

## ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ СФАЛЕРИТА ИЗ РУДНЫХ ФАЦИЙ САФЬЯНОВСКОГО КОЛЧЕДАННОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ, СРЕДНИЙ УРАЛ

*Е. Р. Антикеев, Н. П. Сафина*

*Южно-Уральский государственный университет, jopny\_ar@mail.ru*

Одним из важных вопросов, возникающих при изучении колчеданных месторождений, является определение типоморфных особенностей слагающих их минералов. Особенно важной и интересной является информация, полученная при изучении люминесцентных свойств одного из главных рудных минералов – сфалерита.

Целью работы является изучение спектров люминесценции с определением люминесцирующих центров в различных типах сфалерита на базе сравнительно анализа.

В настоящей работе приведены результаты измерения спектров люминесценции сфалерита из рудных фаций Сафьяновского месторождения. Под термином «рудная фация» понимаются минеральные скопления со сходными текстурно-структурными и вещественными признаками, свойственными близким обстановкам и процессам минералообразования [Масленников, Зайков, 2006].

*Сафьяновское медно-цинково-колчеданное месторождение*, расположенное на Среднем Урале, в Режевском рудном районе, сформировалось в девоне – нижнем карбоне в задуговом палеобассейне в период кратковременного затухания риолит-дацит-андезит-базальтового вулканизма [Язева и др., 1991] по модели «черного курильщика» [Масленников, 2006].

Основу сульфидного холма составляют отложения гидротермальной фации, представленные массивными серноколчеданными рудами с гнездами сфалерита, халькопирита, барита и медноколчеданными разностями с реликтами сфалерит-халькопиритовых труб «черных курильщиков» и оруденелой фауны. На флангах распространены отложения рудокластической фаций в виде обломков массивных руд и труб «черных курильщиков». При текстурном картировании наблюдались переходы брекчированных руд в коллювиальные брекчии и сульфидные песчаники. На удалении (до 300 м) от рудной залежи они сменяются пиритовыми и барит-сфалеритовыми прослоями, чередующимися с углеродистыми пелитолитами и кремнистыми песчаниками. Пиритовые и баритсодержащие слои утратили признаки обломочного происхождения и отнесены к группе барит-полиметаллических диагенитов – продуктам интенсивного субмаринного преобразования тонкообломочных рудокластитов [Масленников, 2006; Сафина, Масленников, 2007].

Для исследований был отобран сфалерит из: 1) гнезд в серноколчеданных рудах (сфалерит-1); 2) цемента коллювиальных брекчий, сложенных обломками пирита (сфалерит-2); 3) барит-сфалеритовых диагенитов (сфалерит-3). Сфалерит-1 и 2 образуют сростки, иногда линзовидные агрегаты мелкозернистой структуры. Сфалерит-3 характеризуется зернистой структурой, выявляемой после травления в парах царской водки с полисинтетическими двойниками.

Согласно микроскопическим наблюдениям окраска сфалеритов-1 и 2 бурая или коричневая, внутренние рефлексии не обнаружены; у сфалерита-3 цвет меняется от бурого, медово-желтого до оранжево-красного, внутренние рефлексии от желтовато-бурых до оранжево-красных.

С помощью рентгенофлуоресцентного (качественное определение) и микрозондового анализов в составе сфалеритов были обнаружены примеси Fe, Cu и Cd. Химический состав (мас. %) сфалерита-3 следующий: Zn – 66.55–67.19, Fe – 0.02–0.21, S – 33.22–32.40 (анализы выполнены в лаборатории физических методов анализа минерального сырья, ИМин УрО РАН, аналитик В. А. Котляров).

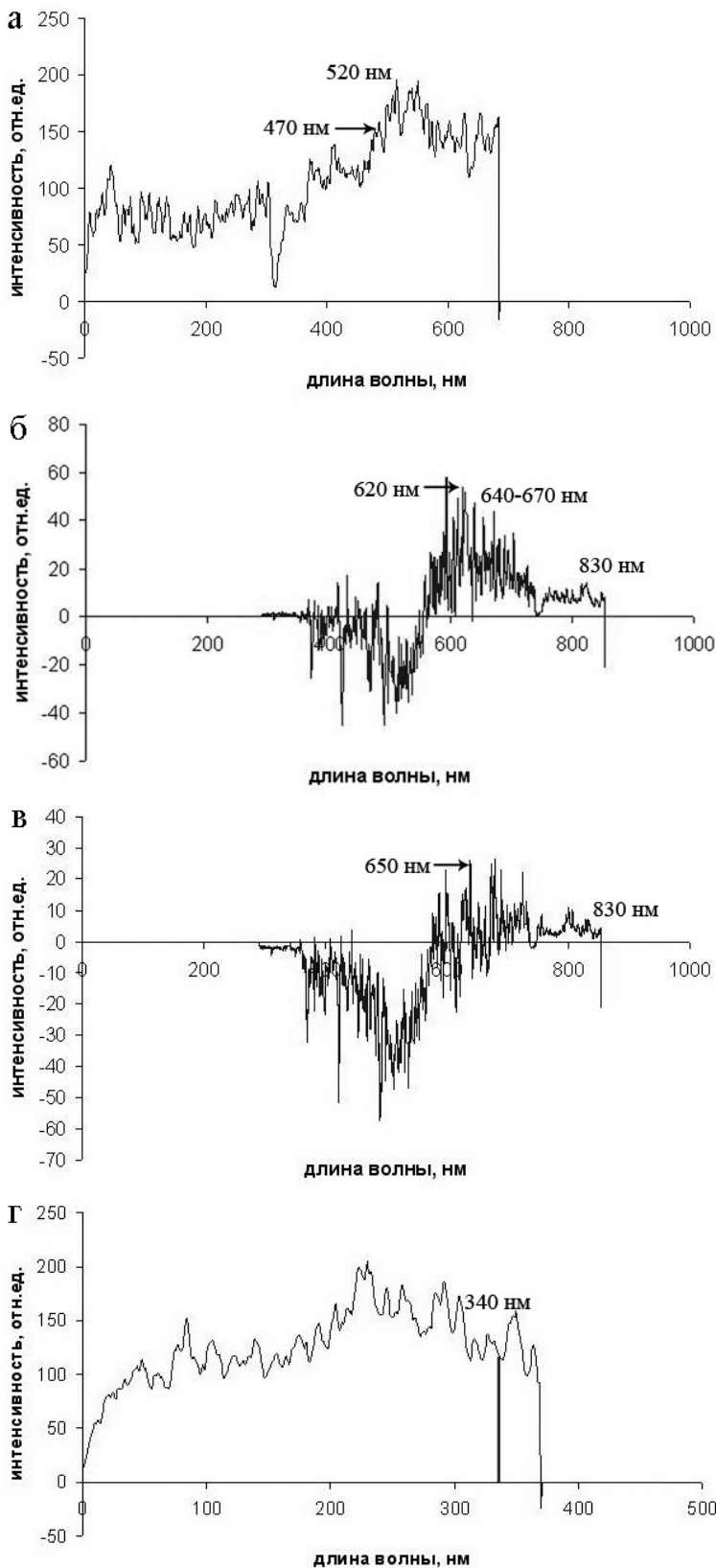


Рис. 1. Спектры люминесценции сфалеритов Сафьяновского месторождения.

а – сфалерит-1, обр. saf05-10-1; б–в – сфалерит-2, обр. saf0610-34, saf0610-35; г – сфалерит-3, обр. saf069-78.

Для характеристики люминесценции сфалеритов использовался катодолуминесцентный анализатор «КЛАВИ-Р» (лаборатория экспериментальной минералогии, ИМин УрО РАН, г. Миасс). В ходе измерений было установлено, что характер люминесценции сфалеритов отличается. Сфалерит-1 из гидротермальных руд имеет полосы с  $\lambda_{\max} = 470$  и 520 нм (рис. 1а). В спектрах сфалерита-2 из коллювиальных брекчий наблюдаются полосы люминесценции с  $\lambda_{\max} = 620, 640\text{--}670, 650$  и 830 нм (последняя относится к ИК-области спектра) (рис. 1б–в). Полученные спектры сфалерита-3 из барит-сфалеритовых диагенитов по результатам импульсной катодолуминесценции указывают на то, что сфалерит не имеет свечения (рис. 1г).

Голубая полоса люминесценции (длина волны 470 нм) (см. рис. 1а), по [Тарашан, 1978], связана с вакансией цинка:  $V_{Zn} - Cl$ ,  $V_{Zn} - Ga^{3+}_{Zn} Ag^+_{Zn}, Cu^+_{Zn}$ . Однако интенсивность линии с длиной волны 470 слаба, что связано с незначительной концентрацией Cu, наличие которой подтверждено РФА и, возможно, Ag.

Зеленая полоса люминесценции (длина волны 520 нм) (см. рис. 1а), может быть связана с присутствием  $Co^{2+}$  при небольших содержаниях  $Fe^{2+}$  (до 1 %) [Платонов, Марфуни, 1968] либо с влиянием центра  $Cu^+_{Zn} - Cl_s (Al^{3+}_{Zn})$  [Тарашан, 1978].

*Оранжевое свечение* (длина волны 620 нм) (см. рис. 1б) объясняется присутствием изоморфных примесей Ag и In –  $\text{Ag}^+_{\text{Zn}}$  и  $\text{In}^{3+}_{\text{Zn}}$ . В этой паре акцепторным центром является  $\text{In}^{3+}$ , а донором выступает  $\text{Ag}^+$  [Горобец, Рогожин, 2001].

*Оранжево-красный цвет* свечения (длина волны 650, 640–670 нм) (см. рис. 1б-в) обусловлен центром  $\text{Cu}^+_{\text{Zn}} - \text{Ga}^{3+}_{\text{Zn}} (\text{In}^{3+}_{\text{Zn}})$ . Акцептором вместо Cu может выступать  $\text{Ag}^+$ , а в зависимости от типа донора ( $\text{Ga}^{3+}$  или  $\text{In}^{3+}$ ) может возникать смещение спектральных полос [Таращан, 1978], что наблюдается на рисунке 1б.

*Темно-красная полоса* (длина волны 830 нм) (см. рис. 1б-в) объясняется присутствием  $\text{Tl}^{3+}$ , изоморфно замещающего Zn. Акцептором в этой паре является  $\text{Tl}^{3+}$  [Таращан, 1978].

Анализируя полученные спектры люминесценции сфалеритов из рудных фаций Сафьяновского месторождения, можно сделать вывод о наличии пяти полос с максимумами 470, 520, 620, 650 и 830 нм. Для сфалерита-1 гидротермальных руд характерно наличие свечения в голубой и зеленой областях спектра. При этом интенсивность зеленой полосы выше голубой. В коллювиальных брекчиях сфалерит-2 характеризуется свечением в оранжево-красной области спектра.

Сфалерит-3 без свечения, характеризуется незначительными содержаниями Fe (до 0.21 мас. %), отсутствием примеси Cu и Mn. Отсутствие примесей Cu, Mn и Ag было указано для переотложенных крупнозернистых разностей сфалерита в прожилках из метасоматитов под рудным телом Александринского колчеданного месторождения [Тесалина и др., 1998]. Эти жилы отнесены к придонной гидротермальной фации.

Итак, проведенными исследованиями установлено, что в сфалерите гидротермальных руд из кровли сульфидной постройки, наблюдается преимущественно зеленая люминесценция, обусловленная вхождением в структуру сфалерита хлор-аниона ( $\text{Cl}^-$ ) и примесных катионов металлов ( $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^+$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ). Источником хлор-аниона могла быть морская вода [Тесалина и др., 1998].

Перемещенные вниз по склону обломки сульфидной руды, цементируются сфалеритом, галенитом и баритом. В новообразованном сфалерите, отмечается свечение в оранжево-красных тонах, обусловленное изоморфным вхождением в структуру сфалерита  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{In}^{3+}$ ,  $\text{Ga}^{3+}$  и  $\text{Tl}^{3+}$ . Их присутствие связано с ассоциацией сфалерита с галенитом и блеклой рудой, на что ранее указывали [Платонов, Марфунин, 1968; Тесалина и др., 1998].

Отсутствие свечения в сфалерите-3 объясняется отсутствием примесей в результате его формирования в осадке на заключительных этапах постседиментационного преобразования, из растворов, обедненных рудными компонентами.

*Авторы благодарны В. Е. Еремяшеву, С. А. Садыкову за консультации при выполнении работы.*

*Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы (ГК П237) и интеграционного проекта СО-УрО РАН (09-И-5-2004).*

## Литература

- Горобец Б. С., Рогожин А. А. Спектры люминесценции минералов. М.: Изд-во ВИМС, 2001. 312 с.
- Марфунин А. С. Спектроскопия, люминесценция и радиационные центры в минералах. М.: Недра, 1975. 326 с.
- Масленников В. В. Литогенез и колчеданообразование. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. 384 с.
- Масленников В. В., Зайков В. В. Метод рудно-фациального анализа в геологии колчеданных месторождений: учебное пособие. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2006. 224 с.

*Платонов А. Н., Марфунин А. С.* Оптические спектры поглощения сфалеритов // ЗВМО. Ч. ХСVII. Вып. 3. 1968. С. 257–271.

*Сафина Н. П., Масленников В. В.* Рудокластиты колчеданных месторождений Яман-Касы и Сафьяновское (Урал). Миасс: УрО РАН, 2009. 260 с.

*Таращан А. Н.* Люминесценция минералов. Киев: Наукова думка, 1978. 296 с.

*Тесалина С. Г., Масленников В. В., Сурин Т. Н.* Александринское медно-цинково-колчеданное месторождение (Восточно-Уральская палеоостровная дуга, Урал). Миасс: ИМин УрО РАН, 1998. 228 с.

*Язева Р. Г., Молошаг В. П., Бочкарев В. В.* Геология и рудные парагенезисы Сафьяновского колчеданного месторождения в среднеуральском ретрошарьяже // Геология рудных месторождений. 1991. Т. 33. № 4. С. 58–76.