Когда магма прорвалась на поверхность

Гранитная магма, как никакая другая, содержит много кремне­зема (до 70—75%), поэтому она вязкая и с больших глубин только изредка прорывалась на поверхность. Вот почему вулка­нические породы, образовавшиеся из гранитной магмы, рас­пространены гораздо меньше.гранитов и на поверхности встре­чаются довольно редко. По данным профессора С. П. Соловьева, вулканические породы, возникшие из гранитной магмы, зани­мают всего 13,5 % от площади распространения магмати­ческих пород в нашей стране, тогда как на долю гранитов — пород, застывших на глубине, приходится 48,6 %. В геологии такие лавы называют «кислыми». Название это, конечно, не отра­жает их вкусовых качеств. Оно связано с высоким содержанием .

кремнезема в лавах. Его настолько много, что он не только насыщает все основания, но и остается в избытке в виде свобод­ного кремнезема (чаще всего кварца). А кварц можно рас­сматривать как ангидрид кремневой кислоты.

Другая очень важная особенность кислых лав — неболь­шое количество магния и железа, т. е. элементов, характерных для темноокрашенных минералов. К тому же железо и магний значительно тяжелее кремния, алюминия, калия, натрия и других элементов. Этим объясняется светлая окраска кислых вулкани­ческих пород и их сравнительная легкость.

Когда в геологической литературе речь идет о кислых вулка­нических породах, часто встречается слово «порфир». Оно не имеет отношения к порфире — пурпурного цвета мантии, одевав­шейся монархами в торжественных случаях. Но косвенная связь здесь есть и заключается она в том, что некоторые вулка­нические породы окрашены так же ярко, как и пурпурная ман­тия. Нужно еще добавить, что порфиры, как и огромное боль­шинство вулканических пород, обладают характерной структу­рой (строением), которую называют порфировой.

В кислых вулканических породах в виде отдельных кристал­лов (вкрапленников) чаще всего видны кристаллы серого кварца и прозрачного полевого шпата с блестящими гранями. Такие породы называют липаритами. Если вулканические породы пережили сложную историю и «состарились», что запе­чатлено в потускневших вкрапленниках полевого шпата, тогда их называют кварцевыми порфирами.

Не только кислые, но и другие вулканические породы принято делить на «юные», еще не затронутые «превратностями» геологической жизни, и «старые», перекрытые более молодыми толщами и изменившиеся под действием циркулировавших по ним подземных растворов.

Нередко случается, что лава настолько быстро застывает, что атомы и группы атомов не успевают собраться в постройки с правильным внутренним строением — кристаллы. Тогда в застывшей лаве сохраняется неупорядоченное строение, свойст­венное жидкости. Получается вулканическое стекло, которое,

по существу, представляет собой переохлажденную, чрезвычайно вязкую лаву.

На примере вулканического стекла легко проследить связь между внутренним строением горной породы и ее свойствами. В отличие от кристаллов с их правильным расположением ионов или других элементарных частиц и соответственно способностью раскалываться вдоль некоторых плоскостей (вдоль которых внутренние силы слабее всего) стекла лишены этого свойства из-за неупорядоченного внутреннего строения. Вот почему при ударе они разбиваются на куски неправильной формы с гладким изломом и острыми краями. Эта особенность вулканического стекла была очень хорошо известна первобытно­му человеку и широко использовалась при изготовлении оружия и орудий труда.

В кислой магме растворено много различных газов. Когда магма подходит к поверхности и внешнее давление сильно уменьшается, из расплава начинается бурное выделение газов. В одних случаях они только вспенивают лаву, и тогда после застывания образуется очень пористая вулканическая порода — пемза, своего рода каменная пена. Пустот в ней так много, а ка­менные перегородки настолько тонкие, что пемза становится необыкновенно легкой. Ее средняя плотность меньше единицы, и она плавает в воде. Небезынтересно, что кубический метр пемзы имеет массу всего 300—350 кг, тогда как такой же объем плотной лавы — не менее 2,5 т. Перегородки, разделяющие поры в пемзе, состоят из вулканического стекла и, значит, достаточно крепкие, с режущими краями. Поэтому пемза издавна используется как абразив для обработки дерева, кожи и других не очень твердых материалов.

Нередко при извержении вулкана давление газов настолько велико, что лава распыляется, а застывшие участки ее дро­бятся на глыбы и куски. Этот обломочный материал вулканического происхождения может выбрасываться на вы­соту нескольких километров. Глыбы и крупные обломки падают около места взрыва, а мелкий материал в виде вулканического стекла и пыли подхватывается ветром и уносится за сотни и

даже тысячи километров. Таким путем из обломочного мате­риала вулканического происхождения образуются своеобразные породы. По природе каменного материала они сходны с вулкани­ческими породами, а по способу накопления напоминают осадочные. Общее название таких пород — пирокластические, что в переводе с древнегреческого означает состоящие «из обломков огненного происхождения». Сначала это рыхлый мате­риал, а когда он слежится и сцементируется, возникнут плот­ные породы. Их называют вулканическими туфами.

Пирокластические породы очень разнообразны, и среди них есть и такие, которые по внешнему виду похожи на лавы. Всего лишь несколько десятков лет назад была раскрыта тайна проис­хождения огромных толщ горных пород, встречающихся в Армении, Средней азии, на Дальнем Востоке, Северном острове Новой Зеландии, в Северной Америке и других местах. Удивля­ло, что эти породы, принимавшиеся за кислые лавы, занимают огромные площади в тысячи квадратных километров, а их мощ­ность измеряется многими сотнями метров. А ведь хорошо из­вестно, что кислая лава вязкая и не способна растекаться на большие расстояния. Детальное изучение таких толщ показало, что они образовались при мощных взрывах газонасыщенной лавы, ее капли и кусочки падали на поверхность Земли в пластичном состоянии и спаивались в компактную одно­родную массу. «Сваренные» туфы назвали нгнимбритами, что в переводе с латинского означает «образованные огнен­ным ливнем».

Игнимбриты возникли при особого рода вулканических извержениях, когда над земной поверхностью в потоках раска­ленного газа неслись капли и куски пластичной лавы.

Игнимбриты — прекрасный естественный строительный ма­териал. Они легко поддаются скульптурной обработке, у них удивительно красивая расцветка — на красном, оранжевом и ко­ричневом фоне во многих .местах видны черные пятна. Игнимбриты ты нашли широкое применение в строительстве. В столице Армянской ССР Ереване можно любоваться новыми широкими улицами и проспектами, застроенными оранжево- и коричнево- красными многоэтажными домами из игнимбритов. Особенно красив ансамбль зданий на площади им. Ленина, впитавший в себя традиционные особенности древней армянской архи­тектуры. Игнимбрнты использованы и в облицовке Московского государственного университета.

Декоративными бывают и кислые лавы, тогда они служат прекрасным материалом для изготовления художественных изде­лий. На Урале, в окрестностях старинного города Невьянска, у села Аятское издавна добывают нарядный камень. Камнерезы назвали его аятским порфиром. Он широко использовался Петергофской и Екатеринбургской гранильными фабриками. Цветная палитра аятского порфира удивительно разнообразна: здесь светло-зеленый камень с белесоватыми прожилками, желтоватый с зелеными пятнами, зеленый с черными крапинка­ми, черный, дымчатый и т. д. По своей природе аятский камень — кварцевый порфир, его декоративная внешность создана круп­ными вкрапленниками сероватого и желтоватого полевого шпата и секущими породу каменными цветными минеральными жилами.

# Когда магма застыла на глубине

Гранитная магма, застывая на глубине, превращается в гра­ниты. Они необыкновенно широко распространены. В совре­менном строительстве гранитам принадлежит очень большая роль. Достаточно, например, указать, что на облицовку новых московских мостов потребовалось около трех тысяч вагонов гра­нита!

Гранит не только красивый, но и надежный, крепкий и проч­ный камень, именно поэтому на фундаментах из него покоятся монументальные здания. Гранитная щебенка лежит в основании автострад. Брусчаткой из гранита выложены улицы многих городов. По долинам рек обнажаются гранитные скалы, украшая пейзаж.

Замечательные свойства гранита как строительного и обли­цовочного материала связаны с его минеральным составом и строением. Порода состоит в основном из трех минералов: кварца и двух видов полевых шпатов (калиевого и каль-циево-натриевого). В небольшом количестве встречаются слюда и роговая обманка.

Окраска породы определяется цветом породообразующего минерала — калиевого шпата. Есть граниты серые, розовые, мясо-красные, коричневые, зеленые и даже синевато-серые и почти черные. Калиевый шпат — твердый минерал, поэтому при полировке гранита получается гладкая зеркально-блестящая поверхность. Особенно привлекательны грубозернистые грани­ты, своим видом напоминающие цветную мозаику с причудли­вым рисунком.

Связь между минеральным составом гранитов и их свойст­вами понятна. Но по каким признакам петрограф устанавливает образование гранита из магмы? Этот вопрос очень интересный, и, отвечая на него, мы введем читателя в круг одной из важней­ших проблем современной петрографии.

О существовании гра­нитной магмы неоспоримо свидетельствуют кислые ла­вы, извергавшиеся вулкана­ми во все периоды геоло­гической истории. А это значит, что в недрах Земли находятся очаги кислого си­ликатного расплава. Когда кислая магма покидает «ро­дительское лоно» и, не дой­дя до поверхности, задер­живается и медленно кри­сталлизуется, образуется полнокристаллический гра­нит. Естественно, что в нем нет ни вулканического стек­ла, ни мельчайших кри­сталликов, образующихся при быстром охлаждении. Магматический гранит можно узнать под микроскопом. Изучая шлиф породы, мы заметим, что разным минералам в разной степени присущи свойственные им формы кристаллов (рис. 19). Одни из них правильной формы (слюда) и, значит, образовались рано, когда в расплаве не было других минералов, которые бы стеснили их рост. У полевых шпатов часть контуров кристаллов естественная, другая вынужденная. Значит, полевые шпаты кристаллизовались позже, когда они смогли частично приспособиться к ранее появившимся минералам. А у кварца вовсе нет свойственных ему контуров. Значит, кварц самый «младший» среди минералов гранита, он кристаллизовался из расплава последним и занял оставшееся на его долю прост­ранство. О возникновении гранита из магмы свидетельствуют также его секущие контакты с окружающими породами. Они указывают на то, что вещество, из которого возник гранит, было жидким и внедрялось в трещины. Подвижное состояние этого материала также доказывают обломки боковых пород в граните.

Гранитная магма была сильно нагретой. Об этом убедительно говорят глубокие изменения в породах, окружающих массивы гранитов. Они преобразованы до неузнаваемости, перекристал­лизовались и превратились в метаморфические породы (рого­вики). Петрографы пришли к выводу, что гранитная магма закончила кристаллизацию при температуре около

600—700 °С.

Нередко в массивах гранитов встречаются обломки чуже­родных пород — ксенолиты. Они привлекают пристальное вни­мание исследователей, так как дают возможность заглянуть в недра Земли. По ксенолитам можно судить о горных породах, через которые прошла магма и обломки которых захватила с собой. Особый интерес вызывают граниты, переполненные зако­номерно расположенными ксенолитами. Полосатость гранитов и удлинение ксенолитов изменяются определенным образом от места к месту, намечая положение древних слоистых толщ, часто сложно изогнутых.; Через гранит как бы «просвечивают» древние, ранее существовавшие до них горные породы. Просве­чивающие структуры говорят о том, что гранитная магма засты­вала на месте своего образования, не успев переместиться в более высокие горизонты земной коры.

Но граниты образуются не только из магмы. Еще в сере­дине XIX в. родились идеи о немагматическом происхождении гранитов. Теперь известно, что немагматические граниты широко распространены в древнейших участках земной коры, сложен­ных докембрийскими гнейсами и сланцами. Здесь гранитные породы тесно переплетаются с метаморфическими, образуя слож­ные породы — мигматиты. Увеличение гранитного материала приводит к тому, что мигматиты становятся неяснополосчаты-ми и переходят в граниты с расплывчатыми остатками первичных пород.

Вещество немагматического гранита никогда не было жидким, на его месте находился инородный материал, кото­рый в твердом состоянии превратился в гранит. Процесс преобразования негранитного вещества в гранит называется гранитизацией или трансформацией, поэтому сторонников такого взгляда называют трансформистами.

Они установили, что характерные минералы гранитов — калиевый шпат и плагиоклаз, богатый натрием,— иногда образуются в песчаниках, сланцах и даже в таких однообразных по составу породах, как кварциты. Это на первый взгляд стран­ное явление — наличие крупных правильных кристаллов, никогда не образующихся в осадочных породах,— объясняется переработкой их вещества газами и растворами, поднимав­шимися из недр Земли. Газы и растворы пропитали песчани­ки, сланцы и другие негранитные породы и образовали в них крупные кристаллы калиевого шпата и плагиоклаза. Так возник­ли горные породы, очень похожие на магматические граниты.

И все же немагматические граниты по ряду признаков отли­чаются от магматических. Наблюдая их взаимоотношения с окружающими породами, мы заметим, что они не внедрялись в них и не изменяли их. В шлифах под микроскопом видно, что очертания зерен минералов неправильные, без характерных для них контуров. И это понятно, ведь гранитизированные породы возникли в твердом состоянии, а слагающие их мине­ралы кристаллизовались не в определенной последовательности, как в магме, а одновременно.

Как мы видим, граниты вызывают очень большой научный интерес. Вместе с тем они играют немалую роль в жизни человека. С гранитами связаны месторождения золота, серебра, вольфрама, молибдена, олова и многих других ценных металлов. В последнее время выяснилось, что и сам гранит может исполь­зоваться как руда редких элементов. Тончайшие спектральные и химические анализы показали, что в гранитах содержатся почти все элементы таблицы Менделеева. Известно, что в одном кубическом километре гранита находится урана 10000 т, ниобия 84 000 т. Еще 20—25 лет назад мысль о добыче редких элементов из гранита могла показаться фантастической. Но в наше время техника позволяет выделить из гранита минералы редких эле­ментов, и поэтому гранит стал кладовой малораспространенных элементов. В Бразилии из гранита получают тантал, в Африке ниобий, а в недалеком будущем гранит станет обычной комп­лексной рудой. Из минералов-примесей будут получать редкие элементы, а оставшиеся после обогащения полевой шпат и кварц найдут широкое применение как сырье для изготовления разнообразной керамики и стекла.

## Когда магма обогащена газом

При застывании гранитной магмы не сразу возникает каменный массив. Сначала с краев появляется твердая оболочка, она постепенно разрастается внутрь и «оттесняет» к середине оста­ток гранитного расплава. Меняется при этом и сам расплав, в нем становится все больше газов (ведь они почти не входят в состав выкристаллизовавшихся минералов). Так образуется легко­подвижный расплав, богатый парами и газами. В одних случаях он остается на месте и застывает среди гранитов. В других случаях расплав покидает массив и застывает в окружающих породах в виде жил и линз. Так из остаточной гранитной магмы образуется особая порода — пегматит, состоящая глав­ным образом из полевого шпата и кварца.

Интересно, что всем пегматитам свойственны некоторые общие особенности. Прежде всего, эти породы всегда крупно­зернистые и даже гигантозернистые. Нередко кристаллы полево­го шпата прорастают кристаллами кварца клиновидной формы, напоминая клинопись древних народов. Именно этой особен­ностью объясняются другие названия пегматитов — «письмен­ный», «еврейский» и «рунический» камень.

Кристаллы некоторых минералов в пегматитах в длину не­редко достигают нескольких десятков сантиметров, а иногда и более метра. Так, в пегматитах Северной Карелии, разрабаты­ваемых для извлечения из них полевого шпата как керами­ческого сырья, длина кристаллов кварца достигает 1,5 м. В нор­вежских пегматитах были встречены кристаллы калиевого шпата длиной до 10 м и массой около 100 т. В начале прошлого века в Ильменских горах на Урале нашли настолько огромный кристалл калиевого шпата, что в нем заложили каменоломню.

Размер пегматитовых жил, линз и скоплений неправильной формы гораздо меньше гранитных массивов. Лишь в некоторых случаях, например в бассейне р. Мамы в Восточной Сибири, встречаются крупные массивы в несколько квадратных кило­метров, состоящие из пегматитов. Но пегматиты здесь не «чистые>, а как бы пропитывают граниты и гнейсы.

К пегматитам издавна приковано внимание геологов и ми­нералогов, потому что некоторые минералы и химические эле­менты, очень редкие гости в гранитах, в пегматитах как бы «сконцентрированы» и могут образовать богатую рудуг Особый интерес вызывают минералы с редкими землями или радиоактив­ными элементами. Это, например, ортит, в котором содержание элементов редких земель достигает 3%. Можно также упомя­нуть минералы бериллия, лития и ряда других элементов, которые обычно отсутствуют в гранитах и других магматических породах. Все это позволяет считать пегматиты продуктами затвердевания не самой магмы, а ее остатка, обогащенного газами. О большой роли газов в пегматитовом расплаве говорят встречающиеся в пегматитах минералы, содержащие различные летучие вещества. Это фтор- и борсодержащий турмалин, топаз (в его состав непременно входят фтор и вода), слюда (ее обязательной составной частью служит вода) и ряд других мине­ралов. Образование пегматитовых жил происходило при тем­пературе 500—700 °С, т. е. несколько ниже, чем гранитов.

Пегматиты имеют исключительную промышленную ценность. Из них добывают слюду, полевой шпат, горный хрусталь, раз­личные драгоценные камни и в том числе изумруд, аквамарин, рубин, сапфир, топаз, аметист и др. Полевой шпат некоторых пегматитов очень красив и используется как поделочный камень. Это так называемый амазонский камень, или амазонит,— голу­бовато-зеленая разновидность калиевого шпата. С давних пор он получил заслуженную известность в камнерезном деле, а художественно-декоративные изделия из этого поистине чудесного камня всегда привлекали к себе большое внимание.

Амазонит в России стал известен в 1784 г., когда на Южном Урале в Ильменских горах обнаружили пегматитовые жилы с зеленым камнем. Минерал с необыкновенно приятной окраской быстро завоевал симпатии любителей декоративного камня и стал одним из важнейших поделочных камней. В Го­сударственном Эрмитаже в Ленинграде хранятся великолеп­ные вазы, столешницы и другие изделия из уральского амазо-нита, сделанные умельцами Петергофской гранильной фабрики.

Амазонит относится к малораспространенным минералам. В нашей стране месторождения амазонита, кроме Ильменских гор, найдены на Кольском полуострове, в Прибайкалье, Ка­захстане и Средней Азии. До сих пор остается загадкой цвет амазоннта. Более семидесяти лет назад академик В. И. Вер­надский обнаружил в амазоните Ильменских гор высокую концентрацию рубидия (до 3,12 *%* Rb2O), и с того времени мно­гие ученые считали, что присутствие именно этого элемента вызывает окраску минерала. Но в последние десятилетия неодно­кратно устанавливалось, что рубидий в значительных коли­чествах встречается и в неокрашенных полевых шпатах. Вместе с тем в некоторых амазонитах его почти нет. Значит, окраска зеленого полевого шпата не обязательно связана с рубидием.

Затем минералоги обратили внимание на то, что при прокали­вании голубовато-зеленый цвет амазонского камня исчезает и минерал приобретает невыразительную белую, светло-желтую или светло-серую окраску. Потом выяснилось, что обесцвеченному амазониту можно возвратить прежнюю окраску под влиянием рентгеновских лучей.

Пожалуй, ближе всего к разгадке окраски стоит Б. М. Шма-кин. Он предполагает, что зеленая окраска минерала вызвана двумя причинами: особенностями строения кристаллов и зна­чительным количеством элементов-примесей, прежде всего ру­бидия, свинца, цезия и таллия. Дело в том, что внутреннее строение амазонита максимально упорядоченное. А это значит, что ионы кремния, алюминия, калия и кислорода в кристал­лической решетке расположены самым плотным образом. Когда же элементы-примеси захватили места элементов-«хозяев» и, отличаясь от них своими размерами, нарушили энергетику кристаллов—появилась характерная окраска амазонита.