

УДК 548:549.614:553.064 (477.42)

О.П. Вовк<sup>1</sup>, І.М. Наумко<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Східноєвропейський національний університет ім. Лесі Українки  
43025, м. Луцьк, Україна, пр. Волі, 13  
E-mail: geologygeochemistry@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут геології і геохімії горючих копалин НАН України  
79060, м. Львів, Україна, вул. Наукова, 3а

## ОСОБЛИВОСТІ КРИСТАЛОМОРФОЛОГІЇ ТОПАЗУ ІЗ КАМЕРНИХ ПЕГМАТИТІВ ВОЛИНИ (ЗА ДАНИМИ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ)

За результатами дослідження 85 індивідів і зростків багатогранників топазу проведено статистичне опрацювання гоніометричних вимірювань їхніх кристалів із камерних пегматитів Волині. Виявлено кореляцію між розмірами кристала та його морфологією: на великих багатогранниках частота прояву більшості простих форм є вищою. Визначено морфологічно важливі прості форми із врахуванням загальної частоти, комбінаційної стійкості та відносного розвитку граней. Проаналізовано морфологію кристалів із різних мінерало-структурних зон пегматитових тіл. Найважливішими формами на індивідах топазу є призми вертикального поясу  $M\{110\}$  та  $l\{120\}$ . На головках багатогранників із заноришів найбільше розвинені  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $X\{023\}$ . Кристалам із зон вилуговування властива бідніша огранка — на їхніх головках виявлено форми  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $i\{113\}$ ,  $d\{101\}$ , з яких добре розвинута лише перша. За допомогою кластерного аналізу встановлено шість морфологічних типів багатогранників. За наведеними таблицями можна визначити важливість кожної простої форми залежно від розмірів індивіду.

*Ключові слова:* кристаломорфологія, гоніометрія, топаз, камерні пегматити, Волинь, статистичні методи.

**Вступ.** Характерною рисою камерних пегматитів Волині, генетично і просторово пов'язаних з гранітами Коростенського плутону в північно-західній частині Українського щита [4], є наявність великих і прозорих кристалів коштовного каміння. Часто трапляється топаз — надійний індикатор кислотності-лужності флюїдного середовища мінералогенезу, чітко індивідуалізований кристалографічно [2, 7]. Переважно його кристали приурочені до заноришових областей і зон вилуговування, трапляються у порожнинах графічної, пегматоїдної та польовошпатової зон і в метасоматично змінених породах, а також у вигляді твердих включень у кварці [6, 4].

Оскільки камерні пегматити — єдине джерело ювелірного топазу в Україні, то оцінці рівня кондиційності кристалів мінералу, поряд

з матеріалами вивчення забарвлення [5], генези [6, 4, 9, 3,], хімічного складу [4] тощо, насамперед, сприятимуть кристаломорфологічні дослідження [4, 1]. Незважаючи на значну кількість гоніометричних вимірів, результати статистичного опрацювання кристаломорфології топазу обговорено недостатньо. Попередні дані на цю тему наведено у працях [13, 11, 8, 1]. Розвиток програмного забезпечення уможливив проведення нових досліджень і узагальнень, результати яких викладені у цій статті. Таку кількість кристалів топазу (85 індивідів і зростків) раніше статистично не вивчали.

**Об'єкт і методи досліджень.** Ми дослідили морфологію 73 індивідів і зростків багатогранників топазу із заноришів та 12 — із зон вилуговування. Оскільки вивчали не лише зразки, відібрані нами самостійно в 1993—1999 рр., але й надані Мінералогічним музеєм Львівського національного університету ім. Івана

Франка і Музеєм коштовного та декоративно-го каміння (Володарськ-Волинський), а також зразки з приватних колекцій, прив'язку всіх кристалів до конкретних пегматитових тіл встановити неможливо. Кожен індивід зростка, на якому можна було встановити прості форми, обраховували окремо. Для проведення статистичного аналізу використано програми *SPSS Statistics 17.0* і *Ms Excel*.

Оскільки у вертикальному поясі усіх кристалів топазу наявні добре розвинені грані призм  $M\{110\}$  та  $l\{120\}$ , а інші грані трапляються лише на поодиноких кристалах, то доцільно піддавати статистичній обробці результати гоніометрії лише головок індивідів. На кристалах ми визначали частоту прояву простих форм, частоту комбінацій (поєднань) простих форм, виділяли найхарактерніші комбінації тощо. Подібні дослідження проведені, наприклад, для багатогранників кальциту із Штрамберка (Словаччина) [12]. Треба зазначити, що на кристалах топазу часто наявні не всі грані даної простої форми, або вони розвинені нерівномірно. Цей факт відображають результати обрахунку частоти прояву граней простих форм. Також досліджено залежність морфології кристала від його розмірів, за допомогою кластерного аналізу виконано типізацію кристалів.

Вихідні дані для проведення статистичного аналізу морфології головок кристалів топазу із заноришів наведено в табл. 1.

**Результати досліджень та їхнє обговорення.** Результати статистичної обробки гоніометричних вимірювань кристалів топазу наведено в табл. 2–5. Аналізуючи ці таблиці необхідно врахувати, що практично всі індивіди топазу із заноришів є одноголовими. На жаль, параметр "видовження" для вивчення ввести було неможливо, оскільки в багатьох кристалах збережені лише головки.

У табл. 2 наведена частота прояву простих форм на головках кристалів топазу із занориша та зони вилуговування. Як видно з табл. 1, на головках індивідів із занориша досить поширеними є форми  $f\{011\}$  (95,89%),  $o\{111\}$  (87,67%),  $u\{112\}$  (87,67%),  $c\{001\}$  (75,34%),  $y\{021\}$  (56,16%),  $d\{101\}$  (54,79%), інші форми трапляються рідко. Рідкісні форми  $\beta\{012\}$ ,  $Q\{201\}$ ,  $\varepsilon\{114\}$ ,  $r\{121\}$ ,  $\tau\{131\}$ ,  $\gamma\{232\}$  встановлено лише на одному кристалі. У зоні вилуговування форми  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$  та  $u\{112\}$  наявні на всіх індивідах. Дипіраміда  $i\{113\}$  є поширенішою (67%), ніж на кристалах із заноришів, а

форми  $c\{001\}$  і  $d\{101\}$  зафіксовано рідше (відповідно, 33 і 25%). Інші форми в зоні вилуговування не виявлені.

Морфологічну важливість граней визначали також за методом П. Нігглі [12]. З цією метою, крім реальної частоти граней ( $h$ ), обчислювали комбінаційну стійкість ( $p$ ), тобто кількість комбінацій, в яких наявна ця форма, причому кожному комбінацію враховували лише один раз.

Для обчислення частоти прояву простої форми з врахуванням відносних розмірів граней всі грані розподілено на три групи:  $\gamma_1$  — великі,  $\gamma_2$  — середні,  $\gamma_3$  — малі. Число вагомості граней  $g$  визначали за формулою  $g = 1 \times \gamma_1 + 2/3 \times \gamma_2 + 1/3 \times \gamma_3$ .

У табл. 3 відображено співвідношення між частотою прояву форми на кристалах із заноришів та відносним розвитком її граней. Як і за звичайної частоти, найважливішими є форми  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ , але завдяки відносному розвитку граней видно, що за однакової частоти дипіраміда  $o\{111\}$  важливіша, ніж  $u\{112\}$ .

Ряд морфологічної важливості простих форм з урахуванням комбінаційної стійкості та відносного розвитку граней на головках кристалів волинських топазів має такий вигляд:  $f\{011\}$  —  $o\{111\}$  —  $u\{112\}$  —  $c\{001\}$  —  $y\{021\}$  —  $d\{101\}$  —  $X\{023\}$  —  $i\{113\}$  —  $h\{103\}$  —  $f\{225\}$  —  $\beta\{012\}$  —  $Q\{201\}$  —  $\varepsilon\{114\}$ ,  $r\{121\}$ ,  $\tau\{131\}$ ,  $\gamma\{232\}$ ,  $\chi\{123\}$ .

Виходячи зі структурних факторів (ретикулярна густина, РВС-вектори та симетрія грані), найважливішими простими формами кристалів топазу повинні бути грані вертикального поясу  $b\{010\}$ ,  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$ , а на головках кристалів —  $f\{011\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $y\{021\}$  [2].

Табл. 4 показує поширеність комбінацій простих форм. Як і слід було очікувати, найчастіше трапляються комбінації  $f\{011\} + u\{112\}$  (84,93%),  $f\{011\} + o\{111\}$  (83,56%),  $o\{111\} + u\{112\}$  (78,08%),  $f\{011\} + c\{001\}$  і  $o\{111\} + c\{001\}$  (по 71,23%),  $u\{112\} + c\{001\}$  (69,86%).

Необхідно відзначити практично однакову частоту та комбінаційну стійкість форм  $o\{111\}$  та  $u\{112\}$ . У заноришах  $u\{112\}$  є частішою на малих та середніх (до 10 см вздовж  $[001]$ ) бідоограних індивідах,  $o\{111\}$  — на великих.

Детальніше залежність морфології кристалів від їхніх розмірів показано в табл. 5, з якої видно, що практично всі важливі прості форми частіше трапляються на великих кристалах, ніж на дрібних. Винятком є призма  $f\{011\}$ ,

Таблиця 1. Дані для статистичного аналізу простих форм на головках кристалів топазу із заноришів  
 Table 1. The data for the statistical analysis of simple forms on crystals heads of topaz from chambers

Номер кристала	Прості форми																Відносні розміри	
	001	012	023	011	021	103	101	201	114	113	225	112	111	121	232	131		123
1	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1
5	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1
6	0	0	0	2	1	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	3	0	0	2	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2
8	0	0	3	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1
9	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	3
10	0	0	2	3	2	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
11	0	0	2	3	1	0	1	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2
12	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	2
13	1	0	0	3	1	0	1	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	2
14	1	0	0	3	0	0	1	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	3
15	1	0	3	0	0	0	1	0	0	2	0	3	2	0	0	0	0	3
16	1	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	2
17	1	0	2	3	2	0	2	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
18	1	0	1	3	2	0	2	0	0	0	0	2	3	1	0	0	0	3
19	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	1
20	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	1
21	2	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1
22	3	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	1
23	2	0	0	3	1	0	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1
24	1	0	1	3	2	0	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
25	1	0	2	3	1	0	1	0	0	0	2	0	3	0	0	0	0	3
26	2	0	1	3	0	0	1	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	3
27	1	0	1	3	0	0	1	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
28	1	3	2	2	2	0	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
29	2	0	1	2	2	0	1	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
30	3	0	2	0	2	0	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
31	3	0	0	3	0	0	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
32	1	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	3	3	0	0	0	0	3
33	3	0	1	2	3	1	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3
34	3	0	0	3	2	3	2	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	3
35	3	0	1	3	1	1	2	0	0	1	1	3	1	0	0	0	0	2
36	2	0	1	3	3	1	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
37	2	0	1	1	1	1	3	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
38	2	0	1	2	2	2	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
39	1	0	0	2	1	0	1	2	1	0	0	2	3	0	1	0	0	2
40	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1
41	2	0	1	3	1	0	0	0	0	1	1	2	3	0	0	0	0	1
42	0	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	1
43	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	2
44	1	0	0	3	2	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3
45	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	3
46	1	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	0	3
47	1	0	0	3	2	1	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	2
48	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2
49	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2
50	1	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	1	2
51	0	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2
52	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2
53	3	0	0	3	2	0	0	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	2
54	0	0	0	3	0	0	0	0	0	2	0	2	2	0	0	0	0	2
55	2	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	2
56	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
57	2	0	2	3	0	0	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
58	1	0	1	3	0	1	3	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
59	3	0	2	3	1	0	0	0	0	1	0	2	2	0	0	0	0	3
60	2	0	0	3	2	0	1	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3
61	1	0	0	3	2	0	2	0	0	1	0	2	3	0	0	1	0	3
62	2	0	1	3	0	0	1	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
63	1	0	3	3	0	0	1	0	0	2	1	2	3	0	0	0	0	3
64	2	0	2	3	0	1	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
65	2	0	2	3	2	1	1	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
66	2	0	0	3	2	1	2	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
67	2	0	0	3	0	1	2	0	0	1	0	2	3	0	0	0	0	3
68	1	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	3
69	2	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0	2
70	2	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	2
71	3	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2
72	3	0	2	3	2	2	2	0	0	1	2	3	0	0	0	0	0	3
73	1	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3

П р и м і т к а. Цифри 0, 1, 2, 3 у колонках простих форм вказують на наявність і відносні розміри граней даної форми (0 — відсутня, 1 — незначні розміри, 2 — середні, 3 — великі), а в колонці "Відносні розміри" — розмір кристалів (1 — до 5, 2 — до 10, 3 — понад 10 см по одній або кількох кристалографічних осях).

N o t e. Figures 0, 1, 2, 3 in the columns of simple forms indicate availability and relative dimensions of faces of the given form (0 — absent, 1 — inconsiderable sizes, 2 — medium ones, 3 — large), and in the column "Relative sizes" — sizes of crystals (1 — to 5, 2 — to 10, 3 — above 10 cm on one or several crystallographic axes).

наявна майже на всіх індивідах незалежно від їхніх розмірів.

Як користуватися табл. 5 пояснимо на прикладі пінакоїда  $c\{001\}$ . Цифри 7, 13, 35, 55 в рядку "Кількість кристалів" означають, що пінакоїд ідентифікували на 7 дрібних, 13 середніх і 35 великих індивідах. Відповідно, пінакоїд наявний на 55 із 73 кристалів. Рядок " $hkl, \%$ " означає, що з 55 індивідів, на яких був встановлений пінакоїд, 12,73 % припадає на дрібні, 23,64 — на середні, 63,64 — на великі. Цифри в рядку "Розмір, %" означають, що пінакоїд  $c\{001\}$  встановлений на 46,67 % дрібних індивідів, 59,09 — середніх і 97,22 — крупних. Загалом пінакоїд виявлений на 75,34 % кристалів. Враховуючи, що із досліджених 73 кристалів до великих належать 36 (49,3 %), середніх — 22 (30,1), дрібних — 15 (20,5), найважливішим в таблиці є рядок "Розмір, %".

Пояснити багатшу морфологію великих кристалів волинського топазу можна так. Відомо [10], що більші добре огранені індивіди утворюються за повільнішого росту. Згідно з результатами наших досліджень можна припустити, що у процесі еволюції форми багатогранників топазу призма  $f\{011\}$  поступово витісняє

Таблиця 2. Частота простих форм на кристалах топазу із заноришів і зон вилугування

Table 2. Frequency of simple forms on topaz crystals from chambers and leaching zones

$hkl$	Занориш		Зона вилугування	
	Кількість кристалів	Відсоток від загальної кількості кристалів	Кількість кристалів	Відсоток від загальної кількості кристалів
001	55	75,34	4	33,33
012	1	1,37	0	0,00
023	30	41,10	0	0,00
011	70	95,89	12	100,00
021	41	56,16	0	0,00
103	15	20,55	0	0,00
101	40	54,79	3	25,00
201	1	1,37	0	0,00
114	1	1,37	0	0,00
113	24	32,88	8	66,67
225	5	6,85	0	0,00
112	64	87,67	12	100,00
111	64	87,67	12	100,00
121	1	1,37	0	0,00
232	1	1,37	0	0,00
131	1	1,37	0	0,00
123	1	1,37	0	0,00
Всього	73	—	12	—

інші призми  $\{0kl\}$ , дипіраміда  $o\{111\}$  поглинає інші дипіраміди  $\{11l\}$ , а призма  $d\{101\}$  —  $h\{103\}$ . Далі, у процесі росту, призма  $f\{011\}$  витісняє дипіраміди та пінакоїд  $c\{001\}$ . На дрібних кристалах волинського топазу цей процес відбувається швидше. Як наслідок, найбіднішою огранкою характеризуються саме дрібні індивіди пізньої генерації топазу із метасоматично змінених порід [1]. Еволюція форми багатогранників топазу потребує подальшого вивчення.

Для проведення кластерного аналізу недоцільно враховувати як змінні відносний розвиток граней усіх простих форм, оскільки малопоширені форми не впливають на габітус. Якщо взяти до уваги, що форму головки кристала визначає відносний розвиток пінакоїда  $c\{001\}$ , призм  $\{0kl\}$  та дипірамід  $\{11l\}$  (переважно  $o\{111\}$  і  $u\{112\}$ ), то саме їхні відносні розміри доцільно брати як змінні. За спостереження береться номер кристала. Ієрархічний кластерний аналіз за активованої послідовності злиття (*Agglomeration schedule*) відповідно до методу зв'язку між групами (*Between-groups linkage*) за встановленого  $z$ -перетворення

Таблиця 3. Частота простих форм на кристалах топазу із заноришів і зон вилугування з врахуванням відносних розмірів граней

Table 3. Frequency of simple forms on topaz crystals from chambers and leaching zones according to the relative size of the faces

$hkl$	Занориш		Зона вилугування	
	Кількість кристалів	Відсоток від загальної кількості кристалів	Кількість кристалів	Відсоток від загальної кількості кристалів
001	55	75,34	100	45,66
012	1	1,37	3	1,37
023	30	41,10	49	22,37
011	70	95,89	195	89,04
021	41	56,16	70	31,96
103	15	20,55	20	9,13
101	40	54,79	66	30,14
201	1	1,37	2	0,91
114	1	1,37	1	0,46
113	24	32,88	29	13,24
225	5	6,85	6	2,74
112	64	87,67	137	62,56
111	64	87,67	163	74,43
121	1	1,37	1	0,46
232	1	1,37	1	0,46
131	1	1,37	1	0,46
123	1	1,37	1	0,46
Всього	73	—	219	—

(z-scores) дозволяє виділити шість кластерів, що відповідають типам головок кристалів топазу (рисунок).

До першої групи (див. рис., а) належать кристали, головку яких формує призма  $f\{011\}$ , інші призми  $\{0kl\}$  — відсутні, дипіраміди мають підпорядковане значення. Такі адун-чілонські індивіди в камерних пегматитах Волині

характерні для зони вилугування та дрібних кристалів із заноришів. До цієї групи належить 10,96 % індивідів.

Другий кластер (див. рис., б), характерний для дрібних індивідів із заноришів, ускладнюється появою невеликих за розмірами граней призми у  $\{021\}$ ,  $X\{023\}$  і  $d\{101\}$ . Як і у попередньому випадку, на головках домінує форма

Таблиця 4. Частота поєднання простих форм на кристалах топазу із заноришів, %

Table 4. Frequency of combination of crystal forms on the topaz crystals from chambers, per cent

hkl	001	012	023	011	021	103	101	201	114	113	225	112	111	121	232	131	123
001	1,37	34,25	71,23	45,21	20,55	49,32	1,37	1,37	30,14	6,85	69,86	71,23	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
012	1	1,37	1,37	1,37	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
023	25	1	36,99	27,40	12,33	32,88	0,00	0,00	19,18	6,85	35,62	41,10	1,37	0,00	0,00	0,00	0,00
011	52	1	27	52,05	20,55	52,05	1,37	1,37	31,51	6,85	84,93	83,5	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
021	33	1	20	38	13,70	36,99	1,37	1,37	16,44	5,48	52,05	52,05	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00
103	15	0	9	15	10	17,81	0,00	0,00	9,59	2,74	20,55	19,18	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
101	36	1	24	38	27	13	1,37	1,37	23,29	5,48	49,32	50,68	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00
201	1	0	0	1	1	0	1	1,37	0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00
114	1	0	0	1	1	0	1	1	0,00	0,00	1,37	1,37	0,00	1,37	0,00	0,00	0,00
113	22	0	14	23	12	7	17	0	0	4,11	32,88	31,51	0,00	0,00	1,37	1,37	1,37
225	5	0	5	5	4	2	4	0	0	3	5,48	6,85	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
112	51	1	26	62	38	15	38	1	1	24	4	78,08	1,37	1,37	1,37	1,37	1,37
111	52	1	30	61	38	14	39	1	1	23	5	57	1,37	1,37	1,37	1,37	0,00
121	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0,00	0,00	0,00	0,00
232	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0,00	0,00	0,00
131	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0,00	0,00
123	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0,00

Таблиця 5. Частота простих форм на кристалах топазу із заноришів залежно від розмірів індивідів

Table 5. Frequency of crystal forms on topaz crystals from chambers according to the sizes of individuals

hkl	Кількість кристалів				hkl, %				Розмір, %			
	1	2	3	Σ	1	2	3	Σ	1	2	3	Σ
001	7	13	35	55	12,73	23,64	63,64	100,00	46,67	59,09	97,22	75,34
012	0	0	1	1	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	2,78	1,37
023	3	4	23	30	10,00	13,33	76,67	100,00	20,00	18,18	63,89	41,10
011	14	22	34	70	20,00	31,43	48,57	100,00	93,33	100,00	94,44	95,89
021	8	10	23	41	19,51	24,39	56,10	100,00	53,33	45,45	63,89	56,16
103	0	4	11	15	0,00	26,67	73,33	100,00	0,00	18,18	30,56	20,55
101	2	9	29	40	5,00	22,50	72,50	100,00	13,33	40,91	80,56	54,79
201	0	1	0	1	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	4,55	0,00	1,37
114	0	1	0	1	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	4,55	0,00	1,37
113	1	7	16	24	4,17	29,17	66,67	100,00	6,67	31,82	44,44	32,88
225	1	1	3	5	20,00	20,00	60,00	100,00	6,67	4,55	8,33	6,85
112	10	20	34	64	15,63	31,25	53,13	100,00	66,67	90,91	94,44	87,67
111	9	19	36	64	14,06	29,69	56,25	100,00	60,00	86,36	100,00	87,67
121	0	0	1	1	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	2,78	1,37
232	0	1	0	1	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	4,55	0,00	1,37
131	0	0	1	1	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	2,78	1,37
123	0	1	0	1	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	4,55	0,00	1,37

Примітка. Кристали: 1 — дрібні, 2 — середні, 3 — великі.

Note. Crystals: 1 — shallow, 2 — middle, 3 — large.

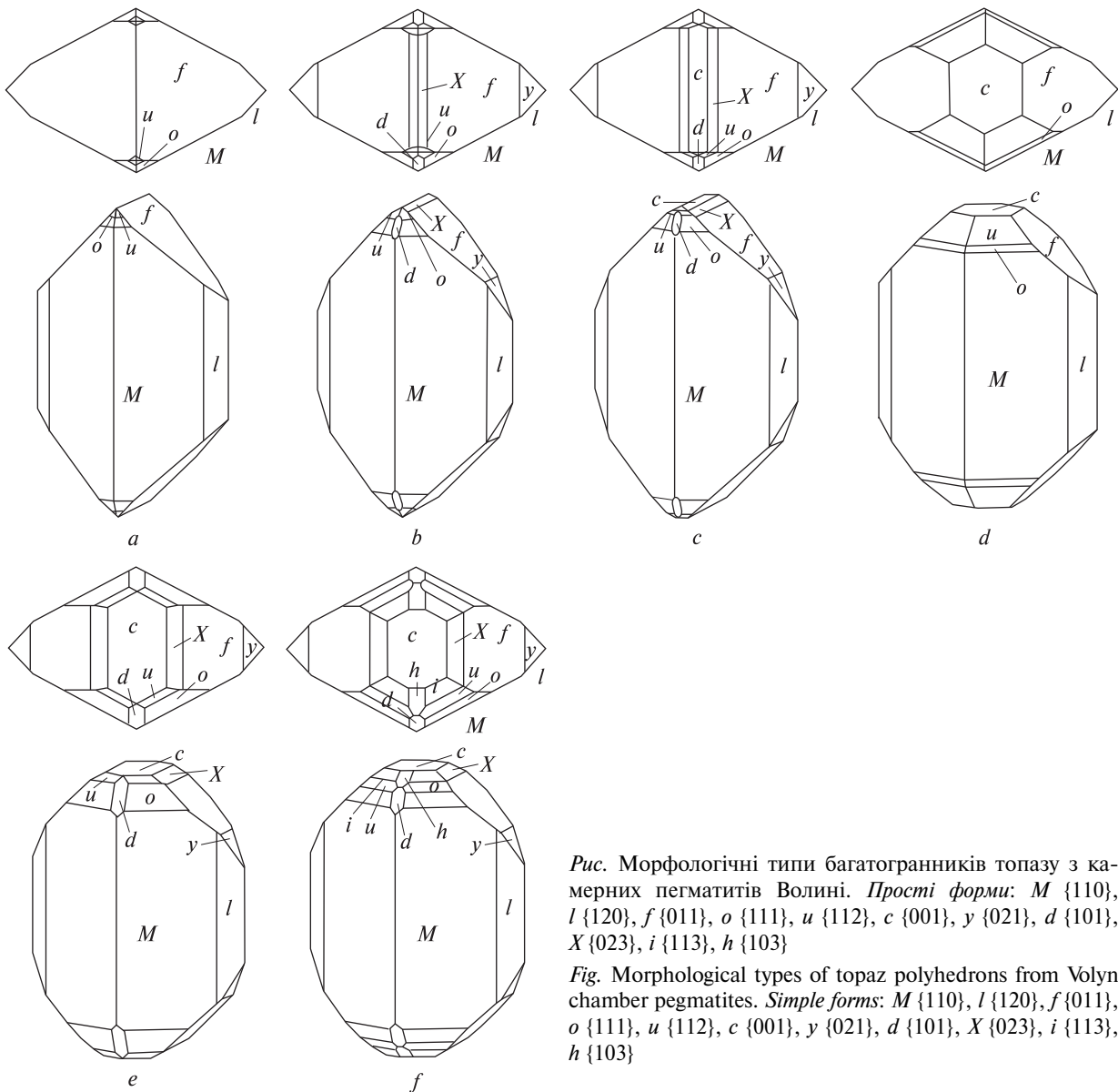


Рис. Морфологічні типи багатогранників топазу з камерних пегматитів Волині. Прості форми:  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $i \{113\}$ ,  $h \{103\}$

Fig. Morphological types of topaz polyhedrons from Volyn chamber pegmatites. Simple forms:  $M \{110\}$ ,  $l \{120\}$ ,  $f \{011\}$ ,  $o \{111\}$ ,  $u \{112\}$ ,  $c \{001\}$ ,  $y \{021\}$ ,  $d \{101\}$ ,  $X \{023\}$ ,  $i \{113\}$ ,  $h \{103\}$

$f \{011\}$ . Інші призми і дипіраміди мають другорядне значення. Пінакоїд  $c \{001\}$  на кристалах даної групи відсутній, або не досягає значних розмірів. Такі кристали дуже поширені (60,27 %).

Кристалом третьої групи (див. рис., *c*) властива вузька грань пінакоїда  $c \{001\}$ . Ці перехідні між ільменським і адун-чілонським типами кристали поширені мало (4,11 %).

Четверта група (див. рис., *d*) представлена типовими ільменськими кристалами з добре розвинутими гранями пінакоїда  $c \{001\}$  та призми  $f \{011\}$ . Інші призми відсутні. Характерною ознакою таких кристалів є домінування дипіраміди  $u \{112\}$  над  $o \{111\}$  на невеликих індивідах, які є рідкісними (5,48 %).

П'ята група (див. рис., *e*) представлена кристалами ільменського типу з відносно багатою

огранкою (9,59 %). Такі індивіди характерні для заноришів.

До шостої групи (див. рис., *f*) віднесено індивіди ільменського типу з найбагатшою огранкою — великі кристали із заноришів. До цієї групи, як і до попередньої, належить 9,59 % індивідів.

Як видно з розподілу, математичні методи не дозволяють чітко класифікувати топази, кластерний аналіз дає ще гірші результати.

Видається логічним об'єднати другу і третю групи, а також п'яту і шосту.

У результаті отримуємо такі класифікаційні групи волинських топазів:

- 1) бідноогранені індивіди адун-чілонського типу;
- 2) багатоогранені індивіди адун-чілонського

типу і перехідні між адун-чілонським та ільменським типами;

- 3) прості індивіди ільменського типу;
- 4) складні індивіди ільменського типу;
- 5) нетипові для даного родовища кристали.

**Висновки.** 1. Найважливішими формами на кристалах топазу є призми вертикального поясу  $M\{110\}$  та  $l\{120\}$ .

2. На головках індивідів із заноришів, згідно з результатами аналізу частоти та відносно-го розвитку граней, найбільше розвинені  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $X\{023\}$ .

3. У зоні вилуговування морфологічно важливими на кристалах є лише три призми  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$  та  $f\{011\}$ , причому частота прояву останньої вища, ніж у заноришах.

4. Дипіраміди  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$  та  $i\{113\}$  на кристалах у зоні вилуговування трапляються частіше, ніж у заноришах, але через малий розмір не є габітусними формами.

5. Встановлено чітку кореляцію між розмірами індивідів та їхньою огранкою — великі кристали огранені багатше, частота прояву практично всіх простих форм на них вища. Виняток становить призма  $f\{011\}$ , добре розвинена майже на всіх індивідах незалежно від розміру.

6. Кластерний аналіз морфології 73 індивідів і зростків із заноришів дає змогу виділити шість типів кристалів волинських топазів. Враховуючи доцільність об'єднання кількох кластерів та виділення в окрему групу нетипових кристалів, класифікацію волинських топазів пропонуємо здійснювати за п'ятьма типами кристалів.

7. Кожний морфологічний тип кристалів властивий індивідам певного розміру.

8. Наявність багатоогранених великих кристалів може слугувати індикатором умов утворення: повільного росту за умови помірного пересичення. Власне такі параметри, які досягаються у субвертикальних підтипах пегматитових тіл з необхідним достатнім перепадом температури для інтенсифікації явищ вилуговування і перекристалізації, сприяють формуванню у парагенезисах коштовного каміння кристалів топазу з високими кондиційними характеристиками.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Вовк О., Наушко І. Кристаломорфологія топазу з камерних (заноришових) пегматитів Волині // Мінерал. зб. — 2005. — № 55, вип. 1—2. — С. 79—89.
2. Вовк О., Наушко І. Зв'язок кристалічної структури з особливостями морфології топазу з камерних пег-

матитів Волині // Там само. — 2013. — № 63, вип. 1. — С. 52—59.

3. Калюжний В.А., Наушко І.М. Генезис топаза в пегматитах занорышевого типа Украины // Морфология и фазовые равновесия минералов. — София : Изд-во Болгар. АН, 1986. — С. 395—401.
4. Лазаренко Е.К., Павлышин В.И., Латыш В.Т., Сорочкин Ю.Г. Минералогия и генезис камерных пегматитов Вольны. — Львов : Вища шк., 1973. — 360 с.
5. Леммлейн Г.Г., Меланхолин Н.М. Об окраске двухцветных кристаллов топаза // Тр. Ин-та кристаллографии. — 1951. — Вып. 6. — С. 245—254.
6. *Мінералоутворюючі флюїди та парагенезиси мінералів пегматитів занорышевого типу України (рідкі включення, термобарометрія, геохімія)* / Відп. ред. В.А. Калюжний. — К. : Наук. думка, 1971. — 216 с.
7. Наушко І.М. Флюїдний режим мінералогенезу породно-рудних комплексів України (за включеннями у мінералах типових парагенезисів) : Автореф. дис. ... д-ра геол. наук / ІГГК НАН України. — Львів, 2006. — 52 с.
8. Наушко І.М., Вовк А.П. О связи кристалломорфологических и генетических особенностей топаза из занорышевых (камерных) пегматитов Вольны // Материалы XI Междунар. конф. по термобарогеохимии (Александров, 8—12 сент. 2003 г.). — Александров : ВНИИСИМС, 2003. — С. 108—111.
9. Наушко І.М., Калюжний В.А. Генетические особенности топаза из зоны выщелачивания и перекристаллизации занорышевых пегматитов Вольны // Минерал. журн. — 1981. — 3, № 3. — С. 52—62.
10. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография. — М. : Высш. шк., 1972. — 352 с.
11. Naumko I.M., Vovk O.P. Crystallogenesis of topaz of chamber pegmatites of Korosten' plutone (Ukraine) // Abstracts of 31<sup>th</sup> International Geological Congress. — [Електронний ресурс]. — Rio de Janeiro, 2000. — <http://cbrazil.dominal.com/g0806021.pgф>.
12. Sekanina J. Kalcit ze Štramberka // Práce Brňen. zakladny ČSAV. — 1962. — R. XXXIV. — S. 12.
13. Vovk O.P., Naumko I.M. Statistical investigations with purpose of reconstruction of mineral forming conditions in crystal morphology (using topaz for an example) // Abstr. of the Mining Příbram Symp. "International Sections. Mathematic methods in Geology". — Prague, 1999. — МС 46.

#### REFERENCES

1. Vovk, O. and Naumko, I. (2013), *Mineral. Zb.*, No 63 Vyp. 1, pp. 52-59.
2. Vovk, O. and Naumko, I. (2005), *Mineral. Zb.*, No 55 Vyp. 1-2, pp. 79-89.
3. Kalyuzhnyy, V.A. and Naumko, I.M. (1986), *Izd-vo Bolgarskoi AN, Sofiya*, pp. 395-401.
4. Lazarenko, E.K., Pavlyshyn, V.I., Latysh, V.T. and Sorokin, J.G. (1973), *Vyshcha shkola, Lvov*, 360 p.
5. Lemmlejn, G.G. and Melankholin, N.M. (1951), *Trudy Instituta kristallografiyi*, Vyp. 1, pp. 245-254.
6. (1971) *Mineraloutvoryuyuchi flyuidy ta paragenezysy mineraliv pegmatyiv zanoryshevogo typu Ukrayiny (ridki vkluchennya, termobarogeokhimiya, geokhimiya)*, Akademiya nauk Ukrayinskoyi RSR, Instytut geolohiyi i

- geokhimiya goryuchykh kopalyn, in Kalyuzhnyy, V.A. (Vidp. red.), Nauk. dumka, Kyiv, 216 p.
- Naumko, I.M. (2006), Avtoref. dys. doktora geol. nauk, Instytut geologiyi i geokhimiya goryuchykh kopalyn NAN Ukrayiny, Lviv, 52 p.
  - Naumko, I.M. and Vovk, A.P. (2003), Materialy XI Mezhdunar. Konf. po termobarogeokhimiya, VNIISIMS, sent., 8-12, 2003, Alexandrov, Russia, pp. 108-111.
  - Naumko, I.M. and Kalyuzhnyy, V.A. (1981), *Mineral. Zhurnal (Ukraine)*, Vol. 3 No 3, pp. 52-62.
  - Popov, G.M. and Shafranovskiy, I.I. (1972), *Vysshaya shkola*, Moskva, 352 p.
  - Naumko, I.M. and Vovk, O.P. (2000), Abstracts of 31th International Geological Congress, 2000, Rio de Janeiro available at: <http://cbrazil.dominal.com/g0806021.pgf>.
  - Sekanina, J. (1962), *Práce Brněn. zakladny ČSAV*, R. XXXIV, p. 12.
  - Vovk, O.P. and Naumko, I.M. (1999), Abstracts of the Mining Příbram Symposium "International Sections. Mathematic methods in Geology", Prague, MC 46.

Надійшла 12.12.2013

*A.P. Vovk<sup>1</sup>, I.M. Naumko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Восточноевропейский национальный университет им. Леси Украинки  
43025, г. Луцк, Украина, пр. Воли, 13  
E-mail: geologygeochemistry@gmail.com

<sup>2</sup> Інститут геології та геохімії горючих ископаємих НАН України  
79060, г. Львов, Україна, ул. Научна, 3а

#### ОСОБЕННОСТИ КРИСТАЛЛОМОРФОЛОГИИ ТОПАЗА ИЗ КАМЕРНЫХ ПЕГМАТИТОВ ВОЛЫНИ (ПО ДАННЫМ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ)

На основании результатов исследования 85 индивидов и сростков многогранников топаза, проведена статистическая обработка гониометрических измерений их кристаллов из камерных пегматитов Волыни. Обнаружена корреляция между размерами кристалла и его морфологией: на больших многогранниках частота проявления большинства простых форм выше. Определены морфологически важные простые формы с учетом общей частоты, комбинационной устойчивости и относительного развития граней. Проанализирована морфология кристаллов из разных минералого-структурных зон пегматитовых тел. Наиболее важные формы на индивидах топаза — это призмы вертикального пояса  $M\{110\}$  и  $l\{120\}$ . На головках многогранников из занорышей самые развитые формы  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $X\{023\}$ . Для кристаллов из зон выщелачивания характерна более бедная огранка — на их головках обнаружены формы  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$ ,  $i\{113\}$ ,  $d\{101\}$ , из которых хорошо развита только первая. При помощи кластерного анализа установлены шесть морфологических типов многогранников. Пользуясь предложенными таблицами, можно определить важность каждой простой формы в зависимости от размеров индивида.

**Ключевые слова:** кристалломорфология, гониометрия, топаз, камерные пегматиты, Волынь, статистические методы.

*O.P. Vovk<sup>1</sup>, I.M. Naumko<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Lesya Ukrainka Eastern European National University  
13, Voly Pr., 43025, Luts'k, Ukraine  
E-mail: geologygeochemistry@gmail.com

<sup>2</sup> Institute of Geology and Geochemistry of Combustible Minerals of the NAS of Ukraine  
3a, Naukova St., 79060, Lviv, Ukraine

#### PECULIARITIES OF CRYSTALL MORPHOLOGY OF TOPAZ FROM CHAMBER PEGMATITES OF VOLYN ACCORDING TO DATA OF STATISTICAL METHODS

Volyn chamber pegmatites that are genetically and spatially related to granites of Korosten pluton located in the north-western part of the Ukrainian Shield are the only source of jeweler and technical topaz in Ukraine. The majority of topaz crystals in pegmatite bodies are found in chambers and leaching zones. Rarely topaz individuals are seen in cavities of the graphic, pegmatoid and feldspar zones and in metasomatically changed rocks, and also as hard inclusions in quartz. Topaz in Volyn chamber pegmatites, as the reliable typomorphic mineral-indicator of acid-alkaline of fluid medium of the mineralogenesis, is precisely individualized crystallographically. We have studied 85 individuals and aggregates of topaz: 73 — from chamber areas and 12 from leaching zones. Statistical processing of goniometric research of crystals of Volyn topaz was conducted. Correlation was found between crystals size and their morphology. Morphologically important simple forms were determined according to general frequency, combination stability and relative development of faces. Morphology of crystals from different mineralogical-structural zones was compared. Six types of individuals were determined with the help of cluster analysis. Prisms of the vertical zone  $M\{110\}$  and  $l\{120\}$  are the main crystal forms of topaz. Faces  $f\{011\}$ ,  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$ ,  $c\{001\}$  —  $y\{021\}$ ,  $d\{101\}$ ,  $X\{023\}$  are the most morphologically important on the heads of polyhedrons from chambers, according to the analysis of frequency and relative development of faces. Only three prisms  $M\{110\}$ ,  $l\{120\}$  and  $f\{011\}$  are morphologically important in the leaching zone. Thus frequency of the latter is higher than in the chambers. The bipyramids  $o\{111\}$ ,  $u\{112\}$  and  $i\{113\}$  in the leaching zone, are found more often, than in the chambers, but due to their small sizes are not important to crystal habit. There is clear correlation between the sizes of individuals and their habit — on the large crystals we see more faces. An exception is made by the prism of  $f\{011\}$ , which is well developed on almost all individuals, regardless of size. The cluster analysis of morphology of 73 polyhedrons and aggregates from the chambers allowed distinguishing six types of crystals. Every type of crystals is typical of the individuals of defined size. Large crystals with reach habit can indicate the mineral forming conditions such as low growth rate and moderate supersaturation. The tables that allow defining morphological importance of every face depending on crystal sizes are attached.

**Keywords:** crystal morphology, goniometric measurements, topaz, chamber pegmatites, Volyn, statistics methods.