

rated in the state of ore drops whose dipping in viscous magmatic melt was laminar. At the second late-magmatic low-temperature stage recomposing fluids which origin was various played the main role in formation of metallites.

Authors came to conclusion about ability to use native accessory mineralization in solving problems to petrogenesis of granites and studying their potential ore-bearing.

УДК 535.37: 550.8

ПРИМЕНЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ СВОЙСТВ ТОПАЗА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ ЗАДАЧ

О.А. Иванова, М.В. Коровкин

Аннотация : Проведены исследования люминесцентных свойств топазов из Правоурмийского оловорудного месторождения, где топаз является типоморфным минералом кварц – топазовой фации, включающей касситеритовую минерализацию. Показано, что температурные зависимости естественной (природной) и индуцированной гамма-облучением термолюминесценции, а также изменение спектров рентгенолюминесценции топазов из различного типа прожилково – метасоматических образований из центра и периферии рудного тела объективно отражают физико-химические условия минералообразования и могут эффективно использоваться в практике геологоразведочных работ при выделении перспективных на руду участков в месторождениях касситерит-кварцевой формации, оценке эрозийного среза, зональности, оконтуривания рудных тел.

Проблема индикаторов условий минералообразования всегда являлась ключевой при решении геологических и минералогических задач [1, 2]. Любой минерал, возникающий в различных физико-химических условиях, приобретает некоторые отличительные черты, которые можно выявить современными физическими методами исследования минерального сырья. Минерал рассматривается как источник генетической информации, которая закрепляется в нем в виде компонента структуры (междоузельных ионов и их вакансий, примесных ионов) - дефектов кристаллической решетки, изменяющих некоторые структурно - чувствительные свойства минерала.

Топаз генетически связан с гранитоидными породами и сопровождающими их постмагматическими образованиями; в грейзенах, связанных с олово-вольфрамовым оруденением, он является типоморфным минералом. Топаз издавна привлекал внимание как драгоценный камень, поэтому основные исследования посвящены его окраске. Люминесцентные свойства топаза почти не изучались, хотя они весьма чувствительны к различным структурным и примесным микродефектам кристаллической решетки топаза, отражающим геохимические и термодинамические условия образования минерала. Изучение люминесцентных свойств топазов позволяет выявить характерные особенности и критерии, которые могут быть использованы в качестве поисково-оценочных признаков при проведении геолого-разведочных работ (при оценке эрозийного среза рудного тела, определении его контура, зональности и т.д.), для оценки физико-химических условий минералообразующей среды, а также при оценке качества ювелирного сырья и др.

Топаз является фторосиликатом алюминия, химический состав которого отвечает формуле $Al_2 [SiO_4] (F, OH)$. Отношение F : OH в топазах варьирует, и в наиболее богатых гидроокислом разностях обычно равно 3 : 1. В отличие от кварца, исследованию которого посвящены сотни работ, топаз практически не изучен, что представляет известные трудности при его использовании в качестве минерала-индикатора в практике геолого-разведочных работ. По люминесцентным свойствам топаза в обзорах [3, 4] приводятся довольно скудные данные. Нами исследовались люминесцентные свойства топаза из Правоурмийского оловорудного месторождения, где топаз является типоморфным минералом кварц – топазовой фации, включающей касситеритовую минерализацию [5].

Месторождение Правоурмийское относится к касситерит – кварц - топазовому типу кварц - касситеритовой формации [6-9]. Оруденение локализовано в штокверковой зоне, на экзоконтакте дайки гранит-порфиров с игнимбритами липаритового состава. Детальное минералого-геохимическое изучение месторождения, проведенное в разные годы многими ис-

следователями (Крюков В.Г., Огнянов Н.В., Марин Ю.Б., Гавриленко В.В., Панова Е.Г., Щербак Л.И., Смоленский В.В. и др.), выявило сложное сочетание геолого-структурных и минералого-геохимических особенностей его формирования, отличающее его от других оловорудных объектов, и определило в истории формирования оруденения некоторые причинно – следственные отношения между рудной минерализацией и сопутствующими метасоматитами.

Формирование оруденения в штокверковой зоне носило длительный многостадийный характер, образование различных типов прожилков и жил сопровождалось широким развитием метасоматитов [7, 9]. На начальных стадиях рудного процесса формировались маломощные сидерофиллит – кварц – топазовые жилы и прожилки с касситеритом и вольфрамитом, характеризующиеся одноактным и кратковременным периодом формирования. Дальнейшее отложение и концентрация основной массы рудной минерализации, в результате тектонических подвижек, происходило в осевой части штокверка, где формировались мощные жилы и тела объемных метасоматитов кварц – топазового состава, имеющие более длительный и сложный характер процессов рудообразования. Штокверк вскрыт горными выработками на горизонтах 1680 м; 1600 м; 1520 м; 1440 м (штольни № 4, 1, 2, 3, соответственно, рис.1).

Нами исследовались естественная (природная) термолюминесценция (ЕТЛ), индуцированная гамма-облучением термолюминесценция (гамма-ТЛ) и спектры рентгенолюминесценции (РЛ) топазов; а также влияние предварительного термического и радиационного воздействия на люминесцентные свойства топазов. Для исследований отбирались образцы топаза из различного типа прожилково – метасоматических образований из центра и периферии рудного тела №1 Правоурмийского оловорудного месторождения. Мономинеральные фракции топаза выделялись с помощью тяжелых жидкостей из проб, отобранных по сечениям рудного тела; чистота отбора контролировалась с помощью рентгеноструктурного анализа после окончательного отбора под бинокуляром.

Измерение термолюминесценции топазов производилось нами по методике на основе общепринятых фотометрических схем. Для измерения ЕТЛ и g - ТЛ использовалась монофракция топаза с крупностью зерен 0,5 ÷ 0,25 мм, навеска пробы составляла 200 мг. Эмпирически полученная зависимость интенсивности ТСЛ от размера зерен показывает, что наиболее высокая воспроизводимость результатов (ошибка не более 2-3% [10]) достигается для фракции 0,5 ÷ 0,25 мм, в то время как крупнозернистые фракции растрескиваются, а мелкозернистые обнаруживают слабые эффекты свечения. Нагревание образцов проводилось с постоянной оптимальной скоростью - 0,3⁰С / сек от комнатной температуры до 400 ОС. Температура фиксировалась хромель - алюмелевой термопарой и милливольтметром В7-21, и записывалась в процессе нагревания потенциометром КСП-4. Свечение регистрировалось ФЭУ - 36 в области 300-600 нм. и ФЭУ-140 в области 200 – 650 нм. Сигнал с ФЭУ усиливался усилителем постоянного тока У5 - 9 и записывался регистрирующим прибором КСП - 4 на диаграммной ленте в виде кривых термовысвечивания.

Возбуждение минеральной "памяти" топазов производилось радиационным облучением гамма – квантами на радиоизотопном источнике ГУП-Со-60 с мощностью дозы 3,8 Рентген/сек. С учетом влияния дозы и мощности облучения, а также предварительного термического прокалывания образцов топазов на их люминесцентные свойства [11], оптимальная доза гамма-облучения составляла 4,0 ÷ 105 Рентген. Для предотвращения высвечивания образцы заворачивались в тонкую алюминиевую фольгу.

С помощью нейтронно-активационного анализа на реакторе ИРТ-2000 НИИ ЯФ при ТПУ в топазе обнаружено содержание примесных элементов Cr; Rb, Cs, Fe; Ge, TR. От верхнерудных сечений к нижнерудным содержание топаза и концентрация в нем элементов примесей уменьшается (рис.2) [12].

Образцы топаза, подобранные из тонких прожилков верхнего горизонта (штольня № 4), связываются с ранними проявлениями кварц – сидерофиллитовой стадии минералообразования. Это тонкозернистый агрегат топаза молочно – белого цвета из тонких прожилков, имеющих маломощный ореол околожильных изменений. Характерной особенностью данных образцов является отличие по содержанию примесных редкоземельных элементов (рис. 1, 2), сумма которых значительно выше, чем в топазах из жил и объемных метасоматитов, что согласуется с данными других исследователей [9]. Специфика условий образования топаза на начальных стадиях рудного процесса, выразившаяся в более высоких температурах и скоро-

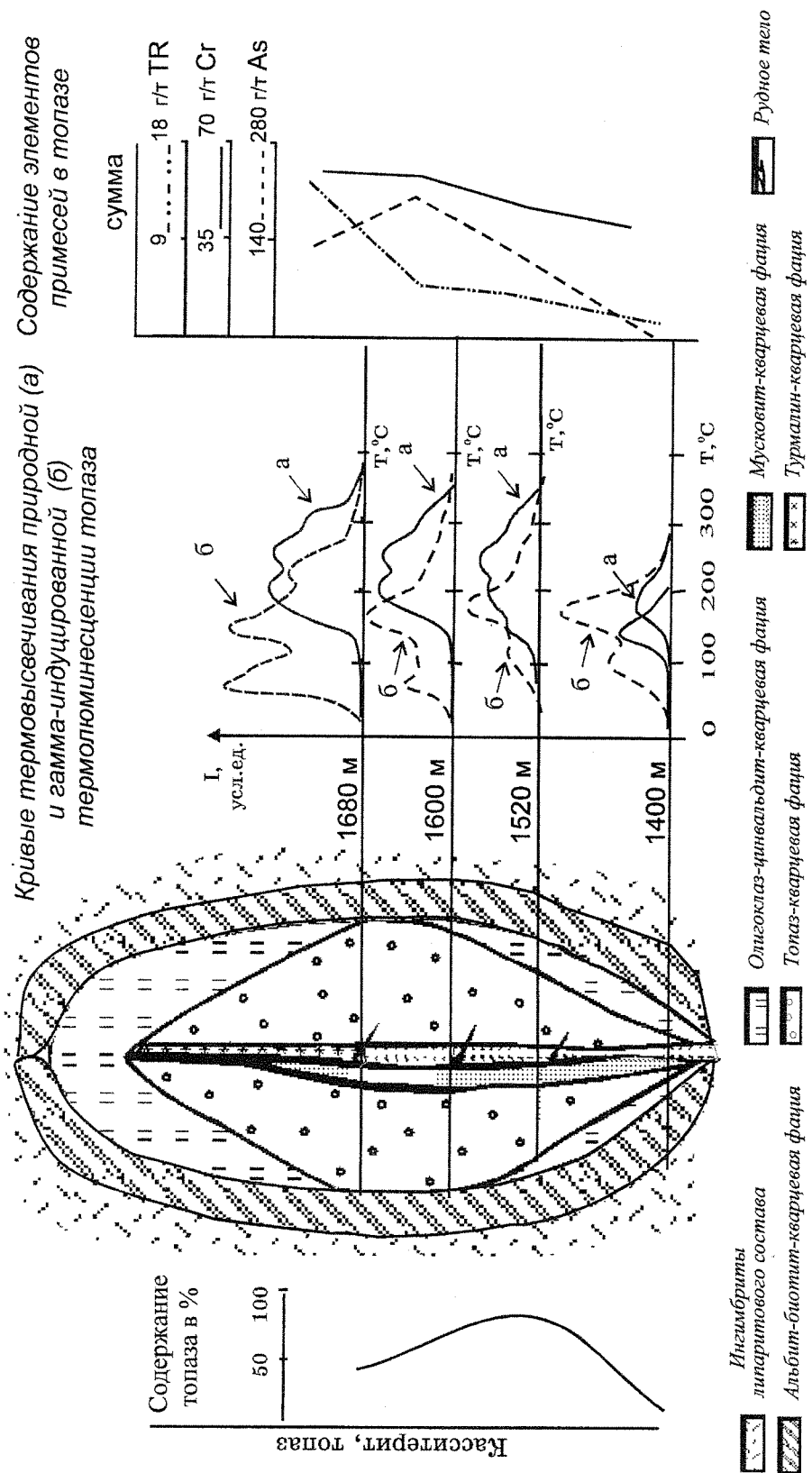


Рис.1. Схематическая модель вертикальной зональности подминеральных грейзенов, месторождение Праворурийское (составлена с использованием материалов В.Г. Крюкова и др., 1983); распространённость топаза по горизонтам рудного тела №1; изменение термoluminesцентных свойств и содержания в топазе элементов-примесей по данным нейтронно-активационного анализа (аналитики Судыко А.Ф. и др.)

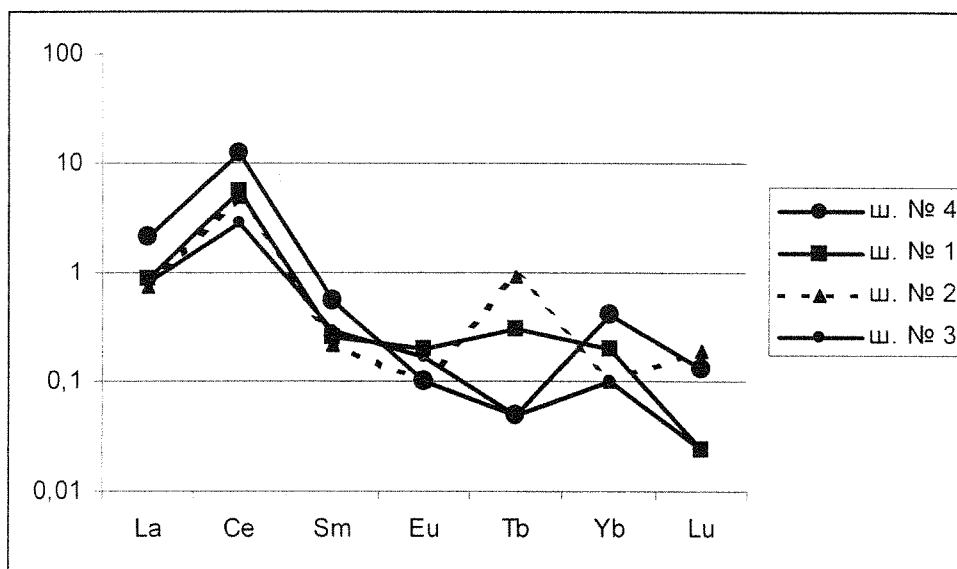


Рис. 2. Распределение редкоземельных элементов в топазе по данным нейтронно – активационного анализа: ш.№ 4 – образцы из прожилков верхнего горизонта, ш.№ 1 и ш.№ 2 из жил и объемных метасоматитов центра рудного тела, ш.№ 3 из прожилков нижнерудного горизонта.

Таблица 1.
Изменение люминесцентных свойств топаза по разрезу рудного тела № 1
Правоурмийского оловорудного месторождения

Штольня	Основные полосы свечения РЛ λ , нм,	Светосумма ЕТЛ, в усл. ед.	Интервалы температурных максимумов ЕТЛ T_m , °С			
			140-180	200-230	250 - 270	290 – 310
№ 4 - 1680 м, тонкозернистый агре- гат топаза из круто- падающих прожилков	630-680	238		205 - ■ 13	255 -260 ■	☼
№ 1 - 1600 м топазы из пологих жил и объемных метасоматитов	310 - 340 630-680	55		206-218 ■	250-270 ■	☼
№ 2 - 1520 м, топазы из пологих жил и объемных метасоматитов	310 - 340 630-680	88	172 - ■ 75	201-216 ■	245-255 ■	☼
№ 3 - 1440 м, Топазы из редких тонких прожилков нижнего горизонта	310-340	21	140-193 ■	203-230 ■		

Примечание: характеристика интенсивности пиков ТЛ - ■ - сильный ; ☼ - слабый.

сти изменения термодинамических параметров среды минералообразования, обусловили соответствующую собственную и примесную дефектность растущих минеральных индивидов. Данные топазы имеют термолюминесцентные характеристики первого типа (рис.1, IV-а, II-а, табл.1), которые характеризуются наличием трех максимумов термовысвечивания при $\sim 200 - 220^\circ\text{C}$; $\sim 250^\circ\text{C}$; $\sim 280-300^\circ\text{C}$. Для данного типа наблюдаются самые высокие значения запасенной светосуммы. Кривые термовысвечивания ЕТЛ данных образцов характеризуются наличием свечения преимущественно в высокотемпературной области, а в спектрах рентгено-

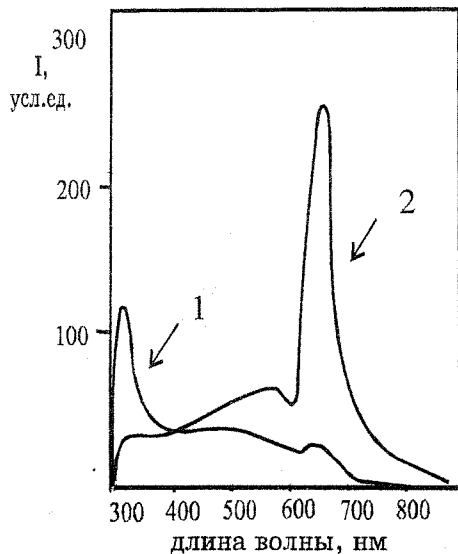


Рис. 3. Типичные спектры рентгенолюминесценции образцов топаза из штолен № 1, 2, 3 – кривая 1, штольни № 4 – кривая 2.

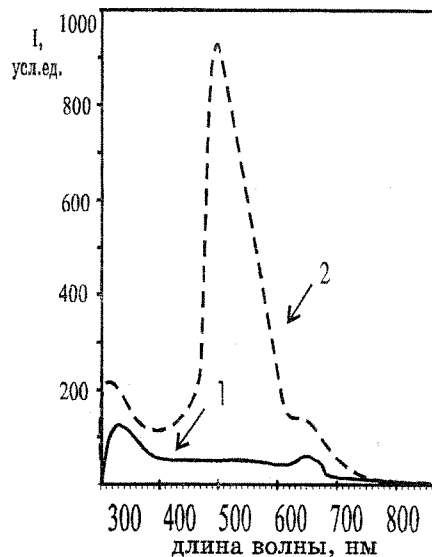


Рис. 4. Спектры рентгено-люминесценции топаза из центра рудного тела (штольни № 1 и № 2) до (1) и после (2) температурного прогрева до 150°C .

люминесценции данных образцов преобладает интенсивное свечение в диапазоне длин волн $630 - 680\text{ nm}$ (рис. 3).

На дальнейший ход процесса рудообразования повлияли тектонические подвижки, обусловившие развитие в осевой части системы пологих трещин и формирование на этих участках мощных жил и тел объемных метасоматитов кварц – топазового состава [6]. Топазы из центра рудного тела, из зоны интенсивной метасоматической проработки (из мощных пологих жил и объемных метасоматитов), представлены крупными зернами изометричного облика. Под биноклем наблюдаются бесцветные прозрачные сколы по спайности, иногда встречаются мутные молочно – белые зерна топаза. Образцы топаза из кварц – топазовых жил в зонах мощного развития кварц – сидерофиллитовых метасоматитов (штольни № 1 и № 2) с богатой касситеритовой минерализацией (центральные участки рудного тела), характеризуются высокотемпературной термолюминесценцией. На кривых термовысвечивания второго типа обнаруживаются четыре максимума свечения (рис.1, I-а, табл.1): $\sim 160 - 180^\circ\text{C}$; $\sim 200 - 220^\circ\text{C}$, $\sim 250^\circ\text{C}$; $\sim 280 - 300^\circ\text{C}$. В спектрах РЛ таких топазов после термического прогрева (всего до 150°C) появляется интенсивное дополнительное свечение в диапазоне длин волн $490 - 540\text{ nm}$ (рис.4), которое связывается со свечением примесных центров [3,4]. Пространственное положение этих образцов топаза, обладающих данными люминесцентными свойствами, совпадает с контурами наиболее богатого комплексного оруденения.

На физико – химические особенности протекания гидротермально – метасоматических процессов, влияет изменение рудообразующей системы в пространстве и во времени. Образцы топаза из прожилков окраинных частей штокерка с отсутствием или убогой касситеритовой минерализацией (преимущественно нижнерудный горизонт, шт. № 3, рис. 1) представлены более крупными бесцветными прозрачными зернами и характеризуются температурными зависимостями свечения третьего типа, в низкотемпературных интервалах ЕТЛ и гамма – ТЛ, что свидетельствует о более низких температурах образования. В спектрах РЛ наблюдается свечение в диапазоне длин волн $310 - 340\text{ nm}$ (табл. 1), связываемое с собственными центрами

рекомбинационной люминесценции, образующимися в результате захвата дырки одним из ионов кислорода в кремнекислородном тетраэдре [13]. На конфигурацию спектра РЛ практически не влияет предварительное термо- или радиационное воздействие. Топазы данного горизонта по своим люминесцентным свойствам характеризуется как менее дефектные и более чистые от примесей, эти выводы согласуются с распределением в топазе элементов-примесей по данным нейтронно-активационного анализа (рис. 1, 2). Освобождение минерала от примесей обычно связывается с более поздними последовательными его выделениями и более спокойными условиями формирования, так как степень пересыщения минералообразующих растворов изменяется во времени относительно температуры и давления.

Результаты исследования термолюминесценции предварительно облученных гамма-квантами образцов топаза подтверждают направленное изменение люминесцентных характеристик по вертикальному разрезу рудного тела (рис. 1, IV-б, I-б, II-б, III-б).

Облучение топазов гамма-квантами вызывает в результате ионизационных процессов появление свободных электронов и дырок, которые затем локализуются на генетических микродефектах кристаллической решетки (ловушках) с образованием электронно-дырочных центров окраски, последующий отжиг которых при нагревании вызывает свечение: гамма-термолюминесценцию. Таким образом с помощью радиационного воздействия в кристалле топаза возбуждаются практически все имеющиеся микродефекты, которые имеются в кристаллической решетке, но не участвовавшие в процессе природной (естественной) термолюминесценции, т.е. возбуждается минеральная «память» [15].

В результате гамма-облучения кристаллов топаза слабой мощностью дозы изменяются формы кривых ЕТЛ и появляются дополнительные низкотемпературные пики термовысвечивания, при этом интенсивность свечения увеличивается почти в 10 раз. Для индуцированной гамма-облучением ТЛ топазов, из продуктивных горизонтов (штольни № 4, № 1 и № 2), кристаллизовавшихся в высокотемпературных условиях, характерно появление на кривых g-ТЛ низкотемпературного пика ~ 69 - 74 °С, и интенсивного пика свечения ~ 175 °С, который преобладает над всеми остальными пиками, и несколько слабо выраженными высокотемпературными максимумами. У образцов топазов из низкотемпературных генераций нижнерудного горизонта (шт. № 3), пик Тм ~ 69 - 74 °С практически отсутствует. Это связано с особенностями образования электронных $\{[SiO_4]^{5-}\}$ - и "дырочных" $\{[SiO_4]^{3+}\}$ -центров, ответственных за пик термовысвечивания в области 69-74 °С, в состав которых входят щелочные ионы Li или Na [16]. Низкотемпературный максимум свечения гамма-ТЛ не наблюдается в тех случаях, когда в составе этих центров имеются легкоподвижные ионы Li^+ или H^+ . Изменение люминесцентных свойств топазов в процессе радиационного воздействия, свидетельствует о существенном влиянии поведения генетически присутствующих щелочных ионов – компенсаторов. Температурные зависимости гамма-ТЛ образцов топаза отражают, таким образом кислотно-щелочные условия минералообразующей среды.

На характеристики термолюминесценции топаза влияет температура предварительного прогрева. Так, предварительный прогрев образцов из центра рудного тела уже до 150 °С приводит к резкому увеличению интегральной интенсивности гамма – ТЛ, по мере увеличения температуры предварительной обработки до 440 °С интенсивность свечения снижается в три раза. Предварительный прогрев всех выделенных по ЕТЛ разностей топаза до 440 °С с последующим облучением гамма – квантами резко изменяет их термолюминесцентные характеристики. Выявляется, что в процессе нагревания происходит преобразование биографических (генетических) структурных дефектов, служащих ловушками для электронов и дырок, в результате чего, наиболее конкурентноспособными за захват свободных носителей заряда становятся только три типа ловушек, освобождающихся при ~ 70 °С, ~ 175 °С и ~ 250 °С (рис. 5). Таким образом, предварительный отжиг как бы "стирает" картину природной (генетической) дефектности топаза из оловорудных грейзенов, а последующее облучение гамма – квантами индуцирует дефектность, которая в большей мере является отражением особенностей его матричной структуры.

Таким образом, сложная и многостадийная история формирования месторождения Правоурмийского, выразившаяся в пространственной и временной эволюции минералообразующих растворов, за исключением локальных наложенных процессов, обусловила закономерное изменение структурно-химического состояния топаза и, соответственно, изменение его люминесцентных свойств по вертикальному разрезу рудного тела.

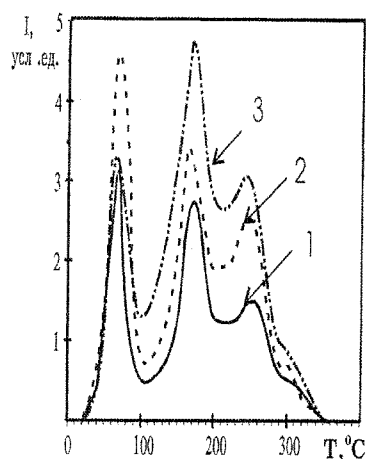


Рис. 5. Кривые термовысвечивания предварительно прогретых до 440 °С с последующим облучением гамма – квантами образцов топаза из штолен № 1 – кривая 1, № 2 – кривая 2, № 3 – кривая 3.

Проведенные исследования люминесцентных свойств топазов показали, что образцы из центра и периферии рудного тела имеют отличия в интервалах температурного высвечивания ЕТЛ, гамма – ТЛ, в интенсивности свечения центров, в кинетических особенностях разгорания рентгенолюминесценции, и чувствительности к терморadiационному воздействию. Пространственное распределение богатого комплексного оруденения и выделяющиеся участки с проявлением интенсивных метасоматических процессов отчетливо характеризуются сложными термолюминесцентными зависимостями, обусловленными наличием комплекса собственных и примесных центров свечения в топазах из центральных зон штоков. Топазы из периферийных участков характеризуются наличием ЕТЛ, гамма – ТЛ в низкотемпературном диапазоне. В спектрах РЛ доминирует свечение в коротковолновом диапазоне 310 - 340 нм, связываемое с собственными дырочными центрами на кислородном ионе кремнекислородного тетраэдра. Таким образом, низкая интенсивность ТЛ и РЛ во всех случаях выделяет мало-перспективные или практически безрудные участки на месторождении.

Люминесцентные характеристики топазов из различных зон штоков отражают сложные проявления многих факторов: давления; окислительно – восстановительной обстановки, кислотности – щелочности и состава минералообразующей среды и являются типоморфными. С помощью структурно-чувствительных экспресс-методов исследования люминесцентных свойств топаза возможно эффективное выделение перспективных на руду участков в месторождениях касситерит-кварцевой формации, оценка эрозионного среза, зональности, оконтуривание месторождений, определение участков с проявлением вторичных наложенных процессов, а также оценка физико-химических условий минералообразования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Гинзбург А.И., Кузьмин В.И., Сидоренко Г.А. Минералогические исследования в практике геологоразведочных работ. - М.: Недра, 1981. - 237 с.
2. Минералогические индикаторы генезиса эндогенных руд / Н. В. Петровская, Н. Н. Мозгова, Ю. С. Бородаев, М. М. Новгородова, Ю. К. Воробьев, Л. П. Носик. - М.: Наука, 1987. - 232 с.
3. Марфунин А.С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М.: Недра, 1975. - 327 с.
4. Таращан А.Н. Люминесценция минералов. - Киев: Наукова думка, 1978. - 296 с.
5. Панова Е.Г. Типоморфизм топазов грейзеновых месторождений олова и вольфрама / Структура и эволюция минерального мира. - Сыктывкар, 1997. - С. 83-84.
6. Гавриленко В.В., Панова Е.Г. Метасоматизм и оловорудная минерализация в Приамурье. II. Зональность рудных районов и месторождений // Вестник С.-Петербургского Унта. Сер. 7. - 1995. - В. 2, №14. - С. 33 - 35.
7. Геолого – структурные и минералого – геохимические особенности Правоурмийского оловорудного месторождения / Гавриленко В.В., Ефименко С.А., Ткаченко, Е.Г., Панова, Н.А., Погребс // Геология рудных месторождений. - 1992. - № 6. - С. 34 - 46.
8. Крюков В.Г., Щербак Л.И., Гоздецкая Г.А. Оловоносные грейзены Баджала / Метал-

логения олова и вольфрама Дальнего Востока.-Владивосток,1983-С.176-185

9.Панова Е.Г., Гавриленко В.В., Лучицкая М.И. Химическая эволюция метасоматитов в процессе формирования Правоурмийского оловорудного месторождения // Геохимия – 1993. - № 5. – с. 743 – 753.

10.Гасюк А.М., Абрамова Э.Д. Основные факторы, влияющие на интенсивность термолюминесценции минералов //Исследования в области химич. и физич.методов анализа минерального сырья. -Алма-Ата, 1971. - С.69 - 71.

11.Коровкин М.В., Иванова О.А. Влияние прокаливания и облучения на люминесценцию природного топаза. / Спектроскопия, рентгенография и кристаллохимия минералов. Тез.докл. Международной конф. 30 сентября - 2 октября 1997 г. - Казань: Изд-во Казанского ун-та, 1997. - С. 154- 155.

12.Иванова О.А., Коровкин М.В. Закономерности изменения люминесцентных свойств топазов из грейзенов Правоурмийского оловорудного месторождения в связи с условиями образования / Материалы Региональной конф. геологов Сибири, Дальнего Востока и Северо-Востока России, Т.2. -Томск, 2000. - С. 105-107.

13.Кузнецов Г.В., Таращан А.Н. Люминесценция минералов гранитных пегматитов. – Киев: Наукова Думка, 1988. – 177 с.

14. Коровкин М.В. Термолюминесценция топазов / Применение люминесценции в геологии.- Екатеринбург:УрО АН СССР,1991.- С.58.

15. Коровкин М.В., Сальников В.Н. Эффект радиационной "памяти" в природных и искусственно выращенных кристаллах. / Геология, Т. 2. Ред. кол.: А.Н.Тихонов, В.А. Садовничий и др. (Программа "Университеты России") - М.: Изд-во Московского ун-та, 1995. - С. 200 - 204.

16. Коровкин М.В., Иванова О.А. Радиационные эффекты в кристаллах топаза / Труды 8-го Межнационального совещания "Радиационная физика твердого тела". - Севастополь, 1998. - С.148 - 151.

УДК 549.283:553.411

ТИПОМОРФНЫЕ ОСОБЕННОСТИ САМОРОДНОГО ЗОЛОТА МЕСТОРОЖДЕНИЙ УРИК-КИТОЙСКОЙ ЗОНЫ (В. САЯНЫ)

С.К. Кышш

Приведен аналитический материал, характеризующий морфологию, гранулометрический и химический состав самородного золота месторождений, расположенных в каледонских структурах, испытавших неоднократную тектоно-магматическую активизацию. Отмечаются закономерные вариации типоморфных свойств золота для рудных месторождений как во времени, так и в пространстве.

Введение

Золоторудные месторождения расположены в системе каледонид юго-восточной части Восточного Саяна и приурочены к северо-восточной периферической части Гарганской глыбы.

В геологическом строении района принимают участие: 1) архей-нижнепротерозойские породы комплекса основания Гарганской глыбы; 2) сланцево-карбонатный комплекс рифей-венда-чехол глыбы; 3) верхнепротерозойская офиолитовая ассоциация пород – тектонический покров; 4) барун-холбинский вулканоплутонический комплекс; 5) интрузии сумсунурского комплекса плагиогранитов нижне-среднепалеозойского возраста [1].

Главной металлогенической единицей территории является Гарганский район, в состав которого входят Ольгинская, Урик-Китойская, Хойто-Гарганская и Урда-Гарганская золоторудные зоны. Большая часть месторождений и рудо-проявлений сосредоточена в пределах Урик-Китойской золоторудной зоны, приуроченной к Холбинской зоне разлома северо-западного простиранья.

На месторождениях выделяются три основных морфологических типа рудных тел: