



Амониеви сулфати от въглищна мина Пирин

Елена Щербакова¹, Лариса Нешева²

¹ Институт по минералогия УрО РАН, Миасс, Русия

² Национален музей „Земята и хората“, София, България

Ammonium sulfates from coal mine Pirin

Elena Shcherbakova¹, Larisa Nesheva²

¹ Institute of Mineralogy of UB RAS, Miass, Russia

² National Museum “Earth and Men”, Sofia, Bulgaria

E-mail: founds@mineralogy.ru; larisanesheva@abv.bg

Abstract. In 2008 the authors of this publication found three ammonium sulfates in the coal mine Pirin. The minerals, resulting from modern mineral formation, are most intensively developed in the Eastern part of the quarry where multiple hot gas jets penetrate the surface – volatile products of coal burning. Upon sudden temperature drop, around the gas jet “craters” specific crust-like mineralization is formed, with a sulfur core surrounded by different sulfates. Among those are defined the three new for Bulgaria minerals – mascagnite $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, godovikovite $(\text{NH}_4)(\text{Al}, \text{Fe})(\text{SO}_4)_2$ and tschermigite $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$. Mascagnite forms original spheroid aggregates – cone-like assemblies of white or cream-beige colour. The spherulites are 2 to 5 mm of size. The mineral associates with sulfur and forms most probably directly from the hot gas jets. Godovikovite forms solid or porous chalk-like aggregates of white colour inside the sulphur-sulfate crusts. It is also found in the hot sulfate crusts directly in contact with the gas jets, where it forms separate zones of anomalous blue colour and associates with anhydrous sulfates – anhydrite CaSO_4 and millosevichite $(\text{Al}, \text{Fe})_2(\text{SO}_4)_3$. Tschermigite (ammonium alum) is widely distributed and forms colourless crystal aggregates or separate isometric or elongated individuals sized up to 0.5 mm in the surface zone of the sulfate crusts, where it associates with pickeringite $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22(\text{H}_2\text{O})$, alunogen $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17(\text{H}_2\text{O})$ and other hydrous sulfates.

Key words: Ammonium sulfates, coal mine Pirin, mascagnite, godovikovite, tschermigite.

Резюме. През 2008 г. бяха намерени три амонийсъдържащи сулфата във въглищна мина Пирин. Минералите, резултат на съвременно минералообразуване, са развити най-интензивно в източната част на кариерата, където на повърхността излизат множество горещи газови струи – летливи продукти от горенето на въглищата. При рязко спадане на температурите около „кратерите“ на газовите струи, се формират специфични минерализации във вид на кори, централните части на които се състоят от сяр, а периферните – от различни сулфати. Сред тях са определени нови за България минерали – масканит $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, годовиковит $(\text{NH}_4)(\text{Al}, \text{Fe})(\text{SO}_4)_2$ и чермигит $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$. Масканитът образува своеобразни сфероидални агрегати – шишаркоподобни струпвания с бял или кремаво-бежов цвят. Сферолитите са с размери до 2–5 mm. Минералът асоциира със сяр и най-вероятно се отлага непосредствено от горещите газови струи. Годовиковитът образува плътни или шуплести тебешироподобни агрегати с бял цвят във вътрешните части на сяр-сулфатните кори. Намерен е и в горещите сулфатни минерализации, непосредствено до газовите струи, където образува самостоятелни зони с аномална синя окраска и асоциира с безводни сулфати – анхидрит CaSO_4 и милозевичит $(\text{Al}, \text{Fe})_2(\text{SO}_4)_3$. Чермигит (амониева стипца) се среща масово и образува безцветни прозрачни кристални агрегати или отделни изометрични или удължени индивиди с размери до 0,5 mm в повърхностните зони на сулфатните кори, където асоциира с пикерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22(\text{H}_2\text{O})$, алуноген $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17(\text{H}_2\text{O})$ и други водни сулфати.

Ключови думи: амониеви сулфати, въглищна мина Пирин, масканит, годовиковит, чермигит.

Въведение

Амонийсъдържащите сулфати се отнасят към числото на редките и достатъчно екзотични минерали – известни са само около двадесетина такива минерални вида. Срещат се в области с активен вулканизъм или в различни въглищни басейни, където се образуват главно във връзка с процеси на самопро-

изволно горене на въглищата и съпътстващите ги сулфиди. Първият за България амонийсъдържащ сулфат – амонийорозит е описан във въглищата на Пернишкия и Балканския басейн (Костова, 1999 в: Минчева-Стефанова, Костов, 2000). През 2008 г. са намерени още три амонийсъдържащи сулфата във въглищна мина Пирин (Shcherbakova, Nesheva, 2008). Цел на настоящото изследване е да се извър-

ши диагностика и описание на амонийсъдържащите сулфати, техните морфоложки особености, асоциация и характер на разпределение.

Пиринският въглищен басейн се намира на 20 km южно от Благоевград, непосредствено до с. Брежани, община Симитли. Съгласно Маринова и Загорчев (1993), **фундаментът на басейна е изграден от метаморфните скали на Въчанската свита**. Отгоре ляга въгленосен пласт, състоящ се от пет свити със средно-горноолигоценска възраст – Качовска свита (kPg_3^2), Горещишка свита (gPg_3^2), Брежански въглищен пласт, Ракитнишка свита (rPg_3^2), Лулевска свита ($luPg_3^2$) и най-горната – **Дермиришка свита** (dPg_3^2), които се покриват несъгласно от конгломератите на Калиманската свита с понтийска възраст.

За пръв път минералните асоциации, възникващи в кариера Пирин в резултат на спонтанно горене на въглищните пластове, са описани от Малеев (1976). Основно внимание той отделя на α -сярата като детайлно се характеризират няколко генерации, различаващи се по морфология, пространствено положение и асоцииращи минерали, сред които упоменава β -сяра и два сулфата – гипс и ярозит.

Минералите, резултат на съвременно минералообразуване, които са обект на това изследване, са развити най-интензивно в източната част на кариерата, където на повърхността на въглищните пластове излизат множество горещи газови струи – летливи продукти от горенето на въглищата. При рязко спадане на температурата около „кратерите“ на газовите струи, се формират специфични минерализации във вид на кори, централните части на които се състоят от сяра, а периферните – от различни сулфати (Табл. I, 1 и I, 2).

Методика на изследването

За диагностика на амонийсъдържащите сулфати е използвана методиката на Белогуб и др. (2005), която се основава на съчетанието на микрохимически тестове с традиционна прахова дифрактометрия. Микрохимическите тестове са направени в Института по минералогия на УрО РАН, гр. Миасс, Русия. Рентгеновите изследвания на минералите са извършени в Института по минералогия на УрО РАН, гр. Миасс, Русия (дифрактометър ДРОН-2.0, CuK_{α} и дебаеграми на УРС, диаметър на камерата 57,3 mm, FeK_{α} -лъчение) и паралелно – в Национален музей „Земята и хората“, София (дифрактометър TUR M 62, $CuK_{\alpha} = 1,5418 \text{ \AA}$).

За да се избегнат нежелани изменения, свързани с възможна хидратация–дехидратация на пробите, препаратите за рентгеновите изследвания са приготвяни с вазелин.

Резултати

При изследване на фазовия състав на минерализираните кори на повърхността на въглищните пластове около изходите на горещите газови струи, се установи наличието на три нови за България минерала – масканит $(NH_4)_2SO_4$, годовиковит $(NH_4)(Al,Fe)(SO_4)_2$ и чермигит $NH_4Al(SO_4)_2 \cdot 12(H_2O)$.

Масканитът образува своеобразни сфероидални агрегати – шишаркоподобни струпувания с бял или кремаво-бежов цвят. Сферолитите са с размери до 2–5 mm, меки и крехки, понякога кухи отвътре (Табл. I, 3 и I, 4). Асоциира със сяра и най-вероятно се отлага непосредствено от горещите газови струи.

ТАБЛИЦА I

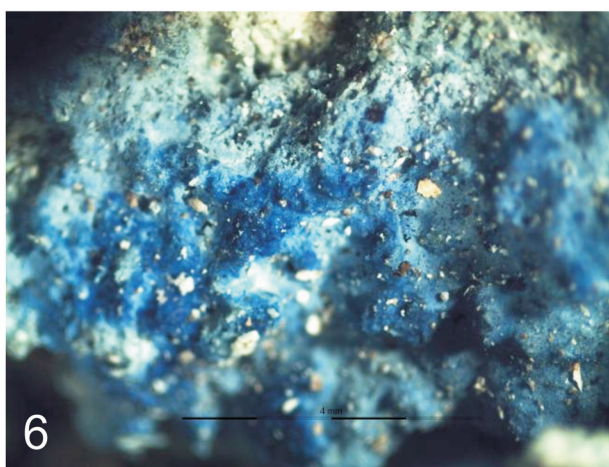
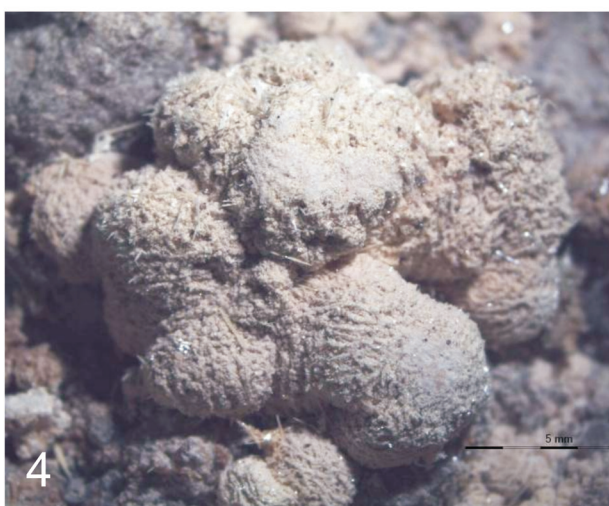
Минерализации от сулфати и сяра

1. Кори от сяра и сулфати
2. Минерализации от сулфати и сяра
3. Масканит – сфероидален агрегат, сяра
4. Масканит – сфероидални агрегати, сяра
5. Кори от годовиковит, анхидрит и милозевичит
6. Агрегати на годовиковит с аномален син цвят

PLATE I

Sulfur – sulfate mineralizations

1. Sulfur–sulfate crusts
2. Sulfur–sulfate mineralizations
3. Mascagnite – spheroid aggregate, sulfur
4. Mascagnite – spheroid aggregates, sulfur
5. Godovikovite, anhydrite, millosevichite crusts
6. Godovikovite aggregates with anomalous blue colour



Масканиът се разтваря бързо и без утайка във вода, полученият разтвор при взаимодействие с бариев хлорид дава положителна реакция за наличие на сулфатен йон (бяла утайка), а с основа – за наличие на амоний (мирис на амоняк). Устойчив е до $\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ и напълно сублимира при по-нататъшно нагряване.

Главни линии от рентгенограмата на минерала са (d , Å(I)): 4,38(8), 4,34(10), 3,90(10), 3,13(7), 3,05(6), 2,52(5). Междуплоскостните разстояния и параметрите на елементарната клетка на масканита са приведени в табл. 1.

Наблюдаваните химични свойства, в съчетание с оригиналната дифракционна картина, позволя-

Таблица 1

Междуплоскостни разстояния и параметри на елементарната клетка на масканит (орторомбичен–дипирамиден клас (2/m 2/m 2/m) от въглищна мина Пирин, Челябински въглищен басейн и синтетичен (NH₄)₂SO₄ (JCPDS, card 10-343)

Table 1

X-ray data and unit cell of mascagnite (Orthorhombic–Dipyramidal (2/m 2/m 2/m) from Pirin coal mine, Chelyabinsk coal mine and synthetic (NH₄)₂SO₄ (JCPDS, card 10-343)

1		2		3		4		hkl
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	
2	5,31	2	5,31	7	5,30	15	5,31	002
3	5,21	3	5,22	9	5,20	30	5,22	011
8	4,38	8	4,39	8	4,36	65	4,39	102
>10	4,34	10	4,33	10	4,32	100	4,33	111
9	3,89	10	3,91	10	3,89	35	3,89	200
–	–	1	3,71	<1	3,64	1	3,66	201
–	–	1	3,31	<1	3,26	1	3,264	210
1	3,21	1	3,21	<1	3,21	1	3,227	103
7	3,13	8	3,14	10	3,123	30	3,139	202
5	3,05	7	3,13	10	3,048	25	3,120	211
3	2,99	6	3,05	10	2,994	55	3,055	013
<1	2,84	3	2,99	9	2,831	25	2,988	020
<1	2,766	<1	2,83	<1	2,779	1	2,839	113
<1	2,708	<1	2,766	1	2,698	3	2,782	212
<1	2,657	1	2,704	2,5	2,654	5	2,704	121
1,5	2,657	2	2,655	7	2,654	13	2,655	004
1	2,610	1	2,600	2	2,607	7	2,611	022
5	2,525	5	2,521	5	2,519	9	2,521	303?
<1	2,469	1	2,479	<1	2,470	3	2,476	122
<1	2,400	<1	2,396	1	2,395	3	2,401	213
<1	2,372	1	2,372	<1	2,374	3	2,374	220
4	2,317	5	2,318	7	2,318	17	2,320	311
1,5	2,194	1,5	2,194	4	2,191	20	2,317	221
3	2,172	3	2,166	5	2,165	9	2,196	123
1	2,091	1,5	2,098	1,5	2,092	15	2,168	222
<1	2,054	–	–	1	2,057	5	2,093	303?
<1	1,973	1	1,973	2	1,971	1	2,062	214
2	1,945	<1	1,950	–	–	5	1,970	223
–	–	1	1,943	2	1,941	5	1,945	400
<1	1,915	1	1,910	1	1,911	5	1,942	115
<1	1,903	<1	1,903	1	1,902	3	1,914	401
						1	1,904	131
a ₀ , Å	7,78	7,80		7,78		7,782		
b ₀ , Å	5,98	5,98		5,99		5,993		
c ₀ , Å	10,62	10,62		10,62		10,636		

1–3 масканит: 1, 2 – въглищна мина Пирин: 1 – проба Бр-1, сфероидални агрегати в асоциация със сяра (дифрактометър TUR M 62, CuK_α, аналитик Д. Янакиева, Национален музей „Земята и хората“, София), 2 – проба Бр-3а – фрагмент от сталактит (дифрактометър ДРОН-2.0, CuK_α, аналитик Т. М. Рябухина, Институт по минералогия УрО РАН, гр. Миасс, Русия), 3 – Челябински въглищен басейн; 4 – синтетичен (NH₄)₂SO₄ (JCPDS, card 10-343)

1–3 mascagnite: 1, 2, coal mine Pirin: 1, specimen Бр-1, spheroid aggregate in association with Sulfur (diffractometer TUR M 62, CuK_α, analyst D. Yanakieva, National Museum “Earth and Men”, Sofia); 2, specimen Бр-3а – stalactite fragment (diffractometer ДРОН-2.0, CuK_α, analyst Т. М. Ryabuhina, Institute of Mineralogy of UB RAS, Miass, Russia); 3, Chelyabinsk coal mine; 4, synthetic (NH₄)₂SO₄ (JCPDS, card 10-343)

ват еднозначно да се диагностицира минералът без използване на по-сложни аналитични методи и процедури.

Годовиковитът образува плътни или шуплести тебешироподобни агрегати с бял цвят във вътрешните части на сяро-сулфатните кори (Табл. I, 5). Намерен е и в горещите сулфатни минерализации,

непосредствено до газовите струи, където образува самостоятелни зони и притежава аномална синя окраска (Табл. I, 6). Zacek and Ondrus (1997) установяват, че светло- до тъмносинята окраска на годовиковит от каменновъглената мина Катерина, Чехия се дължи на наличието на молибденови охри от типа на илземанит Mo₃O₈·n(H₂O), което е твърде възможно

но и в нашия случай, тъй като във въглищата от мина Пирин Ескенази и Чубриев (1984) установяват надкларкови съдържания на Мо.

Годовиковитът асоциира с безводни сулфати – анхидрит CaSO_4 и милозевичит $(\text{Al, Fe})_2(\text{SO}_4)_3$.

За разлика от масканита, той много бавно се разтвора във вода, а характерната реакция за амоний дава само при кипване на разтвора с основа, като едновременно отделя кафеникава утайка от хидрооксиди на алуминия и желязото. Най-силни линии от рентгенограмата на минерала са ($d, \text{\AA}(\text{I})$): 8,30(9), 3,69(10), 2,921(9), 2,764(7), 2,379(6); пълната рентгенограма и параметрите на елементарната клетка са приведена в табл. 2.

Таблица 2

Междуплоскостни разстояния и параметри на елементарната клетка на годовиковит (тригонално-трапецедричен клас (32) от въглищна мина Пирин, Челябински въглищен басейн и синтетичен $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$, (JCPDS, card 23-1)

Table 2

X-ray data and unit cell of godovikovite (Trigonal-Trapezohedral (32) from Pirin coal mine, Chelyabinsk coal mine and synthetic $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$, (JCPDS, card 23-1)

1		2		3		
I	d, Å	I	d, Å	I	d, Å	hkl
10	8,30	9	8,30	60	8,28	001
–	–	1	4,14	1	4,14	002
10	3,69	10	3,69	100	3,678	101
3	3,49*	–	–	–	–	–
7	2,920	9	2,921	30	2,915	102
4	2,760	7	2,764	9	2,759	003
3	2,379	8	2,374	15	2,368	110
2	2,292	–	–	2	2,291	103
–	–	6	2,280	3	2,277	111
2	2,059	5	2,060	3	2,056	112
1	1,992	2	1,998	2	2,051	200
4	1,849	7	1,848	3	1,991	201
1	1,800	1	1,803	7	1,849	104
1	1,658	2	1,653	8	1,839	202
1	1,648	1	1,603	1	1,798	113
1	1,561	2	1,563	1	1,656	005
1	1,531	5	1,532	3	1,647	203
				2	1,559	114
				2	1,536	105
$a_0, \text{\AA}$	4,746		4,75		4,7373	
$c_0, \text{\AA}$	8,290		8,30		8,2828	

1–2 – годовиковит (дифрактометър ДРОН-2.0, CuK_α , аналитик Т. М. Рябухина, Институт по минералогия УрО РАН, гр. Миасс, Русия): 1 – въглищна мина Пирин, проба Бр-10, * – възможна линия на анхидрит, 2 – Челябински въглищен басейн; 3 – синтетичен $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$, (JCPDS, card 23-1)

1–2, godovikovite (diffractometer ДРОН-2.0, CuK_α , analyst Т. М. Ryabuhina, Institute of Mineralogy of UB RAS, Miass, Russia): 1, coal mine Pirin, specimen Бр-10, *, possible anhydrite line, 2, Chelyabinsk coal mine; 3, synthetic $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$, (JCPDS, card 23-1)

Годовиковитът представлява продукт от въздействието на горещи газове, съдържащи летливи съединения на сярата и азота, върху първични или термично преобразувани глинести скали и е устойчив до $T \sim 550\text{--}570 \text{ }^\circ\text{C}$. В приповърхностни условия при повишена влажност постепенно хидратира и образува водни сулфати на алуминия, желязото и амония.

Чермигит (амониева стипца). От другите амонийсъдържащи сулфати този минерал се отличава преди всичко с външния си облик: образува безцветни прозрачни кристални агрегати или отделни изометрични или удължени индивиди с размери до 0,5 mm (Табл. II, 7 и II, 8). Среца се в горните зони на сулфатните кори, където асоциира с пикерингит $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22(\text{H}_2\text{O})$, алуноген $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 17(\text{H}_2\text{O})$ и други водни сулфати (Табл. II, 9 и II, 10).

При праховата дифрактометрия на минерала се получават главни линии ($d, \text{\AA}(\text{I})$): 7,07(5), 5,48(7), 4,33(10), 4,08(7), 3,27(10), 3,06(6), 2,810(3); параметър на елементарната клетка – $a_0 = 12,240 \text{ \AA}$; ($2/m\bar{3}$). Рентгенограмата на чермигита е сходна с тези на останалите членове от групата на стипците с формула $AB(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$ като ($A = \text{NH}_4, \text{K, Na, Tl, др.}; B = \text{Al, Fe, Cr}$), поради което са проведени изследвания, потвърждаващи наличието в състава му на амониева група. Минералът лесно се разтвора във вода, има характерен стипчив киселосладък вкус; полученият разтвор дава положителна реакция за наличие на сулфатен йон с бариев хлорид (бяла утайка); при въздействие с основа от разтвора се отделя бяла утайка от $\text{Al}(\text{OH})_3$, която по-късно се разтвора в остатъка на реактива, и се отделя амоняк.

Чермигитът е краен продукт на хидратацията на годовиковит, освен това, кристализира непосредствено от сулфатни разтвори, съдържащи йони на алуминия и амония в температурен интервал $0\text{--}60 \text{ }^\circ\text{C}$.

Заклучение

При изследване на фазовия състав на минерализираните кори около изходите на горещите газови струи във въглищните пластовете в кариерата на мина Пирин, се установи наличието на три нови за България минерала – масканит $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, годовиковит $(\text{NH}_4)(\text{Al, Fe})(\text{SO}_4)_2$ и чермигит $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12(\text{H}_2\text{O})$.

Тези минерални видове се считат за редки, но може да се каже, че са типични минерали за т.нар. въглищни пожари. Често се наблюдават в горящите отвали при въгледобива или в зоните на спонтанно горене на ненарушени въглищни пластовете. Известни са няколко десетки подобни проявления в различни страни на Европа (Унгария, Германия, Холандия, Чехия, Франция и др.), а

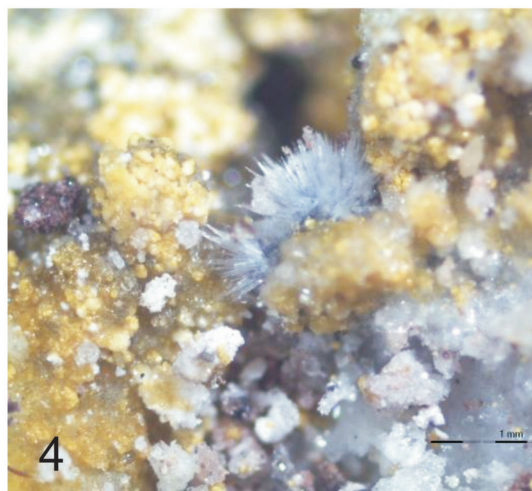
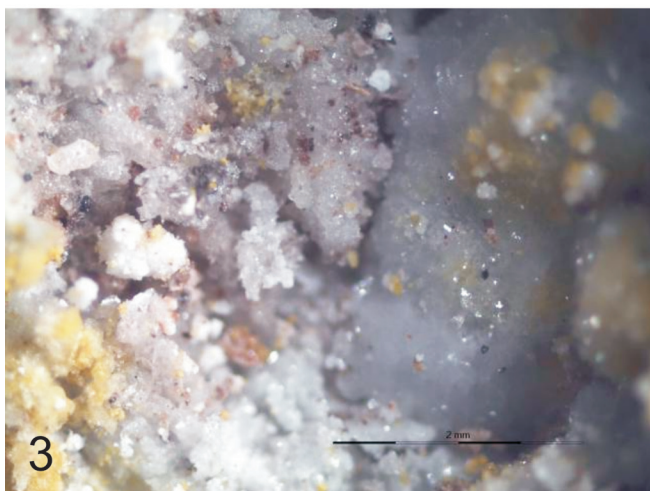
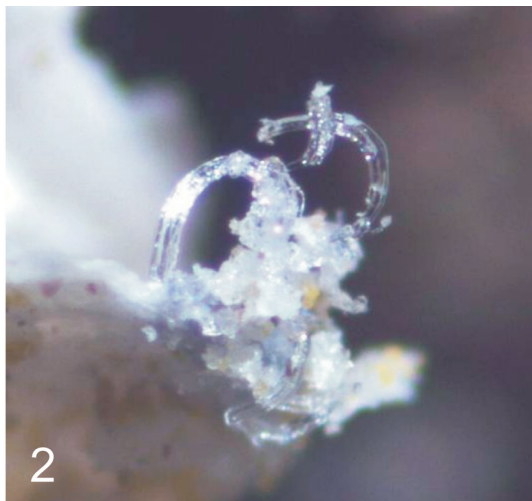
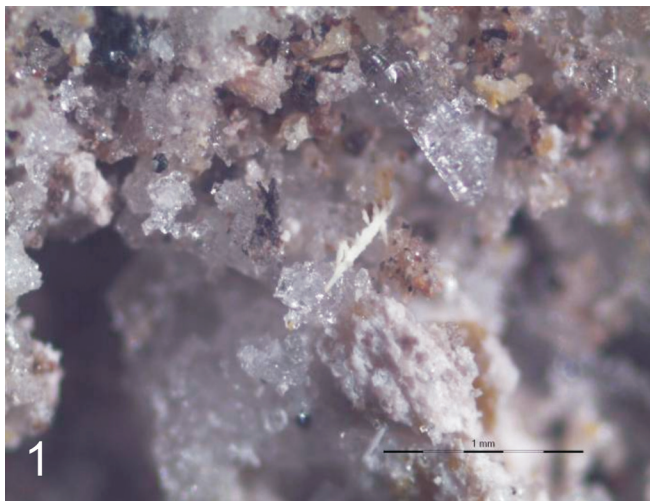


ТАБЛИЦА II

Агрегати от чермигит

1. Чермигит – изометрични агрегати и издължени индивиди, сяра
2. Чермигит – издължени индивиди
3. Чермигит – изометрични агрегати, сяра
4. Чермигит – изометрични агрегати, алуноген и пикерингит – иглести, сяра

PLATE II

Tschermigite aggregates

1. Tschermigite – isometric aggregates and elongated individuals, sulfur
2. Tschermigite – elongated individuals
3. Tschermigite – isometric aggregates, sulfur
4. Tschermigite – isometric aggregates, alunogen and pickeringite – acicular, sulfur

също и в Русия, САЩ, Китай. Находки на чермигит, масканит и годовиковит са отбелязани също във вулкански експалации, в продукти на хипергенеза на полиметални и уранови находища и даже в гуано (Zacek, 1988; Sindern et al., 2005; Stracher et

al., 2005; Чесноков и др., 2008; Masalehdanil et al., 2009; Tvrdy, Seikora, 2009;).

Находищата на тези минерали в България не са достатъчно изучени, което мотивира авторите за по-нататъшно изучаване на минералното раз-

нообразии в зоните на самопроизвольно горение на въглищните пластове, както в кариерата на мина Пирин, така и в други подобни проявления на съвременно минералообразуване.

Благодарности: Авторите изказват благодарност за консултациите и съдействието за напис-

ване на тази работа на: Михаил Малеев, Светлана Енчева, Петко Петров, Денка Янакиева (Национален музей „Земята и хората“, гр. София); Елена Зенович, Татьяна Рябухина (Институт по минералогия УрО РАН, гр. Миасс), Татьяна Мороз (Институт по геология и минералогия СО РАН, гр. Новосибирск).

Литература

- Белогуб, Е., Е. Щербакова, Н. Никандрова. 2005. *Сульфаты Урала*. Миасс, ИМин УрО РАН, 128–129.
- Ескенази, Г., З. Чубриев. 1984. Элементы–примеси в углях месторождения Пирин. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 45, 1, 56–73.
- Малеев, М. 1976. Морфологические особенности кристаллов α -серы, образованной при каменноугольных пожарах на месторождении Брежани. – *Геохим., минерал. и петрол.*, 4, 8–26.
- Минчева-Стефанова, Й., Р. Костов. 2000. Регистър на минералите в България. – *Сп. Бълг. геол. д-во*, 61, 1–3, 111–131.
- Маринова, Р., И. Загорчев. 1993. *Геоложка карта на България М 1: 100 000, Картен лист Разлог*.
- Чесноков, Б., Е. Щербакова, Т. Нишанбаев. 2008. *Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна*. Миасс, ИМин УрО РАН, 102–139.
- Eskenazy, G., S. Vassilev, E. Karaivanova 1998. Chlorine and bromine in the Pirin coal deposit, Bulgaria. – *Rev. Bulg. Geol. Soc.*, 59, 2, 67–72.
- Masalehdanil, N., F. Mees, M. Dubois, et al. 2009. Condensate Minerals from a burning coal-waste heap in Avion, Northern France. – *Canad. Miner.*, 47, 573–591.
- Shcherbakova, E., L. Nesheva. 2009. New data on sulfate minerals of Bulgaria. – *Abstracts of 5-th International Symposium on Mineral Diversity*. Sofia, 48–53.
- Sindern, S., J. Warnsloh, T. Witzke, et al. 2005. Mineralogy and geochemistry of vents formed on the burning coal mining waste dump Anna I, Alsdorf, Germany. – *Eur. J. Mineral.*, 17, 1, 145–162.
- Stracher, G., A. Prakash, P. Schroeder, et al. 2005. New mineral occurrences and mineralization processes: Wuda coal-fire gas vents of Inner Mongolia. – *Amer. Miner.*, 90, 1729–1739.
- Tvrdy, J., J. Seikora. 2009. Horici uhelni haldy a redpozice toxichych latek pri samovolnem termickem rozkladu uhelny hmoty. www.gpkv.cz/haldy.html.
- Zacek, V. 1988. Zonal association of secondary minerals from burning dumps of coal mines near Kladno, Central Bohemia, Czechoslovakia. – *Acta Univer. Carolinae Geologica*, 3, 315–341.
- Zacek, V., P. Ondrus. 1997. Mineralogy of recently formed sublimates from Katerina colliery in Radavanice, Eastern Bohemia, Czech Republic. – *Vestnik Ceskeho geologickeho ustavu*, 72, 3, 289–302.

(Постъпила на 22.02.2010 г., приета за печат на 03.11.2010 г.)
Отговорен редактор Михаил Тарасов