

Л.Н. САПОЖНИКОВА, И.А. ЖУКОВА, Н.Н. БОРОЗНОВСКАЯ

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЮ ПОЛЕВЫХ ШПАТОВ В ПРОЦЕССЕ ФОРМИРОВАНИЯ МУСКОВИТОВЫХ ПЕГМАТИТОВ

Рентгенолюминесцентные (РЛ) свойства взаимосвязаны с составом полевых шпатов — как с элементами-конституэнтами, так и с малыми (Ba, Sr). В РЛ спектрах центр излучения Eu^{2+} проявляется отчетливой полосой $\lambda_{\text{изл}}$ 400—420 нм. Она характерна для продуктов ранней кристаллизации и не фиксируется в поздних генерациях полевых шпатов. Кислотность—щелочность минералообразующей среды определяет интенсивность полосы Mn^{2+} в плагиоклазах. Использование РЛ свойств полевых шпатов в поисково-оценочных целях для плагиоклазовых пегматитов надежно, для двуполевошпатовых ограничено.

На примере типичных разрезов мусковитовых пегматитов различных геолого-промышленных подтипов, сопровождаемых графиками интенсивности излучения ряда люминогенов, в [7] авторы рассмотрели изменения люминесценции полевых шпатов (ПШ) от их ранних генераций к поздним, от краевых (приконтактных) зон пегматитовых тел к центральным. Охарактеризовано поведение центров люминесценции (λ , нм): для плагиоклазов — Pb^{2+} (285), Ce^{3+} (320—340), Eu^{2+} , SiO_4^{3-} (400—420), Mn^{2+} (560—570), Fe^{3+} (690—770); для калиевых полевых шпатов (КПШ) — Pb^{2+} , $\text{SiO}_4^{3-} + \text{AlO}_4^{4-}$ (430—450), AlO_4^{4-} (460—470 нм), Mn^{2+} , Fe^{3+} , Sr^{3+} (880—890 нм). Установлено, что изменение люминесценции ПШ закономерно. Цель авторов — выявить факторы, воздействующие на люминесценцию ПШ в процессе пегматитообразования; рассмотреть в свете новых данных возможности использования люминесцентных свойств ПШ для оценки промышленной слюдоносности пегматитов. В статье сохранены принятые ранее сокращения: РЛ — рентгенолюминесценция, ФЛ — фотолюминесценция, I — интенсивность излучения, ΣI — сумма интенсивностей максимумов излучения в различных диапазонах спектра, ГПТ — геолого-промышленный тип, ГППТ — геолого-промышленный подтип, КМК — кварц-мусковитовый комплекс. Влияние различных факторов на изменение РЛ свойств ПШ оценивалось путем сопоставления геологических, аналитических данных и РЛ ПШ с учетом сведений о термодинамических и физико-химических параметрах процесса формирования пегматитов.

Факторы, влияющие на РЛ плагиоклаза

Состав и строение пегматитовых тел, состав плагиоклаза. Валовый состав пегматитовых тел (на уровне типов) влияет на отношение $I_{\text{Ce}^{3+}}/I_{\text{Eu}^{2+}}$, O в РЛ спектрах плагиоклаза: в плагиоклазовых пегматитах (ГПТ1) < 1 , в двуполевошпатовых (ГПТ 2) > 1 , что связано с известной тенденцией возрастания концентрации церия относительно таковой европия при дифференциации гранит-пегматитовых систем [6].

В объеме конкретных пегматитовых жил изменчивость РЛ свойств плагиоклаза определяется в

первую очередь вариациями состава минерала. Чем стабильнее состав, тем в меньшей степени, более плавно изменяется I РЛ всех люминогенов, что наблюдается в слабо дифференцированных, неполнозональных телах. При значительных вариациях состава плагиоклаза, характерных для крупных полнозональных двуполевошпатовых пегматитов, отчетливее изменчивость его РЛ свойств, зависящих от содержания в минерале как петрогенных, так и малых (редких) элементов и связанных с теми и другими примесями-люминогенами. В такой форме проявляется фактор кристаллизационной дифференциации, который и определяет распределение по зонам пегматитовых тел названных элементов.

Для РЛ спектров плагиоклаза была установлена корреляция интенсивности полосы излучения 400—420 нм с содержаниями Ca^{2+} и Sr^{2+} и сделан вывод об обусловленности ее в значительной мере примесью люминогена Eu^{2+} , который проявляет геохимическое родство с этими элементами [6]. Вывод подтвержден сопоставлением данных РЛ и ФЛ (фотолюминесценция однозначно фиксирует Eu^{2+}) для серии образцов плагиоклазов. Экспериментальные работы выполнены В.В. Морошкиным (ВИМС). Выявлено, что полоса $\lambda_{\text{изл}}$ 400—420 нм в спектрах РЛ плагиоклаза отражает присутствие Eu^{2+} , а ее интенсивность — относительную концентрацию элемента. Максимум I этой полосы присущ образцам с максимальной ФЛ Eu^{2+} , сдвиг полосы излучения в диапазон 430—450 нм обнаруживается для плагиоклаза со слабой и очень слабой ФЛ Eu^{2+} , в диапазон 470 нм, когда ФЛ Eu^{2+} не выявлена.

Повышенной I РЛ Eu^{2+} обладает плагиоклаз из пегматитовых тел ГПТ 1 и приконтактных зон жил ГПТ 2. Здесь плагиоклаз отличается большим содержанием Ca и Sr и кристаллизуется при более высокой температуре. По мере понижения температуры кристаллизации, сопровождающейся «раскислением» плагиоклаза (вплоть до альбита) и падением в нем содержания Ca, Sr, I РЛ Eu^{2+} снижается до нуля. Таким образом, европий в пегматитовом процессе ведет себя аналогично пиротфильным элементам, Ba, Sr, составляющим геохимическую специализацию мусковитовых пегматитов [8]

и проявляющим тенденцию накапливаться в ранних продуктах кристаллизации.

Тенденции изменения I РЛ Ce^{3+} носят противоречивый характер: часто они соответствуют I РЛ Eu^{2+} . При этом в зональных двуполовошпатовых жилах I РЛ Eu^{2+} снижается быстрее, чем I РЛ Ce^{3+} . Поэтому отношение $I Ce^{3+} / I (Eu^{2+}, O^-)$ к центральной части тел увеличивается. Реже, при составе плагиоклаза пегматоидных зон $\leq An_{10}$, наблюдается усиление в нем интенсивности излучения Ce^{3+} . I РЛ Mn^{2+} в меньшей степени зависит от состава плагиоклаза.

Кислотность—щелочность минералообразующей среды. Значительная роль кислотно-основного взаимодействия компонентов при кристаллизации кислого расплава в условиях его равновесия с различными флюидами доказана экспериментальными работами [4]. Режим кислотности—щелочности, но только постмагматического этапа в мусковитовых пегматитах, на базе геолого-минералогических данных подробно рассмотрен в [8]. Главным условием образования мусковита в пегматитах авторы считают относительно высокую кислотность постмагматических растворов. В качестве более чувствительного индикатора относительной кислотности—щелочности минералообразующей среды ранее нами предложено использовать люминесцентные характеристики плагиоклаза, а именно $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ [1]. В основе этого индикаторного отношения лежит разное поведение примесей-люминогенов. Изоморфному вхождению Mn^{2+} , более слабого основания, на место Ca^{2+} способствует рост кислотности среды, а Fe^{3+} , напротив, проявляет себя более активно при повышении содержания щелочных металлов, особенно K^+ . Этот индикатор применим на всех стадиях пегматитового процесса. Изменение отношения $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ в разрезах жил разных типов и подтипов приведено на рис. 1.

Максимальные и относительно высокие значения $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ (повышенная кислотность среды минералообразования) отмечены для РЛ плагиоклаза: 1) у кварцевого ядра из альбит-олигоклазовых блоково-пегматоидных *бесслудных* зон в жилах всех составов (рис. 1, *Б*, проба 6; *В*, разрез 2, проба 6; *Ж*, разрез 1, проба 4); 2) из зон пегматита графической структуры, расположенных вблизи контакта в жилах любого состава (рис. 1, *Д*, *Е*, 3); 3) из промышленно слудоносных зон, когда муско-

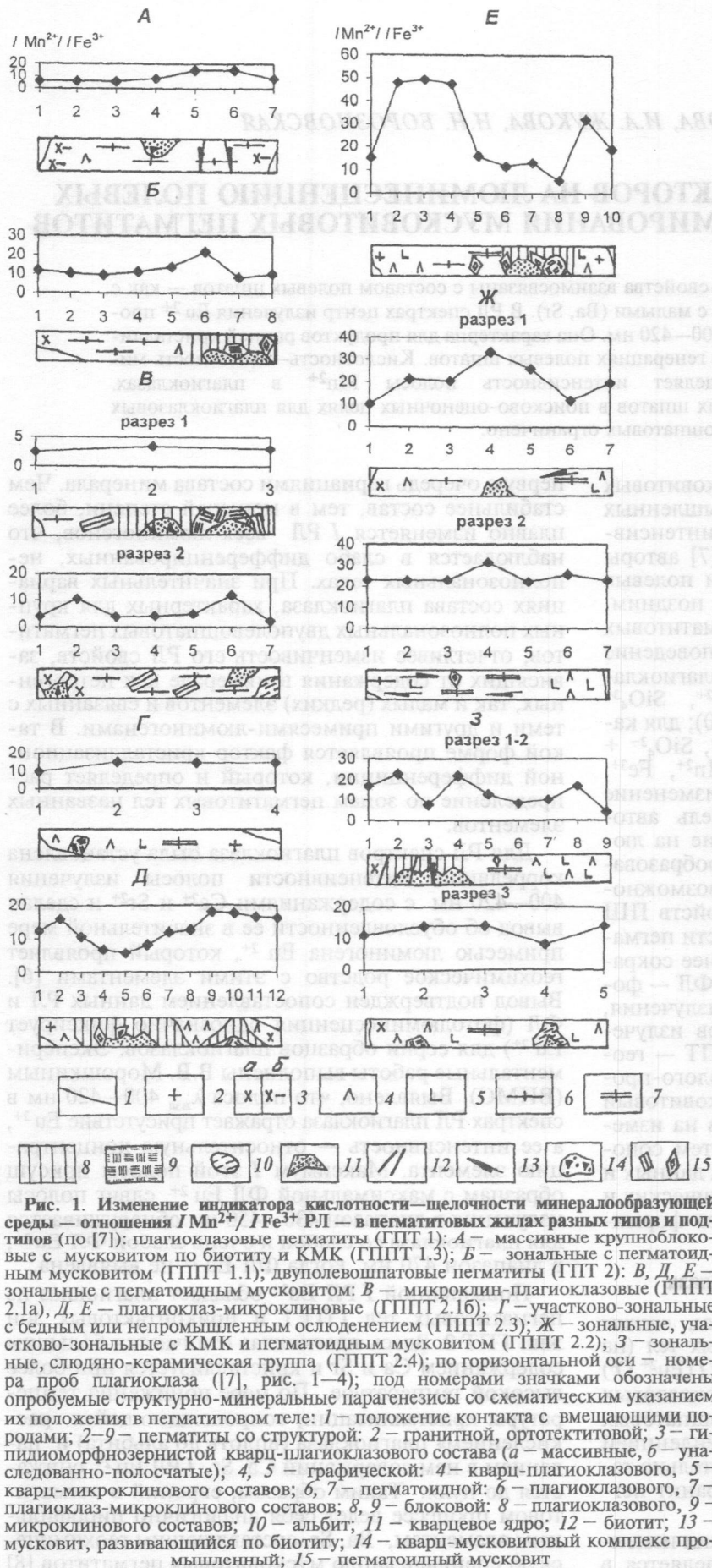


Рис. 1. Изменение индикатора кислотности—щелочности минералообразующей среды — отношения $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ РЛ — в пегматитовых жилах разных типов и подтипов (по [7]): плагиоклазовые пегматиты (ГПТ 1): *А* — массивные крупноблоковые с мусковитом по биотиту и КМК (ГППТ 1.3); *Б* — зональные с пегматоидным мусковитом (ГППТ 1.1); двуполовошпатовые пегматиты (ГПТ 2): *В*, *Д*, *Е* — зональные с пегматоидным мусковитом; *В* — микроклин-плагиоклазовые (ГППТ 2.1а), *Д*, *Е* — плагиоклаз-микрклиновые (ГППТ 2.1б); *Г* — участково-зональные с бедным или непромышленным ослюдением (ГППТ 2.3); *Ж* — зональные, участково-зональные с КМК и пегматоидным мусковитом (ГППТ 2.2); *З* — зональные, слюдяно-керамическая группа (ГППТ 2.4); по горизонтальной оси — номера проб плагиоклаза ([7], рис. 1—4); под номерами значками обозначены опробуемые структурно-минеральные парагенезисы со схематическим указанием их положения в пегматитовом теле: 1 — положение контакта с вмещающими породами; 2—9 — пегматиты со структурой: 2 — гранитной, ортогекситовой; 3 — гипидиоморфнозернистой кварц-плагиоклазового состава (*а* — массивные, *б* — унаследованно-полосчатые); 4, 5 — графической: 4 — кварц-плагиоклазового, 5 — кварц-микрклинового составов; 6, 7 — пегматоидной: 6 — плагиоклазового, 7 — плагиоклаз-микрклинового составов; 8, 9 — блоковой: 8 — плагиоклазового, 9 — микрклинового составов; 10 — альбит; 11 — кварцевое ядро; 12 — биотит; 13 — мусковит, развивающийся по биотиту; 14 — кварц-мусковитовый комплекс промышленный; 15 — пегматоидный мусковит

вит образуется метасоматически по биотиту или КМК (рис. 1, А, В, разрез 2, проба 2).

Снижение отношения $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ (относительно высокая щелочность) фиксируется для РЛ плагиоклаза: 1) из приконтактовых зон гранитной (ортотектитовой) структуры в жилах всех типов и подтипов; 2) из блоково-графических зон существенно микроклинового состава с пегматоидным мусковитом и КМК (рис. 1, Ж, разрез 1, пробы 57); 3) из блоково-пегматоидных зон с пегматоидным мусковитом: а) альбит-олигоклазового состава (рис. 1, Б, пробы 7, 8; В, разрез 2, пробы 35); б) двуполевошпатового состава (рис. 1, Д, пробы 36; Е, пробы 58); 4) из зон альбитизации (рис. 1, В, разрез 2, проба 7; З, разрез 3, проба 4).

Изменения индикаторного отношения $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ в разрезах жил отражают физико-химические особенности процесса формирования пегматитов и кристаллизации мусковита в телах разных типов и подтипов (классификация в [7]). В пегматитовых телах всех составов отчетливо выражено скачкообразное усиление люминесценции плагиоклаза при переходе от гранитной оторочки к графическому пегматиту (при наличии этой зоны), что свидетельствует о качественном изменении состояния расплава. Этот скачок вряд ли можно связать с последующими наложенными изменениями, так как зона графического пегматита наиболее «стерильна». Увеличение $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$, т. е. возрастание кислотности, возможно, обусловлено накоплением воды и других летучих в расплаве и резким ростом флюидного давления. В 1987 г. нами совместно с Б.И. Зориным и Г.А. Юргенсоном исследованы включения в кварце различных разновидностей пегматита методом газовой хроматографии и газовой конденсации. Согласно полученным результатам максимум газоотделения (массы газовой фазы) приходится на пегматит графической структуры, резкое снижение в 1,6—4,5 раза наблюдается в кварце ядра. При этом изменяется и состав газовой

фазы: от превалирования H_2O над CO_2 (тем более значительным, чем слюдоноснее жила) до обратных соотношений. Водный показатель — H_2O / CO_2 — уменьшается от 8—4 до 0,9—0,5. Такие изменения во флюиде мы связали с массовым расходом воды на образовании мусковита, происходящее после кристаллизации графического пегматита и полевошпатовой (или одновременно с ней) зоны, но до кварцевого ядра, и как следствие этого — осушение остаточного расплава-раствора и относительное его обогащение CO_2 .

Дальнейшее (после скачка в графическом пегматите) изменение кислотности—щелочности (по данным $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$) в пегматитах происходит различно и определяет характер слюдоносности жил. В промышленно бесплодных и бедных ($<15 \text{ кг/м}^3$) слабо дифференцированных жилах кислотность—щелочность остается практически на одном уровне (рис. 1, Г, Ж, разрез 2; З, разрез 3). В слюдоносных полнодифференцированных жилах преимущественно или исключительно с пегматоидным типом ослюденения щелочность в центральных полевошпатовых зонах возрастает: отношение $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ падает в 1,5 раза в плагиоклазовых (рис. 1, Б) и 3—10 раз в двуполевошпатовых пегматитовых телах (рис. 1, Д, Е, Ж, разрез 1). Относительно более щелочная обстановка при кристаллизации пегматоидного мусковита в зональных жилах ГПТ 1 подтверждается повышенной долей ортоклазового компонента в ассоциирующем с мусковитом плагиоклазе, составом мусковита, в частности, степенью окисления (f_0) в нем железа. Эта величина возрастает при увеличении активности кислорода с повышением щелочности среды. В приведенном примере (рис. 1, Б) f_0 в пегматоидном мусковите и КМК соответственно составляет 66,7 и 44,4%. Таким образом, образование пегматоидного мусковита происходит в относительно щелочной среде. Другой тип промышленного ослюденения — КМК — образуется метасоматически в разных зо-

Таблица 1

Влияние кварц-мусковитового замещения на люминесцентные свойства плагиоклаза разных генераций

Номер образца	Характеристика образца, генерация плагиоклаза, зона пегматита	РЛ-характеристика (λ , нм) в усл. ед.					Значение отношений I РЛ-характеристик			ТЛ, усл. ед., 170—190, °C
		320—340 (Ce^{3+})	400—420 (SiO_4^{2-}, Eu^{2+})	570 (Mn^{2+})	720—740 (Fe^{3+})	ΣI	$Ce^{3+} / (SiO_4^{2-}, Eu^{2+})$	Mn^{2+} / Fe^{3+}	$Ce^{3+} + SiO_4^{2-} / Mn^{2+} + Fe^{3+}$	
1	ПЛ-2 из графического пегматита	280	235	1840	150	2505	1,2	12,2	15,7	450
2	То же с пятнами КМК	704	335	3480	180	4699	2,1	19,0	25,1	1180
3	ПЛ-3 блоковый с кварцевым замещением	184	275	2320	129	2908	0,7	18,0	21,5	176
4	То же с КМК, гранатом	608	380	3920	150	5058	1,6	26,1	32,7	2036
5	ПЛ-1, на контакте мелкозернистый кварц-плагиоклазовый	134	216	1056	273	1679	0,62	3,9	5,2	
6	То же с КМК, пластинчатый мусковит, апатит	326	384	3839	368	4917	0,84	10,4	12,4	

Примечание. Данные термолюминесцентного (ТЛ) анализа в температурном интервале.

нах пегматита в условиях повышения кислотности (рис. 1, В). На фоне возрастающей кислотности протекает процесс слюдообразования в промышленных плагиоклазовых жилах ГППТ 1.3. Величина индикаторного отношения плавно увеличивается от контакта к центральной части жил — крупноблоковому кварц-плагиоклазовому пегматиту с мусковитом по биотиту и КМК (рис. 1, А). Повышение кислотности на участках развития КМК подтверждается результатами опробования серии специально отобранных образцов (табл. 1). Таким образом, кристаллизация пегматоидного мусковита и КМК происходит в разных условиях кислотности—щелочности среды.

Поздние зоны наложенной альбитизации (нового повышения щелочности [8]) образуются в слабо щелочной среде и отмечены наиболее низкими значениями индикаторного отношения РЛ характеристик (рис. 1, В, З).

Влияние сосуществующих минералов установлено как при совместной (или последовательной) кристаллизации парагенезисов, так и в результате последующего перераспределения элементов под воздействием поздних процессов. Присутствие в парагенезисах КПШ существенно влияет на РЛ плагиоклаза, резко снижая интенсивность люминесценции. На локальном уровне проявляется изменение люминесценции плагиоклаза при его непосредственной ассоциации с лейстовым биотитом или пегматоидным мусковитом. В результате скачкообразно в 2—3 раза снижаются концентрации Ce^{3+} , реже Eu^{2+} , Fe^{3+} в спектрах РЛ ПШ ([7]), что обусловлено предпочтительным вхождением РЗЭ в слюды, а не в ПШ [8].

Факторы, влияющие на РЛ КПШ

В разных типах пегматитов преимущественное развитие получают КПШ с отличающимися люминесцентными характеристиками: в двуполощчатых с более или менее четко проявленной полосой излучения AlO_4^{4-} , в плагиоклазовых — $\text{SiO}_4^{3-} \pm \text{AlO}_4^{4-}$ [6]. В пределах пегматитовых тел РЛ свойства КПШ изменяются закономерно в соответствии с изменением состава минерала. Проявлена обратная корреляция между I свечения «мигрирующей» полосы λ 400—520 нм и содержанием в КПШ Ab, мол.%. На диаграммах (рис. 2) фигуративные точки образуют неотчетливые поля, представляющие собой области преимущественного размещения значений I РЛ КПШ разных генераций. Наибольшая интенсивность указанной полосы присуща ранним генерациям КПШ с низким содержанием Na_2O , но повышенными количествами CaO, BaO и SrO. Состав пертитов соответствует в среднем олигоклазу An_{12} . Возможно, присутствие Eu^{2+} (по данным ФЛ, хотя и в меньшей концентрации, чем в КПШ из ранних плагиоклазовых пегматитов), усиливающего полосу излучения в диапазоне 400—420 нм, связано как с замещением Ba^{2+} , так и с пертитами. Интенсивность излучения в диапазоне 440—540 нм понижена в КПШ из поздних центральных зон с высоким содержанием натрия, преимущественно альбитовым составом пертитов и низкими концентрациями бария и стронция. Между I РЛ этой полосы и количества-

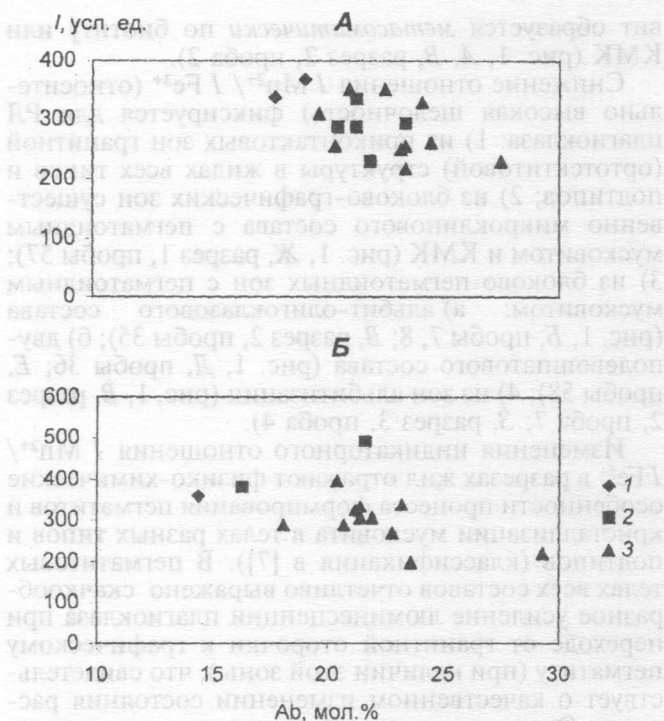


Рис. 2. Взаимосвязь интенсивности излучения максимума полосы в спектральном диапазоне 420—540 нм с содержанием Ab минерала в составе КПШ пегматитовых тел ГППТ 2.16 (А), ГППТ 2.1а (Б): 1—3 — КПШ из структурных зон пегматита: 1 — гранитной, ортогекситовой, 2 — графической, 3 — пегматоидной, блоковой

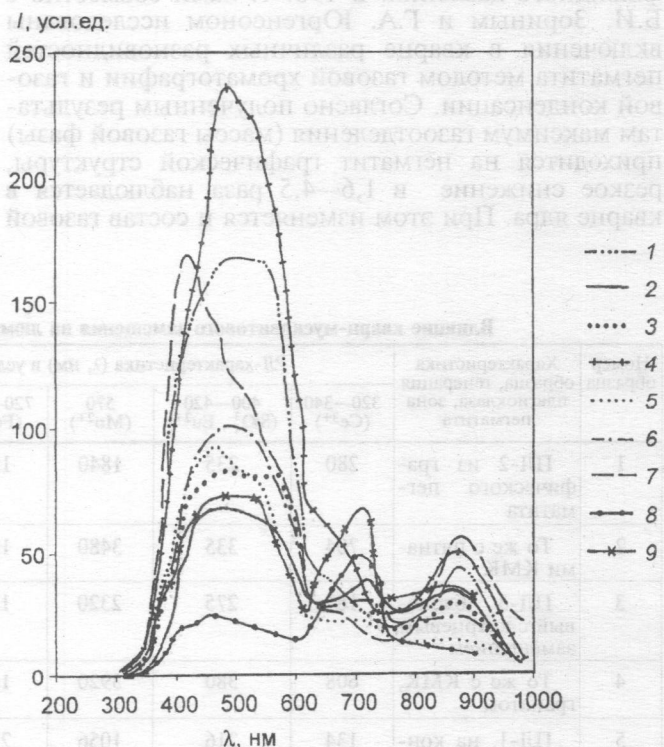


Рис. 3. Типы спектров и взаимосвязь интенсивности люминесценции КПШ с промышленной слюдоносностью пегматитовых жил (Беломорская провинция): спектры РЛ КПШ жил высоко-слюдоносных: 1 — Лопатова Губа, жила 119, 4 — Ена, жила 213, 7 — Тэдино, жила, 172; умеренно слюдоносных: 3, 5 — Неблора, жилы 231 и 27, 6 — Плотина, жила 72; керамических: 2 — Неблора, жила 110, 8 — Куру-Ваара, жила 7, 9 — Карельское, Григорьевские жилы

Взаимосвязь рентгенолюминесцентных характеристик плагиоклаза с промышленной слюдоносностью двуполевошпатовых жил
(на примере некоторых месторождений Мамского района)

Участок, месторождение	Номер жилы, опробуемая горная выработка	Тип, подтип	Количество проб	Промышленная характеристика слюдоносности			РЛ-характеристика (λ , нм) в усл.ед.						Значение отношений / РЛ-характеристик			
				Ср., кг/м ³	P ₁₀₀₊₅₀ , %	P ₄₋₂₅ , 1с, %	285 (Pb ²⁺)	320-340 (Ce ³⁺)	400-470 (SiO ₄ ²⁻ AlO ₄ ³⁻)	570 (Mn ²⁺)	720-740 (Fe ³⁺)	ΣI (без Pb ²⁺)	Ce ³⁺ /SiO ₄ ³⁻	Mn ²⁺ /Fe ³⁺	Ce ³⁺ +SiO ₄ ³⁻ +Mn ²⁺ /Fe ³⁺	
1. Ближний, Мочикитское месторождение	Граниты		1				75	157	150	3100	185	3592	1,0	16,8	18,4	
	837	2.1б	15	49,7	35,1	—	120	434	249	3817	174	4674	1,7	21,9	25,9	
	в том числе орг77		6	54,9			150	458	260	4783	155	5656	1,86	30,9	35,5	
	орг 41		4	34,3			134	427	229	4375	204	5235	1,9	21,4	24,6	
	орг 43		5	Бесслюдная апофиза	100	394		187	2212	172	2965	2,1	12,9	16,2		
	835	2.1б	35	31,7	12,3	1,5	137	381	224	2881	192	3678	1,7	15,0	18,2	
	в том числе орг 11		19	23,4			126	361	213	2550	222	3346	1,7	12,0	14,1	
	838	2.1а	7	26,8	36,2	0,3	174	369	337	2757	100	3563	1,1	27,6	34,6	
	839 шт.14	2.1б	8	17,4	6,2	0,1	125	347	211	2196	158	2912	1,6	13,9	17,4	
372	2.3	5	20,0	4,0	н/д	101	217	175	2152	126	2671	1,2	17,0	20,0		
2. Валежный — Малый Арагат, Колотовское месторождение	Без номера	2.3	4	Бесслюдная жила		124	182	2810	128	3244	0,7	22,0	24,3			
	89	2,4	11	9,2	8,5	-		325	232	2407	154	3595	1,4	15,6	19,2	
	90	2,4	15	15,6	9,8	9,9		189	268	2399	198	3054	0,7	12,1	14,4	
	64	2.1б	10	118,0	21,4	1,9		167	417	2070	101	2826	0,4	20,5	26,3	
	195 (8зона)	2.1б	16	110	28,5	1,2		157	162	1637	81	2037	1,0	20,2	24,1	
3. Скорняковский, Согдиондское месторождение	40ба, эксплуатационный блок	2.2	12	30,7			113	663	546	3148	154	4511	1,2	20,4	28,3	
	штольня		7	13,6			128	1163	991	5120	207	7481	1,2	24,7	35,1	

Примечание. Ср — среднее содержание забойного сырья; P₁₀₀₊₅₀ — доля в забойном сырье крупной деловой слюды площадью > 50—100 см², P₄₋₂₅, 1с — площадью ≥ 4—25 см², 1 сорт.

ми BaO и SrO в КПШ отмечена устойчивая положительная корреляция +0,75 и +0,83 соответственно. В случае высокого содержания BaO и SrO в КПШ из поздних пегматоидных зон, что характерно для бесплодных фланговых частей пегматитовых тел, точки их значений попадают в поле ранних генераций.

Считается, что элементы группы железа (Cr, Ti, V, Co) являются индикаторными для процесса слюдообразования [5]. Полоса излучения Cr^{3+} постоянно присутствует в спектрах РЛ КПШ. И только в специфических спектрах РЛ КПШ керамических пегматитов она практически не проявлена (рис. 3). Здесь $I Cr^{3+} / I Fe^{3+}$ 0,2—0,8, а в слюдоносных > 1.

По данным электронной микроскопии и рентгеноструктурного анализа микроструктуры распада твердого раствора свидетельствуют о различных режимах процесса для двух групп полевых шпатов: относительно высоких скоростях субсолидусного остывания для менее упорядоченных и двухфазных модификаций КПШ и замедленных для упорядоченных микроклинов [6]. Вероятно, эти особенности в совокупности с различиями в составе отражены в РЛ характеристиках КПШ: для первых обычны растянутые полосы свечения в диапазоне 400—540 нм, для вторых 450—540 нм, сменяющиеся в максимальных микрокливах спектрами с узкой интенсивной полосой излучения в интервале 460—490 нм (AlO_4^{4-}). Корреляция I излучения AlO_4^{4-} и $SiO_4^{3-} \pm AlO_4^{4-}$ с Δr слабая (-0,42).

Использование люминесцентных свойств полевых шпатов при поисках и оценке мусковитовых пегматитов

Нами была установлена корреляция I РЛ Mn^{2+} и величины отношения $I Ce^{3+} + I SiO_4^{3-} + I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$ РЛ в плагиоклазах с промышленной слюдоносностью [2, 3]. Указанные люминесцентные характеристики в высокослюдоносных жилах в 2—7 раз выше, чем в рядовых. Наши выводы базировались главным образом на результатах исследования плагиоклазовых жил с преобладающей тенденцией увеличения ΣI РЛ в поздних ассоциациях. Некоторое снижение I РЛ Mn^{2+} и ΣI наблюдается лишь на участках распространения пегматоидного мусковита и не изменяет общую статистику. В более сложных по составу двуполевошпатовых пегматитовых телах с разнообразными тенденциями изменения РЛ свойств плагиоклаза и большей дисперсностью значений I РЛ в пределах одного тела [7] применение люминесцентных методов для оценки промышленной слюдоносности ограничено (табл. 2).

Использование люминесцентных методов для оценки слюдоносности жил дает хорошие результаты на компактных участках поисков, где пегматитовые тела имеют единую геолого-тектоническую позицию, сходное строение и один геолого-промышленный тип мусковита. Например участок Ближний, где полностью опробованы разрезы как центральной части тел, так и флангов. Установлена корреляция средней ΣI РЛ плагиоклаза (+0,7) со средним содержанием (C_{cp}) мусковита как для серии жил, так и в пределах одной жилы. В объектах с высоким содержанием мусковита ин-

тенсивность свечения всех центров, кроме Fe^{3+} , в 1,5—2 раза выше, чем в менее слюдоносных. При этом отношение $I (Ce^{3+} + SiO_4^{3-} + Mn^{2+}) / I Fe^{3+}$ хорошо коррелирует (+0,8) с выходом делового мусковита крупных размеров — промысрца P_{100+50} .

Участок Валежный—Малый Арарат (для сравнения приведены данные по жиле 195 участка Стрательский этого же месторождения). Крупные пегматитовые тела нескольких ГППТ с ослюдением разных промышленно-генетических типов разобщены в пространстве. Из опробованных разрезов лишь два охватывают полные сечения (жилы 90 и 195 в эксплуатируемых выработках), остальные относятся к фланговым частям жил. На участке обнаруживается обратная зависимость между содержанием мусковита в промышленных объектах и ΣI РЛ плагиоклаза: минимальная ΣI РЛ приходится на наиболее слюдоносные жилы с пегматоидным типом мусковита. Но высоко- и низкослюдоносные жилы различаются по величине отношений $I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$, $I Ce^{2+} + I SiO_4^{3-} (Eu^{2+}) + I Mn^{2+} / I Fe^{3+}$: в первых эти показатели в 1,5—2 раза выше. Исключение — маломощное бесплодное тело в апикальной части жилы 90. Возможно, это связано с недостаточным количеством проб, к тому же отобранных лишь из краевых зон пегматита.

Еще сложнее для оценки пегматитовые тела с двумя в одинаковой степени проявленными типами ослюдения — пегматоидным и КМК (участок Скорняковский). Они характеризуются разными тенденциями изменения РЛ и большой дисперсностью значений [7]. Из-за разнообразия промышленных типов слюды корреляция C_{cp} с ΣI РЛ плагиоклаза — отрицательная. Так, в пределах одного тела (7), рис. 2, В; 4, В) сечение с преобладанием пегматоидного мусковита и более высоким его содержанием отличается пониженной ΣI и всех других РЛ характеристик плагиоклаза по сравнению с сечением с низким содержанием КМК. Сравнение подобных тел в пределах одного поля возможно только для сходных промышленно-генетических типов слюды.

Использование РЛ КПШ для оценки промышленного значения пегматитовых тел, по крайней мере для Мамского района, представляется еще более проблематичным, так как РЛ минерала зависит скорее от степени дифференциации пегматитов, а не от их слюдоносности. В Беломорской провинции в пегматитах связь (по единичным данным) интенсивности РЛ КПШ со слюдоносностью проявлена более отчетливо. РЛ КПШ в 1,5—2 раза выше в высокослюдоносных объектах, убывает в малослюдных и минимальна в керамических пегматитах (рис. 3).

Таким образом, эффективность применения люминесцентных методов при оценке промышленной слюдоносности двуполевошпатовых пегматитов ограничена и требует соблюдения по крайней мере двух основных условий: опробование равноценных разрезов и учет промышленно-генетического типа мусковита.

Выводы

1. Главные факторы, влияющие на изменение люминесценции ПШ в объеме пегматитовых тел мусковитовой формации — кристаллизационная дифференциация, отвечающая за распределение

по зонам основной массы элементов: петрогенных, редких, в том числе примесей-люминогенов, и кислотность—щелочность минералообразующей среды.

2. Фактор кристаллизационной дифференциации выражается через зависимость РЛ ПШ от состава и генерации минерала. *Плагиоклаз* в ранних плагиоклазовых пегматитах, а также краевых зонах двуполевошпатовых жил с повышенными содержаниями Ca^{2+} , Sr^{2+} отличается интенсивной РЛ полосе $\lambda_{\text{изл}}$ 400—420 нм (Eu^{2+} , SiO_4^{3-}). ФЛ Eu^{2+} интенсивная. В центральных частях плагиоклаз-микрклиновых жил в «кислом» плагиоклазе (An_{12-6}) поздних генераций с низким содержанием Sr РЛ указанной полосы уменьшается, она сдвигается в длинноволновую область до 470 нм. ФЛ Eu^{2+} отсутствует.

Калиевый полевой шпат ранних генераций краевых зон (из пегматита ортотектитовой и графической структуры) с низким содержанием Na_2O , но повышенным Ba^{2+} и Sr^{2+} отличается интенсивным излучением полосы в спектральном диапазоне λ 400—520 нм с максимумом λ 400—420 нм. Характерна ФЛ Eu^{2+} средней интенсивности. Максимум РЛ сдвигается в длинноволновую область 470—520 нм со снижением интенсивности ее излучения в КПШ с высоким содержанием натрия, но низкими концентрациями бария и стронция из поздних пегматоидных центральных зон. ФЛ Eu^{2+} слабая или отсутствует.

3. Кислотно-основные свойства кислых расплавов, регулируемые флюидами, во многом определяют интенсивность излучения самого сильного люминогена Mn^{2+} в плагиоклазах. Высокая интенсивность РЛ Mn^{2+} (относительно повышенная кислотность) фиксируется в плагиоклазе из графического пегматита, при замещении полевого шпата кварц-мусковитовым метасоматитом, и в альбит-олигоклазе блоковых зон на границе с кварцевым ядром. Согласно с отношением $I_{\text{Mn}^{2+}}/I_{\text{Fe}^{3+}}$, кристаллизация пегматоидного мусковита происходит в относительно щелочной среде, а КМК — в относительно кислой.

4. Закономерные изменения люминесценции ПШ в объеме пегматитовых тел позволяют использовать их РЛ характеристики в качестве индикаторов пегматитового процесса: $\text{Ce}^{3+}/(\text{Eu}^{2+}, \text{O}^-)$ и Eu^{2+} для изучения кристаллизационной дифференциации, $I_{\text{Mn}^{2+}}/I_{\text{Fe}^{3+}}$, $I_{\text{Sr}^{3+}}/I_{\text{Fe}^{3+}}$ — кислотно-щелочных свойств минералообразующей среды.

5. Использование РЛ свойств ПШ в поисково-оценочных целях, возможно, дифференцировано для жил разного состава. В плагиоклазовых жилах РЛ Mn^{2+} и величина отношения (РЛ) $I_{\text{Ce}^{3+}}/I_{\text{SiO}_4^{3-}} + I_{\text{Mn}^{2+}}/I_{\text{Fe}^{3+}}$ в плагиоклазах обнаруживают прямую корреляцию с промышленной слюдоносностью. В двуполевошпатовых пегматитах с разнообразными тенденциями изменения РЛ свойств плагиоклаза применение люминесцентных методов для оценки промышленной слюдоносности ограничено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борозновская Н. Н. Особенности рентгенолюминесценции полевых шпатов как показатель их генезиса // Зап. ВМО. 1989. № 1. С. 110—119.
2. Борозновская Н. Н., Сапожникова Л. Н. Связь люминесцентной спектроскопии полевых шпатов с мусковитоносностью пегматитов // Минералогия — народному хозяйству. Тез. докл. к VII съезду ВМО. Л.: Наука, 1987. С. 34.
3. Борозновская Н. Н., Сапожникова Л. Н. Особенности люминесценции полевых шпатов из мусковитовых пегматитов Мамского слюдоносного района // Минералогия, геохимия и полезные ископаемые Сибири. В. 1. Томск, 1990. С. 236—246.
4. Кузнецов А. Д., Эпельбаум М. Б. Изменение эвтектических отношений в кислых расплавах при растворении летучих компонентов // Кислотно-основные свойства химических элементов, минералов, горных пород и природных растворов. М.: Наука, 1982. С. 180—196.
5. Салье М. Е. Регрессивный метаморфизм — главная фаза рудогенеза при пегматитообразовании // Геология и генезис пегматитов. Л.: Наука, 1983. С. 30—59.
6. Сапожникова Л. Н., Борозновская Н. Н., Жукова И. А. Люминесцентные свойства полевых шпатов как индикатор дифференциации гранит-пегматитовых систем (на примере мусковитовых пегматитов) // Изв. вузов. Геология и разведка. 2002. № 6. С. 55—65.
7. Сапожникова Л. Н., Жукова И. А., Борозновская Н. Н. Тенденции изменения люминесцентных свойств полевых шпатов в гранитных пегматитах мусковитовой формации // Изв. вузов. Геология и разведка. 2004. № 6. С. 20—25.
8. Слюдоносные пегматиты / В. А. Макарыгина, В. М. Макагон, В. Е. Загорский, Б. М. Шмакин. Гранитные пегматиты. Т. 1. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1990. 233 с.

ВИМС

Томский государственный университет
Рецензент — В. С. Ежов