

П.С. Козлов

**КРУПНОПОРФИРОБЛАСТИЧЕСКИЙ АНДАЛУЗИТ  
ИЗ ГРАНАТ-СТАВРОЛИТОВЫХ СЛАНЦЕВ АННЕНСКОГО  
И КУМАКСКОГО МЕТАМОРФИЧЕСКИХ  
КОМПЛЕКСОВ ЮЖНОГО УРАЛА**

Андалузит – один из важнейших полиморфов  $Al_2SiO_5$ , используемый для реконструкции P-T условий метаморфизма метапелитов и геодинамических обстановок в земной коре. На Урале андалузит описан Г. Розе, Г.Н. Вертушковым, А.А. Ливановым, В.П. Логиновым и другими исследователями преимущественно из кварцевых жил, пегматитов, вторичных алюмосилицитов и роговиков [Юшкин, Иванов, Попов, 1986 и др.]. Публикаций, касающихся порфиробластического андалузита в регионально-метаморфических толщах Урала, в петрологической литературе не встречено.

В статье приводятся предварительные результаты первых петрографических исследований андалузитсодержащих гранат-ставролитовых кристаллических сланцев по материалам полевых работ лаборатории метаморфизма в июне-июле 2001 года, проведен-

ных в районах с. Анненское (Челябинская область) и пос. Кумак (Оренбургская область). Названия метаморфических комплексов приняты по А.И. Русину, которым они относятся к верхнепалеозойским орогенным комплексам Восточно-Уральского поднятия.

*Анненский метаморфический комплекс.* Ключевые обнажения находятся в 1,5 км восточнее с. Анненское, на левом берегу р. Карталы-Аят, у плотины. Кристаллические сланцы здесь вскрыты небольшим карьером (100x100 м). Обнажения сланцев представляют собой элювий и редкие небольшие коренные выходы, по которым можно судить о субмеридиональном простирании сланцеватости и сравнительно небольших (20–30°) углах падения на восток. В 3,5 км вниз по течению в левобережье реки вскрываются аналогичные гранат-ставролитовые, с андалузитом, сланцы, чередующиеся с темно-се-

рыми кварц-полевошпат-биотитовыми, с гранатом, сланцами. Судя по полосчатости и согласной с ней сланцеватости, залегание сланцев субгоризонтальное. В пределах этих участков сланцы имеют одинаковый минеральный состав и текстурно-структурный облик. На плоскостях сколов вдоль сланцеватости в них проявлены линейно вытянутые порфиробласты, образующие нередко положительные формы псевдоквадратного и линзовидного сечений.

Визуально двуслюдяные гранат-ставролитовые кристаллические сланцы представляют собой блестящие прямолинейно-тонкополосчатые, тонкоплитчатые метapelиты с чередованием меланократовых, преимущественно биотитовых, с гранатом и ставролитом, полосок, мощностью 2–5 мм, и лейкократовых кварц-мусковитовых, с отчетливо видимыми на плоскостях сланцеватости призмами (5–8 мм) и гломеропорфиробластами (до 12 мм) ставролита черного цвета. В разрезах поперечных к полосчатости и сланцеватости хорошо видны порфиробласты красновато-розового граната (2 мм) и ставролита (до 3 мм). Содержание их не превышает 1%. При осмотре штуфов было обращено внимание на сравнительно редко встречаемую крупнопятнистую линзовидную текстуру сланцев с выделениями серого и темно-серого цвета. В продольном сечении они представляют собой призмы с завальцованными клинообразными вершинами. Размеры порфиробластов по удлинению до 3 см, в поперечнике они имеют квад-

ратные и ромбовидные сечения (от 6х6 мм до 25х25 мм) (рис. 1). Структура типа «песочных часов» в темноокрашенных (вероятно с графитом) полосках позволила отнести данные порфиробласты к андалузиту. В полосках кварц-мусковитового состава форма порфиробластов андалузита в поперечных сечениях отчетливо линзовидная (3х5 мм) со срезанными сланцеватостью ребрами кристаллов. В связи с этим поперечные сечения некоторых порфиробластов имеют ярко выраженный линзовидный (8х15, 10х20 и 20х35 мм,) облик с ориентировкой вдоль полосчатости, свидетельствующей о проявлении поздних тектонических деформаций.

Под микроскопом установлены следующие прогрессивные минеральные ассоциации: Кв+Пл+Му+ Би+Хл+Гр+Ст+Ан±Ту (10 шлифов), Кв+Пл+Му+Би+Гр+Ст+Ан+Сил (1 шлиф). Вторичные минералы представлены парагенезисом хлорита с белыми слюдами: Хл+ Му (Сер)+рудн., Хл+Му, Хл+Пироф(?) (11 шлифов). Основная ткань сланцев имеет тонкополосчатую текстуру, обусловленную неравномерным распределением мусковита и биотита с хлоритом. Светлые полосы преимущественно состоят из мелкозернистого кварца с примесью плагиоклаза и мусковита и имеют лепидогранобластовую структуру. В темноокрашенных – резко преобладает бурый биотит с подчиненным количеством мелких порфиробластов граната и ставролита, тяготеющих к этим полоскам (структура лепидобластовая,

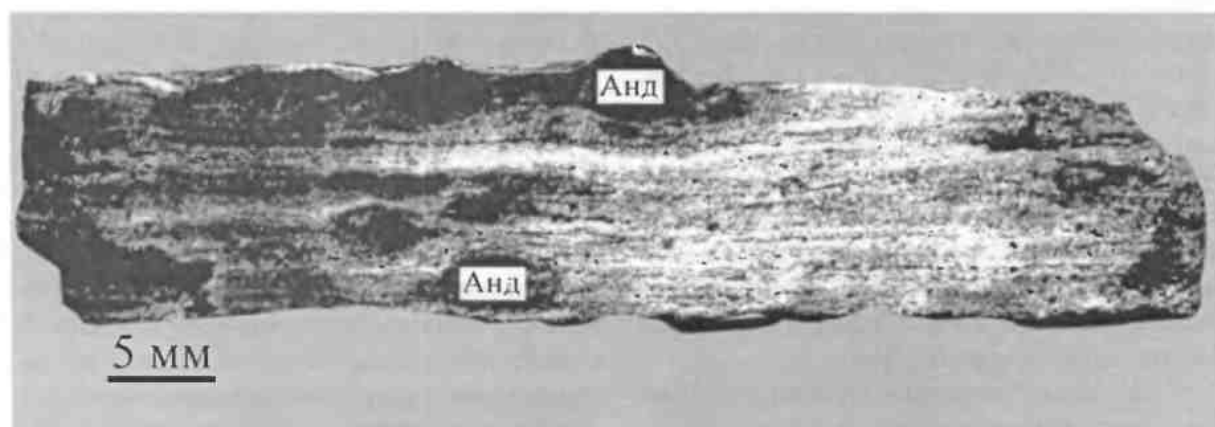


Рис. 1. Порфиробласты андалузита (поперечные сечения, обильно насыщенные графитом и биотитом) из гранат-ставролитовых тонкополосчатых сланцев.

Анненский метаморфический комплекс.

порфиробластовая). Мусковит, биотит и сосуществующий с ними хлорит обеспечивают по-роде сланцеватую текстуру.

Порфиробласты андалузита имеют отчетливо выраженную гелицитовую структуру, которая подчеркивается ориентировкой пластинчатого рудного минерала и слюд. Во всех сечениях, особенно в базальных, проявлена спайность под углом 90°. В составе включений в андалузите присутствуют минералы основной ткани – кварц, хлорит, графит, бласты ставролита и граната, неориентированные чешуи мусковита, биотита и хлорита свежего облика. Количество включений в некоторых порфиробластах достигает 20%, что затрудняет их диагностику. Распределение включений неравномерное.

Линзовидное строение порфиробластам придает ярко проявленная поздняя сланцеватость, которая сильно затушевывает первичную сланцеватость. Поздняя сланцеватость подчеркивается облеканием порфиробластов-линз андалузита мусковитом и биотитом, срезанием-закатыванием ребер кристаллов и проникновением сквозь последние кливажа-сланцеватости. В связи с этим некоторые порфиробласты имеют линзовидно-тонкополосчатое строение (рис. 2), где чередуются фрагменты деформированного андалузита с участками, представленными минералами основной ткани: кварцем, мусковитом, биотитом, хлоритом, гранатом, ставролитом. Поздняя сланцеватость здесь подчеркивается тонкими (до 0,2 мм), линейно ориентированными пластинками ильменита, развитыми по периферии пластин ан-

далузита и деформированных гломеропорфиробластов ставролита.

Силлиманит редок и тесно ассоциирует с биотитом и кварцем. В основной ткани он представлен спутанно-волокнуистым агрегатом тонкоигольчатого фибролита, мощностью до 1 мм, ориентированного вдоль полосчатости. Поздний характер силлиманита обнаруживается в периферии порфиробластов андалузита, где он развивается в виде тонких длиннопризматических игл (до 2 мм) вдоль вторичной трещиноватости- рассланцованности. В промежутках между разрывами кристаллов андалузита, кристаллы силлиманита зигзагообразно изогнуты, что свидетельствует об их синтетектоническом развитии.

Вторичные низкотемпературные изменения проявлены в развитии по периферии и по трещинам порфиробластов агрегата тонкочешуйчатого мусковита в ассоциации с хлоритом. В участках диафтореза в ряде случаев отмечено псевдоморфное замещение порфиробластов этим агрегатом, что придает кристаллам грязновато-зеленый цвет. В одном случае зафиксировано развитие каймы (2 мм) белой мелкочешуйчатой слюды по периферии розовых кристаллов андалузита (размером в поперечном сечении 7x7 мм), расположенных в хвостовой части ильменит-кварц-полевошпатовых будин. Возможно, что вторичный минерал представлен пирофиллитом(?), образование которого можно подтвердить реакцией:  $\text{Анд} + \text{Кв} = \text{Пироф.}$

*Кумакский метаморфический комплекс.* Порфиробластический андалузит в двуслюдяных гранат-ставролитовых кристаллических

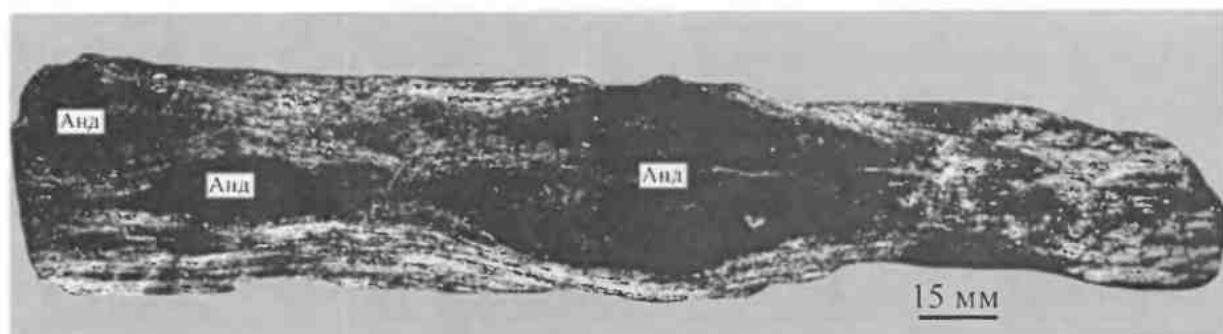


Рис. 2. Линзовидно-узловатое строение крупных тектонизированных порфиробластов андалузита в гранат-ставролитовых двуслюдяных кристаллических сланцах анненского метаморфического комплекса.

сланцах обнаружен в разрезе на правом берегу р. Кумак, приблизительно в 10 км западнее пос. Кумак. Зональность в данном разрезе характеризуется следующей очередностью смены индекс-минералов: Хл>Би>Гр>Ст>Анд. Внутри комплекса обнажены плагиогнейсы с инъекционными плагиомигматитами [Русин, 1979]. Андалузит в комплексе обнаружен внутри зоны ставролита в виде порфиробластов с квадратоподобными и ромбовидными сечениями (7x7мм) с длиннопризматическим (размер по удлинению до 4 см) габитусом кристаллов. В одном штупе при внимательном осмотре можно насчитать до 5 порфиробластов. Черный цвет порфиробластов обусловлен обилием включений чешуек биотита (до 1–2 мм), ориентированных поперек сланцеватости. В поперечном сечении слабо проявлена структура «песочных часов», обусловленная включениями темноцветных минералов по диагоналям кристаллов андалузита. Кристаллы граната (до 2 мм, иногда более) и ставролита (3–10 мм) сравнительно равномерно распределены по породе, их содержание в целом не превышает 1–3%. Ставролит дает хорошо выраженные двойники и гломеробласты.

Наиболее ярко выраженные крупные порфиробласты андалузита розового цвета обнаружены в глубоких частях зоны ставролита. Разрез кристаллических сланцев здесь характеризуется частым, усиливающимся в восточном направлении, чередованием плагиоклаз-биотитовых и биотит-амфиболовых сланцев с меланократовыми амфиболитами. Среди последних выявлен слой высокоглиноземистых сланцев (истинная мощность 2,5–3 м, аз.пад. 250–260°,

∠20–30°), который в средней части содержит прослой слюдистых апоаркозовых кварцитов (мощн. 0,2 м). Примерно в 20 см выше его кровли обнаружен горизонт высокоглиноземистых кристаллических сланцев (мощность около 10 см) с крупными выделениями розовых порфиробластов с размерами кристаллов 3x4 см в поперечнике и до 8 см по удлинению. Визуально кристаллы андалузита хорошо диагностируются по отблескам спайности и розовому цвету. Трудности в диагностике создает обилие включений минералов основной ткани (мусковит, биотит, хлорит), образующих гелицитовую структуру, и сильная деформированность кристаллов (рис. 3). Концевые грани призм имеют клиновидную форму, вследствие интенсивно проявленного, почти совпадающего с направлением переслаивания, кливажа-сланцеватости. Последний пересекает слоистость под углами 10–30°.

Под микроскопом в шлифах установлены минеральные ассоциации, аналогичные таковым в анненском метаморфическом комплексе: Кв+Пл+Му+Хл+Би+Гр+Ст±Ан+рудн (5 шлифов). Состав включений в андалузите также идентичен (Кв+Му+Би+Хл+Гр+Ст/реже/). В порфиробластах граната во включениях отмечается рудный тонкопластинчатый минерал, ориентированный перпендикулярно к позднему кливажу-сланцеватости. Вторичные изменения в сланцах выражены несколько слабее и представлены низкотемпературной ассоциацией: Му+Хл+рудн. Хлорит часто замещает биотит с образованием сагенита. В целом, минеральный состав основной ткани и порфиробласт-

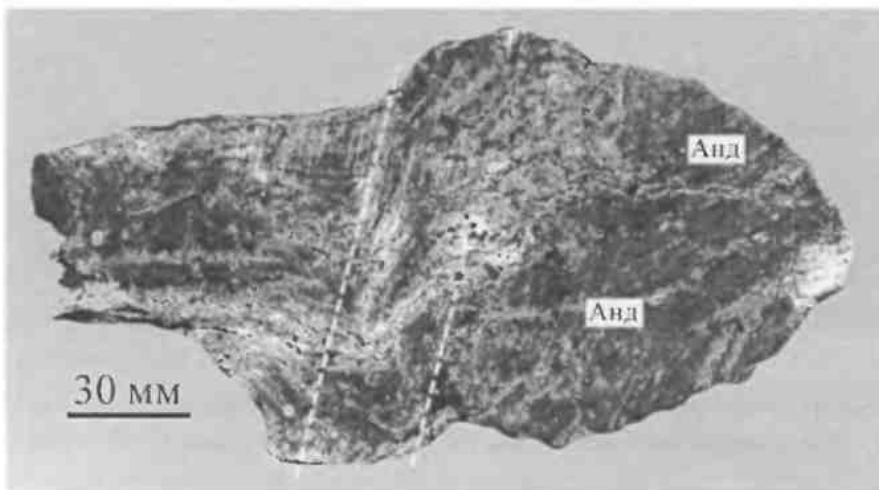


Рис. 3. Поперечное сечение крупного порфиробласта тектонизированного андалузита, осложненного более поздней трещиноватостью (обозначена пунктиром).

Кумакский метаморфический комплекс.



тических минералов, состав минералов-включений в них, а также текстурные и структурные особенности метапелитов кумакского метаморфического комплекса весьма близки к таковым в анненском комплексе.

*Обсуждение результатов.* В ходе полевых и петрографических исследований андалузитсодержащих гранат-ставролитовых двуслюдяных кристаллических сланцев устанавливается однотипность анненского и кумакского метаморфических комплексов с отнесением их к промежуточным по давлению комплексам андалузит-силлиманитового типа. Судя по минеральным ассоциациям исследуемые фрагменты метапелитов данных комплексов относятся к эпидот-амфиболитовой фации мусковит-ставролитовых сланцев [Добрецов, Соболев, Хлестов, 1972] или андалузит-биотит-ставролитовой субфации ставролитовой фации [Кориковский, 1979]. Позднее наложение силлиманита на андалузит в анненском комплексе свидетельствует о повышении температуры метаморфизма.

Низкотемпературные изменения метапелитов, хорошо диагностируемые по замещению биотита хлоритом и андалузита белыми слюдами ( $\pm$  хлорит), относятся к добиотитовой субфации [Кориковский, 1979]. Гидратация андалузита ( $\text{Анд} + \text{Кв} = \text{Пироф}$ ) позволяет оценить верхнюю температурную границу метаморфизма не выше 360–370°C.

По нашим наблюдениям весьма интересно развитие вторичного кливажа-сланцеватости, сопровождаемого образованием силлиманита по трещинам в краевых частях порфиروبластов андалузита, что свидетельствует о прогрессивной направленности и усилении температурного режима метаморфизма метапелитов. О поздних, наложенных, деформациях свидетельствуют также форма порфиروبластов андалузита (линзы в поперечнике, клиновидные ограничения по удлинению), следы деформаций

внутри порфиروبластов, ориентировка включений в гранате и др.

В заключение отметим, что крупнопорфиробластический андалузит в гранат-ставролитовых двуслюдяных кристаллических сланцах, как это видно на примере описываемых комплексов, по-видимому, достаточно распространен и может диагностироваться при картировании метапелитов. Теоретически его присутствие в мусковит-содержащих породах ставролитовой фации обосновывается реакцией  $\text{Ст} + \text{Хл} + \text{Му} = \text{Би} + \text{Анд} + \text{Кв} + \text{H}_2\text{O}$ . Как впервые отмечено С.П. Кориковским [1979], появление андалузита в ассоциации со ставролитом, хлоритом, мусковитом и кварцем является второй изоградой андалузита: «...кианит и андалузит образуются не позже, а гораздо раньше ставролита (за счет распада пиррофиллита) и отсутствие этих силикатов глинозема в ставролитовых зонах многих регионов мира связано всего лишь с отсутствием в их разрезах высокоглиноземистых метапелитов» (стр. 84). В связи с тем, что андалузит весьма чутко реагирует на изменение давлений ( $\text{Анд} > \text{Дист}$ ) при полевых исследованиях метапелитов в зоне ставролита весьма важно картировать участки проявления дислокационного метаморфизма в зонах разломов и надвигов, где вполне вероятно развитие дистена по андалузиту.

#### Список литературы

- Добрецов Н.Л., Соболев В.С., Хлестов В.В. Фации регионального метаморфизма умеренных давлений М.: Недра, 1972. 288 с.
- Кориковский С.П. Фации метаморфизма метапелитов. М.: Наука, 1979. 262 с.
- Русин А.И. Контрастные режимы метаморфизма Уральской эвгеосинклинали // Ежегодник-1979 ИГиГ. Свердловск. УНЦ АН СССР, 1980. С. 71–74.
- Юшкин Н.П., Иванов О.К., Попов В.А. Введение в топоминералогию Урала. М.: Наука, 1986. 294 с.