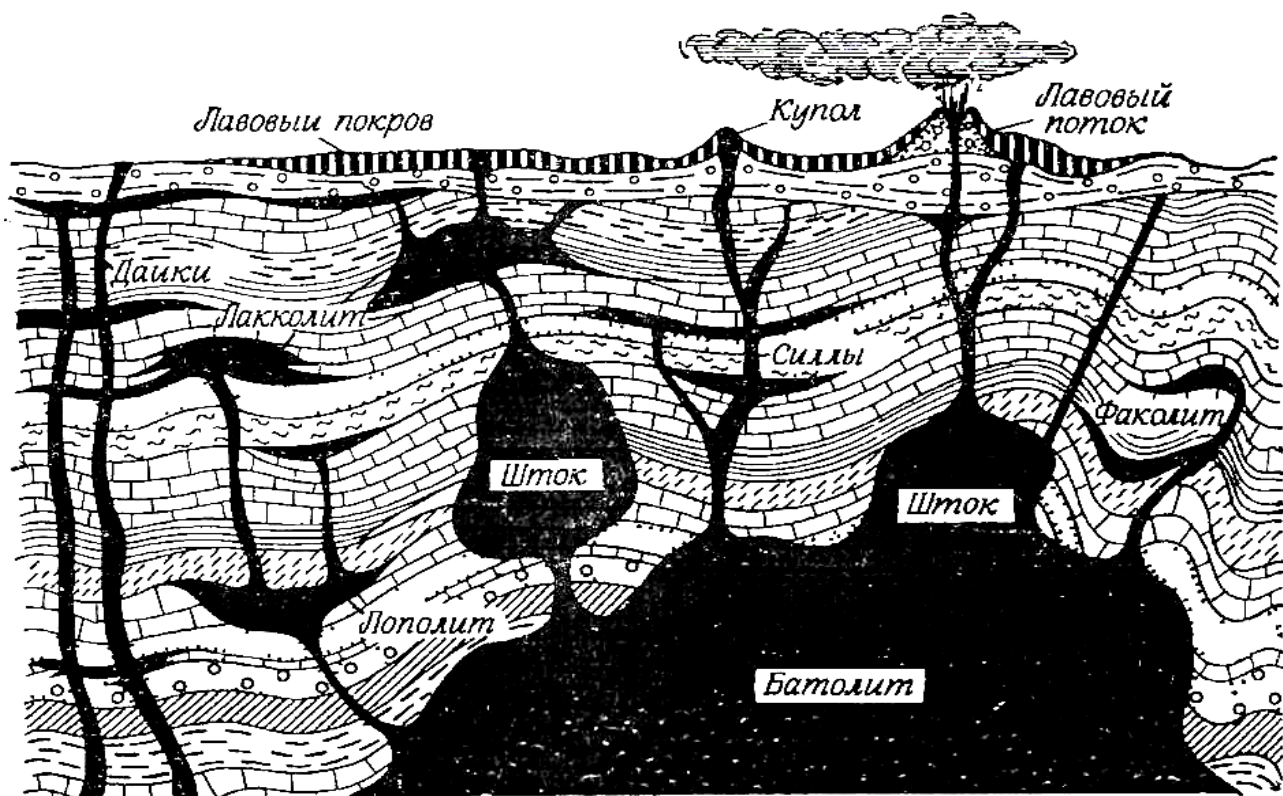


Рис. 1.10..Формы залегания магматических пород

1.7. Некоторые физические свойства магматических пород и их практическое значение

Поскольку горные породы являются местами залегания подземных вод, определяют их состав и свойства, а также нефти - газовых залежей и рассолов и повсеместно фундаментом всех строящихся сооружений (от плотин, заводов, фабрик, торгово-развлекательных и иных центров до мелких домов, бань и прочих), то знание и применение некоторых физических их свойств (табл. 1.5) будет полезно.

Некоторые физические свойства (среднее) магматических пород (по [29])

Таблица 1.5.

Породы	Плотность г/см ³	Удельное электрическое сопротивление Ом. м	Пористость %	Удельный вес г/см ³	Влагоемкость %	Скорость распространения ультразвуковых волн м/сек
Гранит	2,57	$3 \cdot 10^7$	2.8	2.7	0.78	5000 - 5500
Гранодиорит	2.69		1.8	2.77		3000 - 5900
Диорит	2.81	$2.5 \cdot 10^7$	3.3	2.95	0.57	4300 - 5600
Габбро	2.95	$1.4 \cdot 10^{16}$	1.6	3.06	0.22	4600 - 6900
Пироксенит	3.19				0.36	5100 - 5300
Перидотит	3.27	$1 \cdot 10^7$	1.4		0.17	6600 - 7700
Сиенит	2.62				0.69	
Сиенит нефелиновый	2.66		2.5	2.72		3300 - 6000
Липарит	2.35					
Андезит	2.49					
Базальт	2.53	$4 \cdot 10^4$	4.0			
Диабаз	2.79	$2 \cdot 10^6$	1.4		0.45	
Кварцевый порфир	2.60	$5 \cdot 10^5$	3.1			
Порфирит	2.73	$3 \cdot 10^5$	2.7			

Практическое значение магматических пород, несомненно.

1. В них размещаются месторождения многих полезных ископаемых, причем устанавливается генетическая и парагенетическая связь с конкретными типами и формациями (см. табл. 1.2).

2. Сами горные породы используются: а) в строительном деле (изготовление блоков, тесаных плит, стеновых панелей, лестничных маршей и др.); б) как подделочный и облицовочный материал; в) в дорожном деле: щебень, брусчатка, бутовый камень; г) в камнелитейном производстве и как кислотоупорный материал, изготовление деталей машин и др.

1.8. Магматические комплексы Восточного Забайкалья

Территория Восточного Забайкалья характеризуется исключительно широким проявлением разнообразных по составу, возрасту, морфологии и параметрам магматических комплексов. Все они выявлены и закартированы при геологических съемках различного масштаба, детально изучены и охарактеризованы в многочисленных отчетах, статьях, монографиях. За длительную историю их изучения в Забайкалье плодотворно трудились геологи многих производственных и научных организаций всей нашей страны.

Нами при написании данного раздела использованы материалы, лаконично и емко изложенные в «Энциклопедии Забайкалья» геологом-съемщиком, позднее ставшим опытным педагогом доцентом В.А.Кривенко, а также моими коллегами по ЗабГУ – доцентом Барабашевой Е.Е. и профессором Сидоровой Г.П. в учебном пособии «Геологическое строение Забайкальского региона» (Чита:ЗабГУ, 2015).

Характеристика комплексов дается в возрастной последовательности от докембрийских до кайнозойских.

Докембрийские магматические комплексы

Бурчихинский комплекс в Каларском районе раннепротерозойского возраста представлен дайками и небольшими массивами метаморфизованных габбро, пикритов, габбро-диабазов, диоритов и диоритовых порфиритов.

Верхнемоклинский плутонический комплекс раннеархейского возраста (2,6 – 2,9 млрд. лет) в Каларском районе представлен двумя группами гранитоидов: 1 – гиперстенсодержащие кварцевые диориты, гранодиориты, андезиниты, чарнокиты, кварцевые сиениты и сиениты (Таксиминский массив площадью 110 км²); 2 - лейкократовые и биотитовые гранито-гнейсы, гнейсограниты, пегматоидные граниты и пегматиты.

Джолуонский магматический комплекс позднеархейского возраста (2700 млн. лет) развит на юго-востоке Чарской глыбы, слагает массивы гиперстенсодержащих гранитов, кварцевых сиенитов (чарнокитоиды).

Довыренский и интрузивный комплекс раннерифейского возраста слагает массивы (площадью до 85 км²) основных и ультраосновных пород: перидотиты, пироксениты, габбро, габбро-нориты, нориты, оливиниты, плагиоклазиты.

Доросский интрузивный комплекс позднерифейского возраста представлен дайками и силами габбро, габбро-диабазов, диабазовых порфиритов мощностью до 1 км и протяженностью до 17 км, трассируют систему пологих разломов и близки к формации докембрийских траппов.

Досатуйский массив позднерифейских (850 млн. лет) гранитов площадью 350 км² находится в Аргунской зоне. Для гранитов характерны: крупнозернистая порфириформная структура, гнейсовидная текстура, высокая щелочность.

Древнестановой плутонический комплекс позднеархейского возраста (2544 – 2820 млн. лет) в пределах Чарской глыбы слагает купола, валы и пластинообразные тела площадью от 1-2 до 600 км². В их составе преобладают: гранитоиды, гранитогнейсы, плагиогранитогнейсы, плагиограниты, кварцевые сиениты, сиенитогнейсы, щелочные ортогнейсы, метабластовые граниты.

Дырбылкейский интрузивный комплекс раннерифейского возраста (762 – 1500 млн.лет) развит в Южном Приаргунье, представлен однородными средне-крупнозернистыми биотитовыми гранитами, подвергшихся мептаморфизму (метаграниты). Крупные массивы этих пород: Нагаданский, Березовогривский, Дырбылкейский, Урово-Мотогорский и др.

Катугинский комплекс раннепротерозойского возраста (2014 млн. лет) в виде двух небольших штоков (10 и 2,8 км²) располагается в Каларском районе, сложен щелочными гранитами и сиенитами, с ними связано крупное тантал-ниобиевое, циркониевое и редкоземельное Катугинское месторождение.

Кодарский интрузивный комплекс раннепротерозойского возраста (1850 млн. лет) развит в Каларском районе, слагает ряд крупных массивов (

Кеменский, Каларский и др.) площадью до 1200 км. В первую фазу формировались габбро, габбро-диориты, диориты; во вторую – средне-крупнозернистые и порфировидные граниты и гранодиориты; в третью – мелкозернистые граниты.

Куандинский ультраметаморфический комплекс раннепротерозойского возраста (1700 – 2280 млн. лет) развит в Каларском районе, слагает тела линзовидной и пластообразной формы мощностью 100 – 200 м и куполообразные массивы площадью до 150 км². Сложен гнейсовидными гранитами, плагиогранитами, метабластовыми и пегматоидными их разновидностями.

Муйский магматический комплекс раннепротерозойского возраста слагает крупный Таллаинский массив. Состав: габбро-диабазы, диабазы, диабазовые порфириты (1-я фаза); кварцевые диориты, плагиограниты, граниты, безоливиновые габбро, гранодиориты (2 и 3 – я фазы).

Муруринский интрузивный комплекс раннепротерозойский (2200 млн. лет) в Каларском районе состоит из пироксенитов с апатитом и магнетитом. В Муруринском массиве в долине р. Хани площадью 5 км² содержатся промышленные скопления железа и фосфора.

Ничатский интрузивный комплекс (1820 млн. лет) – это ассоциация гранитоидов в конкордантном массиве площадью 2000 км² в Кодаро-Удоканском рудном районе. Сложен субщелочными двуслюдяными гранитами и пегматоидами, с ними связано мусковитовая и редкометалльная минерализация.

Олекмо – Каларский интрузивный комплекс позднеархейского возраста (2800 млн. лет) слагает крупный Каларский массив субширотного простирания и ряд мелких меридиональных массивов. В нем преобладают анортозиты (от анденизинитов до лабродоритов), есть сиениты.

Парамский интрузивный комплекс раннепротерозойского возраста в Муйской зоне представлен двумя массивами – Шаманским (110 км²) и

Парамским (35 км²) – это серпентинизированные пироксениты, реже дуниты, оливиниты.

Тепраканский интрузивный комплекс позднеархейского возраста в Каларском районе образует линейные тела мощностью от 1 – 2 до 700 м. протяженностью 8 – 10 км в тектонито – метасоматических зонах в архейском фундаменте. Состав: метагаббро, ортоамфиболиты, габбро, диориты, ультрабазиты.

Урулюнгуевский интрузивный комплекс позднерифейского возраста (711 млн. лет) развит в Южном Приаргунье, образует гранито-гнейсовые купола округлой и вытянутой формы. Состав: средне-крупнозернистые порфиробластовые биотитовые граниты.

Чинейский интрузивный комплекс глубинных и гипабиссальных основных магматических пород раннерифейского возраста (842 – 1570 – 1800 млн. лет) развит в Каларском районе. Имеет форму лополита и хорошо выраженную расслоенность (ритмичность) в распределении пород. Самый крупный Чинейский массив (100 км²) сформирован в 2 фазы: 1-я включает 4 серии (фации пород): а) контактную – гибридные монцониты и монцодиориты, б) краевую – расслоенные диориты, кварцсодержащие габбро, монцониты, плагиоклазиты, «леопардовое» габбро; в) железистую – расслоенные рудные габбро; г) лейкогабброидную – лейкократовые габбро-нориты, габбро-диориты и плагиоклазиты в центре массива; 2-я фаза – жилообразные тела монцонитов и габбро-пегматитов, дайки диабазов, габбро-диабазов и диабазовых порфиритов. К породам массива приурочены крупные и уникальные месторождения Fe – Ni- V и комплексных (Cu – Co – Ni- Ag – Au- Pt) руд. Б.И. Гонгальский (2012 г) к этому же комплексу отнес глубинный (не выходящий на поверхность) Майлавский массив и габброиды Луктурского интрузива.

Палеозойские магматические комплексы

Бичурский интрузивный комплекс позднепермского возраста (235 – 260 млн. лет) в виде массивов вытянутой или изометричной формы площадью до

1000 км². Сформирован в 3 фазы: 1 – габбро и диориты; 2 –гранодиориты, граниты, кварцевые сиениты; 3 – лейкократовые граниты и гранит – порфиры, с ними связано редкометалльное оруденение.

Газимурский интрузивный комплекс раннепалеозойского возраста слагает массивы площадью до 2000 -3000 км². Формировался в 3 фазы: 1 – кварцевые диориты, диориты, габбро-диориты; 2 –гранодиориты и плагиограниты, 3 – граниты и лейкограниты.

Даурский интрузивный комплекс позднекарбонового возраста (90 – 311 млн.лет) расположен в междуречьи Чикой – Ингода – Онон, слагает согласные и полусогласные и секущие массивы площадью до 1200 км².Сформирован в 3 фазы: 1 – диориты, габбро-диориты, габбро; 2 – гранодиориты, кварцевые диориты, граниты и плагиограниты; 3 – порфировидные лейкократовые граниты.

*Ингамакитский интрузивный комплекс*позднепермского возраста (220 – 293 млн.лет) в Каларском районе слагает плито – и штокообразные тела площадью от 2 – 3 до 300 – 350 км².В 1-ю фазу внедрялись габбро,диориты, монцониты; во вторую – гранодиориты, граниты, кварцевые сиениты; в третью – лейкограниты, субщелочные гранит- порфиры и кварцевые сиенит-порфиры.

Ингодинский интрузивный комплекс среднекарбонового возраста развит в Зачикойской области в виде небольших и крупных массивов (от 1 – 2 до 100 км²), представлен габброидами,габбро- норитами, норитами, троктолитами. В самом крупном Ингодинском массиве преобладают лейкократовые оливиновые габбро, прорванные дайками оливинитов, перидотитов, пироксенитов.

Кручининский интрузивный комплекс раннепалеозойского возраста (462 млн. лет) развит в Читинском районеЮ образует согласные и секущие тела площадью 10 – 20 км², сложен средними и ультраосновными породами, с которыми связана титано-магнетитовая и апатитовая минерализация. Одноименное месторождение располагается в Ангашанском габбро-

анортозитовом массиве площадью 4 км² в поле среднепалеозойских гранитов.

Малханский и Олекминский комплексы раннепалеозойского возраста (320 – 440 млн.лет) развиты в Хилок-Витимской и Становой зонах, слагают массивы площадью 2000 – 3000 км². Состав: гнейсовидные граниты, полосчатые гранитогнейсы, плагиограниты, кварцевые диориты, лейкограниты, гранодиориты.

Ундинский интрузивный плитообразный комплекс позднекарбонového возраста на юге края формировался в 3 фазы: 1 – диориты, кварцевые диориты, габбро-диориты; 2 – граниты, гранодиориты, адамеллиты; 3 – лейкократовые и аплитовидные граниты.

Уртуйский субвулканический комплекс раннекарбонového возраста слагает мелкие тела (ветвистые, линзовидные, дайковые, штокообразные) размером от нескольких метров до первых км, прослежены на 200 км в зоне Восточно-Агинского разлома. Состав: диабазы, габбро-диабазы, андезиты, плагиориолиты, плагиогранит-порфиры.

Ханинский интрузивный комплекс позднепалеозойского возраста (268 – 338 млн. лет) в Каларском районе представлен Сакунским массивом площадью 50 км². Состав: псевдолейцитовые сиениты – пуласкиты, святоноситы, фойяиты, фергуситы, инсиндриты и сынныриты – это ультракалиевые породы в массиве образуют тело шириной до 0,9 км и длиной до 4 км с промышленным содержанием K₂O (бесхлорное удобрение).

Мезозойские магматические комплексы

Абагайтуйский субвулканический комплекс (122 – 147 млн. лет) развит в Аргунской зоне в виде экструзий и субвулканических тел площадью 1 – 2 км² и даек в раннемеловых впадинах, представлен базальтами, трахибазальтами, долеритами, трахитами.

Алданский интрузивный комплекс позднеюрского возраста (115 – 175 млн. лет) слагает штоки, лополиты, лакколлиты, гарполиты, некки и силы в чехле Сибирской платформы (Березовский прогиб), в ее фундаменте

(Чарская глыба). Состав: нефелиновые и щелочные сиениты, кварцевые сиениты, граниты, щелочные и субщелочные трахиты, кварцевые порфиры.

Адун – Челонский гранитовый массив юрского возраста площадью 65 км² имеет вид деформированной груши. Сложен крупно-грубозернистыми порфировидными гранитами, в центре массива находятся мелкозернистые гранит-порфиры. Массив насыщен дайками гранит-порфиров, гнездами пегматитов, кварцевыми жилами, с которыми связана камнесамоцветная минерализация.

Акатуйский интрузивный комплекс средне- позднеюрского возраста (147 – 175 млн. лет) представлен субщелочными габброидами, оливковыми и кварцевыми монцонитами, сиенит – и монцонит- порфирами, с которыми связана полиметаллическая и золоторудная минерализация.

Амананский интрузивный комплекс средне- позднеюрского возраста (149 – 257 млн. лет) в Западно-Становой зоне, образует массивы площадью 300 – 500 км², имеют концентрически зональное строение, сформирован в течение 2-х фаз: 1 – роговообманковые и пироксеновые гранодиориты, кварцевые сиениты, кварцевые диориты, граниты; 2 – небольшие тела лейкократовых гранитов; с породами массива связано вольфрамовое оруденение.

Амуджикано – Сретенский интрузивный комплекс позднеюрского возраста (144 – 147 млн. лет) слагает небольшие массивы (25 – 30 км²) и пояса даек: кварцевые монцониты и диориты, субщелочные габбро (1-я фаза); гранодиориты и граниты (2 фаза); порфировидные граниты и гранит-порфиры (3 фаза).

Асакан – Шумиловский интрузивный комплекс средне-позднеюрского возраста (145 – 185 млн.лет) слагает конформные и секущие массивы площадью до 300 км² в Хэнтэй- Даурской зоне. Сформирован в 2 фазы: 1 - граниты, плагиограниты, гранодиориты; 2 – лейкократовые граниты, есть поля пегматитовых и аплитовых жил; с породами комплекса связана минерализация W,Sn, Ta,Nb.

Береинский интрузивный комплекс поздне триасового возраста (183 – 245 млн. лет) слагает пологонаклонные плитообразные тела мощностью 2 – 3 км, а также штоки и дайки среди верхнетриасовых вулканитов. Две фазы: 1 – габброиды, габбро-диориты и диориты, 2- граниты, плагиограниты, кварцевые диориты.

Кукльбейский интрузивный комплекс позднеюрского возраста (130 – 157 млн.лет) развит на юге Забайкалья в виде массивов(Соктуйский, Зун-Ундурский, Шерловогорский, Саханайский, Этыкинский) площадью от 1- 2 до 200 – 300 км². В составе комплекса развиты: биотитовые и двуслюдяные граниты, аляскиты, амазонитовые граниты и гранит-порфиры; жильные породы – пегматиты, аплиты. С породами комплекса связано золото-вольфрамовое и редкометалльное оруденение; месторождения флюорита, цветных камней (морион, топаз, бериллы и др.).

Куналейский интрузивный комплекс раннетриасового возраста (233 млн. лет) развит в Хилок-Витимской зоне в виде массивов площадью от 3-5 до 500 км² – это щелочные и субщелочные граниты и сиениты с жильной серией щелочных аплитовидных гранитов, гранит-порфиров, кварцевых сиенит- порфиров. С породами комплекса связано бериллиевое, вольфрамовое, молибденовое, тантал – ниобиевое оруденение.

Кыринский интрузивный комплекс ранне-среднеюрского возраста (150 – 180 млн. лет) развит в Кыринском и Акшинском районах в виде крупных изометричных массивов площадью до 400 км² и мелких линейно вытянутых трещинных тел до 100 км². В 1-ю фазу внедрялись диориты, гранодиориты и граниты, во вторую - лейкократовые и пегматоидные граниты и гранит-порфиры. С породами комплекса связазана минерализация Au,Sn,W.

Харалгинский интрузивный комплекс средне-позднеюрского возраста (100 – 214 млн.лет) на юге края образует штоки площадью от 1-2 до 100 км² (Харалгинский, Береинский, Акуинский и др.) и крупные дайки мощностью до 1 км и протяженностью до 12 – 15 км. Формировался в 2 фазы: 1 – граниты, 2 – лейкократовые граниты и аляскиты. При альбитизации,

окварцевании, грейзенизации в породах комплекса формируется редкометалльная, полиметаллическая, золотая минерализация.

Шахтаминский интрузивный комплекс средне- позднеюрского возраста (155 -167 млн.лет) широко развит на юге края с образованием штоков, лополитов и даек различных размеров (до 280 км²). Закартированы двух и трехфазные (Шахтаминский, Усть-Аленуйский и др.) и однофазные (Антиинский, Тургинский, Ноцуйский и др.) массивы. В первую фазу внедрялись кварцевые монзониты, кварцевые диориты, сиениты, габбро-нориты в краевых частях массивов; во вторую главную – порфиоровидные гранодиориты, кварцевые сиениты; в третью - аплитовидные граниты. В породах комплекса отмечено оруденение Mo, Au, Pb, Zn.

Шерловогорский интрузивный массив юрского возраста представляет собой гарполит эллипсоидной формы размером 6 x 16 км, сложен гранит-порфирами, порфиоровидными мелкозернистыми гранитами, аплитовидными гранитами. С породами массива связано Be, Bi, W, Pb, Zn оруденение, а также месторождения ювелирных камней – бериллов, топазов, кварца.

Эймнахский интрузивный комплекс раннетриасового возраста в Каларском районе образует штоки и жилы субщелочных лейкократовых гранитов, гранит-порфиров, кварцевых сиенитов.

Кайнозойские магматические комплексы

В Удоканском лавовом плато широко проявлен вулканизм кайнозойского возраста, который детально изучался Ф.М.Ступаком и геологами-съемщиками (И.А.Томбасов и др.). Выделены 4 этапа вулканической деятельности: неогеновый, эоплейстоценовый, плейстоценовый и голоценовый. В течение первых двух формировались массовые эффузии трещинного типа.

В неогене (2,9 – 33 млн. лет) изливались трахибазальты, трахиандезиты, базальные туфы (базисная свита мощностью до 340 м), трахиандезиты и трахиты (амнанакчинская свита мощностью до 380 м).

Общий объем неогеновых излияний -250 км³, из них трахитов 5 км³, который сменился внедрением мелких интрузий щелочных трахитов.

Плиоцен- нижнечетвертичные образования представлены трахиандезитами и трахитами, пластами и секущими телами оливиновых трахидолеритов (несмуринская свита). В это же время проявились редкие вулканы центрального типа: Турунтах, Инаричи.

Среднечетвертичные (9240 лет) вулканы в Удоканском лавовом плато слагают постройки центрального типа, сложенные базальтами, их туфами и шлаками.

Самые молодые вулканы с возрастом 2100 – 7970 лет образуют прерывистый покров эффузивного материала длиной около 15 км. (вулканы Трахитовый, Аку, Чепе и др.); состав их главным образом трахитовый.

Верхнечетвертичные базальты установлены в Хэнтэй-Даурской зоне (р. Чикой, Чикокон, Буркал и др.), образуют небольшие долинные потоки и покровы мощностью до 60 м и протяженностью до 15 км..

В Куналейском хребте Бороздинский гольц сложен базальтами с вулканическими шлаками.

Контрольные вопросы

1. Что такое горные породы и их разновидности?
2. Что такое генетический закон минерало - породо - рудообразования проф. Д.П.Григорьева?
3. Классификация основных геологических процессов минерало - породо - рудообразования.
4. Сущность магматизма и типы магм.
5. Что понимается под вещественным составом магматических пород?
6. В чем выражается химический состав магматических пород?
7. Особенности минерального состава магматических пород
8. Принципы классификации магматических пород.
9. Краткая характеристика основных типов магматических пород.

10. Особенности строения магматических пород и в чем это выражается?

11. Какие формы залегания характерны для интрузивных и эффузивных пород?

Глава 3. Метаморфические процессы

Метаморфизмом называется преобразование горных пород под воздействием эндогенных процессов, которые вызывают изменение физико-химических условий в земной коре. Этот процесс протекает с сохранением твердого состояния системы. Или другое известное определение: под метаморфизмом понимают изменение уже существующих пород - магматических, осадочных или метаморфических, при котором образуются новые породы с новыми минеральными ассоциациями, особой структурой и новыми текстурами [5, 8, 10, 29, 30].

К метаморфизму можно отнести все преобразования рыхлых отложений и горных пород: это уплотнение, перекристаллизация (бластез), замещение другими минералами в твердом состоянии без расплавления исходного вещества. Это происходит под воздействием на породы литостатического давления, определяемого глубиной; температуры и восходящего потока флюидов, ювенильных или образующихся при дегидратации осадков при погружении их в глубинные зоны [29].

Метаморфизм может происходить изохимически без существенного изменения валового состава метаморфизируемой породы либо метасоматически - со значительным изменением состава последней вследствие привноса и выноса вещества. Метаморфические преобразования делятся на физические и химические. К физическим относятся разрушение зерен, перекристаллизация, взаимное прораствание, увеличение размера, параллельная ориентировка зерен.

К химическим изменениям относятся формирование новых минеральных ассоциаций путем перекристаллизации уже существующего материала либо путем привноса или удаления некоторых химических веществ.

В целом метаморфизм (и его крайнее проявление - ультраметаморфизм) ведут к чрезвычайно интенсивной миграции элементов, которая протекает в масштабах континентальной части земной коры. Считается, что именно метаморфизм является причиной дифференциации вещества земной коры на гранитный и базальтовый слои. Метаморфизм является одним из главнейших звеньев общепланетарных геохимических циклов - вековой кругооборот вещества в земной коре. С ним связано образование многих месторождений.

3.1. Факторы и причины метаморфизма.

Главными факторами метаморфизма являются температура, давление и химически активные вещества: растворы и газы. Изменениям подвергаются породы любого состава и генезиса: магматические, осадочные или уже ранее метаморфизованные. По степени интенсивности метаморфических процессов можно наблюдать постепенные переходы от слабо измененных пород до глубоко преобразованных.

Температура. Источниками тепла являются энергия радиоактивного распада, тепло, приносимое глубинными растворами, поступающими из недр Земли, тепло магматических интрузий, тепло тектонических процессов, экзотермический эффект химических реакций. Метаморфизм осуществляется при температуре 300÷1000°C. Температура резко увеличивает скорость химических реакций, степень перекристаллизации пород, она контролирует возникновение минералов.

Давление. Различают всестороннее (гидростатическое) и направленное (стресс) давления. Гидростатическое возникает под действием нагрузки вышележащих толщ. Величина его в среднем возрастает на 270 кгс/см² на каждый километр погружения (на глубине 10 км давление 2700 кгс/см², 20 км - 5400, а на глубине 50 км - 13000 кгс/см²). Давление возникает при тектонических перегрузках, а также от давления паров флюидов (воды и углекислого газа, выделяющихся при дегидратации и декарбонатизации минералов). Стресс вызывается тектоническими причинами. Он увеличивает

растворимость минералов, вызывает дробление породы, облегчает циркуляцию метаморфизирующих растворов, способствует перекристаллизации минералов; изменяет текстуры и структуры пород.

Химические активные вещества (флюиды) - это H_2O , углекислота, которые находятся в виде поровых растворов и газов. Иногда присутствуют соединения H, N, Cl, F, S, B, P, K, Na и др. Метаморфогенные растворы переносят химические элементы и тепло, создают поровое давление газов.

3.2.Метаморфическая дифференциация

По А.А.Маракушеву [29] она представлена тремя типами: а) диффузионный обмен вещества между контактирующими породами; б) диффузионное стяжение вещества, которое связано с зарождением и ростом метаморфических минералов; в) деформационное перераспределение вещества в ходе его перекристаллизации, растворение и отложение при направленном давлении, т.е. при стрессе.

Типичными продуктами метаморфической дифференциации являются сегрегации (скопления кристаллов, минералов и их агрегатов): биотит + роговая обманка; эпидот + лабрадор в амфиболитах; порфиробласты граната в мелкозернистых сланцах и др.

Дифференциация зависит: от растворения, диффузии в твердом состоянии, силы кристаллизации растущих порфиробластов. По Т. Барту при метаморфической дифференциации идет образование конкреций и секретий; происходит обогащение наиболее устойчивыми минералами. Все это оказывает влияние на растворимость минералов. Наиболее благоприятна для метаморфической дифференциации - зона зеленосланцевого метаморфизма, а амфиболитовой зоны - менее благоприятна [30].

Миграцию химических элементов при метаморфизме рассмотрели Г.В. Войткевич и В.В. Закруткин (1976 г.). Миграция в жидком состоянии происходит при метасоматозе (т.е. метаморфизме со значительным изменением состава горных пород за счет привноса и выноса вещества).

Д.С.Коржинский выделил два типа метасоматоза: диффузионный и инфильтрационный. При диффузионном метасоматозе поровые растворы неподвижны (нет перепадов давления). Здесь ведущим фактором миграции элементов при метаморфизме является концентрация в растворе: элементы (ионы, атомы, молекулы) всегда перемещаются (мигрируют) через неподвижные поровые растворы в сторону понижения концентрации. При инфильтрационном метасоматозе элементы перемещаются движущимися поровыми растворами. Причиной движения растворов является перепад давлений в результате тектонических движений. Поэтому фильтрационная миграция идет обычно в зонах дробления, рассланцевания по микротрещинкам.

Д.С. Коржинский ввел понятие о дифференциальной подвижности компонентов и вывел этот ряд подвижности (падение слева направо): H_2O - CO_2 - S - SO_3 - K_2O - N_2O - F - CaO - O - FeO - P_2O_5 - BaO - MgO - SiO_2 - AlO_3 - Fe_2O_3 - TiO_2 .

Подвижность элементов зависит от многих причин и находится в полной зависимости от конкретной геологической обстановки. Из элементов (металлов) наиболее подвижными являются ионы больших ионных радиусов и относительно малых зарядов.

Миграция в твердом состоянии идет при высоких температурах без участия жидких поровых растворов, путем диффузии через кристаллические решетки минералов. Диффузии в твердом состоянии способствует высокая температура, следствием ее является появление дефектов в структуре (дырки, дислокации) и, в конечном счете, перемещение атомов в твердом теле.

Скорости перемещения атомов в решетках очень малы. Например, за 1 млрд лет при температуре $227^{\circ}C$ Pb в Pb перемещается на 100 см, Au в Au - на 1 см, Cu в Cu - на 1 см, Au в Pb - на 60000 см, Ag в Cu_2S - на 200000 см, Ag в Pb - на 100000 см.

Эта миграция обычно приводит к образованию вторичных пленок замещения в минеральных зернах, но существенного геохимического эффекта не дает.

При метаморфизме все процессы миграции элементов идут направленно в пространстве: как правило, из нижних поровых горизонтов в верхние [29,30].

3.3. Типы метаморфизма.

Выделяют следующие типы метаморфизма [5, 10, 28, 29, 30].

Катакластический (дислокационный, динамометаморфизм) метаморфизм возникает в узких зонах разрывных нарушений и вызывается стрессом. Если нет влияния температуры, то новые минералы не образуются и идет механическое разрушение породы - катаклаз, деструкция. Возникают метаморфические породы: тектонические брекчии, катаклазиты, милониты.

Контактово - термальный метаморфизм проявляется на контактах интрузий, при низких давлениях, без привноса и выноса вещества, т.е. носит изохимический характер. Температура $550 \div 900^{\circ}\text{C}$. Степень метаморфизма зависит от температуры и объема интрузивного расплава; от температуры и объема интрузивного расплава, состава, структурно-текстурных особенностей вмещающих пород. Производные контактового метаморфизма: сланцы, роговики, кристаллические известняки и др.

Метасоматоз - это процесс, при котором происходит привнос одних компонентов и вынос других, что приводит к изменению химического и минерального состава метаморфизируемой породы. Замещение и растворение минералов идет почти одновременно, в твердом виде, без изменения объема. Главные агенты: термальные растворы, содержащие хлориды металлов, галоиды, серу, F, B и др. Метасоматоз бывает щелочной, кальциевый, железо-магнезиальный, с привносом Si, Sn, B, Li, Cl, F, S. Возникают породы - метасоматиты. Для них характерно развитие псевдоморфоз, образование мономинеральных пород, пятнистых текстур, зональное строение.

Региональный метаморфизм (динамотермальный) проявляется на обширных территориях вне видимой связи с интрузиями. Он связан с погружением на большую глубину (Н.Г. Судовиков) либо, наоборот, с поднятием земной коры и может носить прогрессивный или регрессивный характер, а иногда переходит в ультраметаморфизм.

Прогрессивный метаморфизм проявляется под действием температуры, гидростатического и направленного давления и растворов. Проявляется в появлении все более высокотемпературных минералов. Продукты прогрессивного метаморфизма: сланцы, кварциты, мраморы, амфиболиты, гнейсы, гранулиты, эклогиты и др.

Регрессивный метаморфизм (диафторез) характеризуется замещением высоко температурных минералов низкотемпературными. Продукты называются диафторитами. Причина - тектонические движения. В диафторитах всегда есть реликты высокотемпературных минералов среди новообразованных низкотемпературных минералов.

Ультраметаморфизм - это наиболее сильные превращения регионального метаморфизма в особых физико-химических условиях. Главными процессами являются мигматизация, анатексис (частичное выплавление), палингенез (или реоморфизм - полное переплавление), гранитизация (превращение пород в граниты).

В природе завершается круговорот: магма - магматические породы - осадочные породы - метаморфические породы - магма.

Импактный (или ударный) метаморфизм - это изменения в горных породах, обусловленные падением метеоритов. Характеризуется мгновенностью проявления, высоким давлением (от 10 до 100 и более кбар), остаточной температурой (выше 1500⁰) и кинетическими реакциями преобразования вещества. При этом метаморфизме возникают высокobarические фазы ряда соединений (коэсит, стишовит, алмаз, рингвудит), происходит дробление пород и минералов, разрушение их кристаллических решеток, появление диаплектовых минералов и стекол,

плавление минералов и горных пород, возникающие породы носят название *импактиты* (зювиты и тагамиты)

3.4. Состав метаморфических пород.

Химический состав определяется содержанием главных окислов: SiO_2 , Al_2O_3 , FeO , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , H_2O , CO_2 . Исходными породами для метаморфических пород являются:

- глинистые и кварц - полевошпатовые породы (метапелиты);
- метабазиты - основные и средние магматические горные породы, граувакки, мергели;
- карбонатные породы;
- другие породы - магнезиальные, щелочные, железистые, марганцовистые и др. Эти породы оказывают большое влияние на минеральный состав метаморфических пород (табл. 3.1.).

Минеральный состав метаморфических пород в зависимости от состава исходных пород (по [29])

Таблица 3.1.

Исходные породы	Метаморфические породы и их минералы
Глины	1. Гнейсы: кварц, полевые шпаты, биотит, мусковит, силлиманит, андалузит, гранат 2. Слюдяные сланцы: кварц, мусковит, биотит, хлорит, андалузит, силлиманит, дистен, альмандин, хлоритоид, альбит 3. Филлиты и глинистые сланцы: кварц, слюда, хлорит, хлоритоид, альмандин, пирофиллит, стилпномелан
Мергели, граувакки, эффузивы, габбро	1. Амфиболиты: плагиоклаз, роговая обманка, диопсид, гранат 2. Хлоритовые сланцы, спилиты: альбит, эпидот, хлорит, актинолит, кварц, кальцит, пренит, пумпелиит 3. Эклогиты: гранат, пироксены, амфибол, плагиоклаз, кианит, рутил, цоизит
Кварцевые песчаники	Кварциты: кварц и акцессорные - слюды, полевые шпаты, дистен, спессартин, диопсид, тремолит, апатит
Известняки	Мраморы: кальцит, доломит, магнезит, диопсид, форстерит, шпинель, флогопит, тремолит, тальк
Бокситы, латериты	Наждаки: корунд, диаспор, шпинель, гематит, магнетит
Железистые, марганцевые, кремнистые	Кварциты магнетитовые, гематитовые, марганцеворудные; гондиты: кварц, магнетит, гематит, окислы марганца, спессартин, амфиболы, пьемонтит

осадки (породы)	
Перидотиты	Сланцы амфиболовые, хлоритовые, тальковые; талькиты, серпентиниты: оливин, пироксены, амфиболы, хлорит, магнетит, тальк, брусит, магнезит, доломит, серпентин

Минеральный состав метаморфических горных пород разнообразен. Широко распространены кварц, полевой шпат, роговая обманка, слюды, пироксены, оливин. Встречаются минералы, типичные для осадочных горных пород: кальцит, доломит, и вторичные магматические минералы: серицит, серпентин, актинолит и др. Образуются специфические метаморфические минералы: дистен, андалузит, гранаты, волластонит, кордиерит и др.

3.5. Строение и формы залегания метаморфических пород

Под их строением понимаются текстуры и структуры [5, 28, 29, 30]

Текстура этих пород определяется формой, размерами и взаимоотношениями минеральных агрегатов. Основное свойство текстур метаморфических пород - их анизотропность. Наиболее важными текстурами этих пород являются следующие.

Сланцеватая - характеризуется параллельным расположением минералов и их агрегатов в виде тонких чешуек, листочек, пластинок, плиток.

Гнейсовая - обусловлена параллельной ориентировкой и чередованием полос различного состава и структуры, связанное с перераспределением минералов при перекристаллизации (Рис.3.1.)



Рис.3.1. Гнейс плагиоклаз - пироксеновый

Линзовидно - полосчатая - минеральные агрегаты различного состава скапливаются в виде уплощенно - вытянутых линз.

Пятнистая - характеризуется неравномерным, гнездово-пятнистым распределением отдельных минералов и их агрегатов

Волокнистая - определяется вытянутыми примерно в одном направлении волокнистыми и игольчатыми кристаллами

Очковая - характеризуется рассеянными в породе более крупных овальных зерен и агрегатов («очками») на фоне сланцеватой основной массы породы. (Рис.3.2.).



Рис. 3.2. Очковая текстура гнейсо - гранита

Плющатая характеризуется присутствием в породе очень мелких складок.

Массивная - в ней минеральные агрегаты характеризуются неориентированным расположением (сплошная масса).

Брекчиевидная текстура характеризуется расположением угловатых обломков пород и отдельных минералов в перетертой или в гидротермально-метаморфогенной массе (рис.3.3.)



Рис. 3.3. Тектоническая брекчия: угловатые обломки алевролитов сцементированы флюоритом.

Структуры метаморфических пород определяются формой, размерами и взаимоотношением минералов (индивидов в виде отдельных зерен, кристаллов).

По своему происхождению структуры этих пород делятся на кристаллобластовые, возникающие в результате полной перекристаллизации исходных пород и катакластические, образующиеся под воздействием направленного давления, приводящее к дроблению и перетиранию исходных пород.

Среди кристаллобластовых структур по абсолютному размеру минеральных зерен выделяются: крупнозернистые (размер частиц более 5 мм), среднезернистые (1 - 5 мм), мелкозернистые (1 - 0,25 мм) и тонкозернистые (менее 0,25 мм); по относительным размерам зерен выделяются следующие структуры: равномернозернистые (гранобластовые, лепидобластовые, нематобластовые) и неравномернозернистые (порфиробластовые, пойкилобластовые)

Гранобластовая структура отмечена в роговиках, кварцитах, мраморах и характеризуется расположением изометричных зерен минералов

Лепидобластовая структура типична для различных сланцев, характеризуется распределением чешуйчатых, листоватых минералов.

Нематобластовая структура характерна для актинолитовых, силлиманитовых, дистеновых сланцев и определяется расположением игольчатых и волокнистых минералов.

Порфиробластовая структура характеризуется наличием относительно крупных зерен (порфиробластов) на фоне мелкозернистой основной массы.

Пойкилобластовая структура отмечается в скарнах, амфиболитах и характеризуется расположением неориентированных и незаномерно расположенных включений одних минералов в более крупных зернах других минералов.

Среди катакластических структур преобладают два типа. *Милонитовая* - в них основная ткань породы состоит из тонкоперетертого материала субпараллельной ориентировки. *Реликтовая* - в метаморфических породах сохранены элементы структур исходных пород.

Формы залегания метаморфических пород. Так как исходным материалом метаморфических пород являются осадочные и магматические породы, то их формы залегания в основном должны совпадать с формами залегания этих пород. На основе осадочных пород унаследуется пластовая форма залегания, на основе магматических - форма интрузий или покровов. Если метаморфическая порода возникла за счет осадочной ей дают приставку *пара* (например парагнейс), если за счет магматической, то приставку *орто* (например, ортогнейс)

3.6. Фации метаморфизма

Фации метаморфизма - это совокупность пород того или иного состава, которые достигли химического равновесия при данных температурах и давлениях. Породы каждой фации узнаются по характерным минеральным ассоциациям.

Цеолитовая фация - самая низкая ступень метаморфизма - начинается после литификации пород. Температура и давление невелики, развиваются цеолиты.

Фация зеленых сланцев - температура не более 300 °С. Это слабо измененные горные породы: серицитовые и хлоритовые сланцы, филлиты. Главные минералы: хлорит, мусковит, тальк, серпентин, второстепенные - кварц, сульфиды

Фация эпидотовых амфиболитов - температура 200 ÷ 400°С, давление 5 кгс/см². Породы - ставролитовые, эпидотовые, альбит - олигоклазовые сланцы, мраморы, гнейсы. Минералы: эпидот, олигоклаз, гранат, биотит, роговая обманка.

Амфиболитовая фация - температура 300 ÷ 600°С, давление 6 - 7 кгс/см². Породы: гнейсы, сланцы, амфиболиты, кварциты. Минералы: обыкновенная роговая обманка, плагиоклазы средние, гранаты, ставролит, силлиманит.

Гранулитовая фация - температура 700 ÷ 800°С, давление - несколько тысяч атмосфер. Минералы: гиперстен, диопсид, магнетит, рутил, силлиманит, шпинель, гранаты, амфибол, кварц, плагиоклазы, нет мусковита и биотита (с конституционной водой).

Эклогитовая фация - большое давление, но температуры невысоки. Породы этой фации имеют основной и ультраосновной состав. Минералы: диопсид, гранат (пироп, гроссуляр), калиево-полевые шпаты, кварц, рутил, кианит.

Метаморфизм минералов. Минералоги, геохимики уже давно установили, что химический состав минералов меняется все время с изменением температуры, давления, концентрации вещества, т.е. состав минералов зависит от степени его метаморфизма. Рассмотрим примеры:

1. Плагиоклазы: при повышении степени метаморфизма состав плагиоклазов изменяется по схеме альбит - смесь Са, Na - плагиоклазов - анортит.

2. Биотит - он устойчив в очень широком диапазоне температуры и давления. Но установлено, что при повышении степени метаморфизма в биотитах повышается содержание K, Al, Ti, Fe, Mg, но понижается содержание Na, Al^{4+} , Fe^{1+} и OH.

3. Амфиболы - при метаморфизме происходит поглощение многих ионов. Это приводит к образованию разновидности амфиболов, присущих каждой фации: актинолит - для фации зеленых сланцев; роговые обманки - для эпидот - амфиболитовой; обыкновенная роговая обманка - для амфиболитовой фации. Изменение химизма амфиболов при повышении степени метаморфизма проявляется в повышении количеств K, Na, Al, Ti и в понижении количеств Si, (Mg, Fe), OH, Fe

Ведущие элементы земной коры Si, Al, Fe, Mg, Na, K, Ti меняют свои концентрации в минералах в зависимости от температуры и давления при метаморфизме. При метаморфизме идет перераспределение и многих других элементов, в том числе и рудных. Например, переход 1 км^3 амфиболита эпидот-амфиболитовой фации к амфиболит-гранулитовой освобождает 8 млн. т Cr_2O_3 , 4 млн. т NiO, 800 тыс. т CuO, а при обратном превращении может освободиться до 11 млн. т MnO, 94 млн. т TiO_2 , 800 тыс. т ZnO, 27 тыс. т PbO.

Редкие элементы при метаморфизме изменяют свои концентрации в широких пределах в следующих минералах: плагиоклазах - Ba, Sr, Rb; биотитах - Ge, Y, Mn; гранатах - Ge, Y, Mn; пироксенах - Ti, Al.

3.7. Классификация и краткая характеристика метаморфических горных пород

Среди многих классификаций метаморфических пород, приведенных в учебниках, справочниках и словарях [5, 8, 10, 12, 20, 24, 25, 28, 29, 30, 35, 38, 42] нами предлагаются упрощенные схемы, основанные на их составе и строению (табл. 3.2), а также по типам метаморфизма (табл. 3.3.).

Классификация метаморфических пород по составу и строению

Таблица 3.2.

Породы	Главные минералы	Второстепенные минералы	Текстуры (строение пород)
Гнейсы	Кварц, полевые шпаты, слюды	Амфиболы, пироксены	Гнейсовая (полосчатая)
Сланцы: Мусковитовые Биотитовые Двуслюдяные Тальковые Графитовые Хлоритовые	Кварц, слюды Биотит Биотит, мусковит Тальк Графит Хлорит	Полевые шпаты	Сланцевая (листоватая, чешуйчатая, плитчатая)
Мраморы	Кальцит, доломит		Массивная
Кварциты: Медистые Железистые	Кварц Кварц + халькопирит + борнит Кварц + магнетит + гематит		Массивная Плойчатая
Грейзены	Кварц, мусковит	Полевые шпаты, вольфрамит, топаз, флюорит	Массивная
Скарны	Кальцит, пироксены, эпидот, гранаты	Магнетит, шеелит, рудные сульфиды и др.	Массивная
Брекчия тектоническая	Угловатые обломки пород и минералов сцементированы перетертой массой или гидротермальными минералами: кварцем, флюоритом, сульфидами и др.		Брекчиевидная

Классификация метаморфических пород по типам метаморфизма

Таблица 3.3

Название	Окраска	Структура	Текстура	Состав	Исходная порода	Особые свойства, полезные ископаемые
Породы регионального метаморфизма						
Сланцы	Зеленые тона	Лепидобластовая, лепидогранобластовая, реликтовая	Сланцеватая	Кварц, хлорит, слюды (мусковит, серицит), актинолит, серпентин, эпидот, альбит, ставролит	При метаморфизме осадочных пород называются парагнейсами и парасланцами. В результате метаморф	Характерна слоистость, тонкочешуйчатость, шелковистый блеск, тонкоплитчатая отдельность
Кристаллические	Темно-серая до светло-	Мелко и среднезернистая,		Плагиоклаз, роговая обманка,		Огнеупорные, кислотоупо

сланцы	серой	порфиروبл астовая		биотит, ни- роксены, гранаты, эпидот	изма магматиче ских пород - ортогнейс ы и ортосланц ы	рные материа лы
Гнейсы	Пестрая светлая	Гранобластов ая, лепидограно бластовая	Гнейсо вая, полосч атая часто плойча тая, очкова я	Кварц, плагиоклаз, КПШ, гра- наты, слюды, роговая обманка, пироксены , дистен, силлиmani т	При метаморф изме осадочных пород (нарагнейс ы), магматиче ских пород (ортогнейс ы)	Характерна матра- цевидная или толстоплит чатая отдельност ь, месторожде ния редких элементов (Nb, Ta, Be, TR, стройматер иалы
Амфибо литы	Темноок рашенная я	Гранобласт овая, нематоблас товая	Массив ная, сланце ватая	Роговая обманка, плагиоклаз, гранат, пироксен, эпидот	При метаморф изме магматиче ских пород основного состава (габбро, базальтов) , реже ультраосн овных, осадочных , вулканоген ных	
Породы динамометаморфизма						
Тектони ческие брекчи и	Пестрая	Брекчиеви дная	Беспор ядочна я	Сложена угловатым и или линзовидн ыми обломками пород различной величины, сцементир	Разные породы	Отсутствие слоистости и однообрази е состава обломков

				ованными мелкоразд робленны м материало м тех же пород		
Милониты		Милонитовая, бласто-милонитовая	Полосчатая, линзовидная, ленточная	Обломки минералов исходных пород с тонким микрообломочным цементом	В результате перетиранья и развальцевания разных пород	Линзовидность, следы течения, перетиранья
Породы контактово - термального метаморфизма						
Мраморы	Светлые, различных тонов	Гранобластовая	Полосчатая, линзовидная массивная, пятнистая и т.д.	Кристаллический кальцит с примесями кварца, халцедона, ПШ, лимонита, гематита, ОБ	При перекристаллизации известняков и доломитов	Декоративный отделочный, скульптурный, дорожно-строительный материал
Роговики	Серый, черный, темно-зеленый	Гранобластовая (роговиковая)	Массивная, пятнистая, полосчатая, реликтовая	Кварц, ПШ, биотит, роговая обманка, плагиоклазы, гиперстен, диопсид, плагиоклазы, гранат, пироксен, волластонит, кальцит, тремолит, плагиоклазы	При перекристаллизации песчано-глинистых и кварц-полевошпатовых пород (биотитовые), магматических пород основного и среднего состава (роговообманковые)	Плотные и крепкие, с раковистым изломом и режущими краями
Метасоматиты						
Скарны	Темная, бурая, зеленоватобурая	Гранобластовая, пойкилобластовая	Пятнистая, массивная	Кальцит, пироксен, гранат, плагиоклазы, рудные минералы (магнетит,	В результате химического взаимодействия карбо-	Приурочены крупные скопления руд (Fe, Cu, Zn, W, Mo и др.) и

				шеелит, молибденит, касситерит)	натных пород с магмой, интрузивными или другими алюмосиликатными породами с горячими магматогенными растворами	неметаллических полезных ископаемых (флогопита, боратов и др.).
Греизены	Светло-серая	Гранобластная, лепидогранобластная	Массивная, пятнистая,	Кварц, слюды (мусковит или лепидолит), топаз, турмалин, флюорит, апатит, рудные минералы (касситерит, вольфрамит, молибденит, пирит, арсенопирит)	Продукты пневматолито-гидротермального изменения интрузивных, эффузивных, осадочных и метаморфических горных пород кислого состава	Связаны месторождения W, Mo, Bi, Be, Sn
Сerpентиниты (змеевики)	Темно-зеленая черная	Лепидогранобластная	Массивная, полосчатая, волокнистая	Сerpентин, карбонаты, магнетит, хромит, тальк, актинолит, гранат	При изменении и магматических пород основного состава	Месторождения асбеста, облицовочный материал; полупрозрачные разновидности (офикальцит) применяют как поделочный камень
Кварциты	Светло-серая-до черной	Гранобластная	Массивная, пятнистая	Кварц, серицит, алунит,	Кварцевые песчаники	Месторождения железистых

			тая	каолинит, андалузит, корунд, пирофиллит	, кислые эффузивы и туфы	кварцитов, серы, высоко- глиноземис того сырья, золотосере бряные, сурьмяном ышьяковые , медно- колчеданн ые
Березиты	Светло-желтые	Гранобластная, лепидогранобластная	Массивная	Кварц, серицит с примесью карбоната и пирита	Магматические породы кислого состава	Месторождения золота и полиметаллических руд
Породы ультраметаморфизма						
Мигматиты	Темноокрашенная	Гранобластная	Полосчатая, линзовидная, ветвистая, сетчатая, плейчатая	Палеосама представлена кристаллическими сланцами, гнейсами, амфиболитами. Неосома имеет кварц - полевиковый состав	При неполнопрошедшем магматическом замещении пород разного состава	Стройматериалы

Характеристика метаморфических пород

Роговики - наиболее распространенные породы контактового метаморфизма, представляющие собой измененные в контакте с магматическим расплавом осадочные песчано-глинистые породы. Это плотные мелкозернистые породы серого, темно-серого или почти черного цвета с зеленоватым оттенком, нередко пятнистые, имеют отчетливо выраженный раковистый излом. Минеральный состав разнообразен и зависит от состава исходных пород. Наиболее характерны кварц и слюды;

часто присутствуют полевые шпаты, гранаты, кордиерит, хлорит и другие минералы. Типична микрокристаллическая структура и массивная текстура.

Скарны - плотные кристаллические породы массивной текстуры. Образуются при внедрении гранитного расплава в осадочные карбонатные породы (известняки, доломиты) под действием постмагматических растворов (горячих газовой-водных флюидов), отделяющихся от остывающего гранитного расплава. Главные минералы: пироксены, амфиболы и гранаты, присутствуют также - эпидот, актинолит, карбонаты и рудообразующие минералы. По генезису и составу выделено 17 разновидностей скарнов [30].

Тектонические брекчии - наиболее распространенные породы динамометаморфизма. Состоят из остроугольных раздробленных первичных пород различной величины, сцементированы мелкоиздробленным, пертертым материалом тех же пород (горная мука) или гидротермальными продуктами - минералами: кальцитом, кварцем, флюоритом, сульфидами. Структура обломочная (катакластическая), текстура - брекчиевидная

Катаклазиты - представляют собой раздробленные не только породы, но и слагающие их минералы. Внутреннее строение характеризуется присутствием сильно деформированных, изогнутых, раздробленных зерен минералов и часто наличием мелкогранулированной полиминеральной массы (цемента). Структура обломочная (катакластическая), текстура массивная, очковая.

Глинистые сланцы - представляют начальную стадию метаморфизма глинистых пород. Это обычно серые, зеленовато - серые до черного цвета породы, плотные, мелкозернистые, тонкосланцеватые. Они легко раскалываются на тонкие пластинки с гладкой матовой поверхностью. Породы состоят из глинистых минералов, частично из новообразованных мельчайших зерен кварца, серицита, хлорита и др. Часто присутствует углистое вещество, что придает им черный цвет и тогда они называются

аспидными сланцами. Структура микрокристаллическая, текстура тонкосланцеватая.

Филлиты образуются при дальнейшем метаморфизме глинистых сланцев. В отличие от последних филлиты более плотные, мелкозернистые породы, не содержат глинистых минералов и обладают хорошо выраженной сланцеватостью (листоватостью). Характерным признаком является шелковистый блеск на плоскостях сланцеватости, что связано с наличием макроскопически различимых листочков слюд. Главные минералы филлитов: серицит, хлорит, кварц. Окраска их - белая, серая, зеленоватая, нередко бывает черной за счет углистого вещества. Структура микрокристаллическая, текстура тонкосланцеватая. Разновидности филлитов и глинистых сланцев, хорошо раскалывающиеся на тонкие и ровные плитки, называются кровельными сланцами - они плотные, вязкие и водонепроницаемы.

Кристаллические сланцы образуются при дальнейшем метаморфизме филлитов и отличаются от последних лучшей степенью раскристаллизации. Это отчетливо зернистые, сланцеватые породы, с сильным шелковистым блеском и наличием хорошо различимых чешуек минералов. Некоторые минералы в них линейно ориентированны. Породы состоят в основном из зерен кварца и слюд (биотит, мусковит), иногда присутствуют гранаты и графит, образующийся из углистого вещества и другие минералы. Цвет пород различный и обусловлен окраской основных и сопутствующих минералов. Структура полнокристаллическая, текстура сланцеватая, нередко плейчатая. Среди сланцев по разным признакам выделяют свыше 130 разновидностей [30].

Гнейсы - наиболее глубоко метаморфизованные глинистые породы. Они отличаются большей крупнозернистостью, меньшим содержанием слюд и состоят в основном из кварца и полевых шпатов с участием амфиболов и пироксенов. Гнейсы обладают более грубой сланцеватостью и труднее

раскалываются на пластинки. Текстура гнейсовая (полосчатая), обусловленная чередованием полос светлых и темноцветных минералов. По минеральному составу выделено 75 разновидностей гнейсов [30].

Кварциты образуются при метаморфизме кварцевых песков и песчаников, а также кремнистых (трепелы, опоки) и других богатых кремнеземом пород. Представляют собой зернистые породы, состоящие почти полностью из зерен кварца; породы очень крепкие с раковистым изломом, отдельные зерна в которых часто неразличимы. Цвет пород различный, преимущественно серый. Структура полнокристаллическая, обычно мелкозернистая, текстура массивная, иногда слабо выраженная сланцеватая, в железистых кварцитах нередко плейчатая (рис.3.4). Известно 25 разновидностей кварцитов [30].



Рис.3.4.. Плейчатая текстура в железистом кварците

Мраморы - зернистые метаморфические породы, образующиеся при перекристаллизации карбонатных пород. Состоят из кальцита, доломита, имеют полнокристаллическую структуру с различными размерами зерен и массивную текстуру (рис.3.5).



Рис.3.5. Мрамор массивной текстуры, зернистой структуры

Чистые разновидности мраморов имеют белый цвет, примеси придают различную окраску - серую, голубую, розовую и др. Мраморы, содержащие примеси цветных минералов (гранаты, пироксены, амфиболы и др.) называются *кальцифирами*. Мраморы и кальцифиры бурно реагируют с соляной кислотой. Известно 14 разновидностей мраморов [30].

Амфиболиты - это плотные породы, состоящие в основном из роговой обманки и плагиоклазов. В них могут присутствовать кварц, эпидот, гранаты, хлорит. Цвет амфиболитов от серого до черного, но всегда с зеленоватым оттенком. Структура полнокристаллическая, текстура разнообразная, определяемая соотношением слагающих породу минеральных агрегатов: массивная, сланцеватая, полосчатая, пятнистая и др.

Хлоритовые сланцы - представляют собой сланцевые или чешуйчатые породы, состоящие в основном из хлорита. Могут присутствовать кварц, актинолит, тальк, эпидот, слюды и другие минералы. Цвет их зеленый - от светло-зеленого до темно - зеленого. Имеют незначительную твердость, на

ощупь жирные. Структура полнокристаллическая, текстура сланцеватая, чешуйчато-сланцеватая.

Тальковые сланцы - тонкосланцеватые или чешуйчатые породы, состоящие в основном из мелких гибких листочков талька. Цвет их белый, серый, зеленоватый; блеск - шелковистый или перламутровый на плоскостях сланцеватости. Породы очень мягкие, жирные на ощупь. Почти чистые тальковые сланцы называются тальковым камнем. Структура полнокристаллическая, текстура сланцеватая, чешуйчатая.

Серпентиниты (змеевики) плотные оливково-зеленые, темно-зеленые до черного цвета породы, часто неравномерно окрашенные (пятнистые), с малой твердостью и блестящими поверхностями скола. Состоят из серпентина, часто присутствуют хлорит, тальк и асбест. Структура скрытокристаллическая, текстура массивная, иногда пятнистая.

При максимальном проявлении метаморфизма многие из перечисленных выше и другие первично-осадочные и магматические породы переходят в *гранулиты* и *эклогиты* - породы высшей степени метаморфизма

3.8. Метаморфогенное рудообразование

Месторождения, возникшие при метаморфизме делятся на метаморфизованные и метаморфические. В.И.Смирнов (1976 г) распределил эти месторождения по типам фаций (табл. 3.4).

Метаморфогенные месторождения в фациях регионального метаморфизма

Таблица 3.4

Фации	Важнейшие минералы	Полезные ископаемые
Цеолитовая	Кварц, альбит, хлорит, пумпелиит	Самородная медь: оз. Верхнее, США
Зеленых сланцев	Кварц, альбит, биотит, мусковит, тремолит, хлорит,	Железистые кварциты, золото и уран (Витватерсранд в ЮАР), колчеданы,

	эпидот	наждак, графит, асбест
Глаукофановая	Кварц, спессартин, родонит, глаукофан, бустамит, жадеит, мусковит, эпидот, лавсонит	Силикатные марганцевые и цинковые руды, магнетит - амфиболовые руды
Амфиболитовая	Кварц, кианит, ставролит, плагиоклаз, гранаты, роговая обманка, диопсид, слюды	Железные руды (таконитов и итаберитов), сульфидные руды, кианит, диаспор, силлиманит, андалузит, корунд, наждак, графит кристаллический, апатит, пегматиты
Гранулитовая	Кварц, плагиоклазы, калишпат, роговая обманка, диопсид, гиперстен, гранаты, силлиманит, биотит, рутил	Амфибол - пироксен - магнетитовые кварциты, гранаты, рутил, флогопит
Эклогитовая	Омфацит, гранат, кианит, энстатит, рутил	Рутил (титан)

Форма рудных тел метаморфогенных месторождений : пластообразные, линзовидные ленто - и жиллообразные залежи сплошных и вкрапленных руд. Длина их по простиранию от км до десятков км, мощность - первые сотни метров. Текстуры руд: полосчатые, сланцеватые, плейчатые, очковые, радиально-лучистые; метаколлоидные структуры преобразуются в зернистую; тонкозернистые руды становятся грубокристаллическими. Структуры руд: гранобластические, порфиробластические, лепидобластические, роговиковые, волокнистые, сноповидные.

При метаморфизме идет преобразование минералов: лимонит переходит в гематит и магнетит; псиломелан и манганит - в браунит и гаусманит; опал в кварц, марказит в пирит, вюртцит в сфалерит; фосфорит в апатит; органика в графит; серицит + хлорит + пироксен превращаются в биотит + пирротин; пирротин в мартит, затем в биотит +гранат; ильменит+магнетит переходят в смесь ильменита и рутила, а затем в рутил. При контактовом метаморфизме идет халькопиритизация борнита с образованием структур распада твердых растворов: борнит+халькопирит; халькопирит + халькопирит; галенит + касситерит. Сильный региональный

метаморфизм способен радикально изменить или уничтожить прежние месторождения и создать вновь.

Регионально - метаморфизованные месторождения железа, марганца, свинца, цинка, меди, золота, урана, фосфора часто залегают среди докембрийских, частично в раннепалеозойских породах. Примерами таких месторождений являются Криворожские, Курской магнитной аномалии, Чарско-Олекминские железистых кварцитов, относящиеся к весьма крупным по своим масштабам. К ним же можно отнести золото - урановые конгломераты Витватерсранда (ЮАР), золотоносные конгломераты Тарквы (Африка), Кодаро - Удоканского района; графитовые месторождения - Курейское в Красноярском крае, сформированное при метаморфизме верхнепалеозойских каменных углей, месторождение Ботогол; кианитовые, силлиманитовые месторождения Кольского полуострова и Карелии, Чайнытское месторождение в Якутии; гранатовые месторождения Урала, Карелии, сосредоточенные в сланцах; золотоносные месторождения среди черносланцевых формаций в Байкало - Патомском нагорье (Сухой Лог) и др..

Контрольные вопросы

1. Что такое метаморфизм?
2. Основные факторы (агенты) метаморфизма
3. Что такое метаморфическая дифференциация?
4. Примеры миграции химических элементов при метаморфизме.
5. Основные типы метаморфизма и по каким признакам их выделяют?
6. Понятие о фациях метаморфизма.
7. Вещественный состав метаморфических пород.
8. Что понимается под строением метаморфических пород?
9. Классификация метаморфических пород.
10. Краткая характеристика метаморфических пород.
11. Метаморфогенное рудообразование: процессы, приводящие к их формированию и основные примеры этих месторождений

Экзаменационные билеты по ПЕТРОГРАФИИ.

Для сдачи экзамена 13.01.2021 пройти по ссылке <https://disrm1.zabqu.ru/b/t6h-m6a-kg2>

БИЛЕТ № 1

1. Что такое магма и лава и их типы
2. Классификация метаморфических пород

Билет №2

1. Текстуры и структуры магматических пород
2. Вещественный состав метаморфических пород

Билет №3 1. Сущность магматизма

2. Факторы (агенты) метаморфизма и метаморфическая дифференциация

Билет №4

1. Вещественный состав магматических пород
2. Типы метаморфизма и их продукты

Билет №5

1. Формы залегания магматических пород
2. Текстуры и структуры метаморфических пород

Билет №6

1. Классификация магматических пород
2. Фации метаморфизма: их минералы и породы

Билет №7

1. Типы преобразований при метаморфизме
2. Пегматитовые процессы: минералы, породы, руды и месторождения

Билет №8

1. Контактново-метасоматические процессы: типы, сущность, продукты
2. Связь полезных ископаемых с магматизмом

Билет №9

1. Понятие о генезисе минералов, пород и руд
2. Породообразующие, акцессорные, рассеянные окислы в магматических породах

Билет № 10

1. Гидротермальные процессы и их продукты
2. Среды и факторы минерало-породо-рудобразования 2

Билет № 11

1. Характеристика кислых и ультраосновных магматических пород
2. Способы образования минералов, горных пород и руд

Билет №12

1. Классификация геологических процессов минерало-породо-рудобразования
2. Характеристика средних и основных магматических пород

Билет №13

1. Что такое горная порода и как они делятся по генезису?
2. Собственно образование минералов, пород и руд

Билет № 14

1. Грейзеновые процессы: сущность и их продукты
2. Практическое значение магматических пород

Билет №15

1. Скарновые процессы :сущность и их продукты
2. Что такое сланцы, гнейсы, мраморы, граниты, сиениты нефелиновые ?

Билет № 16

1. Влияние состава исходных пород на минеральный состав метаморфических горных пород (таблица 3.1)
2. Характеристика кислых и щелочных магматических пород

Билет №17

1. Генетический закон минерало-породо-рудобразования проф. Д.П. Григорьева

2. Формы залегания метаморфических пород

Билет №18

1. Магматические комплексы Восточного Забайкалья
2. Источники гидротерм и минеральных веществ в них

Билет №19

1. Раскрыть сущность и содержание Вашей 1-й контрольной работы (реферата)
2. Фации метаморфизма

Билет № 20

1. Раскрыть сущность и содержание Вашей 2-й контрольной работы (реферата)
2. Реакционный ряд Н.Боуэна 3 Э