

## СТРУКТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ И ГЕНЕЗИС АДУЛЯРА ИЗ ТУФОИГНИМБРИТОВ СОКИРНИЦКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЦЕОЛИТОВ (ЗАКАРПАТЬЕ, УКРАИНА)

Слабоцеолитизированные туфоигнимбриты риолит-дацит-андезитового состава на территории Закарпатья представлены вулканическими образованиями, которые относят к нижнему тортону неогена. Они слагают нижнюю часть Сокирницкого месторождения породообразующих цеолитов и состоят преимущественно из обломков кварца, плагиоклаза и бесцветного стекла (С-1). Темноцветная (светло-желтая и желто-зеленая) фельзитовая основная масса представлена микрокристаллическим агрегатом плагиоклаза, кварца и биотита, сцементированными изотропным веществом (стеклом С-2). Магматогенными минералами туфоигнимбритов являюся фенокристаллы плагиоклаза (олигоклаз № 28—34 и андезин № 40—42), кварц, санидин, биотит, тридимит, кальцит и акцессорные минералы в виде сростков циркона и апатита [1].

Адуляр — самый распространенный вторичный минерал туфоигнимбритов Сокирницкого месторождения. Идиоморфные кристаллы (менее 0,05 мм) и микродрозы адуляра растут в порах породы (рис. 1) или метасоматически замещают стекло (рис. 2, а).

Как показывают растровые электронно-микроскопические снимки, габитус адуляра определяется простыми формами  $\{110\}$ ,  $\{001\}$ ,  $\{101\}$  и  $\{100\}$  [1]. В результате микроскопических исследований установлены три морфологических типа адуляра, различающихся морфологией и структурной Si-Al упорядоченностью.

*1 min — Ad-1.* Представлен идиоморфными кристаллами адуляра с габитусом  $\{110\} + \{110\}$ , растущими на границе стекло С-1 и стекло С-2 (кислого и основного состава, соответственно) (рис. 2, а, б). Он имеет низкую упорядоченность:  $2t_i = 0,61—0,63$ , что, возможно, связано с тем, что кристаллы адуляра растут в разупорядоченной твердой фазе — стекле С-1 (рис. 2, а).

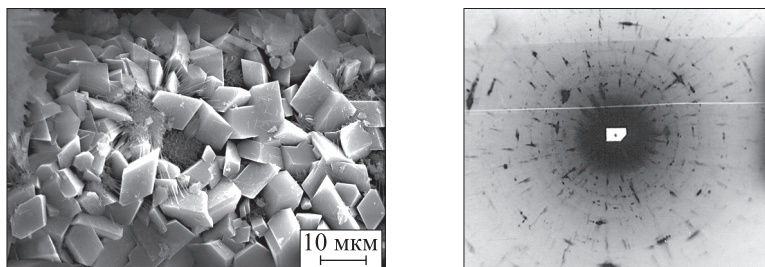
*2 min — Ad-2.* Щетки кристаллов 1 типа свободно растут в миаролах (рис. 3). Для них отмечается высокая упорядоченность —  $2t_i = 0,69—0,71$ , которая характерна для адуляра гидротермального генезиса [2, 3].

*3 min — Ad-3.* Это мелкокристаллический адуляр зеленого цвета, образующий шарообразные скопления в фельзитовой массе стекла С-2. На лауэграммах тонкокристал-



**Рис. 1.** СЭМ-изображение кристаллов адуляра, растущих в порах породы месторождения Сокирница

**Рис. 2.** Кристалл адуляра 1 типа (*a* — на границе стекло С-1 (кислое) и С-2 (основное)); *б* — растущий в стекле С-1, видна фельзитовая матрица). Туфоигнимбриты месторождения Сокирница (обр. ЗК-79). Ник. ×



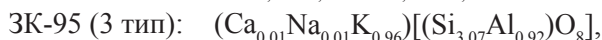
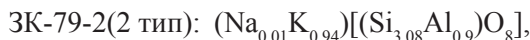
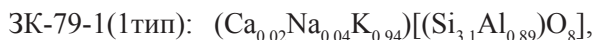
**Рис. 3.** СЭМ-изображение кристаллов адуляра 2-го типа, растущих в микрополостях

**Рис. 4.** Лауэграмма адуляра 3-го типа, представленного зернистыми агрегатами зеленого цвета (обр. ЗК-79, месторождение Сокирница)

лических зернистых агрегатов зеленого цвета (Ad-3) наблюдаются дебаевские кольца, что возможно только при размере кристаллитов 0,5—1,0 мкм (рис. 4). Зерна адуляра обладают очень низкой упорядоченностью ( $2t_l = 0,55—0,57$ ), которая может быть результатом метасоматического изменения богатой железом фельзитовой массы.

Результаты общего химического анализа, электронно-зондового микроанализа и структурные характеристики адуляра приведены в таблице.

Кристаллохимические формулы исследуемого адуляра имеют вид



и отвечают чистому калиевому полевому шпату. Триклинная фаза в них отсутствует. Зональность кристаллов оптическими методами не выявлена.

Рентгеновская дифрактометрия показывает моноклинную симметрию полевого шпата, который имеет следующие параметры элементарной ячейки:  $a = 0,8592—0,861$  нм;  $b = 1,2999—1,304$  нм;  $c = 0,7173—0,7191$  нм;  $\beta = 115,94°—116,182°$ . Эти данные соответствуют параметрам элементарной ячейки высокого санидина (Spenser C) и адуляра (Spenser B) [4], что прекрасно согласуется с их низкой упорядоченностью.

Структурные параметры, упорядоченность и химический состав адуляра Сокирницкого месторождения

Структурный параметр, компонент	Тип 2			Тип 3							
	3К-79-1	3К-79-2	3К-95 (1)	3К-89/91	3К-95 (2)	3К-95/91	3К-97/91	3К-85/91	3К-89/91	3К-89/91	
	<i>a</i> , нм	0,8622(1)	0,8622(3)	0,8604(1)	0,8592(1)	0,8623(1)	0,8593(1)	0,8606(1)	0,8607(1)	0,8594(1)	0,8610(1)
<i>b</i> , нм	1,3055(6)	1,3039(8)	1,3027(4)	1,301(10)	1,3046(7)	1,3047(9)	1,3045(8)	1,303(13)	1,3001(7)	1,3039(8)	
<i>c</i> , нм	0,7198(1)	0,7191(1)	0,7181(1)	0,7173(1)	0,7188(1)	0,7187(1)	0,7186(1)	0,7178(1)	0,7176(1)	0,7186(1)	
$\beta$ , град	116,16(1)	115,94	116,14 (1)	116,03 (2)	116,17 (2)	116,17 (2)	116,17 (2)	116,15 (2)	116,18 (1)	116,1 (2)	
$2\theta_1$	<b>0,62</b>	<b>0,60</b>	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,53</b>	<b>0,55</b>	<b>0,54</b>	<b>0,58</b>	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>	
SiO <sub>2</sub>	67,88 *	66,93 **	—	—	—	—	67,03 **	—	—	—	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,47	16,51	—	—	—	—	16,77	—	—	—	
TiO <sub>2</sub>	0,04	0,0	—	—	—	—	0,09	—	—	—	
MnO	—	0,0	—	—	—	—	0,0	—	—	—	
MgO	0,89	0,05	—	—	—	—	0,0	—	—	—	
FeO	0,56	0,29	—	—	—	—	0,03	—	—	—	
K <sub>2</sub> O	11,8	16,0	—	—	—	—	16,02	—	—	—	
Na <sub>2</sub> O	0,5	0,03	—	—	—	—	0,01	—	—	—	
CaO	0,46	0,01	—	—	—	—	0,04	—	—	—	
$\Sigma$	98,6	99,82	—	—	—	—	99,99	—	—	—	

\* Анализы выполнены в лаборатории отдела геохимии техногенных металлов и аналитической химии ИГМР НАН Украины (аналитик А.В. Ренкас).  
 \*\* Анализы выполнены в Техническом центре НАН Украины на приборе JXA-8200 (аналитик В.Б. Соболев).

Структурная Si-Al упорядоченность адуляра 1-го и 3-го типов оказалась очень низкой и соответствует высокому санидину [3]. Такие значения структурной упорядоченности не свойственны адуляру. Подобные кристаллы были встречены в эпитегрмальных кварц-адуляровых жилах Хишикари, Япония [2]. По структурному состоянию ( $2t_1 = 0,60$ ) такой адуляр соответствует высокому санидину, который содержит триклинные домены. Для сокирницкого адуляра не характерно наличие в структуре триклинных доменов.

Возможно, низкую Si-Al упорядоченность адуляр Сокирницкого месторождения унаследовал от богатого калием стекла С-1 (кислое стекло). Кристаллизация адуляра начиналась на границе с фельзитом и дальше продолжалась в направлении стекла С-1 (см. рис. 2, а). Степень замещения стекла варьирует от группы маленьких кристаллов на контакте с фельзитом до кристалла, который почти полностью замещает стекло (см. рис. 2, б). В полостях происходит свободный рост кристаллов адуляра и образуются хорошо огранённые его кристаллы (см. рис. 3). По результатам исследования включений в адуляре из риолитовых туфов Закарпаття (Квасы), температура его образования равна 240—300 °С [5]. Следовательно, можно предположить, что температура кристаллизации сокирницких адуляров составляла 240—300 °С.

Спектр новообразованных минералов на Сокирницком месторождении разнообразен: адуляр, альбит, анальцит, кальцит — типичные гидротермальные минералы цеолитовой фации. Поскольку биотит и плагиоклаз не изменены, следует предположить, что источником вещества для новообразованных минералов были стекло и фельзит. Гидротермальное изменение испытали и включения пемзы. На состав гидротермального раствора влияли газы, которые выделялись при раскрытии включений. Взаимодействие высокоминерализованных растворов, насыщенных кремнием, алюминием и щелочами с высокой активностью углекислоты, со стеклом привело к метасоматическому образованию вторичных минералов. Адуляр и анальцит замещали кислое стекло (С-1), а кальцит рос в фельзите (С-2). Значительное количество адуляра кристаллизовалось в микропорах из того же гидротермального раствора. Можно допустить, что кристаллизация новообразованных минералов происходила в последовательности адуляр → анальцит → цеолиты.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельников В.С., Гречановська О.Є., Дьоменко Д.П. та ін. Мікромінералогія та генезис ігнімбритів цеолітового родовища Сокирниця (Закарпаття) // Зап. Укр. мінерал. тов-ва. — 2006. — 3. — С. 99—102.
2. Lingdi Z., Jiugao G., Binguang L., Liyun L. Structural state of adularia from Hishikari, Japan // Chinese Sci. Bull. — 2001. — 46, N 11. — P. 950—955.
3. Ferguson R.B., Ball N.A., Černý P. Structure refinement of an adularian end-member high sanidine from the buck claim pegmatite, Bernic Lake, Manitoba // Canad. Mineralogist. — 1991. — 29. — P. 543—552.
4. Smith J. Feldspars minerals. — Berlin; Heidelberg; New-York: Springer, 1974. — V. 1. — 627 p.; V. 2. — 690 p.
5. Калужний В.А., Сайко Н.М. До умов формування асоціацій мінералів і вертикальної зональності на Квасівському рудному полі (Закарпаття) // Мінерал. зб. — 1999. — № 49 (1). — С. 23—33.