

Восточное побережье Приморья — провинция расслоенных гранитов

Г.А.Валуй

Если посмотреть на геологическую карту Приморья, можно увидеть цепочку красных бусин вдоль побережья Японского моря — так геологи обозначают массивы гранитов и вулканические породы Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, который представляет собой часть гигантской планетарной структуры, протянувшейся на тысячи километров от Чукотки до Южного Китая.

Когда-то здесь через трещины в земной коре выливались на поверхность кубометры раскаленной лавы, палящие тучи застилали небо. В глубинах Земли гранитные магмы образовали интрузивные тела, которые затем геологические процессы вывели на земную поверхность, а морские волны, разрушая их, создали живописные бухты и скалистые мысы. Граниты легко разрушались, превращаясь в пески, образуя великолепные пляжи.

Но для геологов сотни километров скалистых берегов Японского моря — это книга о истории Земли почти без пропущенных страниц. (В отличие от остальной территории Приморья, покрытой таежной растительностью, где скальные обнажения горных пород изредка встречаются в долинах рек и на вершинах сопок.)

© Валуй Г.А., 2004

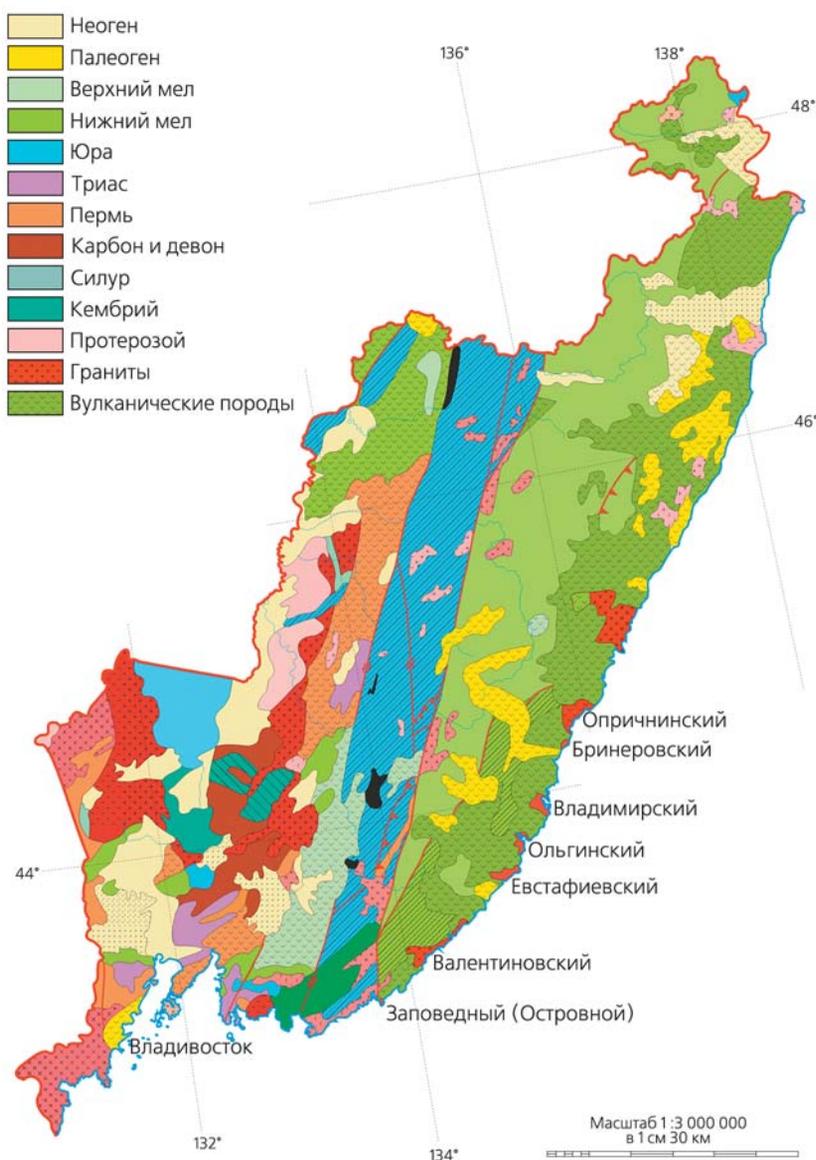


Галина Александровна Валуй, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Дальневосточного геологического института ДВО РАН. Область научных интересов — дифференциация магматических расплавов, петрология гранитов, минералогия полевых шпатов.

Изучение геологических процессов, непростых самих по себе, усложняется фрагментарностью наших наблюдений. Вот почему работа на побережье Японского моря позволила собрать уникальный материал по петрологии (т.е. генезису) гранитоидов, представляющий интерес не только для Приморья, но и для фундаментальной науки в целом.

За 30 лет моих экспедиционных сезонов с С.А.Коренбаумом и другими коллегами — сотрудниками Дальневосточного геологического института ДВО РАН — пройдены сотни километров вдоль побережья Японского моря, от Тернея до Посыета, на моторных лодках и на веслах,

на автомашинах и пешком по скалам, пляжам и «непропускам». В маршрутах отобраны тысячи образцов пород, зарисованы и сфотографированы сотни обнажений — для науки, а для души — сотни слайдов, фотографий, акварелей, чтобы поделиться с друзьями радостью открытия неповторимой красоты этих мест. Мы не были пионерами в изучении гранитоидов побережья Приморья. Нашим детальным исследованиям предшествовали работы сотрудников Института геологии и минералогии рудных месторождений РАН М.А.Фаворской и Ф.К.Шипулина, опубликованных солидные монографии [1, 2].



Размещение гранитоидных интрузивов Восточного Сихотэ-Алия.

Гранитоидные интрузивы Прибрежной зоны образуют единый пояс северо-восточного простирания и отделены друг от друга полями верхнемеловых эффузивов. Все эти массивы, судя по геофизическим и геологическим данным, имеют лакколитоподобную (в виде гриба) форму и достигают 20–60 км в длину при ширине 5–10 км. Тела, расположенные в зоне пересечения прибрежного разлома

с поперечными, в плане изометричны (Ольгинский и Владимирский массивы).

Четких геологических фактов, свидетельствующих о глубине формирования интрузивов, нет. Есть приблизительные подсчеты мощности перекрывающих пород, которая колеблется от 3000 до 5000 м, т.е. максимально возможная глубина должна быть не более 3–5 км. Самый северный — Опричнин-

ский интрузив — формировался на глубине менее 3 км, а южнее расположенные Владимирский, Ольгинский и Валентиновский — на глубине более 3 км. Сложены они различными породами, из которых каждая последующая прорывает предыдущую с образованием на контактах зон закалки, полос темноцветных минералов, гнезд пегматитов. Всего отмечено пять различных фаз гранитов и гранодиоритов. Возраст пород, определенный К-Аг методом, составляет 74–86 млн лет для диоритов, 60–65 млн лет для гранодиоритов, 50–59 млн лет для гранитов, 41–43 млн лет для миароловых и щелочных гранитов и 34–39 млн лет для аплит-пегматитов.

Граниты содержат многочисленные включения микрогранодиоритов, ритмично-расслоенных гранитов, биотит-роговообманковых пород, шлировых пегматитов и др. Детальные исследования гранитоидов Прибрежной зоны привели меня к выводу, что такие неоднородности — результат сложных процессов, происходивших в магматической камере до окончательного затвердевания расплава и сохранившихся благодаря относительно быстрой (по геологическим масштабам) кристаллизации.

Среди этих процессов распознаются: кристаллизационная дифференциация, флюидно-магматическое и диффузионно-магматическое расслоение первичных расплавов, а также расслоение остаточных расплавов, богатых летучими компонентами.

Кристаллизационная дифференциация

В гранитоидах признаки расслоения расплавов наблюдаются гораздо реже, чем в основных породах. Выражаются они преимущественно ориентированным расположением темноцветных минералов [3, 4], изме-



Южный контакт гранитов Опричинского интрузива с вмещающими эффузивами (вблизи м. Сигнальный).

Здесь и далее фото автора

нением состава минералов по разрезу интрузива [5] и ориентированным ростом отдельных фаз (чаще кварца) в позднемагматическую стадию [6].

По мнению Л.Уэйджера и Г.Брауна [4], из-за высокой вязкости гранитных расплавов в них вряд ли могло происходить погружение или всплывание кристаллов. Однако мне удалось наблюдать ритмичную расслоенность в гранитном интрузиве, обусловленную распределением и осаждением плагиоклазов [7, 8].

Зона расслоенных гранитов фиксируется в центральной части южного поля гранитов в Опричинском интрузиве, который расположен между бухтами Опричник и Китовое Ребро (к северу от пос.Каменка Дальнегорского р-на). Массив состоит из трех частей. Северная

и южная сложены гранитами, а центральная — диоритами. Граниты прорывают диориты и вмещающие риолиты, что хорошо видно в береговых скалах. Южное поле гранитов Опричинского массива представляет собой прекрасно обнаженный лакколит зонального строения. Приконтактная фация (4 км по горизонтали) сложена гранофировыми гранитами, содержащими округлые включения мелкозернистых пород гранодиоритового состава (автолиты), которые сменяются ритмично-расслоенными гранитами протяженностью 3 км, представляющими собой внешнюю часть зоны конвективного перемешивания. Центральная часть лакколита автолитов не содержит и состоит из равномернозернистых гранитов с гнездами пегматитов и аплит-пегматитовых

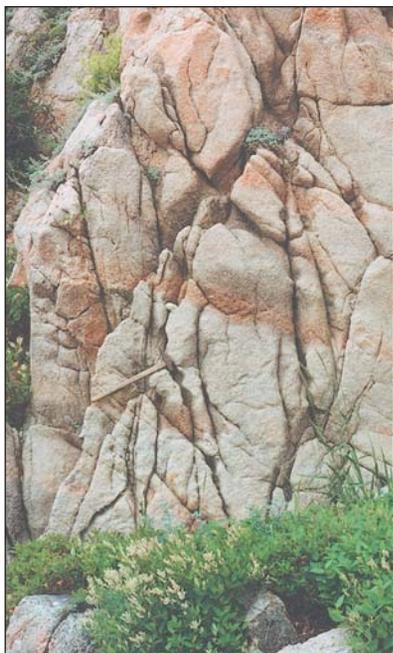
тел*, т.е. здесь, где происходило конвективное перемешивание расплава, наблюдается нормальная эволюция гранитного расплава, заканчивающаяся пегматитами.

Зона ритмичного расслоения проявляется в чередовании светлых (10—20 см) и темносерых (60—90 см) полос. Цвет их обусловлен соотношением участков с гранофировой или гранитной структурой и порфиризовидных выделений плагиоклаза. Размер и количество последних увеличивается в нижних частях ритмов. Количество плагиоклаза в светлых (верхних) частях ритмов 12—14 об.%, а в темных — 14—20 об.%. Содержание гранофировых кварц-калишпатовых сростков колеблется в светлых полосах от 81 до 84 об.%, а в темных — от 77 до 81 об.%. Количество биотита и роговой обманки в целом пропорционально объему кварц-полевошпатовых сростков. Содержание кварца в графических сростках из светлых полос более низкое (30—40) по сравнению со сростками из темно-серых полос (44—45 об.%).

Состав плагиоклаза в ядрах зональных кристаллов из светлых полос более кислый (An_{35-36}), чем из темно-серых (An_{42-44}), и размер зерен заметно меньше (0,5—1,0 мм и 1,0—2,5 мм соответственно), что свидетельствует о некоторой сортировке зерен плагиоклаза в процессе кристаллизации полосчатых гранитов.

Наблюдаемые закономерности такого ритмического расслоения можно объяснить периодическим поступлением к кровле магматической камеры конвективных потоков со взвешенными кристаллами более основного плагиоклаза, выделившимися у подошвы камеры, и последующим оседанием и накоплением крупных зерен этого плагиоклаза в основании оче-

* Аплиты — жильные, очень светлые кислые равномерно-мелкозернистые породы; пегматиты — неравномерно-зернистые, крупно- и даже гигантозернистые породы, часто с характерной графической структурой.



Полосчатые граниты, окрашенные процессами химического выветривания.

редного слоя. Происходящая при этом потеря тепла и, вероятно, летучих компонентов способствовала массовой кристаллизации кварц-калишпат-биотитовой минеральной ассоциации. Периодическое поступление к кровле новых потоков приводило к появлению ритмически повторяющихся слоев.

Спустя 35 лет мне удалось побывать на этих обнажениях. Фотографировать ритмично-расчлененные граниты всегда было трудно. Полосы отличались друг от друга лишь едва заметным оттенком. И вдруг я обнаруживаю, что в большинстве скалистых обнажений полосы с преобладанием кварц-калишпатовых гранофировых сростков окрашены в розово-бурый цвет, подобно тому, как происходит при искусственном окрашивании шлифов для диагностики полевых шпатов. В других гранитных интрузивах побережья столь интенсивного химического выветривания не наблюдалось. Остается предположить, что Опричинский массив более сильно «по-

страдал» из-за близости Дальнегорского химического комбината, который расположен всего в 30–40 км.

Флюидно-магматическое расслоение

Именно в результате такого процесса могли возникнуть микрогранодиоритовые включения (автолиты). Подобные образования типичны для малоглубинных интрузивов различных регионов и встречаются в разных породах — от диоритов до гранитов и аплит-пегматитовых даек. Наиболее широко автолиты развиты в начальных фазах интрузивов и образуют в них одиночные выделения или скопления, многократно повторяющиеся в обнажениях (Опричинский массив), а иногда слагают целиком некоторые фации пород (Валентиновский и Опричинский массивы), тяготея в основном к приконтактному частям интрузивов.

Включения всегда имеют массивную текстуру, но обладают большей пористостью (2.8–2.9%) и магнитностью (магнитной восприимчивостью, $1100–1200 \cdot 10^{-5}$ в ед. СИ), чем вмещающие их породы (1% и $500–750 \cdot 10^{-5}$ в ед. СИ). Они обладают магматической структурой, характерной только для них, образованной удлиненными призмами плаггиоклазов (иногда с роговой обманкой). Промежутки между ними заполнены кварцем, каликатровым полевым шпатом и биотитом. Иногда плаггиоклаз ориентирован вдоль контакта капли-включения. Включения нередко зональные: краевая часть — мелкозернистая, а центральная — среднезернистая.

В одном обнажении наблюдались включения различного состава и размера, но в целом выдерживается закономерность — среднезернистые включения более основные и крупные по сравнению с мелкозернистыми. В гранитах автолиты больше по

размеру, чем в гранодиоритах и диоритах. Всегда сохраняется более высокое содержание $\Sigma(\text{CaO}+\text{MgO}+\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O})$ и относительно меньшее SiO_2 и K_2O .

Минеральный состав их довольно однообразен. Зональный плаггиоклаз составляет от 40–50 до 70% объема породы, кварц — 10–20%, калишпат — 1–3% (иногда до 17% во включениях с микросферолитовой структурой), биотит от 4–5 до 20% и роговая обманка от 3–5 до 10%. По сравнению с вмещающими гранитами, они обогащены апатитом, магнетитом, сфеном и ортитом. Плаггиоклазы представлены резкоаномальными кристаллами с низкопорядоченной структурой и более высоким содержанием K_2O и BaO по сравнению с плаггиоклазами вмещающих пород.

Все особенности включений и, прежде всего, зависимость их состава от состава вмещающих («цементирующих») пород, положения внутри массива и его глубины, а также сходство структурного облика включений из разных пород и отсут-



Зональное включение в гранодиоритах Бринеровского массива.

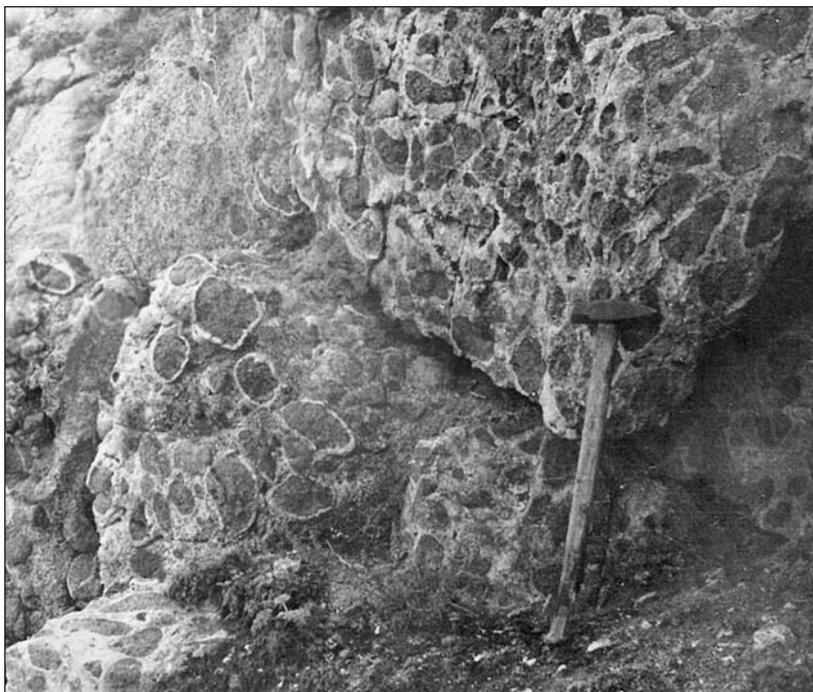
вие таких структур в породах подобного состава, но из геологических тел другой формы, свидетельствуют о их образовании на месте своего нахождения (*in situ*) в результате закономерного процесса, происходящего в расплавах различного состава (от диоритового до аплит-пегматитового).

Вопрос о происхождении включений до сих пор остается дискуссионным. Одни исследователи относят их к автолитам, т.е. продуктам эволюции той же магмы, что и вмещающие граниты (но по-разному определяя время их появления — на ранних или поздних стадиях кристаллизации гранитоидов). Другие рассматривают их как ксенолиты глубинных пород или обломки ранней фазы. Третья группа исследователей считает их результатом смешения расплавов разного состава [3, 8–10].

По мнению автора, наиболее полно особенности этих образований объясняются флюидно-магматическим расслоением расплава на две жидкости. Такому процессу могло способствовать резкое изменение скорости течения, сопровождающееся явлениями, подобными кавитации.

Диффузионно-магматическая дифференциация

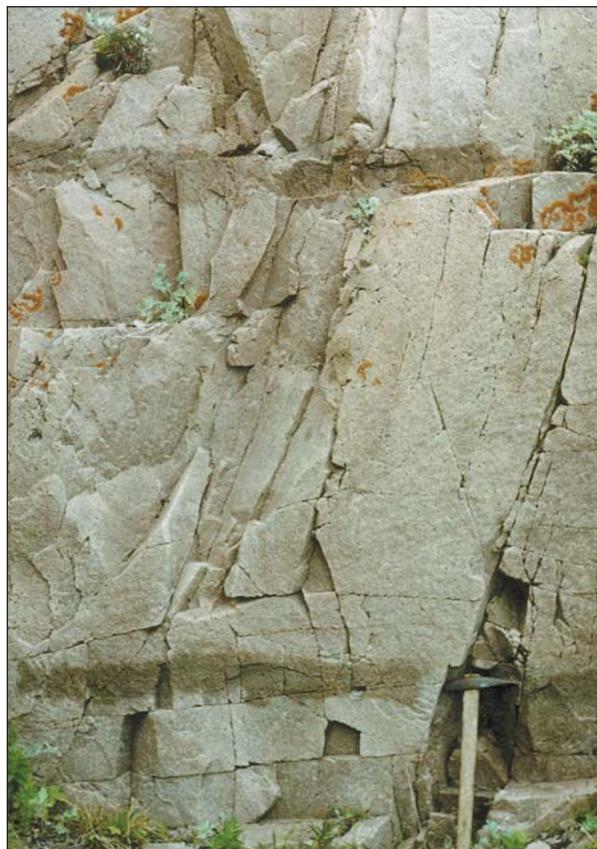
При кристаллизации расплавов и растворов сложного состава неизбежно возникает конвекция. В большинстве случаев она играет роль гомогенизирующего фактора, но при определенном режиме скоростей остывания и кристаллизации способна привести к контрастному разделению компонентов. Чаще это происходит в прикровлевых или придонных участках интрузивных тел. Конвекция всегда сопровождается диффузией и известна в гидродинамике под названием «двойной диффузионной конвекции», или «*d-d* эффекта».



Включения с белой каймой: в диоритах Опричинского массива (вверху) и гранодиоритах Успенского массива.

На возможность двойной диффузионной конвекции в магматической камере, вызванной градиентами концентраций компонентов, указывали С.Чен и Дж.Тернер [11]. Наиболее быстрые (т.е. обладающие наибольшими коэффициентами диффузии) — это Na_2O , K_2O

и H_2O . Подвижность остальных ингредиентов на полтора-два порядка ниже. Учитывая такую различную подвижность компонентов, представляется вполне реальным концентрационное гидродинамическое расслоение магматических расплавов.



Ритмично-расслоенные граниты Бринеровского массива. Справа — ритм крупным планом (для усиления контраста гранофировый слой смочен водой).

Подобного расслоения для кислых расплавов известно не было, и считалось, что оно вообще нереально из-за высокой вязкости гранитной магмы. Однако мне удалось наблюдать в апикальной части турмалин-содержащих гранитов Бринеровского массива расслоение, которое, возможно, имеет подобный механизм.

В 20–30 м от северного контакта с вмещающими туфолитами риолитов в двух скалистых мысах на протяжении 150–200 м обнажаются пологозалегающие зоны ритмично-расслоенных гранитов, в которых наблюдается до 10–14 ритмов. Каждый ритм состоит из серой полосы шириной 10–15 см, сменяющейся светло-серой полосой шириной 100–140 см. В более темных полосах преобладает гранофировая структура основ-

ной массы, а в светло-серых — аплитовая. Прожилки с турмалином пересекают всю полосчатую зону. Гранофировые слои по сравнению с аплитовыми обеднены флюидной фазой, но обогащены (FeO+Fe₂O₃) и содержат обогащенный магнием и фтором биотит.

Таким образом, благодаря резкому термическому градиенту в условиях малых глубин в приконтактных частях интрузивов могут возникать условия для протекания процесса, подобного двойной диффузионной конвекции, которая приводит к формированию в расплаве субгоризонтальных ячеек с различным содержанием H₂O и (FeO+Fe₂O₃). При кристаллизации этого расслоенного расплава формируется порода с различной структурой. Из обедненного водой расплава образуют-

ся гранофировые слои, из обогащенного — аплитовые горизонты. Через гранофировые слои осуществляется диффузионный массообмен между ячейками, и, видимо, поэтому в них накапливаются наименее подвижные в гранитном расплаве окислы железа.

Дифференциация остаточных расплавов

Дифференциация остаточных расплавов, богатых летучими компонентами, вызывает образование дайкообразных ритмично-слоистых гранодиоритов и аплит-пегматитов. При пологом залегании жилы аплитов формируются в лежачем боку, а пегматитов с гнездами темноцветных минералов — в висячем. В крутопадающих телах

гнезда темноцветных минералов и пегматитов ориентированы перпендикулярно контактам тел. Во вмещающих гранитах пологие и крутопадающие тела сопровождаются веером меланократовых (темных) полос, между которыми наблюдаются гранодиоритовые включения диаметром в несколько сантиметров, аналогичные автолитам. Мощность аплит-пегматитовых образований колеблется от 0,5 до 1,5 м, протяженность составляет десятки метров. Наиболее широко они развиты в Ольгинском, Владимирском и Валентиновском массивах.

Вдоль берега моря, южнее мыса Баратынского, в гранитах Владимирского массива встречено дайкообразное тело ритмично-слоистых гранодиоритов протяженностью более 900 м при мощности от 0,5 до 5 м. Полосчатая текстура обусловлена неравномерным распределением в породе плагиоклаза и биотита, роговой обманки и магнетита. Полосы шириной от 1 до 5 см расположены практически параллельно друг другу. Зона венчается пегматитовой полосой мощностью 10–15 см.

Содержание темноцветных минералов во вмещающих гранитах ~3%, между полосами — 5–9%, а в самих полосах — от 9 до 21%. Количество плагиоклаза и кварца взаимосвязано: увеличение одного сопровождается уменьшением другого.

Образование этого ритмично-расслоенного тела гранодиоритов, вероятно, подобно образованию расслоенных силлов [4], в которых дифференциация зависит от двух процессов: осаждения ранее образовавшихся кристаллов, уже присутствовавших к моменту становления тела (к ним, возможно, относятся наиболее основные плагиоклазы An_{52}), и кристаллизационной дифференциацией, обусловленной ростом кристаллов у контактов тела (преимущественно снизу вверх). Остаточный расплав, богатый лету-



Зона с меланократовыми (темными) полосами на контакте гранодиоритов и гранитов (вблизи мыса Маневского, Ольгинский массив).

чими компонентами, был выдвинут (отжат) на место кристаллизации — в ослабленную зону вдоль трещин в гранитном массиве. Скорость охлаждения тела при этом должна быть относительно высокой, а кристаллизация происходит в условиях неполного равновесия из слегка переохлажденной магмы без конвективного перемешивания, так как возникновение конвективных ячеек с гораздо большими горизонтальными, чем вертикальными размерами, маловероятно [4].

Понижение основности ядер зональных кристаллов плагиоклазов из меланократовых полос от контактов к центру ритмично-расслоенного тела свидетельствует о том, что кристаллизация расплава шла от внешних частей к внутренним с выделения плагиоклаза (An_{52-46}) и роговой обманки, на образование которых расходовались Ca, Na, Mg и некоторое количество Fe. Так формировались меланократовые полосы. Расплав при этом обогащался Si, K, Fe и начиналась кристаллизация более кислого плагиоклаза



Фрагмент (верхняя часть) ритмично-слоистой интрузии гранодиоритов (Владимирский массив).

(An_{32-35}), каликатрового полевого шпата, биотита и кварца, приводящая к образованию светлых (лейкократовых) полос. Вследствие выделения скрытой теплоты кристаллизации процесс на время приостанавливал-

ся, а затем начинался снова с выделения плагиоклаз (An_{42})-роговообманковой ассоциации меланократовой полосы следующего ритма. Затем кристаллизация очередной порции расплава, прилегающей к закристаллизованной части, прекращалась из-за выделения скрытой теплоты кристаллизации, и т.д. Каждый следующий ритм содержал все более кислые пла-

гиоклазы и все менее основные лейкократовые полосы.

* * *

Таким образом, в отличие от приведенных в литературе многочисленных примеров расслоения гранитных расплавов, выражающихся в основном в распределении темноцветных минералов, в гранитоидах Прибрежной зоны Приморья наблю-

даются разнообразные виды расслоения, представляющие собой результат широкого спектра процессов внутрикамерной дифференциации первоначально гомогенного расплава. Распространенность процессов расслоения в интрузивах Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса превращает эту зону в уникальный объект — провинцию расслоенных гранитов. ■

Литература

1. *Фаворская М.А.* Верхнемеловой и кайнозойский магматизм восточного склона Сихотэ-Алиня // Тр. ИГЕМ. 1956. Вып.7.
2. *Шитулин Ф.К.* Интрузивные породы юго-восточного Приморья и связь с ними оруденения // Тр. ИГЕМ. 1957. Вып.3.
3. *Попов В.С.* // Записки ВМО. 1986. Ч.115. Вып.3. С.311—325.
4. *Уэйджер Л., Браун Г.* Расслоенные изверженные породы. М., 1970.
5. *Амшинский И.Н.* Вертикальная петрохимическая зональность гранитных плутонов (на примере Алтая) // Тр. СНИИГГ и МС. 1973. Вып.158.
6. *Повилайтис М.М.* Ритмично-расслоенные гранитные интрузии и оруденение. М., 1990.
7. *Валу́й Г.А.* // ДАН СССР. 1983. Т.271. №2. С.420—425.
8. *Валу́й Г.А.* Полевые шпаты и условия кристаллизации гранитоидов. М., 1979.
9. *Валу́й Г.А., Стрижкова А.А.* Петрология малоглубинных гранитоидов на примере Дальнегорского района (Приморье). Владивосток, 1997.
10. *Ферштатер Г.Б., Бородин Н.С.* // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1976. №2. С.36—48.
11. *Симакин А.Г., Эпельбаум М.Б., Жиранская О.Н.* О гидродинамическом расслоении при кристаллизации интрузивов // Очерки физико-химической петрологии. М., 1985. С.166—184.

От редакции

Изученные Г.А.Валу́й ритмично-расслоенные граниты восточного побережья Приморья несомненно представляют значительный интерес. Автор совершенно права, указывая на редкость подобных явлений в гранитах. Пожалуй, в отечественной литературе достаточно известны только массивы в Казахстане, подробно описанные в свое время М.М.Повилайтис. Интересно также, что в мире есть районы, где обычно не проявляющие расслоенности массивы горных пород почему-то вдруг все оказываются расслоенными. Именно таким местом оказалось восточное побережье Приморья. На сегодняшний день трудно найти ясный физико-химический механизм (или механизмы) формирования ритмической расслоенности, но всестороннее описание подобных массивов совершенно необходимо. В статье приведены подробные материалы, характеризующие особенности строения таких гранитоидов; они иллюстрированы прекрасными фотографиями, позволяющими читателям составить свое мнение об этих очень интересных объектах. Надо сказать, что сложность и многообразие взаимоотношений пород в этих горных массивах заставило автора обратиться к целому спектру возможных механизмов формирования расслоенности, в том числе весьма проблематичным с физико-химической точки зрения (флюидному расщеплению расплавов, кавитации, периодически возникающим течениям, диффузионно контролируемым процессам). Доказать реальность каждого конкретного механизма нам не удастся. Но, по-видимому, столкнувшись с очень интересными и красивыми явлениями, происходящими в природе, невозможно удержаться от желания как-то их понять. Поэтому, считая интерпретации автора в высшей степени гипотетическими, мы решили оставить их на суд читателей, поскольку без этих предположений фактический материал, сам по себе очень яркий, трудно представить в систематическом и сжатом виде.

Заместитель главного редактора,
доктор геолого-минералогических наук
А.А.Ярошевский