



## Обща характеристика на полиморфните минерали

*Александър Влахов*

*Геологически институт, Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 24, 1113 София*

## General characteristic of polymorph minerals

*Alexander Vlahov*

*Geological Institute, Bulgarian Academy of Science, Acad. G. Bonchev str., bl. 24, 1113 Sofia, Bulgaria*

*E-mail: a\_vlahov@geology.bas.bg*

**Abstract.** For the aims of this study 118 polymorphs, distributed into 43 groups, were selected from a total of 4714 mineral species. These polymorphs are composed of 30 elements with widely varying average concentrations in the Earth's crust.

The quantity of the elements, composing the polymorphs, varies from 1 to 5 with prevalence of the two-elements ones.

The studied 118 minerals belong to the following mineral classes: oxides and hydroxides – 32, silicates – 27, sulfides and related compounds – 18, phosphates, arsenates, and vanadates – 14, native elements – 12, halogenides – 7, carbonates – 6, sulfates, selenates and tellurates – 2.

The number of the polymorph groups and minerals increase together with the raise of the average concentration of their constitute elements in the Earth's crust, the number of possible oxidation states and their chemical activity. The distribution of the 118 polymorphs within the separate systems is not uniform. Their total number in the low symmetry systems is 68, in the middle – 31, in the high – 19. The ratio between low-symmetry polymorphs and their total number in the cubic and middle systems is 57.63/42.37 (%). Regarding the polymorphic minerals the law of Groth is valid on the level of crystal system groups only.

113 polymorphic minerals were studied and they belong to 18 from the 32 symmetry classes. 94 of them (83.18%) crystallize in the holohedric classes. The observed irregular distribution of polymorphs is explained by defining and introducing of number of the symmetry class (NSC).

The number of the symmetry of each crystallographic class (NSC) includes the sum of the orders of the present symmetry axes plus the number of the symmetry planes plus 1 for a center of symmetry (if present).

A class of symmetry exists in each system, above whose NSC it becomes possible polymorphs to crystallize. The higher the NSC, the higher is the number of polymorphs crystallizing in the respective class of any system. The higher the system, the higher is the value of the minimum needed NSC. The largest amount of polymorphs is typical of the holohedric classes since they best combine the specified criteria. The equal NSC of some classes from different systems is not an obstacle in their usage as criterion since they are compared in the frames of one system only.

*Key words:* polymorphs, composition, symmetry, Groth's law.

**Абстракт.** От 4714 минерални вида са селектирани 118 полиморфа, разпределени в 43 групи. Те са изградени от 30 елемента, чиито средни съдържания в земната кора варират в широки граници.

Броят на елементите, изграждащи полиморфите варира от 1 до 5, като най-много са диелементните.

Изследваните 118 минерала принадлежат към следните минералогически класове: оксиди и хидроксиди – 32, силикати – 27, сулфиди и сродни съединения – 18, фосфати, арсенати и ванадати – 14, самородни елементи – 12, халогениди – 7, карбонати – 6, сулфати, селенати и телурати – 2.

Броят на полиморфните групи и минерали нараства с увеличаването на средните съдържания в земната кора на изграждащите ги елементи, броя на валентностите и химическата им активност. Разпределението на 118-те полиморфа в отделните сингонии е неравномерно. Общият им брой в низшите сингонии е 68, в средните – 31 и във висшата – 19. Съотношението на нискосиметричните полиморфи към сумарния им брой в кубичната и средните сингонии е 57,63/42,37 (%). За полиморфните минерали законът на Грот е валиден на нива групи сингонии.

Изследвани са 113 полиморфни минерали, разпределени в 18 от 32-та класа на симетрия. От тях 94 (83,18%) кристализират в холоедричните класове. Неравномерното разпределяне на полиморфите се обяснява чрез дефинирането и въвеждането на числата на симетрия на кристалографските класове (NSC).

NSC на всеки кристалографски клас се формира, като сборът от порядъка на всички оси се сумира с броя на равнините, като при наличие на център на симетрия към полученото число се прибавя 1.

Във всяка сингония съществува клас на симетрия, над чиято стойност на NSC става възможно кристализирането на полиморфи. Колкото е по-високо NSC, толкова по-голям брой полиморфи кристализират в съответния клас на сингонията. Колкото по-високо-симетрична е една сингония, толкова по-висока е стойността на минимално необходимото NSC. Най-много полиморфи кристализират в холоедричните класове, защото те в най-голяма степен съчетават посочените критерии. Еднаквите NSC на някои класове от различни сингонии не пречи на използването им като критерий, защото те се съпоставят в само рамките на една сингония.

*Ключови думи:* полиморфи, химизъм, симетрия, закон на Грот.

## Въведение

В природата много минерални вещества съществуват в две или повече полиморфни модификации. Определянето на факторите, обуславящи явлението полиморфизъм е възможно чрез комплексното изучаване на голям брой полиморфни групи и минерали, за които има достоверни данни. Съпоставянето на индивидуалните количествени характеристики на полиморфите от различните групи позволява да се разкрият някои общи закономерности за всички изследвани полиморфни минерали.

## Състояние на проблема

През 1821–1823 г. Митчерлих доказва съществуването на различни кристални структури на едно и също вещество при различни термодинамични условия. Хайдингер нарича явлението е диморфизъм. След откриването на примери за триморфизъм и тетраморфизъм, Я. Берцелиус го определя като полиморфизъм. Различните структури на съответния химичен елемент или съединение са наречени полиморфни модификации, полиморфни форми или полиморфи.

През 1844 г. са били известни 15 примера на полиморфизъм. Четири години по-късно Л. Пастър съобщава за 30 случая. През 1890 г. В. И. Вернадски изброява 300–400 полиморфни модификации на различни вещества (Урусов, 1987).

В периода 1906–1919 г. П. Грот установява, че колкото е по-сложна химичната формула на неорганичните съединения, толкова по-ниска е тяхната симетрия. Обяснението е, че във всяка пространствена група броят на най-симетричните места е ограничен. В структури с прости формули и действие на кулонови сили, всички атоми могат да заемат високосиметрични позиции. Поради това кристалите имат висока симетрия. При наличието на много видове атоми, високосиметричните места не достигат и симетрията на структурата се понижава (Костов, 1978; Киров, Станимирова, 2010).

В примерите, илюстриращи закона на Грот, високата симетрия включва както висшата кубична, така и средните сингонии – тригонална, тетрагонална и хексагонална. Огромното болшинство от познатите прости вещества притежават кубични или хексагонални структури и съответстват им макросиметрия (Костов, 1978; Киров, Станимирова, 2010).

В минералния свят са известни и редица изключения от закона на Грот.

По дефиниция полиморфизмът обединява отделна група многочислени изключения от закона на Грот. Полиморфизмът е изследван подробно от много автори, като данните за неговата същност и видове са обобщени от Урусов (1987).

Вариациите в симетрията на полиморфите, разпространеността им в земната кора и разпределението им по минераложките класове са съществени характеристики, които трябва да се съпоставят със същите за минералните видове.

Юшкин (1982) привежда данни за разпределението в земната кора на броя на минералите по класове (%): силикати – 25; фосфати и аналозите им – 17,7; сулфиди – 13; оксиди и хидроксиди – 12,5; сулфати – 9; халиди – 5,7; органични – 4,7; карбонати – 4,5; елементи – 3,3; борати – 2,8; други класове – 1,8.

Според Юшкин и др. (1987) при прехода от дълбочинните зони към повърхността на Земята се извършва непрекъснато снижение на сумарната симетрия на минералното вещество, като кубичните минерали намаляват за сметка на последователното увеличение на ромбичните, моноклинните и триклинните. Урусов (2007) утвърждава, че средната симетрия на редките минерални видове е значително по-ниска от тази на широко разпространените. Тази тенденция се задълбочава с увеличението на броя на известните на науката минерали.

## Методика на работа

Подборът на полиморфните минерали е проведен на два етапа: 1) по Костов (1993) са селектирани 253 названия на полиморфи и политипи; 2) при проверката на данните в <http://www.webmineral.com> е установено кои от тях са признати официално като минералните видове. Политипите не са обект на изследването, но включването на някои от тях е неизбежно. Например, в групата на въглерода е изследван само хексагоналният графит – 2H, защото 3R политипът не съществува самостоятелно в природата, а само съвместно с 2H фазата (Чухров и др., 1986). В различните източници е установено несходство или недостатъчност на някои данни за химичния състав, симетрията или структурата за част от полиморфите. Това води до следващо коригиране на броя на изследваните полиморфни модификации.

През 1890 г. В. И. Вернадски изказва мнение, че всеки път, когато някой изследовател реши да открие полиморфна разновидност на някакво кристално вещество, той или ще я намери, или ще се натъкне на достоверни признаци за нейното съществуване (Урусов, 1987). Въпросът е дали въпросното кристално вещество отговаря на определението за минерален вид (Nickel, 1995), като природно вещество, образувано в резултат единствено на геоложките процеси.

Приоритетно са изследвани групите, при които полиморфните преходи не се придружават от силно изразен изоморфизъм.

Изброените критерии намаляват броя на изследваните минерали на 118.

От значение за представителността на резултатите е каква част от общия брой полиморфни минерали, отговарящи на изброените изисквания съставляват 118-те, включени в изследването. По приблизителни изчисления, в справочника на Костов (1993) са описани около 3500 минерални вида и разновидности, като броят на последните е пренебрежимо малък. Сред тях са изброени 120 полиморфни модификации, като органичните минерали не са обект на настоящето изследване. Следователно всеки средно 29–30-ти минерален вид представлява полиморфна модификация. По данни на Малеев (2008), доказаните минерални видове са около 4350, като ежегодно броят им се увеличава с 30–40. При статистически равномерно разпределение на полиморфите, на база 4350 минерални вида, техният прогнозен брой възлиза приблизително на 150 ( $\approx 3,4\text{--}3,5\%$ ). В базата данни <http://www.webmineral.com> се съдържат сведения за 4714 минерала. В това число влизат както аморфни, така и такива, за които няма достатъчно данни. На максимална база (4714), прогнозираният брой на полиморфните модификации, отговарящи на условията на изследването е около 160. Сред минералите, кристализиращи в 32-та класа на симетрия (4106), очакваният брой на същите е около 140.

Селекциониранияте 118 полиморфи в най-благоприятния случай съставляват близо 74% от максималния им прогнозиран брой – 160. На база 140, в изследването са включени 84,28% от модификациите, отговарящи на условията.

Те са разпределени в 43 полиморфни групи. Изследвани са по следните показатели: 1) елементи, изграждащи полиморфите; 2) средни съдържания в земната кора на тези елементи; 3) брой на валентностите на елементите в изследваните полиморфни групи; 4) брой на елементите, изграждащи минералите в полиморфните групи; 5) разпределение на полиморфните групи и минерали в минераложките класове; 6) разпределение на полиморфите в отделните сингонии с отчитане на броя на изграждащите ги елементи; 7) разпределение на полиморфите в 32-та кристалографски класа; 8) извеждане на общи закономерности за всички изследвани полиморфни групи и минерали.

## Критерии и систематика на полиморфите

Изследваните минерали са изградени от 30 елемента (табл. 1), чиито средни съдържания в земната кора варират от 46,34 до  $1,8 \cdot 10^{-7}$  тегл.% (Rudnik, Gao, 2003; Браунлоу, 1984; Костов, 1993).

Данните от табл. 1 показват, че в голяма степен броят на полиморфните групи и минерали е в права корелационна връзка със средните съдържания в земната кора на изграждащите ги елементи.

Наблюдават се и някои изключения: 1) броят на някои полиморфни групи и минерали зависи едновременно както от разпространеността на изграждащите ги елементи, така и от броя на валентностите им (полиморфите съдържащи Fe); 2) броят на полиморфните групи и минерали нараства поради увеличаването на броя на валентностите от 1 до 3 на изграждащите ги елементи (полиморфите съдържащи S, As, Mn, C, Pb); 3) елементи, които поради високата си реактивоспособност са в състава на не малък брой полиморфни групи (Zn, H, Cl).

Броят на елементите, изграждащи изследваните минерали варира от 1 до 5. Диелементните полиморфи са представени от 41 минерала от следните групи: NiAs<sub>2</sub> – 3 модификации, FeS<sub>2</sub> – 2, ZnS – 2, Ag<sub>2</sub>S – 2, HgS – 3, AsS – 2, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2, MnO<sub>2</sub> – 3, TiO<sub>2</sub> – 3, PbO – 3, PbO<sub>2</sub> – 2, As<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2, Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 2, TeO<sub>2</sub> – 2, SiO<sub>2</sub> – 9. Триелементните са 34 и са разпределени в следните полиморфни групи: CuFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> – 2, AgFe<sub>2</sub>S<sub>3</sub> – 2, AlO(OH) – 2, Al(OH)<sub>3</sub> – 3, FeO(OH) – 3, CrO(OH) – 3, MnO(OH) – 3, Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> – 2, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> – 3, Bi(VO<sub>4</sub>) – 3, Cu<sub>2</sub>V<sub>2</sub>O<sub>7</sub> – 2, CaCO<sub>3</sub> – 3. Тетраелементните модификации са 20: (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub> – 2, Cu<sub>2</sub>Cl(OH)<sub>3</sub> – 3, PbCl(OH) – 2, KAlSiO<sub>4</sub> – 2, Ca<sub>5</sub>(AsO<sub>3</sub>OH)<sub>2</sub>·(AsO<sub>4</sub>)·9H<sub>2</sub>O – 2, Zn<sub>2</sub>(AsO<sub>4</sub>)(OH) – 2, Zn<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O – 2, Fe(SO<sub>4</sub>)(OH)·2H<sub>2</sub>O – 2, BaCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> – 3. Моноелементните модификации са 12 и принадлежат към следните полиморфни групи: C – 4, Fe – 5, S – 3. Петелементните полиморфи са 11: Ca<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>Si<sub>3</sub>O<sub>12</sub>(OH) – 2, NaAl(Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>)·(H<sub>2</sub>O) – 6 и Zn<sub>2</sub>Ca(PO<sub>4</sub>)·2H<sub>2</sub>O – 3.

Изследваните 118 минерала принадлежат към следните минералогически класове: оксиди и хидроксици – 32 (27,12%), силикати – 27 (22,88%), сулфиди и сродни съединения – 18 (15,25%), фосфати, арсенати и ванадати – 14 (11,86%), самородни елементи – 12 (10,17%), халогениди – 7 (5,93%), карбонати – 6 (5,08%), сулфати, селенати и телурати – 2 (1,69%). Разпределението им по минераложките класове се съгласува добре с данните от табл. 1. Сравняването на това разпределение с данните за разпространеността в земната кора на минералните видове по класове (Юшкин, 1982) показва: 1) минералите от класовете на оксидите и хидроксидите и самородните елементи показват повишена склонност към образуването на полиморфни модификации; 2) силикатите и фосфатите имат занижена способност да образуват полиморфни форми в сравнение с броя им в земната кора; 3) броят на полиморфите в класовете на сулфидите, халогенидите, карбонатите и сулфатите, селенатите и телуратите е приблизително пропорционален на общия брой на минерали от съответните класове в земната кора; 4) при настоящите изследвания в класовете на боратите, нитратите, йодатите не са характеризирани полиморфни минерали. Някои полиморфни групи (PbWO<sub>4</sub>) ще се изследват допълнително. Това не означава, че в изброените класове не съществуват полиморфни

Таблица 1

Връзка между съдържанията в земната кора, броя на валентностите на елементите, изграждащи полиморфи и броя на полиморфните групи и минерали

Table 1

Relationship between the crust contents, number of valences of the elements, forming polymorphs and number of polymorph groups and minerals

№	Елемент	Средно в земната кора (тегл.%)	Валентност във всички минерали	Валентност в полиморфите по минерални класове	Брой валентности в полиморфите	Брой групи	Брой полиморфи
1	O	46,34	2-	Оксиди и хидроксици: 2- Халогениди: 2- Силикати: 2- Фосфати, арсенати и ванадати: 2- Сулфати, селенати и телурати: 2- Карбонати: 2-	1	31	86
2	Si	28,32	4+	Силикати: 4+ Халогениди: 4+	1	8	29
3	Al	8,42	3+	Оксиди и хидроксици: 3+	1	6	18
4	Fe	5,22	0; 2+; 3+	Елементи: 0 Сулфиди и сродни съединения: 2+ Оксиди и хидроксици: 3+ Сулфати, селенати и телурати: 3+	3	7	18
5	Ca	4,58	2+	Силикати: 2+ Фосфати, арсенати и ванадати: 2+ Карбонати: 2+	1	5	13
6	Mg	2,80	2+	Силикати: 2+	1	2	5
7	Na	2,28	1+	Силикати: 1+	1	1	6
8	K	1,50	1+	Силикати: 1+	1	1	2
9	Ti	0,43	4+	Оксиди и хидроксици: 4+	1	1	3
10	P	0,106	5+; 3+	Фосфати, арсенати и ванадати: 5+	1	2	5
11	Mn	0,08	2+; 3+; 4+	Оксиди и хидроксици: 3+; 4+	2	2	5
12	F	0,0553	1-	Халогениди: 1-	1	1	2
13	Ba	0,0456	2+	Карбонати: 2+	1	1	3
14	S	0,0404	0; 2-; 6+	Елементи: 0 Сулфиди и сродни съединения: 2- Сулфати, селенати и телурати: 6+	3	9	20
15	Cl	0,0244	1-	Халогениди: 1-	1	2	5
16	C	0,0206	0; 4+	Елементи: 0 Карбонати: 4+	2	3	10

Таблица 1 – продължение

Table 1 – continued

№	Елемент	Средно в земната кора (тегл.%)	Валентност във всички минерали	Валентност в полиморфите по минерални класове	Брой валентности в полиморфите	Брой групи	Брой полиморфи
17	V	0,0138	3+; 5+	Фосфати, арсенати и ванадати: 5+	1	2	5
18	Cr	0,0135	3+; 6+	Оксиди и хидроксиди: 3+	1	1	3
19	Zn	$7,2 \times 10^{-3}$	2+	Сулфиди и сродни съединения: 2+	1	4	9
20	Ni	$5,9 \times 10^{-3}$	2+; 3+; 4+	Фосфати, арсенати и ванадати: 2+ Сулфиди и сродни съединения: 2+	1	1	3
21	N	$5,767 \times 10^{-3}$	4+; 5+	Халогениди: 5+	1	1	2
22	Ag	$5,6 \times 10^{-3}$	0; 1+; 2+	Сулфиди и сродни съединения: 1+; 2+	2	2	4
23	H	$5,024 \times 10^{-3}$	1+	Оксиди и хидроксиди: 1+ Халогениди: 1+ Силикати: 1+ Фосфати, арсенати и ванадати: 1+ Сулфати, селенати и телурати: 1+	1	15	39
24	Cu	$2,7 \times 10^{-3}$	0; 1+; 2+	Сулфиди и сродни съединения: 2+ Халогениди: 2+ Фосфати, арсенати и ванадати: 2+	1	3	7
25	Pb	$1,1 \times 10^{-3}$	0; 2+; 4+	Оксиди и хидроксиди: 2+; 4+	2	3	6
26	As	$2,5 \times 10^{-4}$	3-; 3+; 5+	Халогениди: 2+ Сулфиди и сродни съединения: 3- Оксиди и хидроксиди: 3+	3	5	11
27	Sb	$2 \times 10^{-5}$	3-; 3+; 5+	Фосфати, арсенати и ванадати: 5+ Оксиди и хидроксиди: 3+	1	1	2
28	Bi	$1,8 \times 10^{-5}$	3-; 3+; 5+	Фосфати, арсенати и ванадати: 3+	1	1	3
29	Hg	$3 \times 10^{-6}$	0; 1+; 2+	Сулфиди и сродни съединения: 2+	1	1	3
30	Te	$1,8 \times 10^{-7}$	4+; 6+	Оксиди и хидроксиди: 4+	1	1	2

модификации. Прогнозата е, че ако ги има, те ще са малко и няма да предизвикат сериозни размествания в разпределението на полиморфите по минераложки класове.

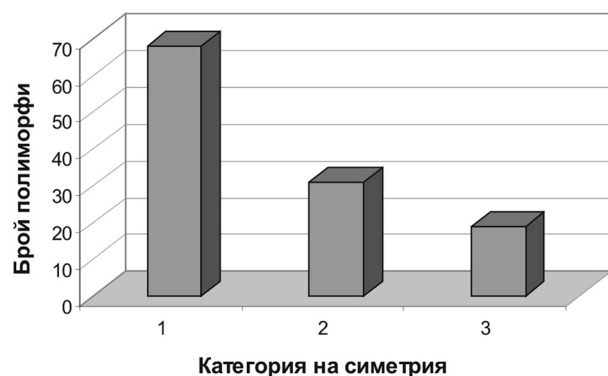
Разпределението на 118-те полиморфи в отделните сингонии също е неравномерно: ромбична – 36, моноклинна – 25, кубична – 19, хексагонална – 11, тетрагонална – 10, тригонална – 10, триклинна – 7. Общият им брой в низшите сингонии е 68, в средните – 31 и във висшата – 19. Съотношението на нискосиметричните полиморфи към сумарния им брой в кубичната и средните сингонии е 57,63/42,37%. Същото съотношение за минералните видове изобщо е приблизително 80/20% (Костов, 1978). Наблюдава се съществено увеличение на полиморфите, кристализиращи във висшата и средните сингонии, сравнен със същия за минералните видове изобщо (фиг. 1).

Изследвана е и връзката между броя на полиморфите във всяка сингония и този на изграждащите ги елементи (фиг. 2–8).

Триклинните полиморфи съдържат най-малко три елемента, като най-разпространени са тетраелементните, следвани от три- и петелементните (фиг. 2).

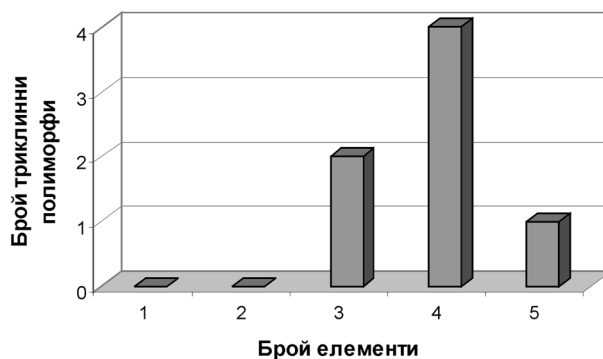
Моноелементни и диелементни полиморфни модификации се появяват за първи път в моноклинната сингония. Тук най-много на брой са триелементните. Следват диелементните, тетраелементните, петелементните и моноелементните (фиг. 3).

В ромбичната сингония най-често срещани са триелементните полиморфни модификации. След



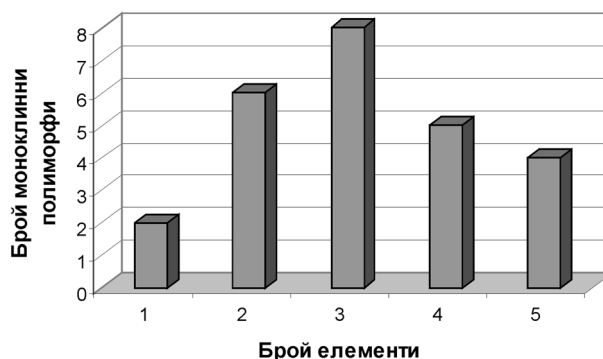
**Фиг. 1.** Разпределение на полиморфите в низшата, средната и висшата категория на симетрия  
1 – низша (триклинна, моноклинна, ромбична сингония), 2 – средна (хексагонална, тетрагонална, тригонална сингония), 3 – висша (кубична сингония); 0–70 – брой на полиморфите

**Fig. 1.** Distribution of polymorphs in low, middle and high category of symmetry  
1, low symmetry (triclinic, monoclinic, orthorhombic system), 2, middle symmetry (trigonal, tetragonal, hexagonal system), 3, high symmetry (cubic system); 0–70, number of polymorphs



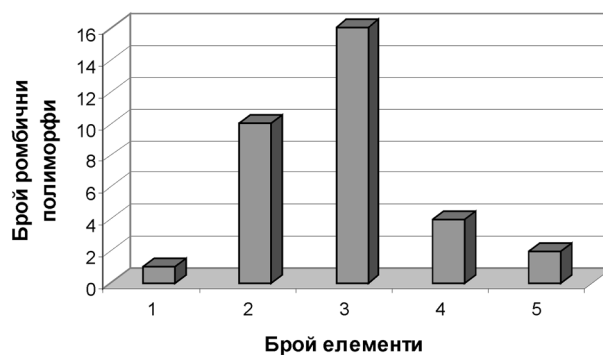
**Фиг. 2.** Разпределение на триклинните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

**Fig. 2.** Distribution of triclinic polymorphs vs. the number of the chemical elements  
1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–4, number of triclinic polymorphs



**Фиг. 3.** Разпределение на моноклинните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

**Fig. 3.** Distribution of monoclinic polymorphs vs. the number of the chemical elements  
1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–8, number of monoclinic polymorphs



**Фиг. 4.** Разпределение на ромбичните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

**Fig. 4.** Distribution of orthorhombic polymorphs vs. the number of the chemical elements  
1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–16, number of orthorhombic polymorphs

тях се нареждат диелементните, тетраелементните, петелементните и моноелементните (фиг. 4).

В тригонална сингония най-чести са тетраелементните полиморфи. Следват ги диелементните, триелементните и петелементните. Моноелементните изчезват (фиг. 5).

Сред полиморфите, кристализиращи в тетрагонална сингония, рязко преобладават диелементните, следвани с голяма разлика от три- и петелементните с по един представител (фиг. 6).

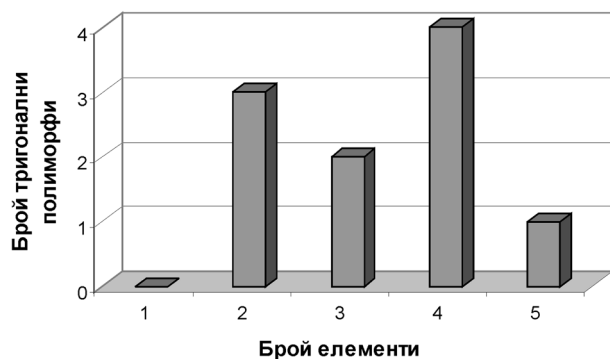
Кристализиращите в хексагонална сингония полиморфи, най-често са диелементни. На второ място са моноелементите. Следват три- и тетраелементните. Петелементни хексагонални полиморфни модификации липсват (фиг. 7).

Най-много сред изследваните кубични полиморфи са диелементните, следвани от моноелементните и триелементните. На последното място са тетра- и петелементните (фиг. 8).

Наличните данни показват, че за изследваната група полиморфи, законът на Грот е валиден на ниво групи сингонии: 1) висша, средна и низша симетрия; 2) низши сингонии и сумарно висша и средни сингонии (фиг. 1). При изследването на разпределението на полиморфите по сингонии с отчитане на броя на изграждащите ги елементи (фиг. 2–8) се получават известни несъответствия.

Получените данни за разпределението на полиморфите в отделните сингонии и степени на симетрия не са достатъчни за извеждане на общи закономерности за всички полиморфни минерали.

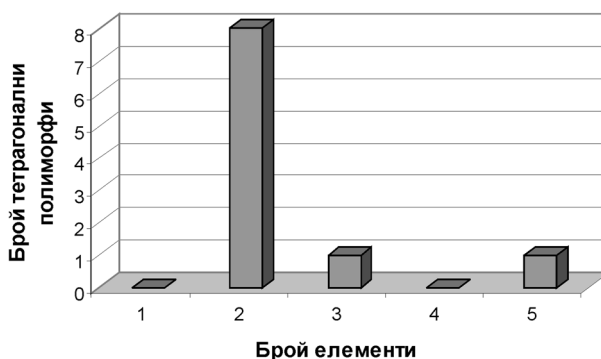
Изследвани са 113 полиморфни минерали, разпределени в 18 от 32-та класа на симетрия. От тях 94 (83,18%) кристализират в холоедричните класове: 1) триклинно-пинакоидален – 4; 2) моноклинно-призматичен – 22; 3) ромбично-дипирамиден – 35; 4) дитетрагонално-дипирамиден – 8; 5) дитри-



Фиг. 5. Разпределение на тригоналните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

Fig. 5. Distribution of trigonal polymorphs vs. the number of the chemical elements

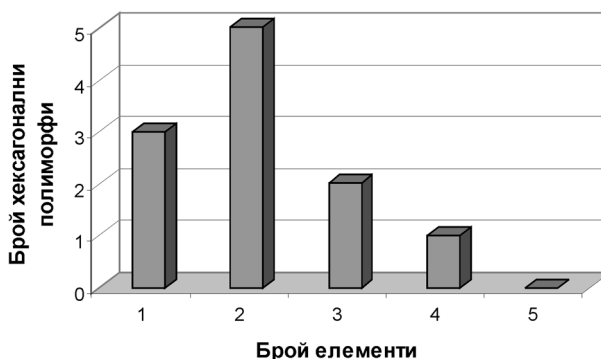
1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–4, number of trigonal polymorphs



Фиг. 6. Разпределение на тетрагоналните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

Fig. 6. Distribution of tetragonal polymorphs vs. the number of the chemical elements

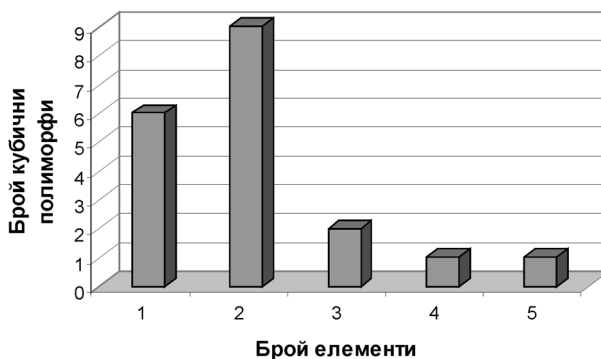
1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–8, number of tetragonal polymorphs



Фиг. 7. Разпределение на хексагоналните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

Fig. 7. Distribution of hexagonal polymorphs vs. the number of the chemical elements

1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–5, number of hexagonal polymorphs



Фиг. 8. Разпределение на кубичните полиморфи съгласно броя на химичните елементи

Fig. 8. Distribution of cubic polymorphs vs. the number of the chemical elements

1–5, number of chemical elements in polymorphs, 0–9, number of cubic polymorphs

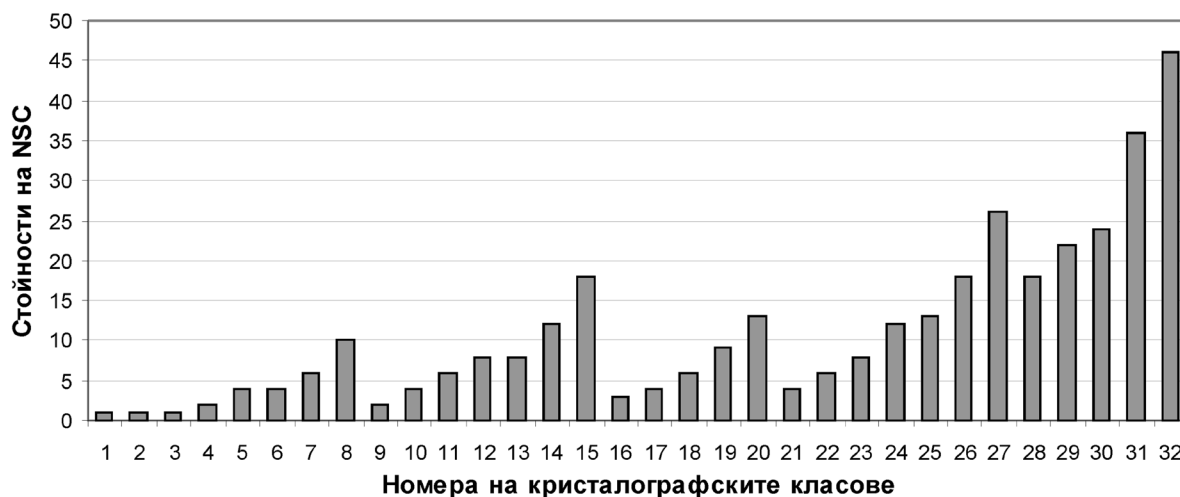
гонално-скаленоедричен – 4; 6) дихексагонално-дипирамидален – 7; 7) хексаоктаедричен – 14.

Неравномерното разпределяне на полиморфите в 32-та класа се обяснява чрез дефинирането и въвеждането на числата на симетрия на кристалографските класове (NSC).

NSC на всеки кристалографски клас се формира, като сборът от порядъка на всички оси се суми-

ра с броя на равнините, като при наличие на център на симетрия към полученото число се прибавя 1.

Класът с най-малко NSC определя минималното, а холоедричният клас – максималното число на симетрия за дадена сингония. Когато класовете в нея са повече от два, тогава се отчитат междинни стойности между минималните и максималните. Стойността на NSC се формира по 3 начина: с

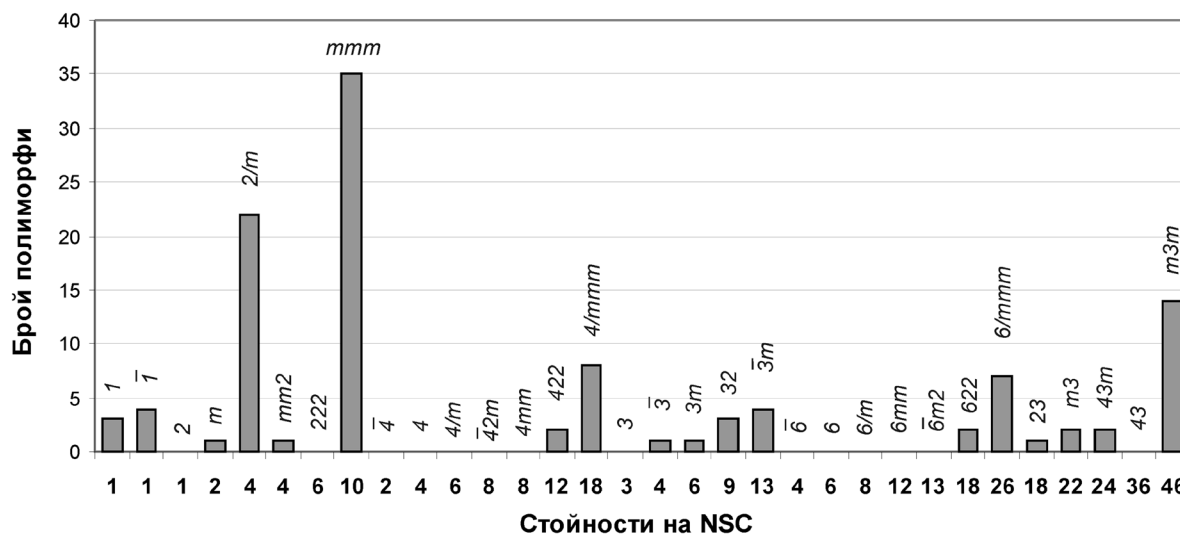


Фиг. 9. Вариации на стойностите на NSC в различните сингонии

1–32 – номера на класовете: 1–2 (триклинни), 3–5 (моноклинни), 6–8 (ромбични), 9–15 (тетрагонални), 16–20 (тригонални), 21–27 (хексагонални), 28–32 (кубични); 0–50 – стойности на числата на симетрия на класовете

Fig. 9. Variation of values of NSC in different systems

1–32, number of classes: 1–2 (triclinic), 3–5 (monoclinic), 6–8 (orthorhombic), 9–15 (tetragonal), 16–20 (trigonal), 21–27 (hexagonal), 28–32 (cubic); 0–50, values of NSC



Фиг. 10. Разпределение на полиморфите в 18 класа на симетрия

1–46 – стойности на NSC, 0–40 – брой на полиморфите

Fig. 10. Distribution of polymorphs in 18 symmetry classes

1–46, values of NSC; 0–40, number of polymorphs



участието само на един, на два или и на трите вида елементи на симетрия (оси, равнини и център).

Стойностите на числата на симетрия на 32-та кристалографски класа са посочени в табл. 2, а вариациите им са илюстрирани на фиг. 9.

Минималните стойности на NSC, при които се установяват полиморфи са: триклинна, педиален клас, NSC = 1; моноклинна, сфеноидален клас, NSC = 2; ромбична, пирамидален клас, NSC = 4; тригонална, ромбоедричен клас, NSC = 4; тетрагонална, трапезоедричен клас, NSC = 12; хекса-

гонална, хексагонално–трапезоедричен клас, NSC = 18; кубична, тритетраедричен клас, NSC = 18 (табл. 2, фиг. 10).

В 14 от 32-та кристалографски класа не се установяват полиморфни минерали, защото: 1) в повечето случаи техните NSC са под посочените необходими стойности; 2) по-рядко, когато техните NSC са над необходимите стойности, но са формирани само от 1 или 2 вида симетрични елементи. В настоящето изследване е установено само едно изключение от второто условие.

Таблица 2

Числа на класовете на симетрия (NSC) и разпределение на полиморфите в 32-та класа на симетрия

Table 2

Numbers of Symmetry Class (NSC) and distribution of polymorphs in 32 Symmetry Classes

Сингония	Клас на симетрия	Формула на симетрия	NSC	Брой полиморфи в класовете
Триклинна	1. Педиален; $I$	$G_1$	1	3
Триклинна	2. Пинакоидален; $\bar{I}$	$z$	1	4
Моноклинна	3. Домален; $2$	$P$	1	0
Моноклинна	4. Сфеноидален; $m$	$G_2$	2	1
Моноклинна	5. Призматичен; $2/m$	$G_2Pz$	4	22
Ромбична	6. Пирамидален; $mm2$	$G_22P$	4	1
Ромбична	7. Тетраедричен; $222$	$3G_2$	6	0
Ромбична	8. Дипирамидален; $mmm$	$3G_23Pz$	10	35
Тетрагонална	9. Тетраедричен; $\bar{4}$	$G_2$	2	0
Тетрагонална	10. Пирамидален; $4$	$G_4$	4	0
Тетрагонална	11. Дипирамидален; $4/m$	$G_4Pz$	6	0
Тетрагонална	12. Скаленоедричен; $\bar{4}2m$	$3G_22P$	8	0
Тетрагонална	13. Дитетрагонално-пирамидален; $4mm$	$G_44P$	8	0
Тетрагонална	14. Трапезоедричен; $422$	$4G_2G_4$	12	2
Тетрагонална	15. Дитетрагонално-дипирамидален; $4/mmm$	$4G_2G_45Pz$	18	8
Тригонална	16. Пирамидален; $\bar{3}$	$G_3$	3	0
Тригонална	17. Ромбоедричен; $\bar{3}$	$G_3z$	4	1
Тригонална	18. Дитригонално-пирамидален; $3m$	$G_33P$	6	1
Тригонална	19. Трапезоедричен; $32$	$3G_2G_3$	9	3
Тригонална	20. Тригонално-скаленоедричен; $\bar{3}m$	$3G_2G_33Pz$	13	4
Хексагонална	21. Тригонално-дипирамидален; $\bar{6}$	$G_3P$	4	0
Хексагонална	22. Пирамидален; $6$	$G_6$	6	0
Хексагонална	23. Дипирамидален; $6/m$	$G_6Pz$	8	0
Хексагонална	24. Дихексагонално-пирамидален; $6mm$	$G_66P$	12	0
Хексагонална	25. Дитригонално-дипирамидален; $\bar{6}m2$	$3G_2G_34P$	13	0
Хексагонална	26. Трапезоедричен; $622$	$6G_2G_6$	18	2
Хексагонална	27. Дихексагонално-дипирамидален; $6/mmm$	$6G_2G_67Pz$	26	7
Кубична	28. Тритетраедричен; $23$	$3G_24G_3$	18	1
Кубична	29. Дидодекаедричен; $m\bar{3}$	$3G_24G_33Pz$	22	2
Кубична	30. Хексатетраедричен; $43m$	$3G_24G_36P$	24	2
Кубична	31. Триоктаедричен; $4\bar{3}$	$6G_24G_33G_4$	36	0
Кубична	32. Хексаоктаедричен; $m\bar{3}m$	$6G_24G_33G_49Pz$	46	14
Общо				113

## Заклучение

Числото на симетрия на кристалографските класове (NSC) представлява числова характеристика, обединяваща и характеризираща количествено всички елементи на симетрия за всеки един от 32-та класа. По стойностите на NSC може да се предполага в кои класове на симетрия е възможно да кристализират полиморфи. Главният критерий е NSC да е над минималната необходима стойност, а допълнително условие е стойността на NSC да се формира от повече от един от елементите на симетрия. В единични случаи и когато не е в противоречие с първия критерий, второто правило не е абсолютно задължително. Установяват се следните закономерности:

- във всяка сингония съществува клас на симетрия, над чиято стойност на NSC става възможно кристализирането на полиморфи;

- колкото е по-високо NSC, толкова по-голям брой полиморфи кристализират в съответния клас;

- колкото по-високосиметрична е една сингония, толкова по-висока е стойността на минимално необходимото NSC;

- най-много полиморфи кристализират в холоедричните класове, защото те в най-голяма степен отговарят на посочените критерии;

- еднаквите NSC на някои класове от различни сингонии не пречи на използването им като критерий, защото те се съпоставят в само рамките на една сингония.

Намирането на полиморфи сред новите минерали ще е трудно, защото те са редки видове. Дори да бъдат открити, те ще са малко. Средната им симетрия ще е по-ниска от тази на широко разпространените видове, но това едва ли ще повлияе на минималните необходими стойностите на NSC за съответните сингонии.

Полиморфите са група минерали, подчиняваща се на специфични закономерности, определящи явлението полиморфизъм като изключение от закона на Грот.

## Литература

Браунлоу, А. Х. 1984. *Геохимия*. М., Недра, 19–21.

Киров, Г. Н., Ц. Станимирова. 2010. *Кристалография*. С., УИ „Св. Кл. Охридски“, 302 с.

Костов, И. 1978. *Кристалография*. С., Наука и изкуство, 445 с.

Костов, И. 1993. *Минералогия*. С., Техника, 734 с.

Малеев, М. 2008. Минералите. – В: Кунов, А. (Ред.). *Земята – неспокойната планета*. Враца, БГ-Принт, 394–409.

Урусов, В. С. 1987. *Теоретическая кристаллохимия*. М., ИМУ, 208–236.

Чухров, Ф. Б., Б. Б. Звягин, А. П. Жухлистов, Н. И. Органова, Л. П. Ермилова. 1986. К характеристике структурных особенностей природного графита. – *Изв. АН СССР, сер. геол.*, 7, 3–5.

Юшкин, Н. П. 1982. *Топоминералогия*. М., Недра, 30–41.

Юшкин, Н. П., И. И. Шафрановский, К. П. Янулов. 1987. *Законы симметрии в минералогии*. Л., Наука, 191–202. <http://www.webmineral.com>

Nickel, E. H. 1995. Definition of a mineral. – *Eur. Jh. Miner.*, 7, 5, 1213–1215.

Rudnik, R., S. Gao. 2003. Composition of the Continental Crust. – In: Holland, H. D., K. K. Turekian (Eds.). *Treatise on Geochemistry*, v. 3. *The Crust*, 1–65.

Urusov, V. S. 2007. Symmetry Statistics of Mineral Species and Evolutionary Dissymmetrization of Mineral Matter. – *Geology of Ore Deposits*, 49, 7, 497–504.

(Постъпила на 14.02.2011 г., приета за печат на 29.03.2011 г.)

Отговорен редактор Михаил Тарасов