

С. С. Потапов¹, Н. Г. Максимович²

¹Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс

²Естественнонаучный институт, г. Пермь

К МИНЕРАЛОГИИ ГОРЕЛЫХ ОТВАЛОВ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАСЕЙНА (ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

Процессы минералообразования в горелых угольных отвалах (вместо введения)

Исследование горелых отвалов Кизеловского угольного бассейна (рис. 1) проводилось на протяжении многих лет [2—5]. Обобщение результатов этих исследований проведено при поддержке гранта РФФИ № 05-05-64680 в рамках выполнения темы: «Минералогические и экологические последствия разработки угольных месторождений (на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов)».

При изучении минералогии горелых угольных отвалов Челябинского угольного бассейна Б. В. Чесноков с соавторами [8—10] выделял следующие процессы минералообразования:

- переплавление пород и образование минералов классов силикатов, сульфидов и карбонатов, характерных для магматических пород;
- интенсивное абиогенное окисление и формирование минералов класса оксидов;
- дегидратация водных минералов и образование пневматолитов, гидротерм и минералов из класса сульфатов, хлоридов и фторидов;
- обжиг и перекристаллизация минералов;
- возгонка угольного (органического) вещества.

Подобные процессы происходили и на отвалах Кизеловского угольного бассейна (КУБ) при их самовозгорании. При дефиците кислорода происходит восстановление оксидов и кристаллизация безводных силикатов, сульфидов и других минералов. Образуются «базальтоподобные» породы, состоящие из основного плагиоклаза, моноклинного пироксена, оливина с примесью пирротина, троилита, магнетита, самородного железа и других.

Тугоплавкие породы в очаге горения и низкоплавкие в прилегающей к нему зоне подвергаются обжигу (термальному метаморфизму); в процессе обжига происходит дегидратация, перекристаллизация, выделение летучих компонентов.

Аргиллиты, состоящие из каолинита, иллита, хлорита, карбонатов, кварца и углеродистого вещества вблизи очага преобразуются в кирпично-красную породу, состоящую из андалузита, шпинели, гематита, магнетита и кварца; при более низкой температуре они становятся вишнево-красными и представлены кордиеритом, муллитом, гематитом и магнетитом.

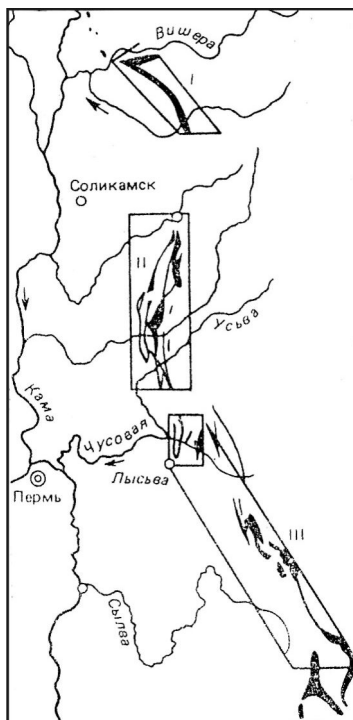


Рис. 1. Схема Кизеловского угольного бассейна с выделением угленосных районов:
I - Вишерского, II - Кизеловского, III - Чусовского.

Сульфиды железа химически окисляются и превращаются в магнетит, гематит с выделением сернистого газа (пневматолита). Уголь и углистые породы в этой зоне превращаются в «черные блоки», состоящие из шунгита, графита и сульфидов. Термальный метаморфизм известняков заканчивается образованием портландита, вторичного кальцита; при метаморфизме доломита образуются периклаз, портландит, брусит, вторичный кальцит.

Процессы горения, переплавления, обжига сопровождаются образованием газов. Примером могут служить серосодержащие газовые струи, формирующиеся в глубине отвалов и выходящие на его вершинах в виде фумарол с температурой 400—500 °С. Мигрируя к поверхности, они вступают во взаимодействие с обломками горных пород, растворяют карбонаты, приводят к метасоматозу и сернокислотному гидролизу алюмосиликатов с образованием квасцов, алунита. По Б. И. Сребродольскому [6] за счет продуктов разложения силикатов в термальной зоне образуются: кристаллы квасцов игольчатого облика размером до 2 мм; ссомольнокит в форме мелкозернистых агрегатов в ассоциации с другими сульфатами; эпсомит в форме налетов, корочек на других сульфатных минералах; ангидрит в форме скрытокристаллических корочек; калиевые и натриевые квасцы - при взаимодействии кислых растворов на гидрослюда; алуноген в форме выцветов на поверхности обломков разложившихся пород; ярозиты различного состава.

Методы исследований

Для выявления закономерностей геохимических процессов в породных отвалах Кизеловского угольного бассейна было проведено изучение различных их частей. Исследование проведено с применением оптического, рентгеноструктурного, термического, электронно-микроскопического, микрозондового методов. Изучались исходные пробы грунтов отвалов, отдельные кристаллы и их агрегаты, моно фракции минералов, корочки, различные выцветы, примазки. Оптическое изучение проводилось с применением бинокулярных микроскопов МБС-9, МБС-10, поляризационных микроскопов Полам Р-112, Полам Р-211. Рентгеноструктурный анализ выполнен В. Г. Шлыковым на аппарате ДРОН УМ-1, сопряженным с IBM PC-AT в лаборатории геологического факультета МГУ, а также операторами П. В. Хворовым и Т. М. Рябухиной на дифрактометре ДРОН-2.0, СиКа-излучение

в лаборатории комплексных методов исследования минералов Института минералогии УрО РАН. Расшифровка рентенограмм проводилась по картотеке ASTM рентгеновских данных минералов. Термический анализ осуществлялся на кафедре инженерной геологии и охраны геологической среды МГУ З. А. Кривошеевой и в Институте минералогии на дериватографе системы Паулик и Эрдеи Т. А. Корниловой. Электронно-микроскопические исследования проведены в МГУ Л. Б. Грановским на сканирующем электронном микроскопе, совмещенном с микроанализатором «Канскан»; В. Н. Соколовым на «Хитахи» и А. Ю. Сасовым на «Jeol ism-50A» на кафедре инженерной геологии и охраны окружающей среды, а также на сканирующем электронном микроскопе LEO 1430VP, снабжённом EDX спектрометром OXFORD Т. А. Титовым в ОИГГМ СО РАН (г. Новосибирск).

Вторичные (новообразованные) техногенные минералы Кизеловского угольного бассейна

На основании проведенных исследований в породных отвалах Кизеловского угольного бассейна установлено около 60 минералов, среди которых выделены первичные, характерные для угленосной толщи и вмещающих пород: каолинит, иллит, серицит, монтмориллонит, мусковит, кварц, хлорит, пирит, марказит, кальцит, сидерит, оли-гоклаз, ортоклаз, арагонит, муассанит, циркон, ставролит, гиперстен, рутил, эпидот, цоизит, гранат, турмалин, анатаз, корунд, хромшпинелид, барит, магнетит, ксенотим. Вторичные минералы, образующиеся в породных отвалах, представлены серой, гематитом, маггемитом, тридимитом, кристобалитом, известью, портландитом, гётитом, гиб-бситом, ярозитом, алунитом, эпсомитом, гипсом, ангидритом, мелан-теритом, ссомольнокитом, метабазальцитом, роценитом, копиаптитом, галотрихитом, билинитом, пиккерингитом, калинитом, калиевыми квасцами, сидеротилом, чермгитом, флюорэллестадитом, муллитом... [2—5].

Приведем описание ряда установленных вторичных минеральных образований в горелых угольных отвалах Кизеловского угольного бассейна в порядке, соответствующем общепринятой химической классификации минералов.

Самородные элементы.

Сера — α -S (ромбическая сингония). Дипирамидальные кристаллы размером до 1 мм желто-зелёного цвета найдены в унифицированной породе отвалов шахт 40 лет ВЛКСМ, 1-го Мая, Северная. В отвале шахты Владимирская в фумаролах найдены светло-зеленые кристаллы серы размером до 1,5 см. Определение подтверждено рентгенометрически, — главные линии на рентгенограмме: 3.85; 3.447; 3.213; 3.110; 3.084; 2.847.

Оксиды и гидроксиды.

Тридимит — SiO_2 (гексагональная сингония). Встречен в горелых отвалах шахты Северной в обожженной глине в ассоциации с муллитом и кристобалитом. Продукт обжига кварца. Главные линии рентгенограммы: 4.332; 4.103; 3.730.

Кристобалит — SiO_2 (тетрагональная сингония). Диагностирован рентгенометрически в ассоциации с тридимитом и муллитом в обожженной каолиновой глине отвалов шахты Северной. Основные линии: 4.103; 2.544; 2.192; 2.050.

Гематит — α - Fe_2O_3 (тригональная сингония). Основной минерал горелых породных отвалов. При высоких температурах образует псевдоморфозы по пириту, магнетиту. Встречен в виде слабо магнитных шариков серого, красного цвета размером до 0,2 мм. Блеск металлический, черта вишнево-красная. Тонкодисперсный гематит придает породам отвалов кирпично-красную окраску. Главные линии рентгенограммы: 3.68; 2.698; 2.518; 2.207; 1.842.

Маггемит — γ - Fe_2O_3 (кубическая сингония). Найден в горелых породах шахты 40-лет ВЛКСМ. Диагностирован рентгенографически.

Гётит — $\alpha\text{-FeO(OH)}$ (ромбическая сингония). Найден в виде охристых налетов, примазок на кусках обожжённых пород в ассоциации с гипсом, алунитом, аморфными гидроксидами железа на отвалах шахт Центральная, Урицкого, Калинина, Серова, Северная, Ключевская. Главные линии рентгенограммы: 4.95; 4.168; 2.453; 2.203; 1.717.

Гиббсит — Al(OH)_3 (моноклинная сингония). Обнаружен в отвалах шахты 1-го Мая, 40-лет ВЛКСМ. Диагностирован термически и рентгенометрически. Главные линии рентгенограммы: 4.799; 4.340; 2.279. Пик на термограмме соответствует 355 °С.

Сульфаты.

Ярозит — $\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ (тригональная сингония). Распространённый минерал породных отвалов. Цвет светло-желтый до жёлтого. Встречается в виде налётов, корочек на поверхности пород (особенно аргиллитов), придавая им жёлтую окраску. Образует таблитчатые, размером до 5 мм (шахта Крупской) и листоватые кристаллы (рис. 2), Основные линии рентгенограммы: 5.935; 5.710; 5.092; 3.115; 3.084; 1.980.

Рис. 2. Пластинчатые кристаллы ярозита с отвала шахты Ключевская.

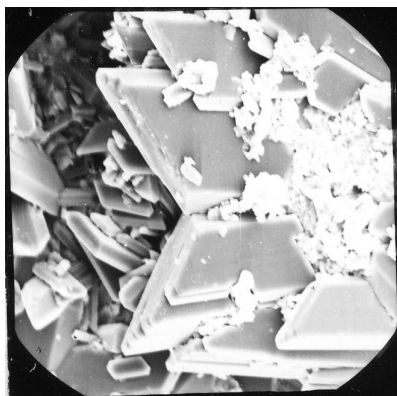
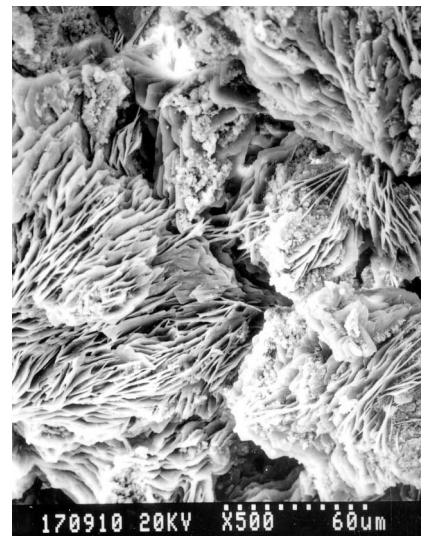


Рис. 3. Кристаллы гипса с отвала шахты Ключевская.

В одном из отвалов шахты Серова рентгенометрически был диагностирован натроярозит.

Алунит — $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ (тригональная сингония). Найден в виде белых налётов на поверхности пород отвалов шахт Центральной, Урицкого, Нагорной, 40 лет ВЛКСМ, Ключевской. Образует ромбоэдрические кристаллы. Встречается в ассоциации с гипсом, гематитом. Главные линии рентгенограммы: 4.959; 3.498; 2.990; 1.908.

Гипс — $\text{CaSO}_4 \times 2\text{H}_2\text{O}$ (моноклинная сингония). Встречен на многих отвалах в виде светло-жёлтых скрытокристаллических масс, отдельных бесцветных кристаллов размером до 3 см и их агрегатных сростков. Облик кристаллов от тонко- до толстотаблитчатых (рис. 3). Спайность совершенная по (010). Основные линии рентгенограммы: 7.56; 4.270; 3.793; 3.062; 2.870; 2.682; 1.899. Ассоциирует с алунитом, в горелых породах — с ангидритом, гематитом.

Ангидрит — CaSO_4 (ромбическая сингония). Найден на обгоревших породах шахт Северная, Ключевская в виде корочек, «натёков» жёлтого цвета. Облик кристаллов от толстотаблитчатых до призматических. Вероятно, образуется в результате дегидратации гипса под действием высоких температур при горении отвалов. Ассоциирует с гипсом, кальцитом. Диагностируется рентенографически по следующим рефлексам: 3.51; 2.858; 1.855; 2.332; 2.090; 1.994.

Калиевые квасцы — $\text{KAl(SO}_4)_2 \times 12\text{H}_2\text{O}$ (кубическая сингония). Найдены на поверхности отвала на шахте Калинина и 40 лет Октября. Диагностированы рентгенометрически. Основные линии: 4.296; 4.064; 2.950. Сульфат калия и алюминия с меньшим количеством гидратированной воды — $\text{KAl(SO}_4)_2 \times 6\text{H}_2\text{O}$ встречен в отвалах шахт Ключевской и Калинина. Главные линии рентгенограммы: 4.66; 4.22; 4.06; 3.77; 3.68; 3.599; 3.170. Растворяются в воде. Более подробное описание калиевых квасцов опубликовано в статье С.С. Потапова с соавторами [5].

Калинит — $\text{KAl(SO}_4)_2 \times 11\text{H}_2\text{O}$ (моноклинная сингония). Найден в зоне fumarольной деятельности в виде волокон до 1 мм длиной сов местно с мелантеритом, чермигитом, копиапитом на отвалах шахт Владимирская, Крупская. Главные линии рентгенограмм: 9.55; 6.04; 4.81; 4.598; 4.323; 4.080; 3.773; 3.500; 2.890; 2.672. Растворим в воде.

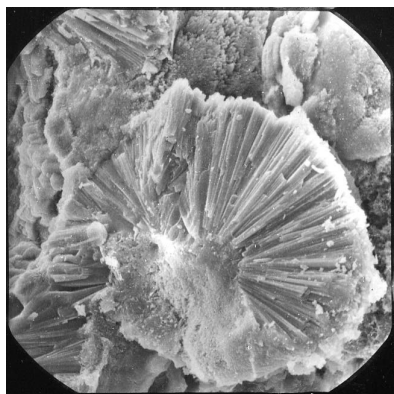


Рис. 4. Агрегат кристаллов алуногена с отвала шахты Ключевская.

Алуноген — $Al_2(SO_4)_3 \times 17H_2O$ (триклинная сингония). В зоне фумарол на отвалах шахты Владимирская в месте взаимодействия газовых струй с обломками карбонатных пород образуются корки, на которых растут иголки алуногена белого и красноватого цвета (рис. 4). Основные линии рентгенограммы: 13.4; 4.49; 4.386; 3.500; 3.360; 3.048. Найден совместно с пиккерингитом, галотрихитом, билинитом. Растворим в воде. В ассоциации с алуногеном были обнаружены соединения: $Al_2(SO_4)_3 \times 12H_2O$; $Al_2(SO_4)_3 \times 14H_2O$; $Al_2(SO_4)_3 \times 16H_2O$. Некоторые исследователи считают, что эти соединения можно считать алуногеном. Но все они дают разную картину дифракции, что свидетельствует о их разной кристаллической структуре. Главные линии рентгенограммы соединения $Al_2(SO_4)_3 \times 12H_2O$ следующие: 4.38; 4.31; 4.05; 3.898; 3.681; 3.014; 2.495. Соединение $Al_2(SO_4)_3 \times 14H_2O$ имеет на рентгенограмме следующие рефлексы: 6.01; 4.05; 3.89; 4.202; 3.681, а соединение $Al_2(SO_4)_3 \times 16H_2O$ имеет следующие межплоскостные расстояния: 4.48; 4.377; 4.314; 4.05; 3.972; 3.90; 3.49. Б. И. Сребродольский [7] выделяет их как самостоятельные минералы, все они растворимы в воде.

Метабазальюминит — $Al_4(SO_4(OH)_{10})$ (сингония не определена). В виде налетов, корок белого цвета обнаружен в фумаролах на отвале шахты Нагорной совместно с кокимбитом и роценитом. В зоне нахождения минерала отмечались повышенная температура пород и выходы газов. Главные линии на рентгенограмме: 8.255; 6.746; 4.380; 4.330; 3.674; 3.470. Растворим в воде.

Чермигит — $(NH)_4Al(SO_4)_2 \times 12H_2O$ (кубическая сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности шахты Владимирская совместно с мелантеритом. Главные линии рентгенограммы: 7.07; 5.48; 4.994; 4.323; 4.079; 3.694; 3.060; 2.968; 2.736. Растворим в воде.

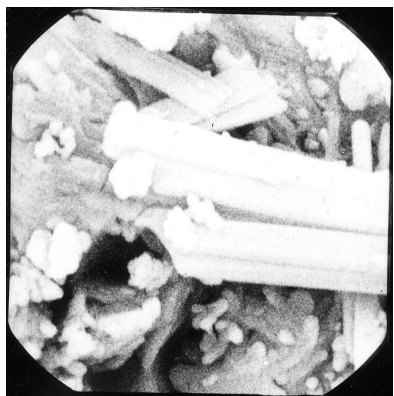


Рис. 5. Призматические кристаллы роценита на поверхности пирита с отвала шахты Ключевская.

Мелантерит — $FeSO_4 \times 7H_2O$ (моноклинная сингония). Определен рентгенометрически в углефицированной породе отвала шахты Урицкого в ассоциации с ссомольнокитом и пиритом. Также встречен совместно с калинитом, пиритом, чермигитом в зоне фумарольной деятельности отвала шахты Владимирская. Главные линии рентгенограммы: 5.48; 4.89; 4.01; 3.77; 3.73; 3.21. Растворим в воде.

Сидерит — $FeSO_4 \times 5H_2O$ (триклинная сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности совместно с галотрихитом, билинитом, $Al_2(SO_4)_3 \times 12H_2O$, $Al_2(SO_4)_3 \times 16H_2O$ на отвале шахты Владимирская. Главные линии на рентгенограмме: 5.80; 5.52; 5.04; 4.92; 4.56; 4.35; 3.94; 2.95; 2.84; 2.73; 2.08. Растворим в воде.

Роценит — $FeSO_4 \times 4H_2O$ (моноклинная сингония). Найден в виде белых присыпок по пириту на отвалах шахт Нагорная, Серова, Ключевская, 40 лет Октября. Образует дощатые кристаллы размером до 1 мм (рис. 5). Главные линии рентгенограммы: 6.88; 5.495; 4.777; 4.499; 4.00; 3.410; 3.240; 2.290; 2.970; 2.580, 2.430; 2.270. Растворим в воде.

Ссомольнокит — $FeSO_4 \times H_2O$ (моноклинная сингония). Образует присыпки по пириту. Диагностирован рентгенометрически в ассоциации с роценитом и пиритом на отвалах шахт Урицкого, Калинина, Центральная, Ключевская, Серова, 40 лет Октября. Главные линии рентгенограммы: 4.877; 4.780; 3.460; 3.360; 3.290; 3.140; 2.583; 2.532. Вероятно образуется при дегидратации роценита. Медленно растворяется в воде.

Копиаит — $Fe^{2+}Fe^{3+}_4(SO_4)_6(OH)_2 \times 20H_2O$ (триклинная сингония). Образуется в местах выхода

фумарол на поверхность. Найден в виде корочек на отвалах шахт 40 лет ВЛКСМ, Крупской, Коспашской. Дает удлиненные кристаллы желтого цвета (рис. 6). Ассоциирует с кокимбитом, галотрихитом, пиккерингитом и другими сульфатами. Легко растворяется в воде, дает желтый раствор. При комнатной температуре постепенно переходит в кокимбит. Диагностирован рентгенометрически., основные линии: 9.13; 6.858; 6.109; 5.569; 5.340; 4.210; 4.025; 3.580; 3.516. Кокимбит - $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (тригональная сингония). Найден в зоне фумарольной деятельности на отвалах шахт Крупской и Нагорная. Образует почковатые агрегаты желтого цвета. Электронно-микро-скопическое исследование показало, что эти агрегаты состоят из гексагональных табличек (рис. 7). По данным качественного микрозондового анализа минерал состоит из железа и серы. Характерные линии рентгенограммы: 9.47; 8.53; 8.29; 5.50; 4.61; 3.65; 3.37; 2.77. Легко растворим в воде. Образуется при дегидратации копиапита или пнавматолитовым путем.



Рис. 7 Кристаллы копиапита с отвала шахты им. Крупской.

Билинит — $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ (моноклинная сингония). Найден в виде волокнистых кристаллов в местах взаимодействия струй газа с карбонатными породами в ассоциации с галотрихитом, пиккерингитом, алуногеном на отвале шахты Ключевская и в фумаро-лах шахт Владимирская, 40 лет ВЛКСМ, Центральная. Главные линии рентгенограммы: 4.95; 4.31; 4.119; 3.500; 3.260; 2.890; 2.718. Растворим в воде.

Пиккерингит — $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$, галотрихит $\text{Fe}^{2+}\text{Al}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ (моноклинная сингония). Между пиккерингитом и галотрихитом существует непрерывная серия изоморфных замещений магния и железа. Минералы имеют волокнистый облик (рис. 8а, 8б). Они встречаются в виде радиальных или спутанных агрегатов игольчатых или волосовидных кристаллов, а также в виде корочек и налётов.

Более толстые кристаллы бывают полыми. Кристаллы имеют вертикальную штриховку. Цвет пиккерингита белый, галотрихита - белый, зеленоватый. Легко растворимы в воде. Обнаружены в отвалах шахт Владимирской, 40 лет ВЛКСМ, Крупской, Ключевской совместно с билинитом, копиапитом. Характерные линии рентгенограммы пиккерингита: 9.78; 6.11; 4.98; 4.84; 4.33; 4.19; 3.79; 3.522; галотрихита: 9.60; 6.04; 4.799; 4.305; 3.770; 3.498; 2.851.

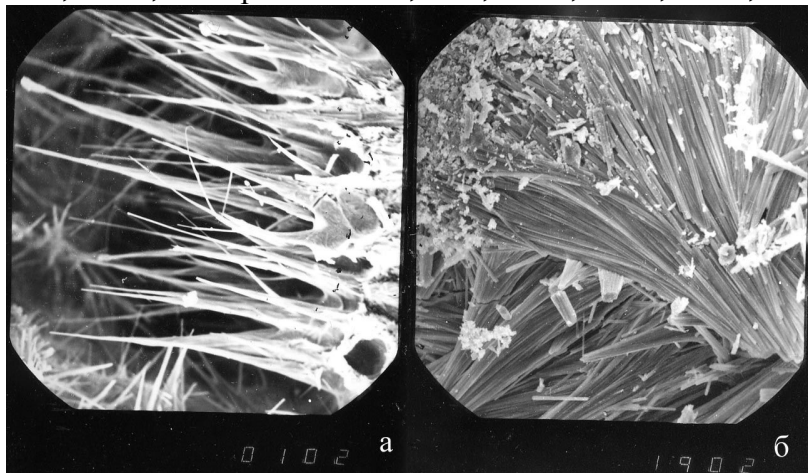


Рис. 8. Морфология кристаллов галотрихита с отвалов шахты им. Крупской (а) и шахты Ключевская (б).

Флюорэллестадит — $\text{Ca}_{10}[(\text{SO}_4)_3(\text{SiO}_4)_3]_6\text{F}_2$ (гексагональная сингония). Фтористый конечный член подгруппы элестадита. Флюорэллестадит обнаружен в кусках обожженного известняка в останце спёка на склоне некогда горящего террикона угольной шахты Ключевская. Кристаллы его прозрачны, зернистые агрегаты просвечивают. Твердость 4: флюорэллестадит оставляет черту (не царапину!) на флюорите, а флюорит, в свою очередь, оставляет черту на

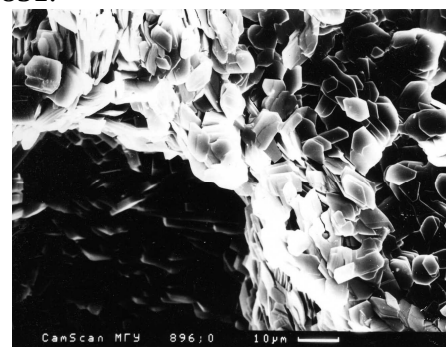


Рис. 7. Гексагональные таблички кристаллов кокимбита с отвала шахты им. Крупской.

флюорэлластадите, т. е. твердости флюорита и флюорэлластадита одинаковы. В HCl сначала слабо вскипает, а затем медленно разлагается. При нагревании до 1000 °С устойчив, наблюдается лишь слабый эндотермический эффект при 150 °С. Дифрактограмма продукта прокаливания до 1000 °С аналогична таковой для флюорэлластадита. Анализ, проведенный на сканирующем электронном микроскопе LEO 1430VP, снабжённом EDX спектрометром OXFORD показал следующее содержание элементов в флюорэлластадите: F — 10.84, Si — 7.44, S — 6.93, Ca — 19.56, O — 55.23 ат. %.



Рис. 9. Кристаллы муллита в пустотах спекшихся силикатных пород из горелого отвала.

Главные линии флюорэлластадита на рентгенограмме: 3.476; 3.091; 2.827; 2.797; 2.733; 2.647; 2.272. Подробное описание флюорэлластадита из Кизеловского угольного бассейна приведено в статье С. С. Потапова с соавторами [4].

Материалы по калиевым квасцам и флюорэлластадиту из Кизеловского угольного бассейна вошли в монографию Е. В. Белогуб, Е. П. Щербаковой и Н. К. Никандровой «Сульфаты Урала» [1]. Силикаты.

Муллит - $AlSi_2O_{13}$ (ромбическая сингония). Обнаружен в горелых и перегоревших отвалах шахт Ключевая, 40 лет Октября, Калинина, Северная в ассоциации с кристобалитом. Является продуктом обжига каолинита. Образует червеобразные и призматические кристаллы белого, красноватого, коричневого цвета (рис. 9). Кристаллизуются в ячейках и пустотах силикатных шлаков. Диагностирован рентгенометрически. Характерные линии: 5.354; 3.414; 3.381; 2.688; 2.544; 2.207; 2.122.

Заключение

Полученные результаты дают возможность судить о процессах минералообразования на горелых угольных отвалах. Найденные минералы образовались путем возгонки угольного вещества и сульфидов (сера); при интенсивном биогенном и абиогенном окислении (мелантерит, гётит); в результате абиогенного окисления при высоких температурах (гематит); пневматолито-гидротермальным путем (коппапит, билинит, кокимбит, алуноген); при дегидратации водных минералов (кокимбит, роценит, ссомольнокит, ангидрит); в результате обжига и перекристаллизации минералов (муллит, кристобалит, тридимит, маггемит, гематит); при ионных замещениях (галотрихит, пиккерингит, ярозит, алунит).

Авторы благодарят сотрудников аналитических служб МГУ, ФГУП ЕНИ, ИМин УрО РАН и ОИГТМ СО РАН, упомянутых в методическом разделе статьи, за выполнение анализов; коллег из лабораторий минералогии техногенеза и геоэкологии ИМин УрО РАН и геологии техногенных процессов ФГУП ЕНИ за информационную поддержку, обсуждение материалов, организацию и проведение экспедиционных работ и техническую помощь при подготовке статьи.

Литература

1. Белогуб Е. В., Щербакова Е. П., Никандрова Н. К. Сульфаты Урала. Миасс: УрО РАН, 2005. 128 с.
2. Потапов С. С., Блинов С. М. Геоэкологическая ситуация в Кизеловском угольном бассейне на основе изучения техногенных минерализации // Уральский минералогический сборник № 12. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 204-219.
3. Потапов С. С., Блинов С. М. Сульфаты как показатели геоэкологической обстановки в Кизеловском угольном бассейне // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении.

Научные чтения памяти П. Н. Чирвинского. Вып. 5. Пермь: ПГУ, 2003. С. 54—71.

4. Потапов С. С, Мороз Т. Н., Потапов Д. С., Титов Т. А. Флюорэллестадит из Кизеловского угольного бассейна — вторая точка находки в техногенном объекте // Минералогия техногенеза-2005. Миасс: ИМин УрО РАН, 2005. С. 70—77.

5. Потапов С. С, Мороз Т. Н., Максимович Н. Г. Калиевые квасцы — первая находка в Кизеловском угольном бассейне // Минералогия техногенеза-2006. Миасс: ИМин УрО РАН, 2006. С. 69—77.

6. Сребродольский Б. И. О сернокислом разложении угленосных пород на самовозгорающихся терриконах Донбасса // Литология и полезные ископаемые. 1974. № 6. С. 137—139.

7. Сребродольский Б. И. Тайны сезонных минералов. М.: Наука, 1989. 144 с.

8. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 70 с.

9. Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П. и др. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза и минеральносырьевые комплексы Урала. Свердловск, 1988. С. 5-31.

10. Чесноков Б. В., Щербакова Е. П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.