

ДЕФОРМАЦИИ МРАМОРОВ И ВРЕМЯ ОБРАЗОВАНИЯ РУБИНОВОЙ МИНЕРАЛИЗАЦИИ В МУРЗИНСКО-АДУЙСКОМ МЕТАМОРФИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ)

А.Ю. Кисин, А.А. Баталина, В.В. Мурзин

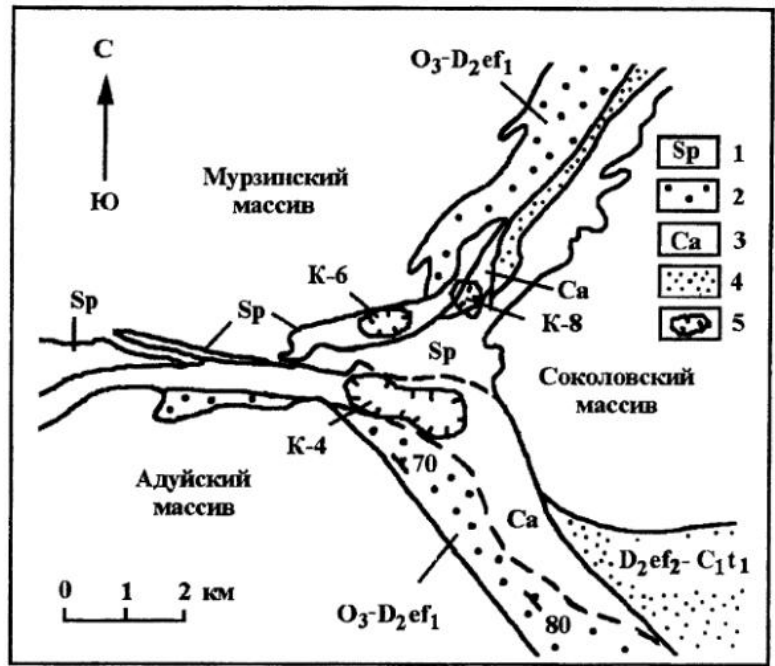
Промышленных месторождений рубинов ювелирного качества на Урале, как и в России в целом, пока не известно. По литературным данным, наиболее крупные месторождения высококачественных рубинов связаны с мраморами (Юго-Восточная Азия, Восточная Африка, Афганистан, Пакистан и др.). Несмотря на то, что по этим месторождениям имеется довольно много публикаций, геология их описана крайне слабо и не дает четких представлений о геологическом строении и генезисе. После открытия в 1979 году рубиновой минерализации в мраморах Кочкарского метаморфического комплекса на Южном Урале и разработки принципов ее прогнозирования [Кисин, 1991], аналогичная минерализация была установлена и в некоторых других метаморфических комплексах восточного склона Урала (в Мурзинско-Адуйском, Джабык-Карагайском и Суундукском) [Кисин, 1994]. На Липовском и Алабашском проявлениях рубина в Мурзинско-Адуй-

ском метаморфическом комплексе в последние годы были проведены специальные исследования, основные результаты которых излагаются в настоящей статье.

Мурзинско-Адуйский антиклинорий сложен глубокометаморфизованными породами (гнейсами, гранито-гнейсами, амфиболитами, кристаллическими сланцами, мраморами и т. п.) и гранитами. В центральной части структура имеет субширотный пережим, отделяющий северную часть (Мурзинский массив) от южной (Адуйский массив). Липовское проявление благородного корунда пространственно совпадает с одноименным месторождением силикатных никелевых руд и расположено в восточной части вышеупомянутого пережима (рис. 1). Возможно, этим объясняется весьма сложная разрывная тектоника участка. Месторождение никелевых руд отрабатывалось несколькими карьерами в течение почти 30 лет, благодаря чему отдельные участки толщи хорошо обнажены и

Рис. 1. Схематическая геологическая карта Липовского участка (по [В.В. Ведерников и др, 1986 г.] с упрощениями)

Условные обозначения: 1 – ультраосновные породы; 2 – терригенно-осадочные породы высоко метаморфизованные; 3 – мраморы; 4 – терригенно-осадочные породы; 5 – карьеры и их номера). Пояснения в тексте.



доступны для исследований. Здесь метаморфическое обрамление массивов представлено мощной (более 1 км) зоной мегамеланжа, состоящего из серпентинитов, мраморов, амфиболовых гнейсов, амфиболитов, гранитоидов и гидротермально-метасоматических образований. В западной части участка зона мегамеланжа разделяет массивы гранито-гнейсов, а к востоку расщепляется на две ветви, следуя контурам массивов. Широко развиты дайки гранитов и пегматитов, в том числе и миароловых с драгоценными камнями. Возраст пород обрамления условно отнесен к $O_3-D_2ef_1$, а гнейсов – к протерозою. Время проявления гранитоидного магматизма большинством исследователей оценивается верхним палеозоем [Ферштатер, 2001 и др.].

Рубиновая минерализация приурочена исключительно к мраморам, исследованию которых было уделено основное внимание. Мраморы образуют крупные линзы и блоки от первых десятков до нескольких сот метров шириной. По петрографическим признакам выделяются **рекристаллизованные** и **перекристаллизованные** мраморы. К **рекристаллизованным** отнесены светлые средне- крупнозернистые кальцитовые мраморы с характерной полигональнозернистой структурой, рассыпающиеся на отдельные зерна даже при небольшой нагрузке. Зерна кальцита прозрачные и, как правило, не несут признаков механических деформаций, хотя, как будет показано ниже, мраморы подверглись сильным деформациям и пластическому течению, вызвавших рекристаллизацию кальцита. Порода обладает вторичной, кристаллизационной, слоистостью (полосчатостью), обусловленной кливажом течения, разби-

вающим мрамор на плиты мощностью от 1-2 см до нескольких метров. Размер зерен кальцита, как правило, увеличивается к центральной части плиты. В обрамлении Мурзинского массива кливаж имеет азимут простираения 40° в карьере №6 Липовского месторождения (западный край обнажений) и $16-22^\circ$ в карьере №8 (1,5 км к востоку); угол падения $70-80^\circ$ ЮВ. В обрамлении Адуйского массива, в карьере №4 того же месторождения азимут простираения кливажа 280° и угол падения 80° СВ. Таким образом, трещины кливажа течения в плане субконформны границам гранито-гнейсовых массивов и, следовательно, генетически связаны с их становлением.

Перекристаллизованные мраморы образуют зоны среди рекристаллизованного мрамора, контролируемые трещинами кливажа и также имеют кальцитовый состав. Порода массивная, светлая до темной, средне- крупнозернистая, с характерной панидиобластовой структурой. Текстура породы нередко полосчатая, обусловленная распределением акцессорной минерализации (слюды, амфиболы, диопсид и др.), фиксирующей “залеченные” трещины кливажа. В большинстве случаев границы зон перекристаллизации выражены неотчетливо. Судя по приведенным признакам, перекристаллизации подверглись рекристаллизованные мраморы. Процесс проходил **после снятия стрессового давления (регрессивный этап метаморфизма) при активном участии флюидов.**

Мраморы секутся многочисленными дайками гранитоидов и пегматитов. Зоны закалки в дайках обычно отсутствуют. Наблюдается слабая перекристаллизация мрамора на глубину до 10 мм от контакта. Пегматиты обычно крупнодо гигантозернистых, иногда представлены кварц-полевошпатовой субграфикой (даже при мощности дайки в 20-30 см). Дайки гранитоидов не секутся трещинами кливажа, но иногда на них накладывается катаклиз. В редких случаях наблюдаются явления будинажа. Таким образом, массовое внедрения даек гранитоидов и пегматитов происходило после снятия стрессового давления, но температуры вмещающих пород и магматического расплава были близки, что по времени соответствует смене прогрессивного этапа метаморфизма регрессивным. Аналогичная ситуация наблюдается и в Кочкарском антиклинории на Южном Урале [Кисин, 1991]. Изотопные датировки гранитов отвечают верхнему палеозою (250-255 млн лет) [Ферштатер, 2001]. В мраморах Липовского участка фаунистические остатки отсутствуют и среднедевонский возраст их принят условно. В Кочкарском антиклинории метаморфизм наложился и на фаунистически охарактеризованные нижнекаменноугольные карбонатные отложения (с появлением корундовой минерализации, требующей высоких температур). Такая же картина наблюдается и в Суундукском антиклинории. Представляется, что во всех трех антиклинориях высокоградиентный метаморфизм проходил в верхнепалеозойское время.

На Липовском участке корундовая минерализация в мраморах, как и в других местах, показывает полную независимость от даек гранитоидов и пегматитов. В то же время, она контролируется трещинами кливажа течения. В большинстве случаев, рубиновая минерализация распределена в трещинах кливажа неравномерно, но образует субвертикальные прерывистые цепочки, приуроченные к бороздовидным неровностям на поверхности мрамора, напоминающим борозды тектонического скольжения, но без механического разрушения породы. Ширина, глубина и частота проявлений данных борозд на поверхности мрамора различная, но все они строго параллельны. Ориентировка их стабильна, как и трещин кливажа. При детальном исследовании было установлено, что данные борозды являются следами пересечений главного кливажа течения с второстепенными, вызванными вторым главным напряжением. В редких случаях второ-

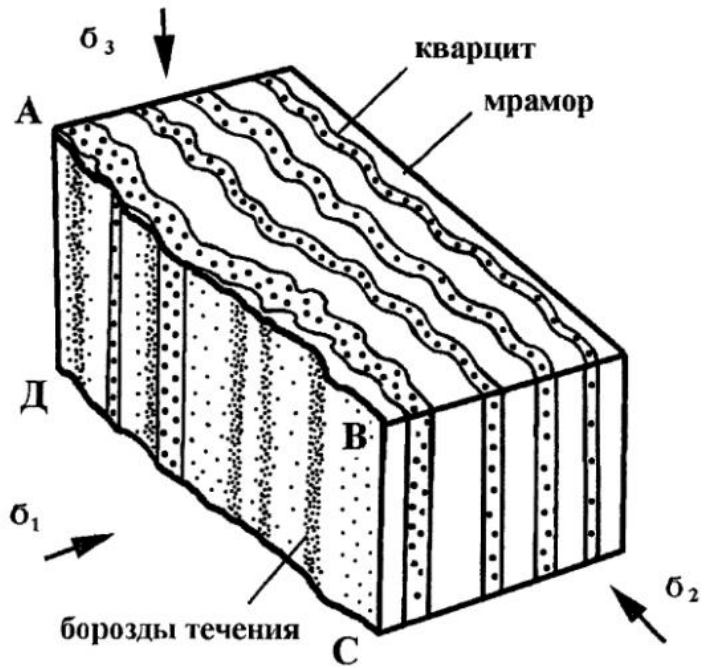
степенные трещины кливажа течения проявлены настолько интенсивно и отчетливо, что становятся почти равнозначны главному кливажу, а порода приобретает столбчатую отдельность. Согласно принципу "вязкостной инверсии" [Паталаха, 1971], при совместной деформации разнородных горных пород, в наименее вязких из них возникает избыточное давление, действие которого направлено на прорыв среды в направлении минимального давления. Следовательно, эти борозды совпадают с осью минимальных сжимающих напряжений и являются ориентирами направления пластического течения пород. В обрамлении Адуйского массива азимут падения борозд 280° , угол падения 80° ; в обрамлении Мурзинского массива эти цифры составляют около 200° и 60° , соответственно. Такие пологие (60°) углы падения осей пластического течения мраморов свидетельствуют и о значительном латеральном выжимании материала из зоны сочленения Мурзинского и Адуйского массивов в зону тени тектонического давления, что хорошо согласуется с представлениями М. Л. Коппа [Копп, 1997]. Такая же картина складывается и при анализе рис. 1, где хорошо видно латеральное нагнетание материала в зону тектонической разгрузки.

О значительном латеральном выжимании материала свидетельствует и пloyчатая складчатость маломощных прослоев вторичных кварцитов в мраморах карьера №8 Липовского месторождения, ориентировка осей которых полностью совпадает с направлением борозд пластического течения (рис. 2). Такая пloyчатая складчатость кварцитов, залегающих в менее вязких кальцитовых мраморах, могла возникнуть лишь в условиях, когда два главных напряжения ориентированные в горизонтальной плоскости близки по величине, а третье, перпендикулярное им, значительно меньше. Выжимание более текучего кальцитового мрамора из деформируемого объема ведет к уменьшению его горизонтальных размеров (сближение и укорочение прослоев кварцита) и удлинению в вертикальной плоскости.

Рубиновая минерализация в мраморах проявлена весьма локально, образуя минерализованные зоны до 80 м мощностью, быстро выклинивающиеся по простиранию. По падению они более выдержаны и в карьере №4 прослежены на глубину около 100 м без видимых изменений по качеству и содержанию. Здесь в ассоциации с корундом обычны флюопит, пи-

Рис. 2. Совместная деформация вторичных кварцитов и мраморов ($s_1 > s_2 > s_3$).

Два главных сжимающих напряжения вызвали вязкостную инверсию и пластическое течение кальцитового мрамора вверх, в область тектонической разгрузки. Отток материала ведет к уменьшению горизонтальных размеров деформируемого пространства, возникновению пloyчатой складчатости в слоях более вязкого материала и борозд течения по трещинам кливажа. Пояснения в тексте. ABCD – плоскость трещины кливажа



рит, рутил, иногда фуксит. Корунд образует бесформенные зерна и сростки с вышеперечисленными минералами. Цвет корундов от светло-розового до красного (рубины), бледно-лиловый до темно-синего (сапфиры). Окраска часто пятнистая, неравномерная. Корунд обычно замутнен, хотя встречаются и совершенно прозрачные камни, лишённые каких-либо дефектов. В обрамлении Мурзинского массива рубиновая минерализация наблюдается в обоих типах мраморов и приурочена к трещинам кливажа, заполненным небольшими линзами фукситового агрегата. В ассоциации с рубином отмечены пирит, пирротин, рутил, флогопит, сфен, зелёный гранат и другие минералы. Рубины представлены мелкими (до 3 мм), плохо оформленными замутненными кристаллами темно-красного цвета. В мраморах, вблизи трещин кливажа, наблюдается рассеянная вкрапленность розового рубина, иногда сопровождающаяся той же акцессорной минерализацией. Локальность проявлений рубиновой минерализации в мраморах и совокупность сопутствующих минералов свидетельствуют о большой роли флюидов в их образовании.

В отличие от Липовского, участок "Алабашка" располагается во внутренней, северо-западной, части Мурзинского массива, на площади широко известного Алабашского пегматитового поля. Площадь сложена метаморфическими породами различного состава: кварцбиотитовыми сланцами, амфиболитами и гнейсами, прорванными многочисленными дайками гранитов и пегматитов. Непосредственно на участке преобладают мраморы, в виде отдель-

ных блоков и линз размером до 100x500 м и более. Как и на Липовском проявлении, они представлены грубозернистыми кальцитовыми рекристаллизованными и перекристаллизованными разностями. Рекристаллизованные мраморы разбиты трещинами кливажа течения на плиты мощностью от первых сантиметров до 1-2 м. Азимут простирания трещин кливажа около 330° при субвертикальном или очень крутом восточном падении. По трещинам кливажа часто наблюдаются инъекции гранитов мощностью первые сантиметры. Приконтактовых изменений в мраморах и в гранитных прожилках не наблюдается. Следовательно, внедрение гранитных прожилков происходило сразу после снятия стрессовых напряжений. Реже мраморы секутся дайками гранитоидов мощностью в первые метры. Азимут простирания даек около 340-345°, угол падения 50°СВ. Приконтактовые изменения выражены в перекристаллизации мрамора на глубину до 1 см. Признаков влияния стрессового давления на дайки отмечено. В мраморах по плоскостям трещин кливажа также наблюдаются борозды течения, падающие по азимуту 330° под углом 50-45° (угол падения даек гранитоидов; возможно, это только совпадение).

Акцессорная минерализация мраморов представлена крупночешуйчатым деформированным графитом, рубином, красной шпинелью, несколькими разновидностями флогопи-

тов, фукситом, паргаситом (в том числе хромовым), диопсидом, сфеном, апатитом, адуляром, скаполитом, пиритом, пирротинном. В нерастворимых остатках отмечаются мелкие знаки золота. Часть минерализации носит рассеянный характер, а часть приурочена к трещинам кливажа, реже к секущим трещинам. Мраморы данного участка отличаются от липовских лишь тем, что залегают внутри гнейсовой толщи и содержат более богатую и, вероятно, более высокотемпературную акцессорную минерализацию. По крайней мере, об этом свидетельствуют результаты изотопных исследований графита (см. статью Баталиной и др. в настоящем сборнике).

Кристаллы корунда таблитчатые до длиннопризматических; преобладают короткопризматические, с удлинением 1,5-2 и с хорошо развитыми гранями пинакоида, ромбоэдра и призмы. Ребра кристаллов часто закруглены или осложнены ступеньками роста. Для многих кристаллов характерна высокая кавернозность, что объясняется их скелетным, футляровидным ростом. Цвет красный, часто с пурпурным оттенком, от светлых до очень темных, с преобладанием средних тонов. Большинство камней имеют чистую яркую окраску, но в отдельных гнездах встречаются рубины с примесью коричневого цвета. Прозрачность удовлетворительная. Основным дефектом рубинов являются трещины отдельности, образовавшиеся в результате механических деформаций. О сильном стрессовом давлении на данном участке свидетельствуют и весьма пологие углы падения борозд течения, согласно которым тень давления находится южнее. Сопутствующие минералы: флогопит, фуксит, адуляр, сфен, апатит, пирит, рутил, иногда графит. Взаимоотношения между минералами пока изучены недостаточно. Включения рубинов отмечаются в адуляре, флогопите, фуксите, сфене, но с ними он образует и тесные сростания. В качестве включений в рубине обычен пирит в виде скоплений мелких кристалликов (20-гранников) в центральной части кристалла-хозяина, реже апатит и рутил; последний иногда образует сагенитовые решетки, вызывая эффект астеризма. На некоторых кристаллах отмечаются наросты кристаллы диаспора.

Рубиновая минерализация установлена также в зоне брекчий по метаморфическим породам, непосредственно примыкающей к мраморам и, возможно, секущей их [Кисин, Баталина, 2002].

Судя по приуроченности корундовой ми-

нерализации к локальным участкам мраморов, а также к зоне брекчий, генезис месторождения гидротермально-метасоматический. Время образования рубиновой минерализации в мраморах последайковое (регрессивный этап метаморфизма). По составу обломков пород слагающих брекчию (наличие обломков пегматитов, в том числе графических), составу цемента и минеральным парагенезисам рубина можно предположить формирование брекчий в это же время. Минерализация формировалась в течении длительного времени. Часть минералов ранних парагенезисов была уничтожена в процессе эволюции системы и от них сохранились лишь обохренные и глинистые реликты. К минералам ранних парагенезисов относится, вероятно, крупночешуйчатый графит, температура выгорания которого составляет 700-750°C, что хорошо согласуется с оценками температур метаморфизма в Мурзинском массиве. Появление диаспора свидетельствует о продолжении процесса и при температурах ниже 420°C. В процессе формирования рубиновой минерализации в зоне брекчий, вероятно, имели место кратковременные тектонические подвижки, о чем могут свидетельствовать зеркала скольжения в породе и деформации кристаллов всех вышеописанных минералов, а также трещины отдельности в корунде.

Таким образом, как на Липовском участке, так и на Алабашском, рубиновая минерализация формировалась на регрессивном этапе метаморфизма при активном участии флюидов, что отвечает корунду 3 типа Кучинского участка в Кочкарском антиклинории [Кисин, 1991]. Рубины 1 и 2 типов здесь пока не установлены, как и магнизиальный метасоматоз, характерные для Кучинского участка. Причины этого пока не вполне ясны. Время образования рубиновой минерализации в метаморфических комплексах восточного склона Урала оценивается как верхний палеозой.

Список литературы

Кисин А.Ю. Новые находки рубинов на Урале//Новые данные по минералогии Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1989. С. 30-31.

Кисин А.Ю. Месторождения рубинов в мраморах (на примере Урала). Свердловск: Изд. УрО АН СССР, 1991. 130 с.

Кисин А.Ю. Липовское проявление благородного корунда//Ежегодник-93 ИГГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1994. С. 94-95.

Кисин А.Ю., Баталина А.А. Рубиноносные брекчи: новый промышленно-генетический тип месторождений?// Ежегодник-2001. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2002. С. 273-276.

Копп М.Л. Структуры латерального выжимания в Альпийско-Гималайском коллизионном поясе. М.: Научный Мир, 1997. 314 с. (Тр. ГИН РАН; Вып. 506)

Паталаха Е.И. О дифференциальной подвижности совместно деформируемых разнородных геологических тел, ее причинах и следствиях. Вязкостная инверсия//Геотектоника. 1971. № 4. С. 15-20.

Ферштатер Г.Б. Гранитоидный магматизм и формирование континентальной земной коры в ходе развития Уральского орогена // Литосфера. №1. 2001. С. 62-85.