

В. А. ХВОСТОВА, К. М. ФЕОДОТЬЕВ

## АНДАЛУЗИТ В ПЕГМАТИТАХ ВОСТОЧНЫХ САЯН

Андалузит — минерал преимущественно контактово-метаморфических пород. Менее распространены крупные скопления андалузита, возникающие в процессе переработки кварцевых порфиров гидротермами (вторичные кварциты). В пегматитах же он встречается редко. Так, например, андалузит был обнаружен в пегматитах Средней Азии, залегающих в сланцах верховья р. Сох (Гаврусевич, 1932), в пегматитах северо-восточной части Сьерра-Невады (Калифорния) (Macdonald, Merriam, 1938), в пегматитах, залегающих в кианито-слюдистых сланцах на Урале (Кейльман, 1955).

Мы обнаружили андалузит в одной из пегматитовых жил правого склона долины ключа Красного в Восточных Саянах.

Участок, прилегающий к жиле, сложен верхнепротерозойскими кварцево-биотитовыми, амфиболовыми и андалузитовыми сланцами.

Кварцево-биотитовые сланцы мелкозернистые, от темно-серого до почти черного цвета, имеют лепидогранобластическую структуру и состоят из кварца (65%), биотита (33%) и акцессорных минералов (2%) турмалина, граната, апатита, циркона, эпидота и рудных.

На контакте с пегматитами сланцы приобретают плотное сложение и в них в заметных количествах появляются турмалин, апатит и мусковит.

Амфиболовые сланцы широкого распространения на участке не имеют, они в виде линз или полос залегают в кварцево-биотитовых разностях и обычно состоят из кварца, биотита, обыкновенной роговой обманки и гольмквистита. Акцессорные минералы представлены цирконом, цоизитом, апатитом и рудными.

Андалузитовые сланцы наблюдаются в виде небольших выходов, приуроченных к контактными частям гранитной интрузии, и иногда в виде глыбовых осей встречаются среди кварцево-биотитовых сланцев. В составе их: андалузит (15%), кварц (55%), биотит (30%) и акцессорные — циркон, апатит, гранат. Порода темно-серого и черного цвета, обладает плейчатой или узловатой текстурой, обусловленной скоплениями андалузита.

На описываемом участке обнаружено около пяти пегматитовых жил, в одной из которых встречен андалузит. Жила залегают в кварцево-биотитовых сланцах. Контакт очень четкий и ровный. На контакте со сланцами располагается кварцево-турмалиновая оторочка, состоящая из мелкозернистого серого кварца (70%) и коричневатого бурого турмалина (30%), кристаллы которого размером до 2—3 мм ориентированы перпендикулярно контакту. Дальше к центру жилы наблюдается кварцево-мусковитовая оторочка мощностью в 1 см, представленная кварцем



Рис. 1. Реликты андалузита (АН) в мусковите (М)

(70%) и мелкочешуйчатым мусковитом (30%). Остальная видимая часть жилы размером 0,5 м сложена кварцем, мусковитом и незначительным количеством альбита. Акцессорные минералы в ней представлены андалузитом, составляющим до 1%, черным турмалином и касситеритом.

Андалузит приурочен к приконтактовой части пегматита, где он образует округлые и неправильные выделения размером до 0,5 см, мелкую вкрапленность, реже вытянутые таблитчатые кристаллы размером до 1 см в длину и 0,6 см в поперечнике. Цвет минерала розовый. Кристаллы полупрозрачные до непрозрачных. Удельный вес 3,15, твердость 7,  $-2V = 87^\circ$ . Удлинение отрицательное, плеохроизм отсутствует.  $N_g = 1,650$ ,  $N_p = 1,642$ ;  $N_g - N_p = 0,008$ . Андалузит разбит сетью тонких трещинок, выполненных мелкочешуйчатым мусковитом, который также развивается на поверхности андалузитовых кристаллов и разбивает их. В ряде случаев наблюдались реликты андалузита в мусковите (рис. 1).

Химический состав андалузита представлен в табл. 1

Формула этого андалузита:  $Al_{1,88} [Si_{1,08}O_5]$  близка к теоретической.

Спектральным анализом обнаружены слабые линии лития, германия, стронция, олова, ванадия, хрома, меди и титана, средние линии марганца и галлия.

Генезис андалузита в пегматитах трактовался по-разному. Мельхазе (Melhase, 1925) считает, что андалузитовые массы образуются в результате перекристаллизации ксенолитов боковых пород (сланцев), захваченных порфиром. Кнопф (Knopf, 1917) связывает андалузитовые образования с пневматолитической переработкой порфиров под воздействием гранитных интрузий. К. Н. Озеров (1933) образование андалузитов в кварцитах Семиз-Бугу относит за счет воздействия флюидов на плевощпатовую часть порфиров. Флюиды растворяли полевые шпаты и по мере понижения температуры переотлагали его составные части в виде андалузита и кварца.

Макдональд и Мерриам (Macdonald, Merriam, 1938) считают, что андалузит является высокотемпературным минералом, образовавшимся в

пегматите после кристаллизации кварца и полевого шпата, из пневматолитового раствора, содержащего избыточное количество алюминия и кремния при недостаточном количестве щелочей.

В Восточных Саянах, как уже было сказано, андалузит находится в пегматитовой жиле среди кварца и мусковита. Полевой шпат почти

Таблица 1

## Химический состав андалузита из пегматитовой жилы

Компоненты	Вес. %	Молекулярные количества	Атомное количество кислорода	Атомное количество катионов	Число атомов катионов
SiO <sub>2</sub>	39,85	663	1326	663	1,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	58,58	574	1722	1148	1,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40	2	6	4	0,006
CaO	0,36	6	6	6	0,01
Потери при прокаливании	0,50	—	—	—	—
Сумма	99,69	—	3060	—	—

Аналитик М. Е. Казакова

отсутствует. Это показывает, что обстановка при кристаллизации этой жилы была не совсем обычная для пегматитов.

Интересно рассмотреть возможные варианты образования андалузита в пегматитовой жиле Восточных Саян. Естественно предполагать, что кристаллизация андалузита происходит из расплава, измененного под воздействием боковых пород, в частности при растворении кварцево-биотитовых сланцев в пегматитовом расплаве.

Для этого мы подсчитали химический состав пегматитовой породы — среднее из 18 анализов пегматита, взятых из сборников анализов (Немова, 1930; Струве, 1940). Полученные данные приведены в табл. 2. Там же приведен состав кварцево-биотитового сланца, определенный путем количественно-минералогического подсчета шлифа.

Таблица 2

## Химический состав пегматита и кварцево-биотитового сланца, в вес. %

Компоненты	Пегматит (среднее из 18 анализов)	Кварцево-биотитовый сланец (по минералогическому подсчету)	Компоненты	Пегматит (среднее из 18 анализов)	Кварцево-биотитовый сланец (по минералогическому подсчету)
SiO <sub>2</sub>	73,45	81,79	MgO	0,16	4,82
TiO <sub>2</sub>	0,09	—	CaO	0,68	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,52	3,37	Na <sub>2</sub> O	3,32	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,33	—	K <sub>2</sub> O	5,92	3,12
FeO	0,37	5,74	H <sub>2</sub> O	0,11	1,16
MnO	0,5	—			

В сокращенном виде данные, приведенные в табл. 2, помещены на диаграмме (рис. 2). Они наглядно показывают, что контаминация расплава может незначительно обогатить его железом и щелочными землями.

В то же время расплав будет обеднен в значительной степени глиноземом и в меньшей степени щелочами. Следовательно, контаминация пегматитового расплава за счет ксенолитов кварцево-биотитовых сланцев не может привести к обогащению его глиноземом и одновременному обеднению щелочами, а следовательно, этот процесс не может привести к описанным выше результатам.

Рассмотрение диаграмм состояния систем  $K_2O-Al_2O_3-SiO_2$ ,  $Na_2O-Al_2O_3-SiO_2$ ,  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$  (Белянкин, Лапин, Торопов, 1954) приводит нас к заключению, что андалузит не может образоваться при значительном содержании щелочей и глинозема в расплаве. В этих условиях

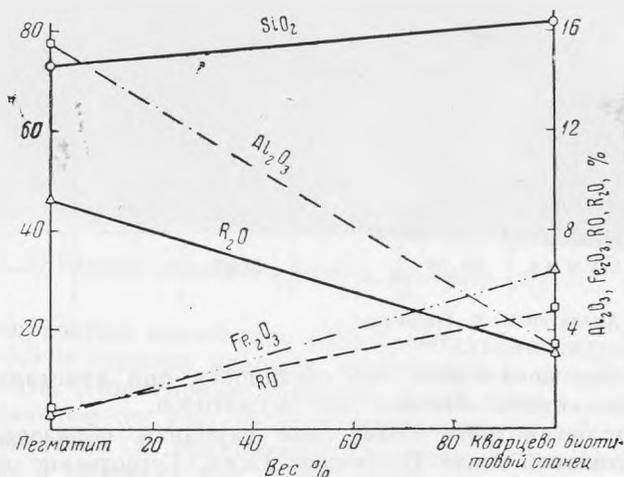


Рис. 2. Диаграмма химических составов смесей пегматита и кварцево-биотитового сланца

устойчивы только щелочные алюмосиликаты (полевые шпаты, калиофиллит, нефелин, жадеит, лейцит). В расплавах, содержащих магний и обедненных щелочами, имеется возможность кристаллизации андалузита, но в случае значительного обогащения этих расплавов алюминием.

Из сказанного можно сделать заключение, что и в наблюдавшемся на Восточных Саянах случае кристаллизации андалузита имело место обогащение расплава алюминием за счет обеднения щелочами и кремнием. По-видимому, в одной из жил произошел еще в пневматолитовой фазе вынос щелочей и кремния (их перераспределение). В связи с этим процесс кристаллизации пошел необычным путем, в результате чего и появился андалузит.

Эти теоретические данные хорошо подтверждаются фактами: в жиле с андалузитом почти отсутствует полевой шпат, мусковит является более поздним, по-видимому, наложенным в гидротермальную фазу.

Разъединение андалузита связано с привнесением щелочей в более позднюю фазу. Это отразилось на сохранности минерала. За счет андалузита стал образовываться мелкочешуйчатый мусковит как на поверхности его кристаллов, так и в виде тонких прожилков по трещинам в андалузите.

Образование андалузита, следовательно, указывает на вынос щелочей из расплава до момента его кристаллизации. Наблюдаемое явление подтверждает высказывания А. Е. Ферсмана (1940) о возможности деси-

ликация расплава в магматическую стадию. Кроме того, наши исследования подтверждают предположение о выносе щелочей из расплава в эту же стадию. Для высокотемпературной стадии пегматитового процесса такое направление миграции щелочей наблюдается редко, поэтому описанный случай не лишен интереса.

## ЛИТЕРАТУРА

- Белянкин Д. С., Лапин В. В., Торопов Н. А. Физико-химические системы силикатной технологии. М., Промстройиздат, 1954.
- Гаврусевич Б. А. О пегматитах гранитной магмы верховьев реки Сох.—Труды Таджикско-Памирск. экспед., вып. 4, 1932.
- Рейльман К. А. Киванит и андалузит из окрестностей Синара. В кн.: «Научные работы студентов», сб. 1. Изд-во Свердл. горн. ин-та, 1955.
- Немова З. Н. Сборник анализов русских изверженных и метаморфических горных пород.—Труды Геол. комитета, новая серия, вып. 186, 1930.
- Озеров К. Н. К генезису месторождения корунда и андалузита Семиз-Бугу (Каз. ССР) и вмещающих его вторичных кварцитов.—Проблемы сов. геол., 2, № 8, 1933.
- Струве Э. А. Сборник анализов изверженных и метаморфических пород СССР. Изд-во АН СССР, 1940.
- Ферсман А. Е. Пегматиты, т. I. Изд-во АН СССР, 1940.
- Macdonald G. A., Merriam R. Andalusite in pegmatite from Fresno County, California.—Amer. Mineralogist, 23, N 9, 1938.
- Melhase J. Andalusite in California with other rare minerals, it has now become of commercial importance.—Eng. a. Min. Journ., Press., 120, № 3, 1925.
- Knopf A. Andalusite mass in the pre-cambrian of the Inyo Range, California.—Journ. Wash. Acad. Sci., 18, № 7, 1917.