

Б. В. Чесноков, А. Ф. Бушмакин

**НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗ ГОРЕЛЫХ ОТВАЛОВ
ЧЕЛЯБИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА
(СООБЩЕНИЕ ВОСЬМОЕ)**

*B. V. CHESNOKOV, A. PH. BUSHMAKIN. NEW MINERALS
FROM OLD-BURNING DUMPS OF THE CHELYABINSK
COAL BASIN (THE 8TH COMMUNICATION)*

Two new mineral varieties — chlormayenite and silicochlormayenite are established. They fall in uninterrupted sequence of chlormayenite-silicochlormayenite-chlorhibschite. The contents of SiO_2 (mass. %) are: 1.73 — 4.00 in chlormayenite, 5 — 18 in silicochlormayenite, and 18-21 in chlorhibschite. The contents of chlorine (mass. %) are respectively: 4.6 — 4.7, 5.3 — 8.8, and 8.6—12.2. Chlormayenite belongs to complex oxides, chlorhibschite belongs to silicates, and silicochlormayenite is representative of the new mineral class — silicooxides. It has been suggested to assign to this class following minerals: malakhovite, dorrite, macaulayite, cronstedtite, and braunite. Besides, it is established two boron minerals (vonsenite and fluoborite) and monticellite that previously were unknown in the old-burning dumps.

В ряде предыдущих публикаций, список которых приведен в [7], дано описание новых минеральных видов, новых минеральных разновидностей и минералов, новых для СССР, России, Урала и Челябинского угольного бассейна. В данной статье описаны новые минеральные разновидности и минералы, ранее на Урале и в отвалах Челябинского бассейна не отмечавшиеся.

Новые минеральные разновидности

Хлормайенит (chlormayenite) — $\text{Ca}_{13}\text{Al}_{14}(\text{SiO}_4)_{0,5}\text{O}_{32}\text{Cl}_2$, кубический.

Силикохлормайенит (silicochlormayenite) — $\text{Ca}_{13}\text{Al}_{14}(\text{SiO}_4)_4\text{O}_{24}\text{Cl}_4$, кубический.

После опубликования предварительного описания майенита из горелых отвалов [6] было установлено, что все его пробы содержат значительное количество хлора (табл. 1) и представляют новую минеральную разновидность — хлормайенит. Дифрактограммы хлормайенитов весьма сходны с дифрактограммами хлоргибшитов (содержание хлора в последних составляет 10—12 мас. % [7]). Параметр элементарной ячейки a_0 у тех и у других около 12 Å. В последнее время установлены разности, по химическому составу и рентгеновским характеристикам промежуточные (переходные) между хлормайенитами и хлоргибшитами. Все представители этого ряда являются кубическими высокотемпературными гранатоидами. Вариации содержаний главных компонентов в них значительны (табл. 2).

Образование минералов данного ряда происходило на контакте обжигаемых кусков окаменелого дерева (доломитового и анкеритового состава) с отвальной массой, состоящей в основном из кусков и мелочи глинистых пород [8]. В атмосфере горячих газов (до 1000° С и выше) формируется силикатная (с переменным количеством ангидрита) корка, окружающая разложенный кусок окаменелого дерева, как скорлупа ядро ореха [8]. Главными минералами в ней являются силикаты кальция и силикаты алюминия: куспидин, хлоргибшит, мелилиты, ранее не известные хлоросиликаты кальция (альбовит, афанасьеваит, чесофиит), гранаты ряда гроссуляр-андрадит и др. Хлормайенит образует узкую зону, ближайшую к ядру. Хлоргибшит во многих случаях («толстые белые корки») является главным минералом. Переходные разности отмечаются или в виде отдельных участков или же располагаются на месте хлормайенита (рис. 1).

Таблица 1
Содержание хлора в майенитах из горелых отвалов

| №№ проб | Характеристика пробы | Cl, мас. % |
|---------|---|------------|
| 054—453 | Почти белый, мелкозернистый майенит | 4.73 |
| 054—311 | Зеленовато-желтый майенит | 4.70 |
| 054—Ж | Желтовато-зеленый(светлый) майенит | 4.58 |
| 059—59 | Измененные майениты Майениты от желтовато-оранжевых до коричневатого-красных; потери при прокаливании до 13 %, H ₂ O- до 11-13 мас. % | 4.15 |
| 054—499 | | 2.94 |
| 054—23В | | 2.89 |

Примечание. Хлор определен весовым методом в лаборатории ИМин аналитиком М. Н. Маларенко

Таблица 2
Вариации содержаний главных компонентов в минералах ряда хлормайенит-хлоргибшит

| Минералы | n | Мас. % | | | |
|---------------------|---|------------------|--------------------------------|-------------|------------|
| | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | Cl |
| Хлормайениты | 3 | 1.73-4.00 | 34.32-42.15 | 43.67-46.33 | 4.58-4.73 |
| Переходные разности | 4 | 5-18 | 25-29 | 33-38 | 5.26-8.80 |
| Хлоргибшиты | 8 | 18.09-21.37 | 16.43-21.64 | 38.34-40.13 | 8.63-12.18 |

Примечание: n — число проб

Толщина зоны хлормайенита обычно не более нескольких миллиметров. Цвет ее светлый зеленовато-желтый, до светлого желтовато-зеленого. При гидратации окраска слоя становится красновато-оранжевой или красно-коричневой. Агрегаты хлормайенита имеют тонко- или мелкозернистое строение, плоско-раковистый излом и жирноватый блеск.

Агрегаты хлоргибшитов мелкозернистые, иногда довольно рыхлые мело- или нонтронитоподобные. Нередки и плотные его выделения с плоско-раковистым изломом и матовым блеском.

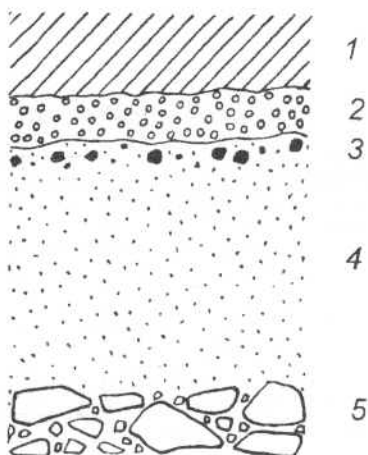


Рис. 1. Размещение членов ряда хлормайнит-хлоргибшит в скорлупе «ореха», возникшего при обжиге куска окаменелого дерева. 1 — разложенное на известь и периклаз окаменелое дерево, 2 — хлормайнит, 3 — вкрапления кристаллов афанасьевита, 4 — хлоргибшит, 5 — горелая порода.

Выделения переходных разностей или же визуально не отличаются от хлормайнита, или же похожи на желтовато-зеленоватый опал (жирный блеск, плоско-раковистый излом, полупрозрачные).

Все представители ряда практически изотропны. Показатели преломления хлормайнитов находятся в пределах 1.660—1.696 и явно зависят от содержания железа [6]. У хлоргибшитов эти пределы 1.68—1.71 и влияние железа здесь также явное [7].

Дифрактограммы хлормайнитов, переходных разностей и хлоргибшитов очень сходны [6, 7], но есть характерные отличия. Максимально они выражены в вариациях интенсивности отражения 211. У хлормайнитов это одно из главных отражений, а у хлоргибшитов — второстепенное. У переходных разностей интенсивность отражения 211 имеет «промежуточные» значения. Для экспрессной оценки членов ряда поэтому использовалась их данная особенность. Вычислялся коэффициент $A = I_{400} : I_{211}$, где I_{400} — интенсивность отражения 400, как одного из наиболее стабильных у всех членов ряда и I_{211} — интенсивность отражения 211. Оказалось, что A определенно зависит от содержания SiO_2 членов ряда (рис. 2). Следует отметить, что относительная стабильность данного признака не в малой степени определена и тем, что дифракционные препараты проб минералов ряда практически не дают ориентированных текстур (кубическая сингония, тонкозернистость, отсутствие более или менее четкой спайности).

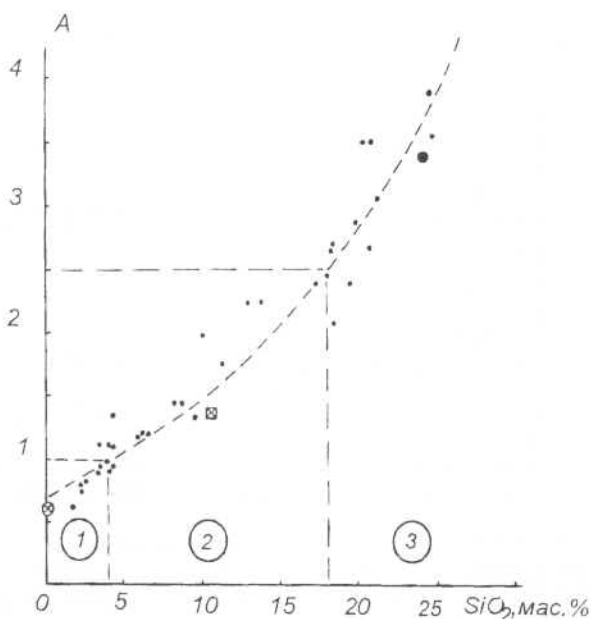


Рис. 2. Зависимость SiO_2 — A для членов ряда хлормайнит-хлоргибшит. Цифры в кружках: 1 — поле хлормайнитов, 2 — поле переходных членов ряда (силикохлормайнитов), 3 — поле хлоргибшитов. Кружок с крестиком — точка $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ («чистого» катоита), квадратик с крестиком — точка природного катоита $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_8$, черный кружок — точка природного игумновита $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2\text{Cl}_4$.

По содержанию SiO_2 и значениям A члены ряда подразделены следующим образом: хлормайниты (SiO_2 до 4 %, A до 1.0), переходные (4 — 18 % и 1.0—2.5), хлоргибшиты (>18 % и >2.5) (см. рис. 2).

Значения параметра a_0 в ряду хлормайнит-хлоргибшит меняются от 11.962 до 12.075 Å. Зависимость A — a_0 ясно не выражена (рис. 3). Наибольший разброс значений a_0 наблюдается в поле хлормайнитов (11.982 — 12.075 Å), в поле хлоргибшитов разброс меньше (11.982 — 12.027 Å). В обоих случаях разброс значений a_0 в основном определяется содержанием железа; наиболее четко это проявлено у хлормайнитов (рис. 4). В этом отражена характерная особенность гранатов: при замене Al^{3+} на Fe^{3+} параметр a_0 заметно увеличивается (пары: гроссуляр-андрадит, пироп-меджорит, спессартин-кальдерит [3]).

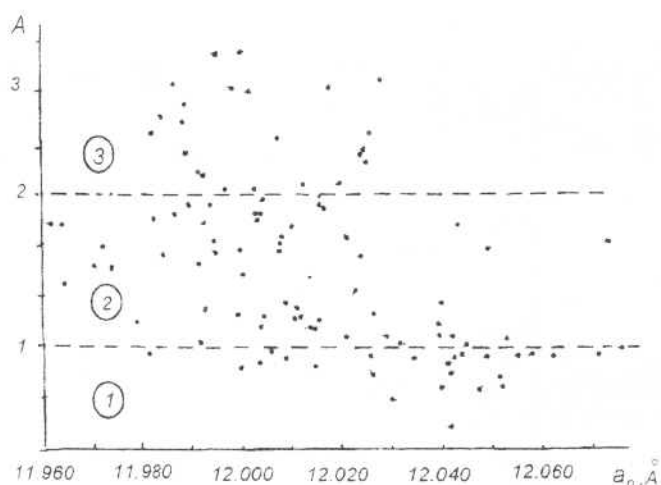


Рис. 3. Значения параметра a_0 и коэффициента A для членов ряда хлормайнит-хлоргибсит. Цифры в кружках: 1 — поле хлормайнитов, 2 — поле переходных членов ряда (силикохлормайнитов), 3 — поле хлоргибситов.

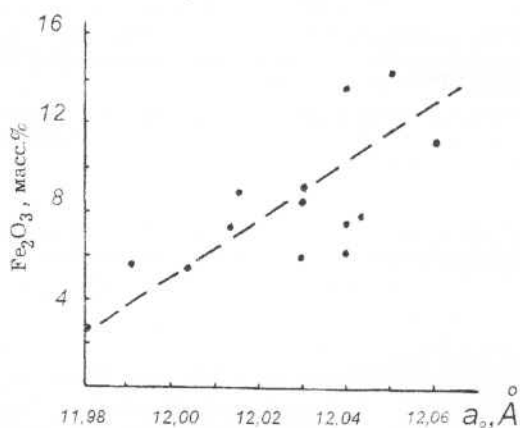


Рис. 4. Зависимость параметра a_0 от содержания Fe_2O_3 в хлормайнитах.

Химические анализы типичных хлормайнита, переходного члена и хлоргибсита приведены в табл. 3. Перед рассмотрением пересчета анализов охарактеризуем некоторые использованные для этого миналы.

1. *Майенит* — $12 \text{ CaO} \cdot 7 \text{ Al}_2\text{O}_3$, или $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$
 2. *Игумновит* — $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Cl}_{12}$. Является кубическим бескремниевым гранатоидом, Cl — аналогом катоита $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ [5].

3. *Гроссуляр* — $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$, или $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$.

4. *Андрадит* — $\text{Ca}_3\text{Fe}_2(\text{SiO}_4)_3$, или $3 \text{ CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{SiO}_2$.

Прочие миналы имеют подчиненное значение (табл. 4).

Отметим, что ряд катоита образуется на основе гроссуляра $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ заменой $(\text{SiO}_4)^{4-}$ на $4[\text{OH}]^-$ по схеме $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_{3-x}(\text{OH})_{4x}$. При $x=3$ получается «чистый»

Таблица 3
 Химические анализы типичных членов ряда
 хлормайенит-хлоргибшит

| Компоненты | Мас. % | | |
|--------------------------------|---------|--------|---------|
| | 1 | 2 | 3 |
| SiO ₂ | 1.73 | 10.13 | 18.95 |
| TiO ₂ | - | 0.22 | 0.43 |
| Al ₂ O ₃ | 42.15 | 26.59 | 17.70 |
| Fe ₂ O ₃ | 6.25 | 4.34 | 8.18 |
| FeO | - | - | не обн. |
| MnO | <0.05 | <0.05 | <0.05 |
| MgO | 1.57 | 0.74 | 2.84 |
| CaO | 46.33 | 38.00 | 38.34 |
| SO ₃ | не обн. | 7.92 | 0.73 |
| P ₂ O ₅ | - | 0.13 | <0.05 |
| H ₂ O ⁻ | - | 1.63 | 1.07 |
| П.п.пр. | 0.90 | 6.47 | 3.00 |
| F | <0.10 | - | - |
| Cl | 4.73 | 6.56 | 11.68 |
| Сумма | 103.66 | 102.73 | 102.92 |
| -O=Cl | 1.07 | 1.48 | 2.57 |
| Сумма | 102.59 | 101.25 | 100.35 |

Примечание. 1 — хлормайенит 054-453, 2 — переходный 054-496, 3 — хлоргибшит 054-474(15). В хлоргибшите Na₂O и K₂O < 0.20%. В пробе 2 часть потерь при прокаливании и SO₃ отнесены за счет примеси этtringита и ангидрита, диагностированных дифрактометрически и оптически (иммерсия).

катоит $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$. Природный минерал катоит [10] близок по составу к $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)(\text{OH})_8$. Рекомендовано относить к катоиту все члены ряда с $x=1.5-3$ [5]. «Чистый» ка-

тоит известен как синтетическое вещество и, возможно, будет найден в природе. Природный игумновит [7] близок

Таблица 4
Содержание миналов (мол. %) в типичных членах
ряда хлормайенит-хлоргибшит (см. табл. 3)

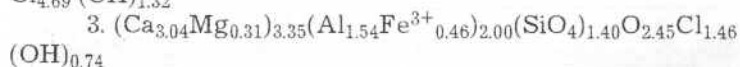
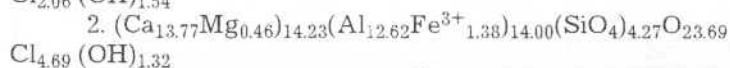
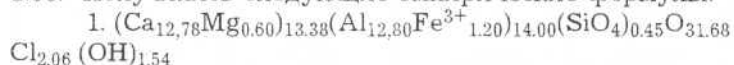
| | М | Иг | Г | А | Г+А | П | И | Пр | В | Мф | H ₂ O | Σ |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|------|------|------------------|--------|
| 1 | 65.99 | 14.26 | 4.39 | - | 4.39 | 6.54 | 3.72 | - | - | 5.10 | - | 100.00 |
| 2 | 39.17 | 24.86 | 16.69 | 15.64 | 32.33 | - | - | - | 3.00 | - | 0.64 | 100.00 |
| 3 | 6.47 | 31.56 | 22.12 | 21.00 | 43.12 | 9.76 | 4.97 | 4.12 | - | - | - | 100.00 |

Примечание. 1—2—3 (см. табл. 3). Миналы: М — майенит $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$, Иг — «чистый» игумновит $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Cl}_{12}$, Г — гроссуляр $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$, А — андрадит $\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3$, Г+А — гроссуляр+андрадит, П — поргландит $\text{Ca}(\text{OH})_2$, И — известь CaO , Пр — периклаз MgO , В — брусит $\text{Mg}(\text{OH})_2$, Мф — магнезиоферрит MgFe_2O_4 .

к $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_2\text{Cl}_4$. Мы рекомендуем относить к игумновиту и все остальные члены ряда с высоким содержанием хлора, получающиеся по «катоитовой схеме» (Cl вместо OH), включая $\text{Ca}_3\text{Al}_2\text{Cl}_{12}$ — «чистый» игумновит).

Синтетические гранатойды с переменным содержанием SiO_2 и H_2O (включая «чистый» катоит) называются гидрогранатами [2]. По аналогии с ними весь ряд с переменным содержанием SiO_2 и Cl предлагаем называть хлоргранатами.

Эмпирические формулы хлормайенита и переходного члена вычислены по майенитовому варианту: молекулярные количества $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 7.00$. Для расчета формулы хлоргибшита взят гроссуляровый вариант: $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 = 1.00$. Получились следующие эмпирические формулы:



Идеализированная формула хлормайенита $\text{Ca}_{13}\text{Al}_{14}(\text{SiO}_4)_{0.5}\text{O}_{32}\text{Cl}_2$, или $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0.5\text{SiO}_2 \cdot \text{CaCl}_2$ довольно близка к формуле майенита $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$.

Идеализированная формула переходного члена (назовем его силикохлормайенитом) $\text{Ca}_{13}\text{Al}_{14}(\text{SiO}_4)_4\text{O}_{24}\text{Cl}_4$, или $11\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot 2\text{CaCl}_2$ также имеет определенные чер-

ты майенита, а не гроссуляра. Формула хлоргибшита сходна с формулой гроссуляра.

Вхождение гроссулярового и игумновитового миналов в майенит делает майенит кремний- и хлорсодержащим алюминатом кальция с повышенным содержанием кальция и пониженным — кислорода. Присутствие майенитового и игумновитового миналов в гибшите значительно отдаляет его от гроссуляра, сильно понижая содержания SiO_2 и превращая его в оксихлоросиликат с явно выраженными чертами бескремниевых гранатоидов (майенит, «чистый» игумновит).

ИК-спектры хлормайенита и хлоргибшита получены и интерпретированы Н.В. Чукановым (Институт химической физики РАН). Спектр хлормайенита типичен для алюминатов (основные полосы 831 и 442 cm^{-1}). Спектр хлоргибшита мало похож на гранатовый. По положению основной полосы 938 cm^{-1} он близок к спектрам диортосиликатов.

Таким образом, кроме ранее установленных хлорогранатов игумновита (новый минеральный вид) и хлоргибшита (новая минеральная разновидность) установлены хлорогранаты хлормайенит и силикохлормайенит (новые минеральные разновидности).

Характерно, что в резко восстановительной среде «черных блоков» [8] образуется игумновит — хлорогранат, не содержащий майенитового минала, вносящего добавочный кислород в гроссуляровый тип соединения [7]. По-видимому, следует выделять две ветви хлорогранатов — продукты окислительных и восстановительных высокотемпературных сред. Важным миналом первой ветви является майенит, отсутствующий в составе членов второй ветви.

Возможен также ряд хлорогранатов только на основе майенита, т. е. бескремниевый: от $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ до $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{Cl}_{66}$. Интересно, что содержание хлора в «чистом» хлормайените очень близко к содержанию хлора в «чистом» игумновите (73.16 и 70.95 мас. % соответственно).

Вполне вероятны встречи представителей рядов гранатоидов, в которых вместо OH^- или Cl^- , будут F^- , O^{2-} или иные анионы. Не исключены и иные комбинации в анионной части гранатоидов.

По-видимому, хлорогранаты в горелых отвалах — более поздние минералы по сравнению с фторосиликатами

кальция. Например, в ряде случаев наблюдалось замещение крупнозернистых агрегатов куспидина микрокристаллическим хлоргибситом.

Если хлоридные отложения отвальных фумарол (нашатырь, копейскит, редикорцевит и др.) [8] являются интенсивным, но кратковременным источником хлоридного заражения окружающей среды, то разнообразные хлоросиликаты (включая хлорогранаты) — слабый, но «долгоживущий» источник такого заражения.

В заключение следует подчеркнуть, что количественные определения содержаний хлора (и фтора тоже) должны быть обязательными при характеристике практически любых силикатных (и не только силикатных) парагенезисов. Автор изучения и описания Б. В. Чесноков.

Минерал, новый для Урала

Вонсенит — $\text{Fe}_2^{2+}\text{Fe}^{3+}\text{VO}_5$, ромбический. Установлен в 1994 г. Б. В. Чесноковым в образцах переплавленной породы с террикона шахты 47 (Копейск), собранных им же летом 1990 г. Переплавленная порода имеет темный зеленовато-серый цвет, местами переходящий в почти черный. Текстура ее пузыристая, пузыри и каверны достигают 1 см и более. Структура неравнозернистая, от мелкозернистой до участков с размером зерен до 3—5 мм (около полостей). Главными минералами породы являются серо-зеленый (до черного) пироксен, зерна и изометричные кристаллы бесцветного куспидина и анортит. Куспидин и анортит в основном находятся в виде кристаллов на стенках полостей и в виде зерен вблизи этих полостей. В полостях и около них пироксен имеет почти черный цвет. На стенках полостей также встречаются бесцветные призмы фторапатита, бесцветные округлые кристаллы флюорита, кристаллы магнетита и вонсенита. Переплавленная порода находилась в глыбе красного отвального спёка в привершинной части террикона, вскрытой экскаватором. На красном фоне спёка порода выделялась в виде почти черного пятна размером около 15 см в поперечнике. Контакты ее с горелой породой четкие, характерны живообразные «затеки» породы между прилегающими к ней кусками обожженных аргиллитов. По-видимому, эта порода — результат разложения и переплавления куска гли-

нистой железистой карбонатной породы, типа глинистого сидерита или анкерита. Характерно, что в участках отвального спёка здесь довольно обычны аналогичные по форме, размерам и строению переплавленные участки голубовато- или лилово-серого цвета, в которых главной составной частью является секанинит [6]. Такие участки — продукт разложения и переплавления кусков менее железистых карбонатных пород.

Вонсенит на стенках пузырей и каверн находится в виде слабо расходящихся пучков игл длиной порядка 1—2 мм. Иголки вонсенита уплощены, ограненных головок кристаллов не наблюдалось. Как правило, иголки постепенно утоняются, «сходят на нет».

Цвет вонсенита черный, черта черная, блеск полуметаллический. Спайность ясная (вдоль иглонок и поперек) по трем пинакоидам (?). Очень хрупок. Твердость около 6. Магнитен. В иммерсии не прозрачен. В HCl и HNO₃ не растворяется.

Энергодисперсионный спектр иглонок вонсенита имеет только пик железа (бор по технической причине не определялся) (лаборатория ИМин, аналитик В. А. Котляров).

Неполный микронзондовый анализ вонсенита выполнен В. А. Вилисовым на приборе ЖХА-5 в лаборатории Института геологии и геохимии им. акад. А.Н. Заварицкого УрО РАН (табл. 5). Как видно из таблицы, состав вонсенита из горелых пород отличается высокой чистотой, особенно следует подчеркнуть почти полное отсутствие магния. По-видимому, это самый чистый вонсенит из известных.

Дебаеграмма вонсенита (табл. 6) получена и рассчитана А. Ф. Бушмакиным. Вонсенит ромбический, параметры элементарной ячейки (в скобках — для эталона [9]): $a=9.46(9.452)$, $b=12.27(12.287)$, $c=3.07(3.072)\text{Å}$; $v=56.6(356.77)\text{Å}^3$; $Z=4$.

Характерно, что вонсенит встречен только в тех участках породы, в которых присутствуют кристаллы или зерна магнетита. Встречены ориентированные нарастания призматических кристаллов вонсенита на грани ромбододекаэдра {110} магнетита (рис. 5). После варвикита [8] это второй минерал бора в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна. Авторы изучения и описания Б. В. Чесноков и А. Ф. Бушмакин.

Минералы, новые для отвалов Челябинского бассейна

Флюоборит — $Mg_3(VO_3)F_3$, гексагональный. Установлен в 1994 г. Б. В. Чесноковым в образцах из «черного блока» [8] разрабатываемого террикона шахты 45 (Копейск), отобранных им же летом 1985 г. Образцы с флюоборитом — обломки довольно крупного (10x20 см) куска разложен-

Таблица 5

Химический состав вонсенита (проба 063-26)(1) и $Fe_2^{2+}Fe^{3+}VO_5$ (2), мас. %.

| Компоненты | 1* | 2 |
|------------|-------|-------|
| Fe_2O_3 | - | 30.91 |
| FeO | - | 55.62 |
| $Fe_{общ}$ | 63.23 | 64.85 |
| TiO_2 | 0.06 | - |
| MgO | 0.09 | - |
| CaO | 0.04 | - |
| F | 0.02 | - |

* — среднее из 6 анализов.

Таблица 6

Порошкограммы вонсенита 063-26(1) и эталонного вонсенита [9, карта 25-395](2)

| 1 | | | | 2 | | |
|----|---------|---------|-----|-----|-------|---------|
| I | дизм, Å | двуч, Å | hkl | I | d, Å | hkl |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 1 | 7.5 | 7.50 | 110 | 2 | 7.47 | 110 |
| 6 | 5.12 | 5.15 | 120 | 30 | 5.15 | 120 |
| 3 | 4.71 | 4.74 | 200 | 8 | 4.73 | 200 |
| 3 | 3.75 | 3.75 | 130 | 4 | 3.76 | 130 |
| 3 | 3.07 | 3.07 | 001 | 3 | 3.07 | 040,001 |
| 1 | 2.92 | 2.92 | 140 | 3 | 2.923 | 140 |
| 6 | 2.83 | 2.84 | 111 | 9 | 2.842 | 111 |
| 1 | 2.75 | 2.75 | 021 | 3 | 2.747 | 021 |
| 10 | 2.57 | 2.57 | 240 | 100 | 2.575 | 240,201 |
| 6 | 2.37 | 2.37 | 400 | 7 | 2.363 | 400 |
| 7 | 2.17 | 2.17 | 041 | 3 | 2.175 | 041 |
| 6 | 2.07 | 2.07 | 321 | 7 | 2.070 | 321 |
| 2 | 2.00 | 2.00 | 160 | 5 | 2.002 | 160 |
| 7 | 1.934 | 1.937 | 350 | 12 | 1.937 | 350,331 |
| 2 | 1.874 | 1.874 | 440 | 8 | 1.872 | 440,401 |
| 3 | 1.788 | 1.789 | 341 | 3 | 1.791 | 421 |

Продолжение таблицы 6

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----|-------|-------|--------|----|-------|---------|
| 2 | 1.726 | 1.729 | 170 | 1 | 1.726 | 170 |
| 1 | 1.678 | 1.675 | 161 | 1 | 1.677 | 161 |
| 7 | 1.598 | 1.599 | 511 | 3 | 1.603 | 261 |
| 2 | 1.555 | 1.560 | 521 | 3 | 1.557 | 521 |
| 7 | 1.535 | 1.536 | 002 | 17 | 1.536 | 080,002 |
| 7 | 1.502 | 1.503 | 171 | - | - | - |
| 1 | 1.422 | 1.422 | 132 | - | - | - |
| 4 | 1.401 | 1.404 | 640 | - | - | - |
| 1 | 1.373 | 1.373 | 312 | - | - | - |
| 0.5 | 1.347 | 1.348 | 551 | - | - | - |
| 5 | 1.320 | 1.321 | 720 | - | - | - |
| 3 | 1.287 | 1.287 | 480 | - | - | - |
| 1 | 1.257 | 1.258 | 381 | - | - | - |
| 1 | 1.229 | 1.229 | 432 | - | - | - |
| 1 | 1.214 | 1.216 | 1.10.0 | - | - | - |
| 2 | 1.186 | 1.187 | 571 | - | - | - |
| 3 | 1.177 | 1.179 | 810 | - | - | - |
| 3 | 1.142 | 1.143 | 3.10.0 | - | - | - |
| 3 | 1.097 | 1.098 | 671 | - | - | - |
| 4 | 1.083 | 1.084 | 622 | - | - | - |
| 0.5 | 1.070 | 1.072 | 3.10.1 | - | - | - |
| 1 | 1.053 | 1.055 | 3.11.0 | - | - | - |
| 2 | 1.043 | 1.044 | 1.11.1 | - | - | - |
| 4 | 1.034 | 1.036 | 681 | - | - | - |
| 3 | 1.010 | 1.011 | 4.11.0 | - | - | - |
| 2 | 1.000 | 1.001 | 2.12.0 | - | - | - |
| 1 | 0.995 | 0.995 | 940 | - | - | - |
| 2 | 0.986 | 0.986 | 572 | - | - | - |

Примечание. 1 — РКД 57.3 мм; FeK α , резиновый шарик 0.2 мм. 2 — вонсенит, Испания; дифрактомер, CuK α , Ni—фильтр, внутренний стандарт NaCl.

ного окаменелого дерева, сложенного кавернозными агрегатами пластинчатых кристаллов пирротина и мелких октаэдров периклаза. На стенках полостей находятся кристаллические корочки хондрита, агрегаты мелких призматических кристаллов селлаита, округлые бесцветные кристаллы флюорита и игольчатые кристаллы (до волокнистых) флюоборита. Остальное пространство полостей заполнено сажистым углеродом, придающим всей массе образцов черный цвет.

Кристаллы флюоборита довольно многочисленны. Наиболее крупные из них достигают 1 см и более в длину и до 0.15 мм в толщину. Они все прямолинейны (включая

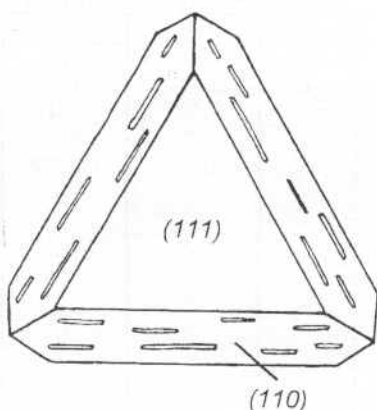


Рис. 5. Ориентированные на-
растания призмочек вонсенита
на гранях ромбододекаэдра
кристалла магнетита.

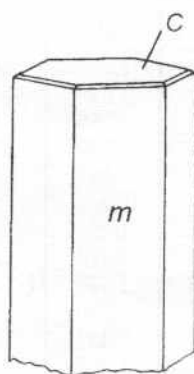


Рис. 6. Головка игольчатого
кристалла флюоборита.
 $m\{10\bar{1}0\}$, $c\{0001\}$.

и самые тонкие волокна) и представляют собою гексагональные призмы. Очень редко наблюдались ограненные головки с узкими гранями бипирамиды и базопинакоидом (рис. 6). Некоторые иголки постепенно «сходят на нет», некоторые расщепляются или же имеют окончание в виде «морковки». Встречены пустотелые иглы с каналом вдоль $[0001]$.

Наиболее крупные кристаллы имеют светло-желтый цвет, а более тонкие кажутся бесцветными. Черта белая.

Блеск граней сильный стеклянный, блеск в изломе — жирноватый. Очень хрупкий, излом раковистый. Спайность ясная по гексагональной призме. Спайность по $\{0001\}$ несовершенная. Твердость около 4.5. В HCl не растворяется. Перед паяльной трубкой легко плавится в белый шарик, пламени не окрашивает.

В иммерсии чуть желтоватый. Наиболее толстые иглы бледно-желтые, плеохроизм не заметен. Удлинение кристаллов отрицательное. Оптически одноосный, отрицательный, $n_g=1.508$; $n_p=1.482$; $n_g-n_p=0.026$. Показатели преломления соответствуют чистому фтористому члену (синтетическому) [1].

Дебаграмма флюоборита (табл. 7) получена и рассчитана А. Ф. Бушмакиным. Флюоборит гексагональный, параметры его ячейки (в скобках — для эталона): $a=8.802$

(8.805) $c=3.097(3.100)\text{Å}$. Рентгеновские данные также подтверждают, что флюоборит из горелого отвала является чисто фтористым. После варвикита и вонсенита это третий минерал бора в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна. Авторы изучения и описания Б. В. Чесноков и А. Ф. Бушмакин.

Монтichelлит — $\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$, ромбический. Определен Б. В. Чесноковым (по дифрактограмме) в образцах, отобранных им же летом 1993 г. на разрабатываемом терриконе шахты 45 (г. Копейск).

Бесцветные скелетные зерна монтichelлита до 0.5 мм в поперечнике входят в состав корки «ореха», возникшего при обжиге куска окаменелого дерева. Зерна находятся в рыхлом мелоподобном хлоргибшите и образуют узкую зону, параллельную границе с ядром. В состав корки входят также куспидин и афанасьевит. В виде вторичных образований присутствуют гипс и землистый кальцит.

В иммерсии монтichelлит бесцветный, $n_g=1.653$; $n_p=1.641$; $n_g-n_p=0.012$. По этим свойствам он соответствует безжелезистому синтетическому $\text{CaMg}[\text{SiO}_4][4]$.

Дифрактограмма монтichelлита (табл. 8) соответствует порошкограмме также безжелезистого $\text{CaMg}[\text{SiO}_4][9]$. Автор изучения и описания Б. В. Чесноков.

Таблица 7
Порошкограммы флюоборита 054-71(1) и эталонного
— $\text{Mg}_3(\text{BO}_3)\text{F}_3[9]$, карта 19-468](2)

| I | 1 | | | 2 | | |
|----|---------|---------|-----|-----|-------|----------|
| | дизм, Å | двуч, Å | hkl | I | d, Å | hkl |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 8 | 7.57 | 7.62 | 100 | 65 | 7.63 | 100 |
| 9 | 4.42 | 4.40 | 110 | 100 | 4.41 | 110 |
| 1 | 3.83 | 3.81 | 200 | 6 | 3.82 | 200 |
| 4 | 2.88 | 2.88 | 210 | 35 | 2.89 | 120 |
| 9 | 2.54 | 2.54 | 300 | 75 | 2.55 | 300 |
| 10 | 2.41 | 2.40 | 201 | 95 | 2.41 | 201 |
| 1 | 2.20 | 2.20 | 220 | 6 | 2.20 | 220 |
| 10 | 2.11 | 2.11 | 211 | 90 | 9.12 | 130 |
| 1 | 1.962 | 1.964 | 301 | - | - | - |
| 3 | 1.906 | 1.905 | 400 | 14 | 1.908 | 400 |
| 8 | 1.795 | 1.793 | 221 | 50 | 1.796 | 221 |
| 7 | 1.748 | 1.746 | 311 | 35 | 1.750 | 311, 230 |
| 2 | 1.664 | 1.663 | 410 | 12 | 1.666 | 410 |
| 3 | 1.622 | 1.623 | 401 | 12 | 1.625 | 401 |
| 5 | 1.551 | 1.549 | 002 | 18 | 1.551 | 002 |
| 5 | 1.524 | 1.523 | 321 | 25 | 1.525 | 321, 500 |

Продолжение таблицы 7

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-----|-------|-------|-----|----|--------|----------|
| 10 | 1.466 | 1.467 | 411 | 55 | 1.467 | 411,330 |
| 2 | 1.442 | 1.440 | 420 | 8 | 1.443 | 420 |
| 4 | 1.370 | 1.369 | 510 | 14 | 1.370 | 510,501 |
| - | - | - | - | 6 | 1.328 | 331 |
| 5 | 1.324 | 1.326 | 302 | 8 | 1.324 | 302 |
| 3 | 1.308 | 1.306 | 421 | 6 | 1.308 | 421 |
| 1 | 1.272 | 1.270 | 600 | 2 | 1.272 | 600 |
| 5 | 1.255 | 1.257 | 430 | 8 | 1.255 | 430 |
| - | - | - | - | 6 | 1.251 | 151 |
| 2 | 1.219 | 1.220 | 520 | 4 | 1.221 | 520 |
| 1 | 1.199 | 1.202 | 402 | 2 | 1.203 | 402 |
| 1 | 1.174 | 1.175 | 601 | 2 | 1.176 | 601 |
| - | - | - | - | 4 | 1.164 | 160 |
| 4 | 1.159 | 1.160 | 322 | 4 | 1.161 | 232 |
| 4 | 1.132 | 1.133 | 412 | 4 | 1.137 | 521 |
| 2 | 1.088 | 1.089 | 700 | 2 | 1.089 | 700,530+ |
| 3 | 1.065 | 1.065 | 332 | 4 | 1.066 | 332 |
| 7 | 1.057 | 1.057 | 620 | 10 | 1.058 | 260 |
| 2 | 1.037 | 1.037 | 441 | 4 | 1.037 | 441 |
| - | - | - | - | 4 | 1.028 | 701,531 |
| 5 | 1.025 | 1.026 | 512 | 4 | 1.026 | 512 |
| 0.5 | 1.011 | 1.010 | 710 | - | - | - |
| 2 | 1.006 | 1.007 | 113 | - | - | - |
| 8 | 1.000 | 1.000 | 621 | 6 | 1.001 | 621 |
| 3 | 0.996 | 0.996 | 203 | - | - | - |
| 3 | 0.982 | 0.982 | 602 | - | - | - |
| 3 | 0.977 | 0.978 | 540 | 4 | 0.9748 | 432 |
| 7 | 0.972 | 0.972 | 213 | - | - | - |

Примечание. 1 — РКД-57.3 мм; FeK α , Mn-фильтр. 2 — CuK α , Ni-фильтр.

Таблица 8

Порошкограмма монтichelлита(проба 054-503)(1) и синтетического CaMg[SiO₄][9, карта 19-240] (2)

| 1 | | | 2 | |
|-----|-------|-----|-------|---------|
| I | d, Å | I | d, Å | hkl |
| 16 | 5.52 | 70 | 5.54 | 020 |
| - | - | 30 | 4.41 | 110 |
| 33 | 4.17 | 80 | 4.18 | 021 |
| 10 | 3.82 | 70 | 3.84 | 101 |
| 38 | 3.62 | 100 | 3.62 | 120 |
| 23 | 3.18 | 70 | 3.18 | 002 |
| 13 | 3.15 | 50 | 3.15 | 121 |
| 98 | 2.926 | 80 | 2.929 | 130 |
| 4 | 2.763 | 50 | 2.762 | 040 |
| 100 | 2.657 | 100 | 2.658 | 131 |
| 30 | 2.578 | 100 | 2.578 | 112 |
| 29 | 2.538 | 70 | 2.534 | 041 |
| 23 | 2.392 | 80 | 2.391 | 122,140 |
| 13 | 2.347 | 60 | 2.346 | 210 |
| - | - | 30 | 2.150 | 132 |

Продолжение таблицы 8

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|-------|-----|-------|---------|
| 3 | 2.087 | 50 | 2.082 | 221,042 |
| 3 | 2.013 | 50 | 2.011 | 150 |
| - | - | 50 | 1.828 | 123 |
| 28 | 1.813 | 100 | 1.811 | 222,240 |
| 3 | 1.747 | 60 | 1.744 | 241 |
| 11 | 1.720 | 70 | 1.716 | 133 |
| 6 | 1.702 | 60 | 1.697 | 152 |
| 8 | 1.685 | 60 | 1.680 | 043 |
| 20 | 1.598 | 70 | 1.593 | 143 |

Примечание. 1 — дифрактометр ДРОН-2.0; CuK_α , монохроматор. Лаборатория ИМин. 2 — камера Гинье, CoK_α , I визуально.

Силикооксиды — новый класс минералов

Силикохлормайенит, обладающий свойствами как сложных оксидов, так и силикатов, можно считать членом нового класса минералов, занимающих место между оксидами и силикатами. Этот класс предлагается называть классом силикооксидов. Уже и сейчас силикохлормайенит не является единственным представителем этого класса. Сюда можно отнести ранее установленный нами малаховит [6] и близкий к нему доррит [5]. Мы считаем, что к силикооксидам относятся и широко известный браунит и менее изученные мэколэит и кроншtedтит (табл. 9).

Таблица 9
Минералы класса силикооксидов

| Название, формула | SiO_2 , мас. % | «Группа» |
|---|----------------------------|---------------------|
| Силикохлормайенит $\text{Ca}_{13}\text{Al}_{14}(\text{SiO}_4)\text{O}_{24}\text{Cl}_4$ | 5-18 | сложный алюминат Ca |
| Малаховит $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Ca})_6(\text{Fe}^{3+}, \text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}$ | 8 | сложный феррит |
| Доррит $\text{Ca}_2(\text{Mg}_2\text{Fe}_4^{3+})_6(\text{Al}_4\text{Si}_2)_6\text{O}_{20}$ | 11-12 | - |
| Мэколэит $12\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ | 11 | - |
| Кроншtedтит $2\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ | 15 | - |
| Браунит $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_6^{3+}\text{SiO}_{12}$ | 10 | сложный манганат |

Указанные представители класса силикооксидов являются членами выделяемых нами рядов родственных минеральных видов, относящихся к оксидам, силикооксидам и силикатам.

1. Ряд силикохлормайенита — хлоргибшита: хлормайенит (и майенит) — силикохлормайенит — хлоргибшит — гроссуляр.

2. Ряд малаховита — рёнита. По мере увеличения содержания кремнезема и уменьшения содержания окиси железа члены ряда располагаются следующим образом: малаховит-доррит-рёнит-лейкорёнит [7]. Малаховит и доррит являются силикооксидами, а рёнит и лейкорёнит — силикаты. Гипотетический первый член этого ряда («чистый» оксид) можно получить, убрав из формулы малаховита Mg, Si и Al. Получится формула этого оксида (феррита Ca) $\text{CaFe}_6\text{O}_{10}$, или $\text{CaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$. Возможно, что такой феррит будет иметь структурное родство с минералами группы энigmatита [7].

3. Ряд браунита. Формулу браунита $\text{Mn}^{2+}\text{Mn}_6^{3+}\text{SiO}_{12}$ можно упростить до Me_8O_{12} , или Me_2O_3 . Отсюда видно ее родство с формулой синтетического Mn_2O_3 , называемого курнакитом или с формулой биксбиита ($\text{Mn, Fe})_2\text{O}_3$. Структурно эти соединения близки [9] и являются членами данного ряда: курнакит-биксбиит-браунит. К сожалению, соответствующего конечного члена ряда («чистого» силиката) мы пока указать не можем.

Конечно, в дальнейшем будут найдены и новые представители класса силикооксидов и соответствующие конституционные ряды. Автор изложения Б. В. Чесноков.

Таким образом, к списку высокохлористых высокотемпературных минералов из горелых отвалов Челябинского бассейна (ритмит, игумновит, альбовит, хлоргибшит, чесофиит, афанасьеваит) добавились еще хлормайенит и силикохлормайенит. Обнаружение всех их осуществилось потому, что терриконы бассейна активно разрабатываются (в основном на нужды дорожного строительства). Благодаря этому мы имели возможность изучать любые части отвалов — от вершины до подошвы. В поверхностных частях отвалов, в частности, в отвальных фумаролах, перечисленные минералы не образуются. Они встречены только в горелых породах (обычно — в отвальном спеке) и в

составе «черных блоков» [8]. К сожалению, немало очень интересных отвалов уже исчезло (отвал шахты 204 в Копейске, отвал разреза «Коркинский» в Коркино и ряд других). На их месте сейчас находятся разрезы, в которых добывался или добывается уголь из шахтных целиков. Иногда на месте террикона невозможно найти даже куска обычного горельника. В ближайшие годы главные отвалы бассейна будут снесены и материал, в них собранный, станет уникальным.

Определенно вырисовывается борная высокотемпературная минерализация горелых отвалов. Теперь известны уже три минерала бора из Копейска: варвикит [8], вонсенит и флюоборит. Возможны бораты и в продуктах отвальных фумарол.

Ранее [8] подчеркивался очень широкий диапазон условий минералообразования в горящих отвалах, обусловленный значительными вариациями температур (от «нормальных» до 1200°C и выше), кислородного режима (от окислительного обжига до восстановительных условий, близких к режиму коксовой батареи — в «черных блоках») и пестротой состава исходной отвальной массы (аргиллиты, карбонатные породы, отвальный технический мусор, углистые породы, уголь и др.). В силу этих причин изучение состава отвалов привело к установлению ряда новых минералов (более 40), ряда новых химических соединений (для минералогии) и даже к выделению нового класса минералов — класса силикооксидов, начала систематики которого мы попытались изложить в данной статье.

Авторы выражают благодарность сотрудникам лаборатории комплексных методов исследования минералов Института минералогии за помощь в проведении рентгенографических и других анализов и Н. В. Чуканову (Институт химической физики РАН) за получение и интерпретацию ИК-спектров хлормайенита и хлоргибшита.

Литература

1. Бровкин А. А., Лазебник Ю. Д., Лебедева Л. И. Некоторые результаты изучения флюоборитов Северо-Востока СССР // Рентгенография минер. сырья, в. 6. М., 1967. С. 77—86.