

МЕТАСОМАТИТЫ ГРЕЙЗЕНОВЫХ ФОРМАЦИЙ. ЦВИТТЕРЫ И СОПРЯЖЁННЫЕ РУДНЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ И МЕСТОРОЖДЕНИЯ САМОЦВЕТОВ

Э.М. Спиридонов

Московский гос. университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия,
ernstspiridon@gmail.com

Метасоматиты грейзеновых формаций. Термин средневековых немецких горняков - «грейзен», серый камень, - отвечал околорудным метасоматитам серого цвета на фоне исходных для них красных гранитов и гранит-порфиров. Термин «цвиттер» - обозначал оловоносные грейзены. Грейзеновые формации – порождение плутогенных послейнтрузивных высоко- до среднетемпературных процессов кислотного (фтороводородного, хлороводородного, борнокислого и иного) выщелачивания (метасоматоза) (Григорьев, 1953; Коржинский, 1953; Геохимия..., 1964-1966; Barton, 1986; Рёддер, 1987; Зарайский, 1989; Коротаев, 1994 и др.). Температуры их формирования менее 550-600⁰ С, - ниже чем апогранитов. При этих условиях существенно увеличивается степень диссоциации HF, HCl, H₃BO₃..., флюиды становятся сильно кислыми, агрессивными, полевые шпаты абсолютно не устойчивы и полностью замещаются топазом, мусковитом, флюоритом.

Цвиттеры - это наиболее высокотемпературные и наиболее высокофтористые метасоматиты группы грейзеновых формаций (Зарайский, 1982; Spiridonov, 1998). От грейзенов цвиттеры отличаются повышенными содержаниями Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Sc. Стандартные цвиттеры, заместившие граниты, имеют циннвальдит - кварц - топазовый состав (так называемые темнослюдистые “грейзены”). Поскольку при образовании цвиттеров происходит полное разложение силикатов гранитоидов..., постольку во флюидах накапливается в значительном количестве германий, который фиксируется в топазе цвиттеров и сопряжённых рудных жил; это впервые установил В.М. Гольдшмидт (Goldsmith, Peters, 1933). Температуры начала формирования цвиттеров около 600⁰ С, на 50-150⁰ выше грейзенов. Поэтому цвиттеры, а не грейзены, содержат циннвальдит и богатый скандием вольфрамит, иногда содержит минералы ниобия, содержат обильную камнесамоцветную минерализацию. Цвиттеры иногда сопровождаются жилами кварца с великолепными кристаллами аквамарина, топаза, мориона; щётками криофиллита - циннвальдита с кристаллами шеелита, топаза, апатита, иногда и морганита. При формировании цвиттеров иногда происходит настолько мощный фтороводородный метасоматоз, что на месте исходных гранитов возникают метасоматиты, почти не содержащие кварца, - топазовые, циннвальдит-топазовые и т.п. Некоторые разновидности цвиттеров Шерловой Горы и Изумрудных Копей А.Е. Ферсман описал как гранитные пегматиты скрещения (Ферсман, 1940). Однако, все минералы данных образований содержат только газо-жидкие и жидкие включения, - это гидротермалиты (Gübelin, Koivula, 1986; Barton, 1986; Рёддер, 1987; Жернаков, 1993 и др.).

Аквамарин $Be_3Al_2[Si_6O_{18}]$ свое название получил по замечательным глубокого голубого цвета длиннопризматическим кристаллам до 30 см из жил среди цвиттеров месторождения Шерловая Гора в Забайкалье. Причина окраски аквамарина - ион Fe^{2+} , который устойчив в кислотной среде. Прекрасные аквамарины происходят из месторождения Адунчилон в Забайкалье (Ферсман, 1925), фантастические из месторождения Magambaia, Минас Жераис, Бразилия (Sauer, 1982 и др.). С аквамарином ассоциируют кристаллы голубого топаза и густо окрашенного раухкварца.

Изумруд $Be_3(Al,Cr,Fe,Mg,Na)_2[Si_6O_{18}]$. Нередко процессы фтороводородного

метасоматоза происходили за пределами материнских лейкогранитных плутонов. Когда они захватывали метагипербазиты с феррихромитом и хроммагнетитом (серпентиниты...), возникали цвиттеры - слюдиты (агрегаты Li-Cs фторфлогопита + флюорит, фторапатит, плагиоклаз, изумруд, хризоберилл, фенакит, Ве маргарит, турмалин - фтордравит и магнезиофойтит, фуксит), фторакинолит-фторфлогопитовые метасоматиты с Ве минерализацией, иногда с изумрудом. Во внешней зоне апогипербазитовых метасоматитов обильны F-содержащие тальк и серпентин (Спиридонов и др., 2000), в котором изредка находятся изумруды. Бериллиевая минерализация обычно тяготеет к контактам тел габброидов или диоритоидов с более пластичными змееви камми, тальк-карбонатными породами, разнообразными сланцами (Золотухин, 1996), - именно вдоль этих контактов происходила усиленная миграция выброшенных из лейкогранитов фтористых флюидов. Цвиттеры - слюдиты сопровождаются жилами и линзами флюорита, маргарита, андезина или олигоклаза, а также кварца (\pm дравит, циннвальдит...) с бериллом, аквамагином, Cr-содержащим бериллом и изумрудом. Cr-содержащий берилл ("зелень") и изумруд окрашены неравномерно, часто зонально, содержит реликты алюмохромита и хроммагнетита. Наиболее густо окрашенные прозрачные изумруды являются поздними метасоматическими образованиями цвиттеровой формации, продуктами переотложения вещества ранних обычно неравномерно окрашенных изумрудов или "изумрудной зелени" (Cr-содержащий берилл). Поздние высококачественные изумруды в плагиоклазитовых жилах и гнёздах нередко окружены оторочкой альбит-олигоклаза или альбита, тогда как ранние изумруды ассоциируют с андезином и олигоклазом. Изумруд содержит включения актинолита, куммингтонита, магнезита, доломита, кальцита, F-содержащего талька, дравита, фторапатита, олигоклаза, альбита, кварца, маргарита, мусковита, рутила, хризоберилла, Cr ильменорутила... Таковы крупнейшие залежи изумрудов - знаменитые Изумрудные Копи, протягивающиеся полосой длиной 25 км на Среднем Урале; месторождения Мариинское, Сретенское... (Ферсман, 1925, 1940; Жернаков, 1993; Золотухин, 1996; Таланцев, 2000 и др.). Возможно упоминаемые Плинием Старшим скифские изумруды имеют уральское происхождение. Уральские изумруды отличаются великолепным густым и чистым зеленым цветом, поскольку основной хромофор Cr³⁺. Размеры кристаллов изумруда достигают больших величин: 1977 г. - 12600 карат, 1979 г. - 7000 карат, 1982 г. - 12900 карат, 1990 г. - 10450 карат (Золотухин, 1996). Изумрудные копи дали более 2,5 млн. карат ограненных камней.

В этих же зонах высокотемпературного фторородородного метасоматоза в породах кремнекислого и среднего состава возникли стандартные аквамарин, топаз..., синхронные изумрудам в апогипербазитовых метасоматитах.

Многие месторождения изумрудов сходны с Изумрудными копиями - Chabachtal (Австрия), Sandawana, Karai (Зимбабве), Miku, Kitwe (Замбия), Manyara (Танзания), Carnaiba, Socoto, Esperanza, Santa Teresina, Tana, Ceara, Salinha (Бразилия), Swat, Khaltaro, Makhad, Nanga Parbat (Пакистан), Wodgino, Poona (Австралия)...(Gübelin & Koivula, 1986; Sauer, 1992; L'Emeraude, 1998 и др.). Возраст изумрудов от 1960 млн. лет (Carnaiba) до 9 млн. лет (Khaltaro, Пакистан). Параметры образования - 650-400⁰ С, 5-2 кб, богатые фтором высокосолёные флюиды. Величина $\delta^{18}\text{O}$ в изумруде = +8 \div +12, - свидетельствует о ничтожной роли метеорных вод в составе флюидов. Хромофоры в изумрудах - Cr (до 1,5 масс. % Cr₂O₃, обычно < 0.5%) и Fe³⁺(до 2% Fe₂O₃, обычно < 0.4%), отчасти Fe²⁺ (до 2,5% FeO, обычно < 0.9%) и V (до 0,3%, обычно < 0.06%), изредка Cu (!) (до 0,1-0,4 % CuO, Bucha Mohmand, Пакистан) и Co (до 0.01%). Главный тип изоморфных замещений Al³⁺ \leftarrow Mg, Fe²⁺ (в структуре минерала) + Na¹⁺(в каналах структуры). Известны низко-, умеренно- и высокощелочные (до 2,5 мас. % Na₂O) изумруды. Изумруд содержит до 0.1% Sc₂O₃.

Изумрудоподобный V-берилл голубовато-зеленого цвета развит в цвиттерах - фторфлогопитовых слюдитах на контакте ванадиеносных графитсодержащих известково-силикатных метаморфитов (Кения); содержит включения талька, флогопита,

кварца, кальцита и апатита.

Фенакит $\text{Be}_2[\text{SiO}_4]$ развит в Изумрудных копиях в слюдитах, в олигоклазовых жилах и в полостях среди них. Размер кристаллов до 20 см. Прозрачные кристаллы бесцветны, реже они розовые или винно-желтые. В 1991 г. на Мариинском месторождении добыт кристалл фенакита чистой воды с густой дымчатой окраской, размер его 13x12x7 см.

Хризоберилл и александрит BeAl_2O_4 . В Изумрудных Копях александритовая минерализация тесно связана с изумрудной, но находится несколько в стороне от неё в слюдитах и маргарит-плагиоклазовых жилах в ассоциации с розовым флюоритом. Полная колонка метасоматитов месторождения Novello Claims (Центр. Африка), близкая по типу к Изумрудным Копьям: серпентиниты → оталькованные серпентиниты → хлоритовые породы (сланцы) → хлорит-флогопитовые породы (сланцы) → флогопитовые породы (сланцы) с хризобериллом, александритом, изумрудом, маргаритом, лепидолитом, андалузитом, корундом, фенакитом → полевошпатовая жила с бериллом (Okrusch, 1971).

Александрит - хромсодержащий хризоберилл BeAl_2O_4 , изумрудно-зеленый при дневном свете и красно-фиолетовый при искусственном. Содержит обычно 0.15-0.2 % Cr и 1.5-1.7% Fe. Открыт на Изумрудных копиях Урала и назван в честь императора Александра II в день его совершеннолетия. Это светлая зеленая сторона мистической связи драгоценного камня и жизни царя. Царь-гуманист и освободитель русских крестьян был убит террористами в расцвете сил; это темная кровавая сторона той самой мистической связи. "Peacock blue" александрит месторождения Malacacheta, Бразилия отличается сильным плеохроизмом от голубого до зеленого или зеленовато-желтого; причина его окраски - комбинация Fe^{3+} и Cr^{3+} , замещающих Al^{3+} ; при $\text{Fe}/\text{Cr} < 1.2$ - цвет александрита голубой, при $\text{Fe} > \text{Cr}$ - цвет зеленый. Хризоберилл богат галлием и оловом (500-2000 г/т Ga, 500-1600 г/т Sn), содержит 1,7-2,5 масс. % Fe. Хризоберилл месторождения Karai (Зимбабве) содержит 1970 г/т Ga, месторождения Lonego de Fogo (Бразилия) - 1450 г/т Ga (Schrader, Henn, 1985).

Хризоберилл возникает при дефиците SiO_2 . Однако, известны сростания хризоберилла - александрита с кварцем. Возможно, данный парагенез возник за счет совместного переноса Si, Al и Be в высокофтористых флюидах или при воздействии таких флюидов на берилл (Barton, 1986).

Рубин, сапфир. Специфична минерализация месторождения Роона (Зап. Австралия). Здесь в апосерпентинитовых цвиттерах - слюдитах фторбиотит-фторфлогопитового состава (□ флюорит, плагиоклаз, апатит, касситерит, фуксит, александрит, сапфир) развиты небольшие жилы: кварц-маргарит-топазовые с изумрудом, кварца с изумрудом, топаза с рубином (Gründmann, Morteani, 1998). Полна чудес могучая Природа!

Шеелит CaWO_4 - характерный минерал некоторых месторождений цвиттеров. Размер кристаллов шеелита в некоторых австралийских месторождениях достигает 40x20x20 см. В Китае gem-шеелит оранжевого и густого медового цвета образует дипирамидальные кристаллы с поперечником до 10 см на щетках Li мусковита или циннвальдита в парагенезе с бесцветным топазом, флюоритом, красным gem-апатитом, изредка с морганитом.

Таафеит. Это твердый раствор хризоберилла BeAl_2O_4 и шпинели MgAl_2O_4 с составом $\text{BeMg}_3\text{Al}_8\text{O}_{16}$, который содержит до 3 масс. % Mn. Этот сверкающий коричневатый или розовый камень, возможно, образовался в цвиттерах Шри Ланки.

Характерные поздние низкотемпературные образования цвиттеровой формации: карбонаты железа и марганца – сидерит и родохрозит; сростания родохрозита и бертрандита – псевдоморфозы по гельвину; самородный висмут и разнообразные сульфосоли висмута; продукт изменения, деструкции богатого скандием вольфрамита – фосфат скандия – кольбекит $\text{Sc}[\text{PO}_4] \cdot 2(\text{H}_2\text{O})$; сростания прозопита CaAl_2F_8 и гематита.

Литература

Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов (ред. К.А. Власов). М.: Наука. Т. 1. Геохимия редких элементов. 1964. 687 с. Т. 2. Минералогия редких элементов. 1965. 830 с. Т. 3. Генетические типы месторождений редких элементов. 1966. 869 с.

Григорьев И.Ф. Грейзены, их минералогические типы и условия образования // Бюлл. МОИП. 1953. Т. 28. № 1.

Жернаков В.И. Уральские Изумрудные копи // Изв. ВУЗов. Горный журнал. 1993. № 11. С. 46-52.

Зарайский Г.П. Зональность и условия образования метасоматических горных пород. М.: Наука. 1989. 341 с.

Золотухин Ф.Ф. Мариинское месторождение изумруда, Средний Урал. Санкт-Петербург: изд СПб ун-та. 1996. 70 с.

Коржинский Д.С. Очерк метасоматических процессов. В кн.: Основные проблемы в учении о магматогенных рудных месторождениях. М.: изд. АН СССР. 1953. С. 334-456.

Коротаев М.Ю. Физическая геохимия процессов грейзенообразования. М.: Наука. 1994. 150 с.

Рёддер Э. Флюидные включения в минералах. М.: Мир. 1987. Т. 1. 560 с. Т. 2. 632 с.

Спиридонов Э.М., Жернаков В.И., Бакшеев И.А. Савина Д.Н. Типоморфизм талька апогипербазитовых тальк-карбонатных метасоматитов Урала // Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 3. С. 1-3.

Ферсман А.Е. Драгоценные и цветные камни СССР. М.: изд. АН СССР. 1925. 592 с.

Ферсман А.Е. Гранитные пегматиты. М.-Л.: изд. АН СССР. 1940. 712 с.

Таланцев А.С. Знаменитые уральские самоцветы. Екатеринбург: изд. дом Пакрус. 2000. 166 с.

Barton M.D. Phase equilibria and thermodynamic properties of minerals in the BeO - Al₂O₃ - SiO₂ - H₂O (BASH) system, with petrological applications // Amer. Mineral. 1986. Vol. 71. P. 277-300.

Cassedanne J.-P., Roditi M. The location, geology and mineralogy and gem deposits of alexandrite, cat's-eye and chrysoberyl in Brazil // J. Gemmology. 1993. Vol. 23. P. 333-354.

Cornejo C., Bartorelli A. Minerals and precious stones of Brazil. Sao Paulo: Solaris Cultural Publications. 2009. 704 p.

Goldsmith V.M., Peters C.L. Zur geochemie des Germanium // Nachr. Gesellschaft Wissenschaften Göttingen. Mathem.-Physik. Klasse. 1933. S. 141-166.

Gründmann G., Morteani G. Alexandrite, emerald, ruby, sapphire and topaz in a biotite-phlogopite fels from Poona, Cue district, Western Australia // Austral. Gemm. 1998. Vol. 20. N 4. P. 159-167.

Gübelin E.J., Koivula J.I. Bildatlas der Einschüsse in Edelsteinen. ABC Verlag. Zurich: 1986. 532 s.

L' emeraude // Revue de Gemmologie A.F.G. N 134/135. 1998. 192 p.

Okrusch M. Zur genese von chrysoberill - und alexandrit-lagerstätten // Zeit. Deutsch. Gemm. Ges. 1971. Bd. 20. H. 3. S. 114-124.

Sauer J.R. Emerald around the World. Rio de Janeiro: 1992. 160 p.

Schrader H.W. & Henn U. Über die problematik der galliumgehalte als hilfsmittel zur unterscheidung von natürlichen edelstein und synthetischen stein // Zeit. Deutsch. Gemm. Ges. 1985. Bd. 34. N 3/4. S. 152-159.

Spiridonov E.M. Gemstone deposits of the former Soviet Union // J. Gemm. 1998. Vol. 26. N 2. P. 111-124.

