

549
4-51

Литература



по геологии

«Наука»

Б.В.Чесноков Е.П.Щербакова

**Минералогия
горелых отвалов
Челябинского
угольного бассейна**
опыт минералогии
техногенеза

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

УРАЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ

ИЛЬМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЗАПОВЕДНИК им. В.И. ЛЕНИНА

Б.В. Чесноков, Е.П. Щербакова

**Минералогия
горелых отвалов
Челябинского
угольного бассейна**

(ОПЫТ МИНЕРАЛОГИИ ТЕХНОГЕНЕЗА)

Ответственный редактор

доктор геолого-минералогических наук

А.С. ВАРЛАКОВ

*Почтенному Николаю Георгие-
вичу Максимовичу от коллег
по изучению техногенеза,
с наилучшими пожеланиями.*



МОСКВА
"НАУКА"

1991

*31.05.91. г. Миасс.
Бессонов.*

549

4-51

УДК 549.01/470.55)

Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза) / Б.В.Чесноков, Е.П.Щербакова. М.: Наука, 1991. - 152 с. - ISBN 5-02-002707-3.

Проведено систематическое минералогическое исследование горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Это первый опыт широкого апробирования идей и методов нового раздела минералогической науки - минералогии техногенеза. Выявлены и охарактеризованы генетические типы минерализации горелых отвалов - от наиболее высокотемпературных (выше 1200°C) до продуктов гипергенеза в условиях поверхностных слоев. Установлены и описаны 154 минерала, возникшие на горелых отвалах; из них 30 новых минеральных видов, 13 установлены впервые для СССР и 23 - впервые для Урала. 120 минералов ранее в горелых отвалах угольных бассейнов мира не отмечались.

Предложены способы рационального использования горелых пород - ценного вторичного сырья.

Для минералогов, петрологов, геохимиков, геологов и технологов горнодобывающей промышленности, а также для специалистов в области геохимии техногенеза и охраны окружающей среды.

Табл.39. Илл.37. Библиогр.: 86 назв.

Рецензенты: В.И. Якшин, В.И.Ленных

Редактор Т.Н.Щумяцкая

This book covers the mineralogy of burning heaps in Chelyabinsk coal basin. It presents the variety of genetic types of pyrometamorphic mineralization and the list of minerals (154) associated with burning heaps of the basin. In addition it looks at the efficient exploitation of the heaps.

The book is intended for mineralogists, geochemists, geologists and mining engineers.

ц1804020000-497 423-90, II полугодие
042(02)-91

© Издательство "Наука", 1991

ПРЕДИСЛОВИЕ

Техническое воздействие на геологическую среду уже давно вызывает значительные последствия, масштаб которых неуклонно растет. На эти явления и на тенденции их быстрого роста в настоящее время обращается особое внимание в связи с решением проблем охраны окружающей среды.

Совокупность геохимических и минералогических процессов, являющихся последствиями деятельности человека, академик А.Е.Ферман предложил называть техногенезом [42]. На этом основании можно говорить о геохимии и минералогии техногенеза.

В последние десятилетия работы по геохимии техногенеза получили широкое развитие во многих странах. Исследования же минеральных продуктов техногенеза велись спорадически. Однако необходимость выделения самостоятельного направления в минералогии — минералогии техногенеза — является задачей сегодняшнего дня [49]. Минеральные продукты техногенеза многочисленны и обильны, особенно интенсивно они образуются в связи с деятельностью крупных горнодобывающих предприятий.

В СССР и США в настоящее время добывается более 10 млрд т в год горной массы. К 2000 г. этот показатель возрастет. Естественно, такое вторжение в геологическую среду вызывает значительные геологические последствия. Очень ярко они выражены в огромных массах отвалов, сопровождающих добычу полезных ископаемых.

Формирование минеральных продуктов техногенеза в районах горнодобывающих предприятий можно представить следующей схемой.

1. Техническое воздействие на геологическую среду (вскрытие залежей горных пород и руд, разрыхление природных массивов, механический перенос масс и отложение их в другом месте) перемещает часть последней в новые условия, нарушая таким образом ее состояние. Например, при добыче угля подземным способом возле шахты формируется конусообразный отвал террикон, состоящий из разрыхленного и перемешанного материала литосферы, непосредственно контактирующий с литосферой и несомненно являющийся частью литосферы.

2. Под действием геологических агентов (воды, кислорода, углекислоты и др.) углеродсодержащая масса пород террикона быстро окисляется, азогрывается и самовозгорается. Этот процесс спонтанный и, безусловно, геологический.

3. При горении отвальной массы в упомянутом шахтном террилоне образуются горелые породы (горельники), а из горячих газов на поверхности отвала формируются сульфатные и хлоридные отложения, аналогичные отложениям вулканических fumarol. Таким образом формируются минералы (промежуточные и конечные продукты техногенеза), устойчивые в новых условиях геологической среды.

Минеральные продукты техногенеза могут быть и полезны, и вредны. Горелые породы угледобывающих районов давно используются как строительный материал, а минералы, осаждающиеся при добычи нефти на стенках труб в скважинах и в нефтепроводах, сильно осложняют работу нефтепромыслов. В нефтяной промышленности США убытки по этой причине превышают 1 млрд долларов ежегодно [6].

Минералы, возникшие в зонах техногенеза, издавна являются объектами минералогии. Минералогические справочники, монографии, учебники и журналы публикуют сведения о минералах, возникших на отвалах рудников и шахт, на стенках подземных и открытых выработок, в трубопроводах, в складах руд и концентратов, при изменении (минерализации) древних и современных металлических предметов, а также при выветривании металлосодержащих шлаков в морской воде и на суше. Много сульфатов, карбонатов, арсенатов, хлоридов и др. минералов впервые было встречено именно в таких условиях. Только при рассмотрении обзоров "Новые минералы", публикуемых в "Записках Всесоюзного минералогического общества" за 1955-1986 гг., нами отмечено 46 новых минералов - продуктов техногенеза.

Минералогия техногенеза - перспективное направление. Ее роль будет возрастать по мере осознания необходимости принятия практических мер по предотвращению разрушения окружающей среды, полного использования разрабатываемых горных масс, развития и повышения эффективности геотехнических мероприятий, освоения все более глубоких горизонтов земных недр, обоснования технической деятельности на иных космических телах. Решением Всесоюзного совещания "Теория и методология минералогии" (1985 г.) минералогия техногенеза указана в ряду наиболее актуальных направлений минералогической науки [54]. Необходима широкая пропаганда минералогии техногенеза в геологических, горных и географических вузах. При разработке проектов крупных горнопромышленных комплексов вопросы геохимии и минералогии техногенеза должны вводиться в разряд важнейших.

Система отвалов угледобывающих предприятий Челябинского бассейна - весьма благоприятный объект для решения многих проблем минералогии техногенеза. Этот район легко доступен и экономически развит. В нем есть как давно прогоревшие, так и термически активные отвалы. Многие отвалы по периферии подработаны экскаваторами при добыче горелых пород для местных нужд (в основном на засыпку разбитых участков грунтовых дорог). Ряд отвалов систематически разрабатывается. Этим обеспечена возможность наблюдения разрезов любых частей отвалов. Данное обстоятельство сыграло весьма благоприятную роль при изучении высокотемпературных минеральных ассоциаций.

Бассейн непосредственно примыкает к крупнейшему городу Южного Урала — Челябинску, и на его территории расположен ряд городов и других населенных пунктов (Копейск, Коркино, Еманжелинск, Красногорск и др.). Влияние горнопромышленного комплекса на состояние окружающей среды здесь велико, и данные минералогии техногенеза в связи с этим весьма актуальны.

Главной нашей задачей было создание "минералогического облика" объекта, т.е. системы горелых отвалов бассейна. До этого подобные широкие минералогические исследования системы отвалов в горнопромышленных районах не проводились ни в СССР, ни за рубежом. Нужно было выявить главные типы минерализаций, возникшие внутри и на горелых отвалах и определить их состав. Безусловно, при этом не исключалась возможность детального изучения наиболее интересных минеральных видов (новых минералов) и минеральных ассоциаций. Предполагалось, что при решении данной задачи будут возникать "ростовые точки" специальных детальных минералогических исследований.

Кроме авторов в разные периоды исследований (в течение 1982—1987 гг.) в работе принимали участие сотрудники лаборатории минералогии техногенеза Ильменского государственного заповедника им. В.И.Ленина УрО АН СССР О.Л.Бусловская, Т.Н.Дерябина, С.В.Ефремов, Г.И.Кизилов, Т.А.Михаль, Т.П.Нишанбаев, Н.В.Паршина, Н.В.Румынина. В полевых работах 1987 г. принимали участие сотрудник музея ИГЗ Л.П.Ярина и аспирант ИГиГ СО АН СССР Э.В.Лотова.

Основной объем лабораторных исследований собранного материала выполнен Б.В.Чесноковым и Е.П.Щербаковой, которой принадлежат описания большинства низкотемпературных сульфатов, хлоридов и карбонатов.

Химические анализы выполнены в лаборатории комплексных методов исследования минералов ИГЗ Л.Ф.Баженовой. В этой же лаборатории выполнены термические анализы (дериватограф Паулик и Эрдеи, аналитик Т.С.Корнилова), большинство рентгенографических анализов (дифрактометр ДРОН-2, дебаеграммы), электронно-микроскопические наблюдения и ИК-спектрографирование. Большую помощь в этих исследованиях нам оказали А.Ф.Бушмакин, Т.Ю.Веретенников, В.Ф.Жданов, Ю.Б.Корнилов, В.А.Котляров, В.О.Поляков, С.Г.Суставов. Определения состава минерала на электронно-рентгеновских микроанализаторах (микросондовые анализы) выполнялись в ИГиГ СО АН СССР (аппарат "Camebax") аналитиками Л.В.Усовой и Е.Н.Нигматулиной и в Институте геологии и геохимии УрО АН СССР (аппарат ЖХА-5) аналитиком В.А.Вилисовым. Ряд рентгенографических анализов новых минералов выполнен В.С.Павлюченко (ИГиГ СО АН СССР). Всем указанным лицам авторы выражают свою благодарность.

ВВЕДЕНИЕ

Челябинский угольный бассейн расположен в крупном грабене длиной 170 км и максимальной шириной до 15 км, простирающемся на север-северо-восток [19]. Центральная часть бассейна (Копейский угольный район) примыкает с востока к окраине г. Челябинска (рис. 1).

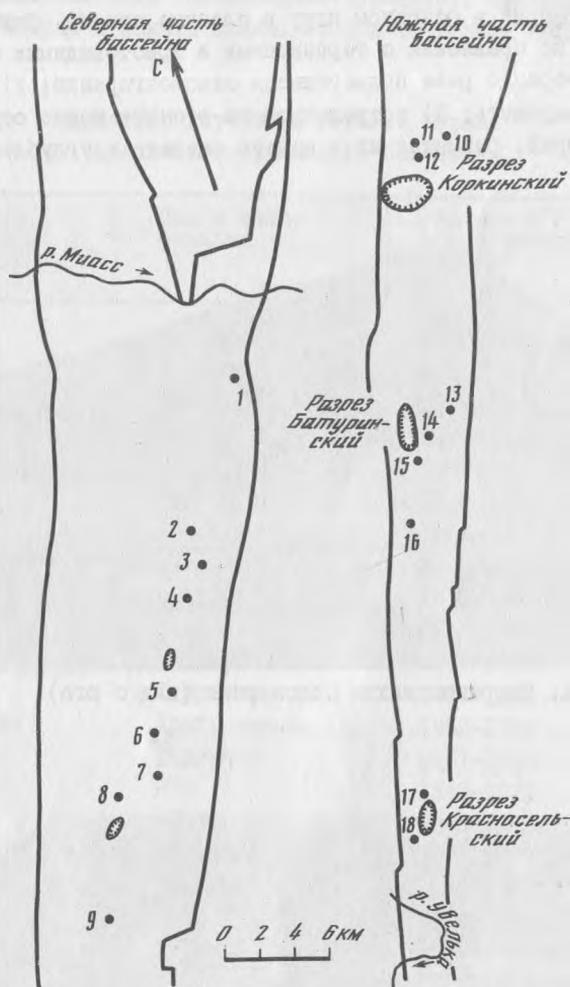
Грабен заполнен нижнемезозойскими отложениями. Максимальная глубина залегания фундамента 3500-4000 м (северная часть грабена). Низы разреза мезозоя представлены эффузивно-осадочными отложениями мощностью 1500-3500 м нижнего триаса (туринская серия). Выше залегает угленосная формация (челябинская серия), состоящая из пяти свит (снизу вверх): еманжелинская (T_2) (углей не содержит), калачевская, коркинская, копейская (T_3) и сугоянская (J). Вдоль длинной оси грабена проходит Центральное антиклинальное поднятие. В Западной и Восточной синклиналиях структурах, разделенных этим поднятием, находятся изометричные брахисинклиналильные структуры. Их крылья, обращенные в сторону Центрального антиклинального поднятия, крутые ($30-40^\circ$), а обращенные в сторону бортов грабена - пологие ($5-20^\circ$). Породы, заполняющие грабен, разбиты различно ориентированными надвигами, сбросами, сбросо-сдвигами, создавшими мелкоблоковое строение угленосных отложений.

Наибольшая угленасыщенность наблюдается в крыльях Центрального антиклинального поднятия и поперечных антиклинальных перегибов, разделяющих брахисинклиналильные структуры. В меридиональном направлении периодически проявлены площади с максимальной угленасыщенностью (с севера на юг): Копейская, Камышинская, Коркинская, Еманжелинская, Куллярская, Красносельская. Наиболее мощные (до 200 м) угольные залежи отмечены на Коркинской площади. По падению они быстро расслаиваются на отдельные пласты.

Угли Челябинского бассейна бурные, группы БЗ. После обогащения их зольность составляет около 26%. Свежие куски угля имеют глубокий черный цвет, смолистый блеск и плоско-раковистый излом. На открытом воздухе они довольно быстро растрескиваются и рассыпаются. Содержание серы в углях невысокое и обычно не превышает 1% [38]. Угли используются как энергетическое и газогенераторное топливо. Общие запасы углей I, I млрд т [3]. Разведанные запасы категорий А+В+С₁+С₂ равны 0,766 млрд т [3] (оценены до глубины 600 м). Максимальная добыча угля отмечена в 1965 г. и составила 23,725 млн т [45].

Разработка углей ведется подземным и открытым способом. Последним добывается около 40% угля [19]. Верхние горизонты основных месторождений отработаны. Глубина разработки в шахтах 220–500 м, а в разрезах 115–420 м. Степень разведанности бассейна до глубины 600–900 м высокая. Есть ряд скважин глубиной до 1000–1200 м [19].

Углевмещающие породы бассейна представлены аргиллитами, алевролитами, глинами, песчаниками. Обычными являются конкреции и пропластки сидери-



Р и с.1. Схема расположения изученных отвалов, по [11]

Шахты: 1 - Миасская; 2 - Северная; 3 - Глубокая; 4 - Красная Горнячка; 5 - Центральная; 6 - Капитальная; 7 - Подозерная; 8 - Комсомольская; 9 - Октябрьская; 10 - Калачевская; 11 - Чумлякская; 12 - Коркинская; 13 - Восточная; 14 - Батуринская; 15 - Южная; 16 - Еманжелинская; 17 - Куллярская; 18 - Красносельская

тов. Широко распространены стволы и куски окаменелого дерева, сложенные карбонатами (обычно доломитом). Состав обломочных пород полимиктовый. Цвет пород варьирует в серых и зеленовато-серых тонах. В породах обычны отпечатки листьев и стеблей растений, но фаунистические остатки редки.

Отвалы угледобывающих предприятий бассейна представлены терриконами, хребтовидными и плоскими отвалами. Терриконы (рис.2) и хребтовидные отвалы (рис.3) отсыпаятся около шахт и обогатительных фабрик. Плоские отвалы располагаются около угольных разрезов. В настоящее время отходы шахт и обогатительных фабрик в основном идут в плоские отвалы. Считается, что у плоских отвалов по сравнению с терриконами и хребтовидными есть преимущества: 1) они гораздо реже подвергаются самовозгоранию; 2) их гораздо проще рекультивировать; 3) посредством их отсыпки можно осуществлять планировку территорий, размещая их в первую очередь в углублениях местности.



Р и с.2. Террикон шахты Подозерная (вид с юга)



Р и с.3. Хребтовидные отвалы шахты Комсомольская (вид с востока)

Терриконы и хребтовидные отвалы практически все либо прогорели, либо продолжают гореть в настоящее время. Поэтому они и стали главным объектом наших исследований. Всего нами изучено около 50 таких отвалов. Наиболее интересные из них приведены в табл. I.

При работе большое внимание обращалось на быструю и надежную герметизацию проб минералов, склонных адсорбировать влагу из воздуха (безводные хлориды и сульфаты) или же быстро терять часть кристаллизационной воды (многоводные сульфаты). Стеклоянные бочки, полиэтиленовая посуда и пакеты оказались для этой цели непригодными. Лучше

Т а б л и ц а I

Детально изученные горелые отвалы
Челябинского угольного бассейна

Шахта	Вид и число отвалов	Начало и конец отсыпки отвала*	Индекс минералогических проб
Миасская	Террикон	1950-1977	095
Северная	"-	1950-1972	074
Глубокая	Терриконы (2)	1939-1979	071; 072
№ 4/6	"-	1946-1971	0111
Центральная	"-	1947-1974	056
№ 204	Террикон	1943-1965	055
Капитальная	"-	1951-1971	059
№ 43-бис	"-	1940-1960	057
ЦОФ	Хребтовидные (5)	1960-1983	065
Подозерная	Террикон	1953-1970	053
№ 44	Терриконы (2)	1946-1968	064; 066
№ 45	Террикон	1948-1970	054
Комсомольская	Хребтовидные (5)	1952-1976	059-063
Октябрьская	Террикон	1958-1975	070
Калачевская	"-	1949-1971	090
Чумлякская	"-	1948-1981	0106
Коркинский разрез	Террикон	1948-1969	0107
Пригородная	Террикон	1949-1976	094
Восточная	"-	1962-1980	096
Батуриная	Терриконы и хребтовидные (3)	1969-1976	097
Южная	Террикон	1951-1978	098
Кульярская	"-	1955-1970	0108
Красносельская	"-	1951-1974	0110

* По данным п.о. "Челябинскуголь".

подходила аптечная стеклянная посуда - флаконы объемом 50, 65, 120 и 275 мл с завинчивающимися пластмассовыми крышками. Стандартные прокладки из крышек извлекались и заменялись резиновыми толщиной 3 мм. В некоторых случаях для надежности после завинчивания крышки зазор между ней и стеклом посуды плотно промазывался пластилином (в таких условиях даже весьма гигроскопичный безводный хлористый кальций сохраняется несколько лет). Для длительного хранения многие пробы в лабораторных условиях запаивались на газовой горелке в стеклянных ампулах.

При отборе проб необходимы геологические молотки, малая кувалда, зубила обычные и длинные (30-40 см), лопатка типа саперной, совок (садовый), набор сит с отверстиями 0,5 мм и больше. Во многих случаях необходимы респираторы, защитные очки, каски. Одежда должна быть свободной, из прочной ткани, плотно застегивающаяся. Из обуви наиболее подходят кирзовые сапоги на резиновой подошве.

Особое значение имеет детальное ознакомление работников с правилами техники безопасности и строгое выполнение этих правил. Перед посещением отвала администрация шахты ставилась об этом в известность. Оптимальный состав рабочей группы на отвале 3-4 человека. Особая осторожность необходима при работе на термически активных отвалах или на отвалах, находящихся в экскаваторной разработке.

ГОРЕНИЕ ОТВАЛОВ И СТРОЕНИЕ ГОРЕЛОГО ОТВАЛА

Общие сведения о горении отвалов

Угольные шахты СССР ежегодно выдают около 100 млн м³ пород, а обогатительные фабрики более 40 млн м³ отходов обогащения [14]. Очень многие из таких отвалов горят. В 1979 г. в отрасли было 676 горящих отвалов, из них терриконов 561 (251 действующий) [14]. Горючим материалом в таких отвалах является уголь в виде мелочи, кусков и прослоев в углесодержащих породах.

Тепловому самовозгоранию предшествует относительно длительное самонагревание дисперсного твердого материала [6]. Самовозгорание (самовоспламенение) — это возникновение горения при отсутствии источника зажигания. Такой процесс осуществляется при резком возрастании скорости экзотермических реакций (например, окисления) в объеме материала, когда скорость выделения тепла больше скорости его рассеивания. Самовозгорание сначала происходит в зоне максимальных температур или в "горячей точке", а затем горение распространяется на соседние объемы.

Обычно самовозгорание проявляется в форме тления, т.е. беспламенного горения материала при недостатке кислорода в зоне горения. При тлении в газовой фазе в зоне высоких температур не происходит образования горючей смеси из продуктов разложения материала и кислорода воздуха. Поэтому здесь и нет пламенного горения. При достаточном количестве кислорода тление может перейти в пламенное горение (обычно в поверхностных слоях материала, более интенсивно аэрируемых). В данном случае газообразные и парообразные продукты термического разложения материала горят пламенем с излучением большого количества тепла. При этом поступающий кислород почти полностью расходуется на горение выделяющихся продуктов пиролиза над поверхностью твердого материала.

При горении углесодержащих отвальных масс наблюдается как тление, так и пламенное горение (обычно на поверхности отвалов). Горение отвала объемом около 1 млн м³ — длительный процесс. Отвал загорается обычно еще при его отсыпке и горит после окончания отсыпки до 10–15 лет и более. Процессы остывания горевших отвалов и сопровождающие их явления перераспределения вещества продолжают продолжаться гораздо дольше [14].

Самовозгорание углесодержащей отвальной массы происходит при аккумуляции не менее 60–70% тепла, выделяющегося при окислении. Высокозольные угли и углистые породы обладают повышенной склонностью к самовоз-

горению. Бурные угли в отношении самовозгорания являются высокоактивными (I-я группа по склонности к самовозгоранию) [5, 12].

О природе самовозгорания углей и углесодержащих пород нет единого мнения. Наиболее полно данный процесс описывается теорией цепного самопроизвольного окисления [14].

В поверхностной и приповерхностной зоне горящих отвалов имеется интенсивный приток свежего воздуха и происходит полное сгорание угля, углистых пород и других горючих материалов. На значительных глубинах в отвале для полного сгорания не хватает кислорода. Здесь образуются горючие газы, поднимающиеся в верхние части отвала. В их составе определено до 10-12% CO и до 10% N₂ [14].

Горящие эксплуатируемые отвалы - большая опасность для обслуживающих их рабочих. На таких отвалах были случаи гибели людей вследствие отравления газами или попадания в очаги горения [14].

Горение отвалов Челябинского угольного бассейна

Практически все терриконы и хребтовидные отвалы Челябинского угольного бассейна сложены горючими породами [15]. Большинство их прогорело сравнительно давно (см. табл. I). В них в настоящее время идут остаточные термические процессы и медленное тление ранее не прогоревших отдельных блоков. Полностью остывших терриконов нет. Даже на старых небольших терриконах, со всех сторон подработанных экскаваторами, можно наблюдать выходы теплых (а иногда и довольно горячих) газов и отложения низкотемпературной фузарольной минерализации (отвалы шахт № 16, № 44, № 42-бис, № 43-бис и др.). При разработке таких отвалов в центральных частях вскрываются блоки, в которых идет слабое тление непрогоревшей массы, что иногда временно приостанавливает ведение экскаваторных работ.

С лета 1982 г. нам неоднократно приходилось наблюдать открытое горение на остываемых отвалах. Летом 1982 г. активно горела практически вся поверхность лобовой части отсыпаемого отвала в группе отвалов Центральной обогатительной фабрики в Копейске. В ночное время на этой части отвала виднелись многочисленные огни - свечение раскаленной массы пород (до 1000-1200°C) в наиболее активных горящих местах, продуваемых ветром. Днем был виден синеватый дым, выходящий из многих мест лобовой части отвала. Сырые обломки крепких пород, сыпавшиеся с ленты транспортера, попадая на горящую поверхность отвала, лопались со звуком пистолетного выстрела. В очагах горения обстановка напоминала кузнечный горн. Обломки пород в таких местах были уже спеченными, и эта масса разбивалась ломом со значительным усилием. Такое спекание, очевидно, происходило за первые несколько суток горения данного участка. Лобовая поверхность отвала выглядела полосчатой - красноватые участки прогоревших пород перемежались с прерывистыми серыми полосами скатившегося сверху (с транспортера) еще не горевшего материала. Такая же картина наблюдалась на другом отсыпаемом отвале ЦОФ в 1984 г.

Менее интенсивное горение наблюдалось нами в 1984 г. на терриконах шахт Коркинская, Восточная и Куллярская. Летом 1984 г. в сухую ветренную погоду открытое пламенное горение асфальтоподобных кор (см. ниже) происходило на вершине террикона шахты № 4/6.

В настоящее время в бассейне отсыпается в основном плоские отвалы. Как правило, они не горят. Летом 1982 г. наблюдалось интенсивное горение одного из северных участков откоса плоского отвала в районе шахт № 44 и Комсомольская. Так же горел в 1982–1983 гг. плоский отвал у подножия террикона шахты Комсомольская.

Весьма интересны многочисленные случаи самовозгорания самосвальных куч углесодержащих пород, извлеченных из шахт или же являющихся отходами обогатительных фабрик. Больше всего таких куч по краям дорог, ведущих на плоские отвалы. Самовозгорание куч происходит весьма неожиданно и непонятно: они могут загораться сразу во многих местах (особенно после дождей), в то время как рядом расположенные такие же кучи не горят совсем. Хотя масса отвальной кучи обычно не превышает 10 т, горение ее интенсивно, и она может прогореть за несколько дней. При этом образуется практически такая же кирпично-красная горелая порода, как и в терриконе. Только сильного спекания кусков в данном случае обычно не происходит.

Случаи горения пластов угля в разрезах, к сожалению, довольно часты, и нам неоднократно приходилось этот процесс наблюдать в разных масштабах.

Ряд крупных отвалов, по-видимому, взрывоопасен. По рассказам очевидцев в 70-е годы произошел взрыв террикона шахты Северная. Взрывом была выброшена верхняя часть лобовой стороны террикона. Выброшенный материал образовал четко выраженный вал у основания террикона, а в верхней части отвала сохранилась обширная выемка. Взрывы подобного типа на угольных терриконах не редки [14].

Строение горелого террикона

В отвалы угольных шахт и обогатительных фабрик Челябинского угольного бассейна поступала и поступает относительно однородная по петрографическому составу серая масса из кусков и мелочи глинистых пород (аргиллиты, глины, глинистые сланцы), алевролитов, углистых пород, кусков окаменелого дерева и других карбонатных пород, песчаников, гравелистов, конгломератов с тем или иным количеством кусков угля и технического мусора (дерево, металлы, стекло). При горении отвальная масса переходит в горелые породы (горельники) кирпично-красного цвета и в общем рыхлого сложения. Высота наиболее крупных терриконов достигает 70 м, а объем до 1 млн м³. Большинство отвалов имеет высоту 40–60 м.

Отвал, отсыпка которого закончена 10–15 лет и более назад, в нижней части покрыт "сорной" растительностью (см. рис. 2, 3).

Средняя и верхняя его части покрыты отвальной мелочью (щебень, дресва, песок и пыль) в общем серого цвета. Довольно часто они имеют

и красноватый цвет, когда поверхность отвала заметно эродирована, и значительные участки горельников обнажились. В сухую погоду на хребтовой части отвала иногда со значительного расстояния (1-3 км) видны белые пятна нашатырных отложений наиболее крупных фумарол (например, на терриконе шахты Подозерная). В верхней части хребта и на вершине нередко хорошо видны черные асфальтоподобные отложения.

Как уже отмечалось, ряд отвалов подвергался экскаваторной разработке. Некоторые отвалы на наших глазах за 2-3 года были полностью или частично снесены (терриконы шахт № 41, № 4/6, № 204, № 45, Центральная, Северная и др.). Это дало возможность в деталях ознакомиться со строением отвалов и собрать уникальный петрографический и минералогический материал. Следует подчеркнуть, что как в литературе по горному делу, так и в минералогических работах нам не встретилось описаний, характеризующих минералогию и петрографию внутренних частей горелых отвалов.

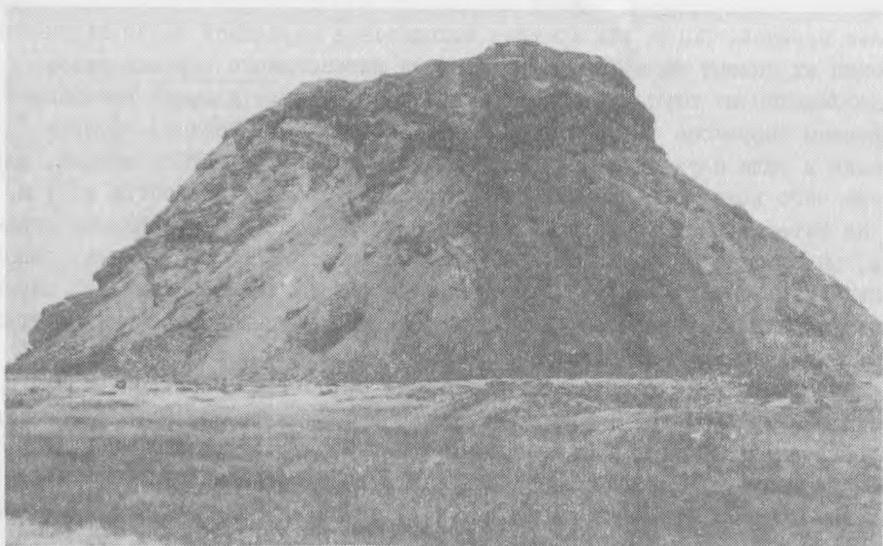
Обычно стенка экскаваторного забоя на горелом отвале имеет кирпично-красный цвет. Благодаря особенностям технологии отсыпки отвал имеет слоистое строение. В разные периоды отсыпается несколько различные по свойствам (крупность кусков, их состав, влажность и т.д.) порции отвальной массы. Более крупнообломочные слои чередуются со слоями мелочи. Крупные обломки в большинстве случаев скатывались к подошве отвала, а максимальное количество мелочи (включая влажный глинистый материал) оставалось на вершинной (и хребтовой) части.

Слои, обогащенные углистыми породами и углем и состоящие из более крупных кусков (обеспечивающих облегчение аэрации), горели интенсивно и поэтому превращались в буро-красные пласты из сварившихся кусков горелых пород. Такие слои мы называем отвальным спёком (местное название - "запёки"). На склонах подработанных отвалов глыбы разрушающихся пластов отвального спёка выделяются очень рельефно (рис.4). У основания таких отвалов всегда имеется россыпь глыб спёка, скатившихся сверху. Их объем иногда достигает несколько кубических метров.

Менее интенсивно горевшие слои сложены рыхлыми горельниками, цвет которых изменяется от кирпично-красного до розоватого и розовато-желтого (у наименее интенсивно горевших слоев). Количество мелкой и пылевой фракций в горелых породах обратно пропорционально степени их обжига. В пластах отвального спёка нередко эти фракции практически отсутствуют, а в слабо обожженных (розоватых, желтоватых) они обильны.

Внутри отвала, в области его вертикальной осевой плоскости обычны участки непрогоревших пород, имеющих вид четко отграниченных "черных блоков" (рис.5), сильно прокаленных без доступа кислорода. Это реликты наиболее мелкообломочных, обогащенных глиной масс хребтовой и вершинной частей отвалов. Поперечник их иногда достигает десятков метров. Иногда граница "черных блоков" делит пополам обломки всего в несколько сантиметров в поперечнике (часть обломка черная, а другая - красная).

"Черные блоки" имеют тенденцию несколько смещаться в подветренную сторону отвала (см.рис.5), поскольку с наветренной стороны тление их,



Р и с.4. Подработанный экскаваторами террикон шахты № 44 (северный отвал вид с севера)

естественно, идет более интенсивно. Материал, возникающий при тлении "черного блока", обычно рыхлый и имеет менее интенсивный красноватый цвет по сравнению с обычным горельником, возникшим при поверхностном горении отвала.

В "черных блоках" идут процессы сухой перегонки угля, углистого и битуминозного вещества. Над ними в хребтовой и вершинной частях отвала находятся специфические отложения битуминозных веществ в виде асфальтоподобных кор с примесью мелких кристаллов серы.

В разрабатываемых отвалах нередко можно наблюдать проявления своеобразной "тектоники" в виде субвертикальных трещин усадки до 0,5 м и



Р и с.5. "Черные блоки" (заштрихованы) в подработанном экскаваторами терриконе (вид с хвостовой части с юга северного отвала шахты № 44)

более шириной. Когда эти трещины находятся в вершинной части террикона, стенки их бывают оплавлены в результате интенсивного горения газов, выделяющихся из глубоких частей отвала. На крупном и очень интенсивно горевшем терриконе разреза Коркинский (дробильный участок) трещины усадки в ряде случаев заполнялись расплавленной силикатной массой, вследствие чего возникали "дайки" базальтоподобных пород мощностью до I м.

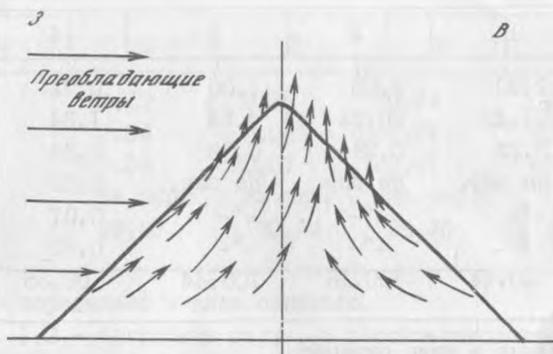
На естественной поверхности склонов терриконов и хребтовидных отвалов, выше их середины по высоте, встречаются пологие углубления, заполненные рыхлым раскаленным материалом. Возможно, некоторые из них переходят в горячие глубокие воронки, известные на крупных терриконах других угольных бассейнов и представляющие большую опасность [I4].

Провалы на склонах отвалов происходят относительно редко в связи с разуплотнением массы отвала при горении в нижних слоях. Образование такого провала около 10 м в поперечнике и глубиной около 1,5 м наблюдалось на восточном склоне террикона шахты № 45 весной 1985 г. Из-за выделения горячих газов из провала к нему нельзя было подойти ближе, чем на 10-15 м.

В хребтовой части отвалов и в верхних частях склонов расположены многочисленные выходы горячих газов (см. рис. 8, 9). Наиболее высокая температура их 200-400°C (без учета горящих в данный момент участков склонов, где в очагах горения температура доходит до 1000°C и выше). В этих местах отлагаются сульфаты и хлориды в виде корок толщиной 5-10 см и более. Эти газовые выходы с отложениями минералов мы называем отвальными фумаролами.

Хвостовые части некоторых отвалов не были затронуты горением. Сейчас они сложены серой обломочной массой, практически не отличающейся от негорелой массы, поступающей в отвалы в настоящее время. Сходные массы изредка встречаются и в других частях отвалов. Куски древесины (части шпал, стоек и т.п.) в них не несут следов термических изменений.

Горящий или недавно прогоревший отвал - своеобразная "тепловая машина". Как правило, террикон хорошо обдувается ветрами. Поскольку пористость его масс порядка 30% [I4], он относительно хорошо аэрируется. Тепловое движение газов и движение их от напора ветра создают довольно стабильную аэродинамическую обстановку в терриконе. Преобладающими ветрами в районе Челябинска являются западные и северо-западные. Если хребет террикона ориентирован меридионально, максимальное число наиболее сильных и горячих газовых струй выходит в верхней части его восточного склона (рис. 6). Хорошим примером служил террикон шахты № 45 (Копейск), в настоящее время существенно сработанный. Безусловно, представленная схема далека от реальности. Аэродинамическая обстановка в отвале сильно нарушается его неоднородностями (чередование легко- и труднопроницаемых пластов и блоков, наличие трещин усадки, подработанных экскаваторами бортов и т.д.).



Р и с.6. Схема предполагаемого движения газов в термически активном терриконе (вертикальный разрез).

ТИПЫ МИНЕРАЛИЗАЦИЙ ГОРЕЛЫХ ОТВАЛОВ

Минерализация горелых пород

При горении отвалов реализуется важная закономерность: в результате обжига происходит значительное упрощение кристаллохимического состава отвальной массы. Если исходный (сырой) материал сложен слоистыми и безводными силикатами, силикатами других кристаллохимических типов, безводными и водными окислами, карбонатами, сульфатами, сульфидами, углистым и битуминозным веществом, техническим мусором (дерево, металл и др.), то горелая масса в основном сложена только безводными силикатами и окислами. Таким образом, происходит и повышение однородности отвальной массы. Сравнение химического состава исходной отвальной массы и горелых пород дано в табл.2.

Т а б л и ц а 2

Химический состав исходной отвальной массы и горелых пород (в мас.%), по [25]

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO ₂	41,66	43,08	50,64	47,73	50,04
TiO ₂	0,82	0,85	1,49	0,90	1,08
Al ₂ O ₃	15,63	16,39	20,77	20,28	19,60
Fe ₂ O ₃	10,63 ^ж	9,70 ^ж	12,25 ^ж	19,85	7,78
FeO	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,48	0,51
MnO	0,11	0,13	0,14	0,15	0,12
MgO	2,32	2,44	3,22	2,74	2,94
CaO	2,07	2,16	2,69	1,83	3,93
Na ₂ O	1,00	0,83	0,45	0,39	0,75
K ₂ O	2,26	2,00	2,90	2,63	2,66

Компоненты	1	2	3	4	5
H_2O^-	2,30	2,06	1,00	0,72	1,52
П.п.п.	21,42	20,24	4,54	1,64	6,54
P_2O_5	0,22	0,28	0,35	0,39	0,38
F	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,02	0,04
Cl	" -	" -	" -	0,01	0,06
SO_3	" -	" -	" -	0,62	1,85
Сумма	100,44	100,16	100,44	100,35	99,70

* Все железо определено в виде окисного.

Примечание. 1 - объединенная проба породы с сепараторов обогатительной фабрики; 2 - порода с моечных желобов обогатительной фабрики; 3 - объединенная проба горелой породы отвала обогатительной фабрики; 4 - фракция -5+1 см горелой породы террикона шахты № 45; 5 - фракция -1 мм той же пробы горелой породы. Аналитики Л.А.Ганеева и Н.В.Драпова (ИГЗ).

Анализы иллюстрируют значительную однородность состава как исходного материала, так и продуктов его обжига. За счет потери H_2O и CO_2 (п. п.п.) в продуктах обжига относительно возрастает содержание SiO_2 , Al_2O_3 и ряда других компонентов. Происходит явный вынос натрия.

Продукты обжига глин и аргиллитов. Исходные глинистые породы Челябинского бассейна сложены слоистыми силикатами типа гидрослюд, каолинита и хлорида с примесью карбонатов, кварца, других второстепенных минералов и углистого вещества. Химические анализы исходных пород и продуктов их обжига даны в табл.3.

Т а б л и ц а 3

Химический состав аргиллитов и продуктов их обжига (в мас.%), по [25]

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO_2	58,28	57,48	60,57	62,24	62,86
TiO_2	1,21	1,30	1,08	0,97	1,00
Al_2O_3	19,59	18,74	27,23	25,48	25,10
Fe_2O_3	1,01	0,73	2,85*	4,45*	4,35
FeO	2,65	3,76	Не опр.	Не опр.	0,18
MnO	0,04	0,06	0,01	0,01	0,06
MgO	1,99	2,13	0,50	0,70	0,70
CaO	0,40	1,27	0,25	0,89	0,74
Na_2O	1,03	1,23	0,25	0,33	0,41
K_2O	2,00	1,88	4,88	2,80	2,66
H_2O^-	1,48	1,28	0,60	0,24	0,54
П.п.п.	9,76	10,30	1,40	0,96	0,60

Компоненты	1	2	3	4	5
P_2O_5	0,19	0,38	0,14	0,38	0,32
F	0,04	0,06	<0,01	<0,01	<0,01
Cl	0,04	0,01	<0,01	<0,01	<0,01
SO_3	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,10	Не опр.
Сумма	99,63	100,54	99,76	99,55	99,52

* Все железо определено в виде окисного.

Примечание. 1, 2 - аргиллиты серые, с плоско-раковистым изломом и невысоким содержанием карбонатов; 3 - "желтый" слабо обожженный аргиллит; 4 - "розовый" аргиллит невысокой степени обжига; 5 - "красный" сильно обожженный аргиллит.

Аналитик Н.В. Драпова (ИГЭ).

На примере аргиллитов четче видны особенности изменения состава породы при прокаливании: относительное обогащение SiO_2 и Al_2O_3 за счет потерь при прокаливании; вынос Na, Ca и Mg; переход большей части железа в Fe^{3+} . Характерен значительный вынос фтора и хлора. Поскольку образцы горелых аргиллитов были отобраны с поверхности отвала, в них имелось некоторое количество адсорбированной влаги, что отразилось на количестве H_2O -и потерях при прокаливании.

При обычном обжиге до состояния кирпично-красного черепка аргиллит и глина дают продукт, сложенный муллитом, кварцем, шпинелью и гематитом. Сильно обожженные куски глинистых пород имеют вишнево-красный цвет и звенят при ударе. Они состоят из кордиерита, муллита, гематита и тридимита. Во всех горелых породах данного типа может присутствовать и магнетит. Структура кусков весьма тонкозернистая, и их минеральный состав устанавливается в основном рентгенографически. В полостях обожженных кусков и глыб сваренных обломков находятся многочисленные мелкие кристаллы безводных силикатов и окислов, а также минералов, возникших в последующие за обжигом стадии.

Продукты обжига сидеритов. Сидериты широко распространены в виде конкреций и прослоев в углевмещающих породах Челябинского бассейна. Это серые, зеленовато- или коричневатые-серые очень тонкозернистые породы с плоско-раковистым изломом. На поверхности отвалов через несколько лет они буреют с поверхности. Содержат примесь глинистого вещества, объем которого колеблется в широких пределах. Химический состав сидеритовых пород и продуктов их обжига приведен в табл. 4.

При обжиге за счет куска сидерита образуется буро-черная шлакоподобная пенная масса, плотно прикипевшая к соседним кускам горельника. Объемная плотность таких масс иногда немногим более единицы. Свободная (выходящая в полости горельника) поверхность этих масс пузыристая, нередко с системами морщин. В шлифах обожженных сидеритов установлены магне-

тит, гематит, кварц и полевой шпат. Содержание железа в таких "шлаках" достигает 20,12% [10]. При слабом обжиге карбонат разлагается лишь частично: кусок сидерита краснеет с поверхности, а ядро его остается без видимых изменений.

Т а б л и ц а 4

Химический состав сидеритовых пород
и продуктов их обжига (в мас.%), по [25]

Компоненты	1	2	3	4	5
SiO ₂	5,36	6,72	14,36	59,59	39,36
TiO ₂	0,14	0,17	0,28	1,10	Не опр.
Al ₂ O ₃	2,17	2,79	5,27	18,25	"-
Fe ₂ O ₃	3,19	3,00	3,86	10,57	24,68
FeO	49,57	43,62	33,08	2,75	3,72
MnO	0,58	0,99	0,28	0,16	Не опр.
MgO	0,94	1,94	5,10	0,87	"-
CaO	2,36	2,95	5,02	2,45	"-
Na ₂ O	0,25	0,25	0,33	1,00	"-
K ₂ O	0,27	0,27	0,67	2,00	"-
H ₂ O ⁻	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,06	"-
H ₂ O ⁺	2,67	5,62	3,59	Не опр.	"-
П.п.п.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,22	"-
P ₂ O ₅	0,48	0,44	0,49	0,27	"-
F	Не опр.	Не опр.	Не опр.	<0,01	"-
Cl	"-	"-	"-	<0,01	"-
CO ₂	32,00	31,47	27,05	-	"-
Сумма	99,98	100,23	99,38	99,29	"-

Примечание. 1-3 - сидеритовые породы с разным содержанием глинистого материала; 4 - шлакоподобная красновато-черная масса, образовавшаяся при обжиге сидеритовой породы; 5 - "ошлакованная" горелая порода, образовавшаяся при обжиге сидеритовой породы [10].

Продукты обжига кусков окаменелого дерева. Куски окаменелой древесины - обычная составная часть многих отвалов. Особенно много их в отвалах Копейского района. Это куски стволов диаметром от 10 до 50 см и примерно такой же длины. Почти всегда они уплощены, вследствие чего поперечный их срез имеет эллипсоидальную форму. В свежем изломе окаменелое дерево черно-бурое; на поверхности отвалов оно становится желтовато-серым благодаря тонкой пленке продуктов изменения. Состав кусков карбонатный, преимущественно доломитовый или анкеритовый. Чисто сидеритовое окаменелое дерево встречается сравнительно редко. Стволы разбиты поперечными карбонатными жилками (кальцит, сидерит, доломит, кварц) на блоки длиной

до 30-50 см; при горных работах стволы по этим жилкам разламываются с образованием описанных выше обломков, идущих в отвал. Подобные жилки нередко рассекают окаменелое дерево в радиальных направлениях, а также залегают согласно со слоями роста.

Куски хорошо колются вдоль, образуя желобчатые поверхности по границам слоев роста. Толщина слоев роста значительная и нередко составляет 0,5 см и более. Слой роста имеет продольную волокнистость. В шлифе под микроскопом иногда хорошо видно волокнисто-клетчатое строение окаменелой древесины. Структура карбонатной матрицы очень мелкозернистая. Химический состав окаменелого дерева приведен в табл.5.

Т а б л и ц а 5

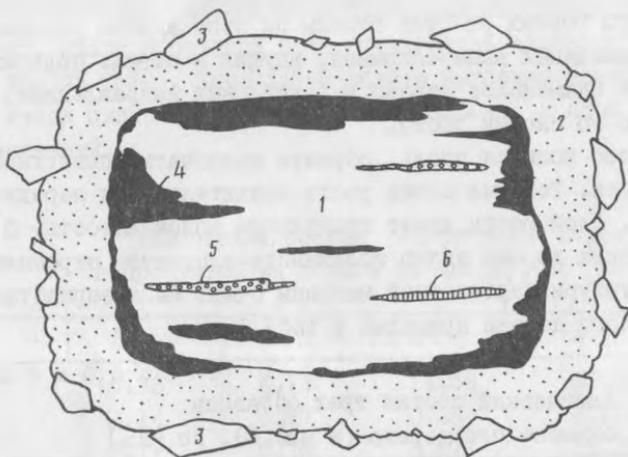
Химический состав трех образцов
окаменелого дерева (в мас.%), по [25]

Компоненты	1	2	3
SiO ₂	2,20	0,20	0,02
TiO ₂	<0,01	<0,01	<0,01
Al ₂ O ₃	0,11	0,06	0,11
Fe ₂ O ₃	0,64	0,24	0,29
FeO	4,67	3,41	2,27
MnO	0,05	0,04	0,02
MgO	6,88	12,29	17,03
CaO	41,05	36,87	31,45
Na ₂ O	<0,10	<0,10	<0,10
K ₂ O	<0,10	<0,10	<0,10
H ₂ O	0,28	0,44	0,34
П.п.п	43,28	46,18	47,70
P ₂ O ₅	0,10	0,05	0,10
CO ₂	39,98	42,67	42,82
Сумма	99,26	99,78	99,33

Примечание. 1-3 - в порядке увеличения содержания MgO.

Аналитик Н.В.Драпова (ИГЗ).

При обжиге куска окаменелого дерева возникает своеобразный "орех" (рис.7), имеющий ангидритовую скорлупу (корку) и четко ограниченное от нее ядро. У крупных "орехов" (в поперечнике 20 см и более) толщина скорлупы достигает 3-5 см, а у мелких (несколько сантиметров в поперечнике) - всего 2-5 мм. Наружная поверхность скорлупы покрыта вросшими в нее обломками красного горельника. Местами между обломками горельника видна натечная мелкобугорчатая поверхность белого или желтоватого ангидрита. Отсутствие включений кусков горельника в средней и внутренней частях ангидритовой "скорлупы" свидетельствует о значительном отложении ангидрита на ее внутренней поверхности (наращивание толщины корки внутрь "ореха"), что сопровождалось сокращением объема ядра за счет выноса многих компонентов (в первую очередь CO₂).



Р и с.7. Разрез "ореха", возникшего при обжиге куска окаменелого дерева

1 - рыхлое ядро; 2 - ангидритовая "скорлупа"; 3 - обломки горелых пород; 4 - сребродольскит; 5 - флюораллестадит; 6 - спуррит и другие силикаты

Строение ангидрита тонкозернистое, но нередко размер зерен во внутренних частях корки достигает 2-3 мм. Эти зерна имеют вид гранул, характерных для агрегатов, претерпевших собирательную рекристаллизацию [47]. Цвет корки в изломе серый, розовато-серый или почти белый. Очень часто внутренняя поверхность корки пористая и кавернозная, с друзами мелких уплощенно-игольчатых бесцветных кристаллов ангидрита. При разбивании "ореха" скорлупа довольно легко отделяется от ядра.

Состав и строение ядра в значительной степени зависят от исходного состава окаменелого дерева. Если в нем преобладали кальцит и доломит, то первичными продуктами обжига являются известь и периклаз. Их мелкие изометричные зерна образуют пористые, очень хрупкие агрегаты. Встречались "орехи", в которых ядра были представлены плотными коричневато-серыми зернистыми (мраморовидными) агрегатами извести с примесью мелких зерен периклаза. Эти агрегаты отделялись друг от друга в ядре полостями неправильной формы (полости усадки). Пористость и кавернозность периклазо-известкового ядра - следствие того, что при переходе кальцита в известь (или доломита в агрегат извести и периклаза) объем твердой фазы значительно сокращается; кроме того, часть кальция из ядра выносится и идет на образование ангидритовой скорлупы. "Орехи", содержащие известь, можно собрать только из "горячего забоя", когда экскаватором вскрываются горелые породы, имеющие температуру (на стенке забоя) 70-100°C. В остальных случаях известь довольно быстро переходит в портландит и другие продукты.

"Орехи", отобранные из осыпей экскаваторных забоев и из остывших их стенок, как правило, уже не содержат извести. Ядра их представляют рыхлую белую или серую, весьма тонкозернистую мелоподобную массу. Она

состоит из порландита, вторичного кальцита, брусита и водных карбонатов кальция и магния с тем или иным количеством первичного периклаза, который сохраняется значительно дольше извести. В этой рыхлой массе почти всегда находится примесь мелких пластинчатых кристаллов сребродольскита.

При гидратации периклазо-известкового ядра происходит значительное увеличение объема твердой фазы. Вследствие этого микропоры и полости первичных агрегатов закрываются и возникает однородное микропористое мелоподобное вещество. Нередко приращение объема при этом изменении ядра таково, что ангидритовая скорлупа "ореха" разрывается зияющими трещинами на систему примерно равновеликих блоков. Наружный вид такого "ореха" напоминает панцирь черепахи. Горячий "орех" с известковым ядром, попавший в верхний слой грунта почвы экскаваторного забоя, при последующей гидратации сильно вспучивает до этого ровный грунт, а иногда рыхлая масса ядра даже экструдирует в вершинах таких бугров.

Нередки также "орехи", ядро которых сложено очень пористыми и кавернозными агрегатами мелких изометричных зерен периклаза. Практически постоянной примесью в них являются окислы железа (магнезиоферрит, сребродольскит и др.). Продукты изменения зерен извести в них имеют вид изолированных белых комочков.

Многие "орехи" — настоящие "шкатулки сюрпризов". В их ядрах находятся пропластки ярко-голубого и зеленоватого флюораллестадиита, желтовато-розового ларнита, белого с жирноватым блеском спуррита. В пограничной зоне корки и ядра обычны скопления черных искристых агрегатов сребродольскита и мелкодрозовые выделения ангидрита и других минералов.

Если в окаменелом дереве были скопления карбонатов железа (анкерит, сидерит), то за счет их образуются мелкозернистые пористые агрегаты магнезиоферрита или гематита, в той или иной мере наследующие линейно-слоистую текстуру древесных обломков. Надо отметить, что у "орехов" с такими железистыми ядрами ангидритовая скорлупа гораздо тоньше, чем обычно. Встречались железистые псевдоморфозы по кускам окаменелого дерева, практически лишённые ангидритовой корки. Очевидно, в составе исходных кусков не было карбонатов кальция, а был только сидерит.

В участках отвалов, где горение было не интенсивным (желтоватые и розоватые горельники) часто встречаются слабо измененные куски окаменелого дерева. Они сложены теми же карбонатами, что и исходное окаменелое дерево, и имеют зеленовато-коричневатый (табачный) цвет. В большей степени прокаленные куски сложены крупнозернистым кальцитом и доломитом, содержащим систему равномерно распределенных тонких пластинок сребродольскита. Следующая (главная) стадия изменения кусков — термическое разложение карбонатов — происходит при более сильном обжиге.

Обстановка минералообразования при формировании "орехов" окислительная: характерно развитие сульфатов (ангидрит, флюораллестадиит) и окислов Fe^{3+} (магнезиоферрит, сребродольскит, гематит). Раскаленные (до $1000^{\circ}C$ и выше) газы выносят из ядра значительное количество кальция (формиру-

вание ангидритовой скорлупы). Также центробежно перемещается и часть железа, образующего в периферических частях ядра и на границе со скорлупой скопления сребродольскита. Нужно отметить, что при всех описанных выше высокотемпературных процессах главные особенности формы, размеров и текстуры исходного обломка окаменелого дерева сохраняются.

Нередко сформировавшиеся подобным образом "орехи" подвергались длительному и интенсивному прокаливанию при усилении горения в данном блоке или же под действием высокотемпературных новых газовых струй. В таких случаях из ядра выносился практически весь кальций и оставались в основном только пористые агрегаты магнезиоферрита и гематита с тем или иным количеством периклаза. Ангидритовая масса скорлупы вступала в реакции с окружающим силикатным материалом горельника с образованием друзовых и кавернозных агрегатов анортита, разнообразных пироксенов, фтористых слюд и амфиболов, минералов группы мелилита, гранатов и др.

Характерно, что "орехи" с наиболее хорошо развитой ангидритовой скорлупой встречаются в массе довольно рыхлого горельника и не типичны для пластов отвального слёка. Возможно, что при интенсивном прокаливании в формирующихся пластах слёка ангидритовая скорлупа вокруг обломков окаменелого дерева (или части их) вообще не возникает. В таких случаях выносимые из карбонатного куска компоненты непосредственно вступали в реакции с раскаленной силикатной массой горельника с образованием скарноподобных корок. Такие корки нередко имеют пузыристо-кавернозное строение, состоят из анортита, пироксенов (типа эссенеита), мелилитов, гематита, ферропериклаза и других безводных минералов.

Минеральные ассоциации, возникающие при обжиге кусков окаменелого дерева и других карбонатных пород в отвалах Челябинского бассейна, имеют большое сходство с минерализацией знаменитой свиты Хатрурим (Израиль), где карбонатные породы (мергели) претерпели обжиг в результате процесса, природа которого точно не установлена [67]. Безусловно, эти ассоциации родственны также разнообразным минерализациям высокотемпературных контактовых образований (известняковые ксенолиты в лавах и т.д.).

Минерализация полностью переплавленных пород

На месте почти полностью разработанного отвала разреза Коркинский (дробильный участок) находится большое количество глыб размером до нескольких кубических метров, по виду напоминающих базальт с множеством ксенолитов. Они имеют серый или зеленовато-серый цвет, низкую пористость и высокую прочность. В них отмечены светло-серые ксенолиты сильно обожженных аргиллитов и других пород до 10-20 см в поперечнике. В некоторых глыбах "базальт" почти не имеет или совсем не содержит ксенолитов, а иногда количество последних составляет не менее 50% объема. Некоторые глыбы представляют части "базальтовых" даек с участками вмещающих пород, обильно сцементированных "базальтом" обожженных обломков.

В крупных полостях горельника "базальт" нередко образует натечные формы в виде "языков", сталактито- и сталагмитоподобных масс, причудливых скоплений прочно сварившихся друг с другом капель.

Судя по тому, что в "базальте" в виде ксенолитов находятся в основном относительно крупные куски бывших глинистых и других пород (алевролиты, песчаники, гравелиты и др.) расплав возник за счет плавления полимиктовой, более легкоплавкой мелочи со значительной примесью карбонатного материала. По свидетельствам очевидцев, этот большой отвал горел особенно интенсивно, что объясняется относительной крупностью материала и значительным содержанием углистых пород. Очевидно, в очагах интенсивного горения генерировалось значительное количество расплава, который заполнял полости между кусками пород и иногда даже трещины усадки в отвальной массе, формируя своеобразные дайки (мощность их, по-видимому, доходила до 0,5-1,0 м). Наиболее крупнозернистыми являются "базальты" даек (зерна до 1-2 мм). Самыми тонкозернистыми являются натечные формы "базальта", которые на изломе иногда кажутся афанитовыми.

В шлифах "базальт" имеет структуру, сходную с долеритовой. Он сложен моноклинным пироксеном, основным плагиоклазом (типа битовнита), оливином и магнетитом. В газовых пузырьках находятся мелкие кристаллы пироксена, анортита, волластонита, меллилита, фаялита, лейцита, магнетита, апатита и других минералов. Химический состав "базальта" относительно постоянный (табл.6) и близок к толеитовым базальтам, при некотором

Т а б л и ц а 6
Химический состав "базальтов" из отвалов
разреза Коркинский (в мас.%)

Компоненты	Среднее (по 4-м пробам)	Колесание от-до
SiO ₂	45,65	45,18-46,58
TiO ₂	1,07	1,00-1,13
Al ₂ O ₃	17,91	16,39-19,02
Fe ₂ O ₃	1,19	0,87-1,45
FeO	12,64	12,21-13,29
MnO	0,27	0,23-0,30
MgO	4,62	4,21-5,28
CaO	13,86	12,49-15,49
Na ₂ O	0,20	0,20-0,20
K ₂ O	1,37	1,20-1,50
H ₂ O ⁻	0,25	0,16-0,34
P ₂ O ₅	0,68	0,66-0,71
Сумма	99,71	

Примечание. Пробы отобраны и подготовлены для анализа С.В.Ефремовым (1985 г.), аналитик Н.В.Драпова (ИГЗ).

отличии от последних более высоким содержанием "салических" компонентов.

Минерализация базальтоподобных пород представлена в основном безводными силикатами и окислами. Характерными второстепенными минералами являются самородное железо и моносulfиды железа типа троилита. Уникальные парагенезисы возникали при термической переработке в "базальтах" ксенолитов пиритизированных карбонатных пород, которые будут рассмотрены ниже.

Значительное образование силикатного расплава в горящих терриконах бассейна — явление пока единичное. Незначительные массы базальтоподобных пород, сходных с коркинскими, были нами встречены на вершине террикона шахты № 204. Здесь они находились в стенках трещин усадки отвальной массы, по которой, по-видимому, длительное время шли раскаленные (возможно, горящие) газы.

Продукты изменения ксенолитов пиритизированных пород в "базальтах". В глыбах базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский встречены серо-черные тяжелые желваки до 10–20 см в поперечнике. При их разбивании чувствуется тяжелый сероводородный запах. В изломе желваки местами почти черные, местами темно-серые. Их строение неоднородно — от весьма тонкозернистого до явно зернистого. На темном фоне четко выделяются желто-оранжевые выделения баженовита. Темная масса сложена самородным железом, ольдгамитом, троилитом, углеродистым веществом и другими минералами. Желваки довольно легко отделяются от "базальта". На их поверхности наблюдаются обильные беловатые пленки тонкодисперсной серы и скопления чешуек портландита. Сера и портландит — обычные примеси в периферических зонах желваков. Рядом с желваками в "базальтах" часто встречаются угловатые обломки шунгитоподобного вещества с металловидным блеском и высокой твердостью. Это измененные при высокой температуре куски угля. Минеральная ассоциация черных желваков свидетельствует о том, что процесс ее формирования шел в резко восстановительных условиях. Возникла эта ассоциация при изменении ксенолитов пиритизированных сидеритовых пород, прослой которых нередко встречаются в углевмещающей толще разреза Коркинский. Если ксенолиты сидеритов не содержали пирита, за счет их в "базальтах" возникали скопления губчатого железа (до нескольких килограммов), не содержащие сульфидов. Сера и портландит — продукты гидролиза баженовита и ольдгамита под действием атмосферной влаги.

Уникальная минерализация "черных желваков" заслуживает дальнейшего изучения. Неизвестным остался минеральный состав тонкодисперсных черных скоплений, богатых углеродом. Отмечено сильное разогревание желваков, обогащенных черной землистой массой, в течении первых суток после извлечения образцов из "базальта". Возможно, это связано с интенсивным окислением сульфидов, входящих в состав черного тонкодисперсного вещества.

Минерализация "черных блоков"

В "черных блоках" идут процессы, сходные с сухой перегонкой углистых и битуминозных материалов. Куски и частицы угля переходят в твердое, с металлическим блеском, шунгитоподобное вещество. Оно практически не содержит летучих, содержание углерода в нем 80–93%. Вся масса породы равномерно пропитывается значительным количеством углеродистого вещества типа газовой сажи и становится черной. Обломки пород имеют черный цвет не только с поверхности, но и по всему объему. В наиболее сильно прокаленных участках преобладает тонкокристаллический графит, а не "сажа", и цвет кусков пород становится темно-серым, иногда с металлическим блеском. Содержание углерода в породе "черных блоков" около 15–20%.

Глины и аргиллит превращены в твердую тонкозернистую породу, состоящую из кордиенита, муллита, тридимита, волластонита, осумилита и углеродистого вещества (графит и другие формы). На поверхности кусков и на стенках трещин в них находятся многочисленные мелкие кристаллы моносulfидов железа (как правило, троилита), волластонита, фаялита, муллита, когенита, сфена, графита, псевдоморфозы графита и железа по кристаллам высокоуглеродистого карбида и другие минералы.

На месте кусков сидеритовых пород образуются кавернозные мелкокристаллические агрегаты моносulfидов железа (троилит, пирротин), часто в сростаниях с мелкими кристаллами магнетита и иоцита. Каверны и поры таких агрегатов заполнены рыхлой черной углеродистой массой.

Куски окаменелого дерева теряют большую часть своей массы (почти полностью Ca, Mg и Fe) и превращаются в легкий (объемная плотность 0,37 г/см³) и рыхлый агрегат параллельных углеродистых волокон, своеобразную псевдоморфозу по окаменелой древесине. В углеродистой волокнистой массе почти всегда в том или ином количестве присутствуют мелкие кристаллы моносulfидов железа, когенита, селлаита, флюорита, периклаза.

Углеродистая псевдоморфоза по куску окаменелого дерева окружена кавернозной силикатной коркой, толщиной до 3–5 см и иногда более. Эта корка представляет собою прилегающую к псевдоморфозе массу пород, "пропитанную" вновь образованными силикатами: норбергит, хондрит, анортит, фторфлогопит и др. В составе корок также присутствуют: графит и тонкодисперсное углеродистое вещество, когенит и графито-железные псевдоморфозы по кристаллам высокоуглеродистого карбида железа, моносulfиды железа, флюорит, селлаит, тридимит и α -кristобалит, шпинель, магнетит, иоцит, волластонит, форстерит, фаялит, сфен, фассаит, фторамфибол и другие минералы. В естественном состоянии корка черного цвета, поскольку все полости в ней заполнены углеродистым материалом. Тщательно смытая, она меняет цвет на светло-серый и изобилует друзовыми полостями с множеством разнообразных кристаллов. Карбонатов и сульфатов в псевдоморфозах и в корках не обнаружено.

Некоторые, не полностью разложенные (т.е. сохранившие в своем составе карбонаты) куски окаменелого дерева "пропитаны" кристаллическими

агрегатами безводного CaCl_2 , которые на открытом воздухе весьма быстро размокают. Встречены такие отложения и в некоторых псевдоморфозах, сложенных углеродистыми волокнами.

Куски современной древесины (обломки крепи, шпал и др.) в "черных блоках" превращены в крепкий и "звонкий" древесный уголь. На поверхности его кусков и на стенках трещин нередко встречаются кристаллы троилита, анортита, когенита, фаялита, графита, сфена, фторфлогопита, хондродита, других минералов. На стенках трещин в кусках древесного угля вместе с анортитом встречены кристаллы ромбического и гексагонального его аналогов.

Уникальные минерализации "черных блоков" сформированы при прокаливании исходной отвалной массы в резко восстановительных условиях. Температура в некоторых участках "черных блоков" достигала 1200°C , о чем можно судить по находкам форм плавления (капли, слитки и др.) моносulfидов железа (троилита, пирротина). Весьма характерной является диссоциация с образованием "газовой сажи" части CO_2 , освобождавшейся при термическом разложении карбонатов. Этим процессом объясняется равномерное "пропитывание" дисперсным углеродом кусков пород, всегда содержащих определенное количество карбонатов в исходном состоянии.

Не менее примечателен процесс выноса почти всей массы вещества при прокаливании карбонатных пород (окаменелое дерево, карбонатные конкреции). Вынесенные горячими газами Ca , Mg и часть Fe взаимодействовали с окружающей силикатной массой, формируя кавернозные корки силикатов вокруг разлагающихся карбонатных кусков.

Для продуктов изменения кусков окаменелого дерева характерно широкое развитие фторсодержащих минералов (флюорита, селлаита, фторapatита, норбергита, хондродита, фторфлогопита, фторамфибола).

На первых стадиях превращения участка негорелой отвалной массы в "черный блок" из пород удаляется адсорбированная, цеолитная и кристаллизационная вода, часть серы дисульфидов железа (их примесь в глинистых породах обычна) и сера вместе с углеводородными газами из угля, углестых и битуминозных пород. При дальнейшем прогревании выделяются соединения азота и хлора из угля и углестых пород. При длительном и сильном прокаливании происходит термическое разложение карбонатов, диссоциации части CO_2 с выделением тонкодисперсного углерода, значительный газовый массоперенос с участием Ca , Mg , Fe и других элементов. Над активным "черным блоком" происходит отложение на поверхности отвала асфальтоподобных кор, содержащих серу; нередко нижние части этих кор значительно обогащены нашатырем. Под асфальтоподобными корами также нередко в значительном количестве отлагаются безводные, основные и водные хлориды железа, кальция и магния (и алюминия?). Общая картина может значительно усложниться процессами конденсации различных минералов в верхних частях блока из газов, поступающих из его нижних частей ("телескопирование").

В крупных "черных блоках" иногда остаются слабо измененные "серые ядра", в которых исходные породы отвала не претерпели существенных прев-

ращений: остались глинистые минералы, уголь и углистое вещество. Такое "серое ядро" было обнаружено в центре "черного блока" после развала вершины террикона шахты Северная. На площадке более 20 м в поперечнике были встречены щели в серой массе, из которых выходили горячие газы с температурой более 200⁰С. На стенках щелей были отложены рыхлые крупнопластинчатые агрегаты пирротина. Небольшое "серое ядро" наблюдалось и в центральной части крупного "черного блока" на вершине террикона шахты № 45 (также в экскаваторном забое).

Детальное изучение минерализации "черных блоков" представляет значительный интерес не только для минералогии, но и для смежных геологических дисциплин. Имеются основания для сравнения данных образований с некоторыми типами космических объектов (например, с углистыми метеоритами).

Возникновение "черных блоков" – неизбежная стадия эволюции длительно горящих неоднородных по проницаемости крупных масс углесодержащих пород, а также других горючих твердых материалов. В таких процессах всегда можно ожидать, что некоторый объем исходной массы будет значительно прогрет (от соседних очагов горения) в условиях резкого недостатка свободного кислорода. Последствия такого прогрева описаны выше. Кстати, примерно такое же явление мы наблюдаем, когда смотрим на искривленный и почерневший стерженек в пламени прогорающей спички. Вместо исходного дерева, богатого водой и другими летучими веществами, остается только уголь с содержащейся в нем минеральной золой.

Следует также иметь в виду, что каменный уголь, строго говоря, углем не является. Это вещество отличается от угля высоким содержанием летучих. В таком свете шунгитоподобное вещество, возникающее при изменении каменного угля в "черных блоках", стоит к настоящему углю гораздо ближе, поскольку сложено в основном углеродом. Следовательно, в "черном блоке" происходит углефикация каменного угля.

Продукты тления "черных блоков"

При разработке отвала экскаваторным забоем иногда вскрывается еще тлеющий "черный блок". Тление идет на границе с красным горельником, а вся черная масса блока раскалена до нескольких сот градусов. При свободном доступе кислорода "черный блок" тлеет по всей площади забоя. В карьерах и полостях его поверхности видны раскаленные до красного и оранжевого цвета породы. Разрыхленный и осыпавшийся материал тлеет быстро, превращаясь за сутки или несколько суток в рыхлую, богатую пылью, розовато-серую массу. Характерно, что тление пород "черного блока" происходит почти без выделения дыма, но при этом чувствуется резкий запах сернистого газа. Продукты глубинного тления "черных блоков" обычно представлены рыхлыми или слабо спекшимися розоватыми, красноватыми, а иногда светло-серыми (реже красными) породами. Тление черной массы сопровождается следующими изменениями в ее составе.

Шунгитоподобные куски и частицы измененного угля сторают. В породе остаются соответствующей формы полости, содержащие весьма непрочные розо-

ватые землистые скелеты золы, разрушающиеся при легком соприкосновении. Сгорают "сажа" и все графитовые образования. "Сгорают" кристаллы когениита и моносulfидов железа, от них остаются гематитовые комочки или "сморщенные" псевдоморфозы гематита по таблитчатым кристаллам троилита и пирротина.

Углеродистые псевдоморфозы по кускам окаменелого дерева сгорают, и на месте куска остается полость, сохраняющая общие особенности формы этого куска. Часто в полостях находятся весьма кавернозные, пористые и хрупкие агрегаты псевдоморфоз гематита по моносulfидам железа в сростаниях с селлаитом, флюоритом, фторопатитом, периклазом и другими минералами.

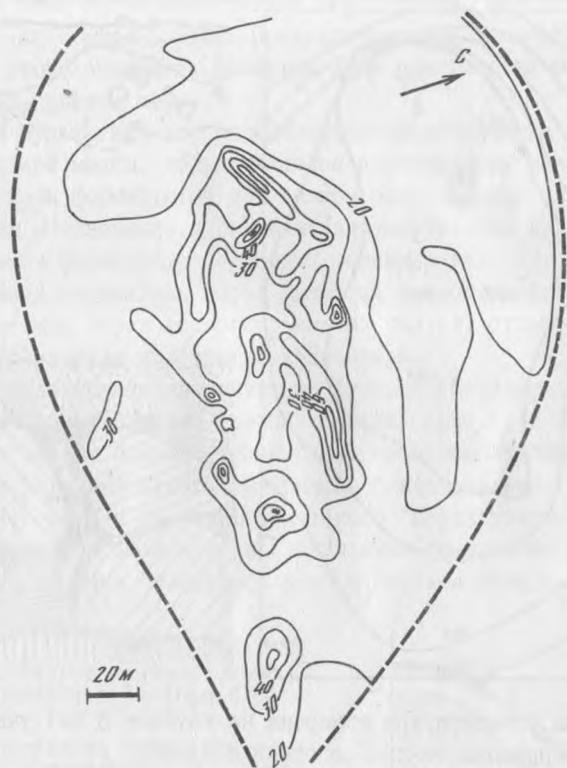
Кавернозная силикатная корка, окружающая кусок измененного окаменелого дерева, на фоне светлоокрашенной протлевшей массы выделяется своим желтоватым, оранжевым или красным цветом. Моносulfиды железа, магнетит и иоцит в ней окислились и перешли в гематит. Кристаллы фаялита перешли в вещество, сходное с феррифаялитом [I]. Железосодержащие кристаллы и агрегаты минералов группы хондродита стали оранжевыми или красноватыми. Поверхность многих кристаллов (шпинели, флюорита, селлаита, силикатов) почти всегда покрывается матовой беловатой пленкой флюорита. Подобные изменения с указанными минералами происходят и в остальной протлевшей массе.

Безусловно, могли иметь место случаи, когда по ряду причин горение "черного блока" было интенсивным (например, в зонах трещин усадки отвалной массы с достаточно интенсивной аэрацией). При таком горении могли возникать горельники, мало отличающиеся по внешнему виду от продуктов обычного поверхностного горения. Одной из важных особенностей таких продуктов является отсутствие ангидритовых корок около кусков разложившегося окаменелого дерева, а также отсутствие известково-периклазового выполнения ядер "орехов". Кроме того, наличие "обгорелых" кристаллов sulfидов и карбидов железа, фаялита, скоплений кристаллов флюорита и селлаита является дополнительным признаком протлевших масс "черного блока".

В некоторых случаях (террикон шахты № 45) на контакте красного спёка с материалом "черного блока" наблюдались темно-серые (до черных) яшмовидные породы с плоско-раковистым изломом.

Минерализация фумарол

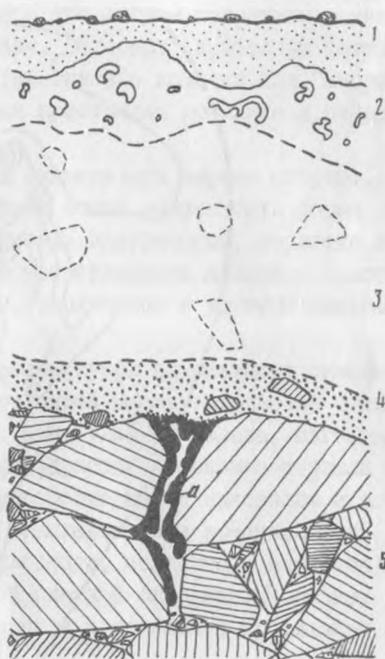
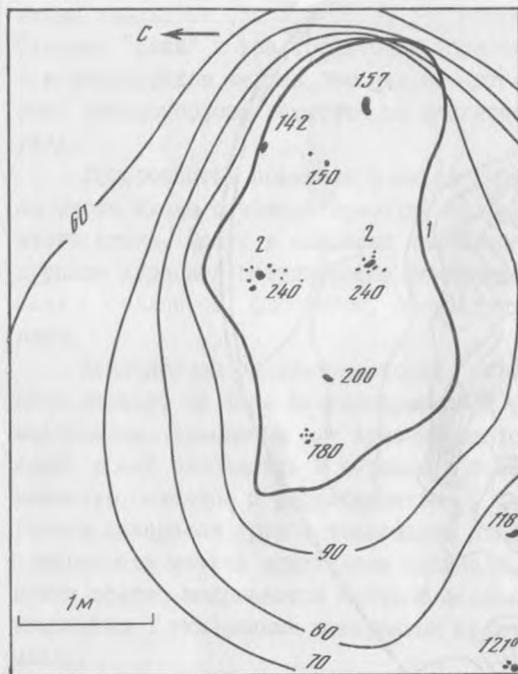
Сульфатные фумаролы. На хребте, вершине и прилегающих к ним частях отвалов наблюдаются многочисленные выходы горячих газов. Температура газов в местах выхода варьирует от нескольких десятков градусов до 400–500^oC (рис.8). Обычная фумарола данного типа имеет сульфатную "крышку" толщиной до 5–10 см и более, площадь до 0,5 м², а иногда в несколько квадратных метров (рис.9). В "крышке" есть ряд небольших отверстий, через которые входит горячий газ. "Крышка" имеет тонкозернистое кавернозное строение. Слагают ее главным образом sulfаты алюминия, аммония, магния и железа.



Р и с.8. Изотермы грунта поверхности террикона шахты Подозерная (в $^{\circ}\text{C}$)

Нижние, наиболее горячие части корки сложены безводными сульфатами, а средние и верхние – основными и водными сульфатами соответственно. Нередко водой от обильных дождей "крышки" фумарол частично растворяются, приобретают изъеденный (дырчатый) вид. Концентрированный сульфатный раствор стекает вниз и в зоне высокой температуры вскипает, образуя натеки сульфатной пены. Порции сульфатной пасты, проникшие дальше в зону раскаленных кусков горельника, вскипают и обжигаются. Если паста содержала сульфат железа, то он частично разлагается с образованием тонкодисперсного гематита, придающего безводной сульфатной пене кирпично-красный цвет (рис.10).

В состав горячих газов сульфатных фумарол входит серный ангидрит. Иногда горячие сульфатные корки адсорбируют его в значительном количестве. На открытом воздухе куски таких корок быстро размокают от образовавшейся серной кислоты. При соприкосновении с размокшими кусками бумага и хлопчатобумажная ткань очень быстро обугливаются. Над некоторыми фумаролами отмечался белый "дым" (туман серной кислоты) с резким тяжелым запахом.



Р и с.9. Изотермы (температура измерена на глубине 3 см) участка сульфатных фумарол на терриконе шахты Пригородная (в $^{\circ}\text{C}$)

1 - граница сульфатной корки; 2 - отверстие фумарол

Р и с.10. Поперечный разрез сульфатной корки (25 см по вертикали)

Зона: 1 - квасцовая; 2 - алуногеновая с полостями; 3 - основных сульфатов алюминия и годовиковита с реликтами обломков пород; 4 - сульфалюмита с втеками пенистой сульфатной массы (а) в полости горельника; 5 - горельник

Сульфатные корки возникают в основном за счет сернокислотного разложения обломочного материала отвалов [33]. Нами выделяются четыре типа кор: 1) алюмо-сульфатные (преобладают сульфаты Al с примесью Fe^{3+}), 2) алюмо-аммониевые (сложены аммонийсодержащими сульфатами), 3) магний-аммониевые (преобладают сульфаты магния и аммония) и 4) гипсовые. Коры первых трех типов зональны: нижние зоны сложены безводными сульфатами Al , Fe^{3+} , Mg , NH_4 , а верхние - водными сульфатами. Наиболее распространены алюмо-сульфатные коры. Нижние их части сложены сульфалюмитом, а в верхних установлены: алуноген, ростит, гидробазальминит, метабазальминит, кокимбит, лаузенит, ромбоклаз, чермигит, пиккерингит. Широко распространены алюмо-аммониевые коры, нижние зоны которых сложены годовиковитом, а в верхних находятся: чермигит, буссенготит, морит, коктаит. Масканьит находится как в нижней, так и в верхней зоне.

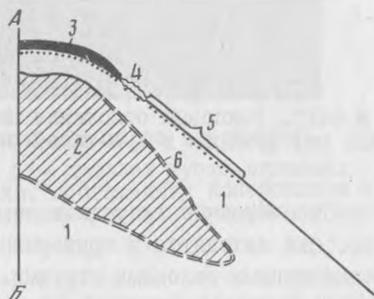
Нижняя зона магний-аммониевых кор сложена безводным сульфатом магния и аммония - ефремовитом. Продукты верхней зоны образуются за счет гидратации этого сульфата. Гипсовые коры практически мономинеральны, иногда имеют примесь серы.

Состав сульфатных кор определяется преобладающим катионным составом отвальной массы, подвергшейся сернокислому разложению. Алюмо-сульфатные коры формируются при резком преобладании глинистых пород ("сырых" или обожженных). При наличии существенных количеств карбонатного материала формируются сульфаты магния и кальция. Побочным продуктом разложения силикатных пород является тонкодисперсный кварц. Почти всегда в составе корок (особенно нижних частей) сульфатных фумарол в некотором количестве присутствует нашатырь.

Наибольшее количество активных фумарол располагается над тлещими периферическими частями "черных блоков" (рис. II). На поверхности отвала над "черным блоком" расположена асфальтоподобная кора продуктов конденсации углеводородного материала. Следовательно, многие активные фумаролы расположены по периферии такого "асфальтового" поля. Таким образом, асфальтоподобная кора с активными фумаролами по ее периферии указывает на наличие "черного блока" в глубине отвала.

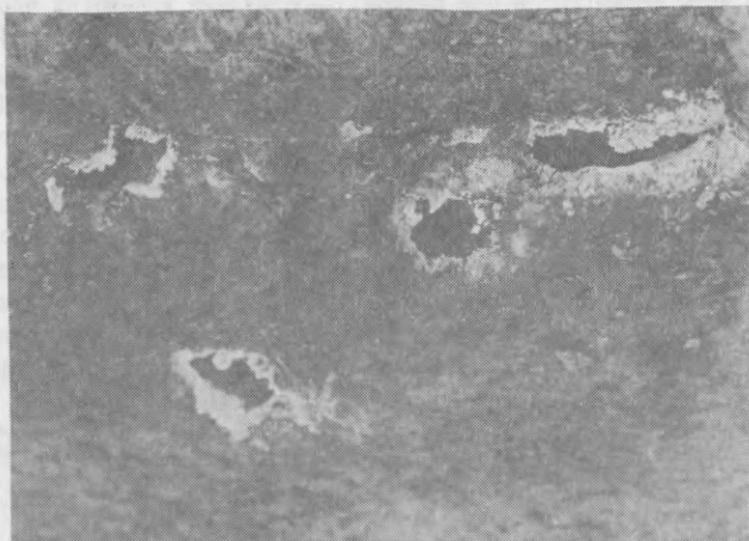
Р и с. II. Разрез прихребтовой части террикона с "черным блоком"

АБ - плоскость симметрии террикона; 1 - горельник; 2 - "черный блок"; 3 - асфальтоподобная кора; 4 - сульфатная корка с фумаролами; 5 - отложения хлоридов в приповерхностном грунте; 6 - фронт тления "черного блока"



Можно составить общее представление о размерах и форме "черного блока" на основании картирования асфальтоподобной коры и окружающих ее фумарол. Следует подчеркнуть, однако, что асфальтоподобная кора над "черным блоком" формируется только на горизонтальных или слабо наклонных поверхностях отвала. Это в основном площадка на вершине и поверхность хребта. На склонах отвала, где постоянна ветровая и водная эрозия поверхности, такая кора не успевает формироваться (см. рис. II). Такие участки склонов над "черными блоками" отличаются в высокой степени прогретым грунтом и площадным выделением газов. В покрывающем склоны рыхлом грунте развиваются обширные отложения хлоридов (см. ниже). Если в настоящее время тлеет хорошо прокаленный "черный блок", среди сульфатов, отлагающихся в фумаролах, сульфаты аммония имеют ограниченное распространение (в этом случае большинство азотных соединений улетучилось ранее).

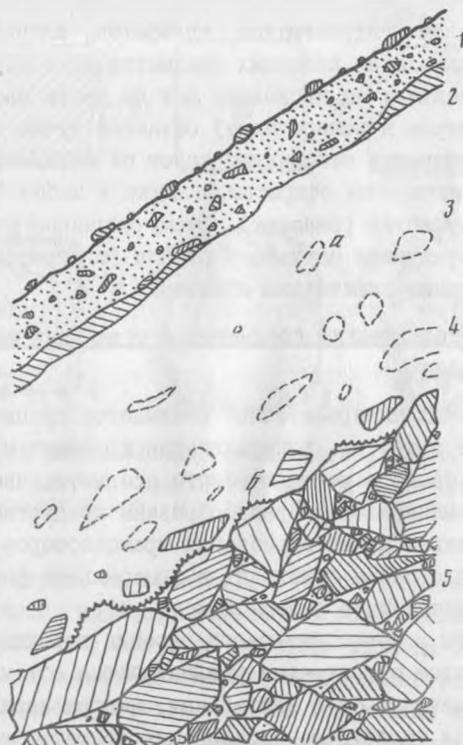
Хлоридные фумаролы. Наиболее простые по составу корки хлоридных фумарол сложены нашатырем. Они имеют белый, желтоватый или коричневатый блеск, зернистое или шестоватое строение. Нижние части корок покрыты щетками изометричных кристаллов нашатыря до 5 мм в поперечнике. Нередко нашатырь окружает отверстие фумаролы своеобразным венцом (рис.12).



Р и с.12. Венцовые отложения нашатыря (белое) около отверстий (диаметр 5-10 см) фумарол в хребтовой части террикона шахты Пригородная

Своеобразные хлоридные коры встречены на терриконах шахт № 45 и № 50. Они находятся в привершинных частях отвалов и не связаны с четко обозначенными газовыми струями. В этих местах площадь склона прогрета относительно равномерно, и выделение газов с резким "хлористым" запахом идет по всему участку. Хлориды залегают под слоем мелкообломочного пылеватого грунта на глубине нескольких сантиметров. Площадь кор достигает 5 м² и более, а толщина 10-15 см. Температура рыхлого грунта над коркой 40-50°С (летом в сухую погоду), в верхней части корок 60-70°С, а в нижних - около 100°С.

Главными минералами кор являются хлориды железа (копейскит и др.), нашатырь, хлориды магния и др. В большинстве случаев корки очень гигроскопичны. На открытом воздухе некоторые куски их быстро (иногда за несколько минут) превращаются в серо-зеленые или желто-оранжевые полужидкие массы. "Свежие" образцы корок обычно имеют оранжево-красный цвет из-за высокого содержания копейскита. При преобладании хлоридов Fe²⁺ цвет корок коричневато-зеленый. В нижних частях кор широко развиты щетки кристаллов нашатыря (рис.13). Здесь также присутствуют сера и лавренсит. В вышележащих частях широко распространены копейскит, аммониярозит, молизит, водные хлориды Fe³⁺.



Р и с.13. Поперечный разрез хлоридной коры (25 см по вертикали)

1 - рыхлый обломочно-пылевой грунт; 2 - прослой густо-вишневых рыхлых окислов железа; 3 - хлоридная корка, обогащенная копейскитом с реликтами обломков пород (а); 4 - нижняя часть хлоридной корки со щетками нашатыря (б); 5 - горельник

Площадные хлоридные коры формируются над "черными блоками", находящимися в стадии интенсивного выделения хлористых соединений из угля, углистого вещества и других компонентов отвальной массы. На пологих и субгоризонтальных участках они могут находиться под асфальтоподобными корами. На крутых участках склонов такие коры обычно не возникают.

Продукты выветривания материала отвалов

Отвалы - морфологически нестабильные части литосферы. Даже если они и не разрабатываются, их облик меняется (под действием ветра, воды, проседания, обрушения и т.д.). Все это приводит к систематическому обновлению поверхности. Особенно интенсивно такое обновление идет при разработке отвалов. В результате на поверхность попадают продукты обжига, материал "черных блоков", обложения фумарол, "свежие" и измененные металлические и иные продукты. Под действием воды, кислорода, уголекислоты, микроорганизмов и других агентов выветривания эти материалы претерпевают то или иное изменение. Основным процессом является обра-

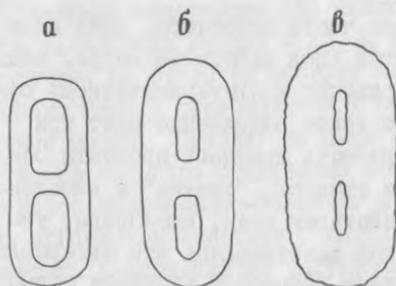
зование водных минералов: гидроокислов, сульфатов, хлоридов, карбонатов и др. Например, ржавление железных предметов на поверхности отвалов идет весьма интенсивно: за несколько лет на месте массивного бруска (несколько сантиметров в поперечнике) остается кучка корок ржавчины (ржавление сопровождается отслоением корок от металла). Кристаллы карбида железа - когенита - на открытом воздухе в забое "черного блока" за первые месяцы разрушаются (ржавеют). Этому благоприятствует влага, которая в условиях термически активного отвала (с агрессивными газами) становится особо активным химическим агентом.

Минерализация металлических предметов в отвальной массе и на поверхности отвалов

В данном случае под минерализацией понимается процесс превращения металла в минеральное вещество. Минерализация приводит к полной потере специфических ценных свойств металлического предмета. Часто образуются полные псевдоморфозы минералов по разнообразным предметам (проволоке, тросам и кабелям, звеньям цепей скребковых транспортеров, трубам и рельсам). Атомы металла снова переходят в минеральную форму существования, как наиболее устойчивую в земной коре [48].

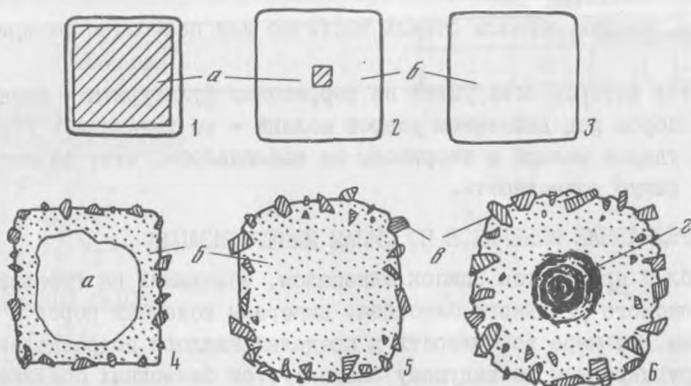
Железные предметы в зонах активного горения переходят в гематит и магнетит. При этом существенно увеличивается объем предмета (рис.14). Если прокаливание было длительным, центральная часть псевдоморфозы разрыхляется, вплоть до образования полости, а внешняя граница псевдоморфозы все дальше уходит в массу горельника, захватывая его обломки (рис.15). В "черных блоках" железо замещается моносульфидами железа, иоцитом, карбонатами железа. На поверхности предметов образуются корки этих минералов, а карбиды интенсивно развиваются и в массе металла. В сульфатных фумаролах и на поверхности отвалов железо очень быстро превращается в гидроокислы, т.е. ржавеет.

Медные предметы в очагах горения возгораются с образованием теноритового ореола в окружающем горельнике. При менее интенсивном горении на меди образуются корки куприта (прилегающая к металлу зона) и тенорита (наружная зона). Такое же строение имеют продукты изменения меди в сульфатных фумаролах. На поверхности отвалов на медных предметах образуются корки хлоридов (атакамит, паратакамит) и



Р и с.14. Контуры звеньев скребкового транспортера

а - неизменное звено (44x120 мм, масса 262 г); б - гематито-магнетитовая псевдоморфоза (50x132 мм, масса 313 г); в - гематитовая псевдоморфоза с разрыхленной серединой (60x140 мм, масса 401 г)



Р и с.15. Стадии минерализации рельсового костыля (поперечное сечение).

I-3: а - сталь, б - магнетит; 4-6: а - магнетит, б - гематит, в - обломки горелых пород, г - concentрические полости

сульфатов (антлерит, халькантит). В "черных блоках" встречены куски медного троллейного провода, измененные образованием вокруг них халькопиритовой оболочки; при этом на месте провода осталась четко оформленная полость с рыхлым зеленовато-серым веществом. В асфальтоподобных корках на меди образуются корочки халькозина и ковеллина.

В горельнике не было встречено следов свинцовых предметов. В сульфатных фумаролах последние (оболочки электрокабелей и др.) плавятся, металл стекает вниз, частично задерживается в горельнике и там интенсивно окисляется с образованием глета и других минералов. На поверхности отвалов свинец переходит в хлориды, сульфаты и окислы.

Алюминий на поверхности отвалов и в верхних слоях грунта очень интенсивно переходит в окислы и гидроокислы. В бывших очагах интенсивного горения (спёк и "вишневый" горельник) следов алюминиевых предметов не встречено.

Необходимо подчеркнуть, что реликты металла, сохранившиеся от минерализации (особенно в высокотемпературных условиях), сильно преобразуются. Главный процесс - интенсивное огрубление структуры вследствие собирательной рекристаллизации [47]. В некоторых случаях размер зерен железа доходит до 1 см и более, а проволокоподобные реликтовые ядра в псевдоморфозах гематита и магнетита по пруткам арматурной стали местами являются монокристалльными, что видно по спайности на их изломе.

Собран также обширный материал по минерализации неметаллических предметов (бетонных изделий, асбоцемента, стекла и др.). Стекло, например, в очагах горения плавится и образует пузыристые формы течения. В подавляющем большинстве случаев оно становится голубым и ярко-голубым. Возможно, что под действием сернистых газов в составе стекла возникают серосодержащие центры окраски, для которых голубые тона

характерны. Многие образцы стекла частично или полностью раскристаллизованы.

Попытки авторов обнаружить на терриконах фульгуриты – продукты плавления пород под действием ударов молний – не увенчались успехом. К тому же ударов молний в терриконы не наблюдалось, что, однако, не исключает такую возможность.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МИНЕРАЛОВ ПО ТИПАМ МИНЕРАЛИЗАЦИИ

В табл.7 приводится список минералов, возникших на горелых отвалах Челябинского угольного бассейна. Минералы исходных пород в список не включены. По мере возможности в пределах каждого подразделения минералы сгруппированы по ведущему элементу, от безводных соединений к основным и водным. Гидроокислы объединены в одну группу по генетическому признаку. Силикаты расположены согласно кристаллохимической классификации. В таблице указаны условия нахождения минералов и степень их распространения.

Т а б л и ц а 7

Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна

Минерал	Тип минерализации				
	I	2	3	4	5
Самородные элементы					
Железо		+++	++		
Медь [*]					+
Графит		++	+++		
Сера (α -S)	+	+	+	+++	+
Карбиды					
Когенит		+	+++		
<u>Высокоуглеродистый карбид Fe</u>			+++		
Сульфиды					
Троилит	+	++	+++		
Пирротин	+		+++		
Пириг			+		
Халькопирит			+		
Халькозин [*]			+	+	
Ковеллин [*]				+	
Галенит [*]				+	
Ольдгамит		++			
<u>Баженовит</u>		++			
<u>"Красный сульфид"</u>		++			
Галоиды					
Нашатырь				+++	
Лавренсит				++	
Молизит				++	

Таблица 7 (продолжение)

Минерал	Тип минерализации				
	I	2	3	4	5
<u>Копейскит</u>				++	
<u>Fe³⁺-кадвалдерит</u>				+	
FeCl ₃ ·2H ₂ O				++	
FeCl ₃ ·2,5H ₂ O				++	
FeCl ₃ ·3,5H ₂ O				++	
FeCl ₃ ·6H ₂ O				++	
<u>Безводный CaCl₂</u>	+		++	+	
Антарктицит					+
Синджарит					+
<u>CaCl₂·4H₂O</u>					+
<u>Редикорцевит</u>				++	
Нантоцит ^х				+	
Атакамит ^х					++
Паратакамит ^х					++
Котуннит	+			+	
Флюорит	+	+	++		
Селлаит	+		++		
Окислы и гидроокислы					
Известь	+++				
Периклаз	+++	+	++		
Ферропериклаз	++	+	++		
<u>Магнезиоиоцит</u>	+	+	+		
Иоцит		+	+		
Магнетит	++	++	++		
Магнезиоферрит	+++				
Гематит	+++			++	
Маггемит	+				
<u>Сребропольскит</u>	+++	+			
Псевдобрукит	++				
Перовскит		+			
Кварц				++	+
Тридимит	+++		++		
α -кристобалит	++		++		
Корунд	+				
Шпинель	++		+++		
Герцинит	++				
Куприт ^х	++			++	+
Тенорит	++			++	+
Глёт ^х	+				
Массикот ^х	+				
Платтнерит ^х	+				

Таблица 7 (продолжение)

Минерал	Тип минерализации				
	I	2	3	4	5
PbO_2 кубическая*	+				
Красногорит*	+				
Портландит					+++
Брусит					+++
Гётит					++
Лепидокрокит					+
Лимонит				++	+++
Гидроокислы Al					+++
Опал					+
Карбонаты					
Кальцит					++
Арагонит					+
Несквегонит					+
Дипингит					+
Иосикаваит					++
Пироаурит					+
Колингит					+
Малахит*					+
Азуриг*					+
Сульфаты					
Сульфалюмит				+++	
Метабазалюминит				+	
Ростит				+	
Гидробазалюминит				+	
Алуноген				+++	
Масканьит				++	
Головиковит				+++	
$(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$				+	
Чермитгит				++	
$(NH_4)_3Fe^{3+}(SO_4)_3$				++	
Аммонийорозит				++	
Морит				+	
Ефремовит				++	
$(NH_4)Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$				+	
Буссенготит				+	
Коктаит				+	
$Fe_2^{3+}(SO_4)_3$				+	
Лаузенит				++	
Кокимбит				+	
Копиапит				++	++

Таблица 7 (продолжение)

Минерал	Тип минерализации				
	1	2	3	4	5
Ромбоклаз				+	
Гексагидрит					+++
Эпсомит					+++
Пиккерингит				++	
Астраханит				+	
Лангбейнит				+	
Ангидрит	+++			+	
Гипс				++	+++
Тенардит				+	
Халькокианит [*]	+			+	
Долерофанит [*]	+			+	
Антлерит [*]					+
Брошантит [*]					+
Халькантит [*]					+
Англезит				+	
<u>Флюорэлластацит</u>	+++				
Фосфаты, вольфраматы, бораты					
Фторопатит	+	+	++		
<u>Красносельскит[*]</u>	+				
Вольфрамит [*]	+				
Варвикит	+				
Силикаты					
Оливин		+++			
Форстерит			++		
Фаялит			+++		
Феррифаялит	++				
Гранаты	++				
Ларнит	+				
Спуррит	++				
Норбергит	+		+++		
Хондродит	+		+++		
Андалузит	+				
Топаз	+				
Сфен (титанит)	+		++		
Мелилит	++	++			
Кордиерит и индиалит	+++		+++		
Осумилит	+		++		
Гиперстен		++			
"Моноклинный энстатит"			+		
Салит		+++			

Таблица 7 (окончание)

Минерал	Тип минерализации				
	1	2	3	4	5
Эссенеит	+++				
Фассаит			++		
Эгирин	+				
Волластонит	++	+	+++		
Муллит	+++	+	+++		
Амфиболы	+		+		
Флогопит	+		++		
Биотит	+				
Гиролит			+		
Анортит	+++	+++	+++		
Санидин			+		
<u>Святославит</u>			+		
<u>Лмиштейнбергит</u>			+		
Лейцит		++			
<u>Челябинскит</u>					++
<u>Коркиноит</u>					++
Органические минералы					
Кладноит				++	
<u>Тиннункулит</u>					+

* Встречен только как продукт минерализации металлических предметов.

Примечание. Подчеркнуты новые минеральные виды. 1 - горелые породы; 2 - переплавленные породы (базальтоподобные); 3 - "черные блоки"; 4 - фумаролы; 5 - продукты выветривания. Распространенность: +++ - широкая, ++ - умеренная, + - ограниченная.

Нами составлен список минералов, встречающихся на горелых отвалах угольных бассейнов мира (без минералов исходных пород). Для этого были использованы широко известные минералогические справочники [16] и ряд наиболее детальных описаний [30-34, 65, 72, 78]. Это следующие минералы (согласно химической классификации): самородные элементы - сера, селен; фосфиды - шрейберзит; сульфиды - галенит, пирротин, реальгар, герценбергит, селенид мышьяка, висмутин, отеманнит, берндтит, сульфид германия; галоиды - нашатырь, барарит, криптогалит, $KAlF_4$; окислы и гидроокислы - арсенолит, доунейит, магнетит, гематит, касситерит, кварц, тридимит, кристобалит, опал; карбонаты не указаны; сульфаты - алунит, алуноген, аммонийрозит, ангидрит, буссенготит, гексагидрит, гипс, коктаит, К-квасцы, копиапит, кокимбит, летовицит, лаузенит, масканьит, мелантерит, мендоцит, миллозевичит, Na-квасцы, пиккерингит, ростит, ссомсельнокит, чермигит, эпсомит; силикаты - муллит

каолинит, кордиерит; органические минералы - ацетамид, кладноит, кратохвиллит.

Сопоставление этого списка с табл. 7 выявляет на горелых отвалах Челябинского угольного бассейна около 120 минералов, не обнаруженных в других угольных бассейнах. Это, однако, свидетельствует не об уникальности отвалов Челябинского бассейна, а скорее о систематичности и комплексности их изучения (одной и той же группой изучены все виды минерализаций - от самых высокотемпературных до продуктов гипергенеза).

Более 20 минералов, известных в других бассейнах, в Челябинском пока не обнаружены. Это самородные элементы - селен; фосфиды - шрейберзит; сульфиды - реальгар, герценбергит, селенид мышьяка, висмутин, оттеманнит, берндтит, сульфид германия; галоиды - барарит, криптогалит, $KAlF_4$; окислы и гидроокислы - арсенолит, доунейт, касситерит; сульфаты - К-квасцы, Na-квасцы, алунит, летовицит, мендоцит; органические минералы - ацетамид, кратохвиллит. Необходимо подчеркнуть, что подавляющее большинство минералов этого списка установлено в последнее время в фумарольных отложениях на горелых отвалах Пенсильвании (США) [72]. Возможно, что здесь проявились некоторые геохимические особенности углей и вмещающих пород, детально рассмотренные авторами этого очень интересного исследования [72].

Очень ценным руководством к поиску не открытых еще в горелых отвалах минералов является работа Ш. Гросса о минералах горелых пород свиты Хатрурим в Израиле [67]. В этом труде описаны многие продукты обжига и последующих изменений осадочных пород силикатно-карбонатного состава (мергелей) в естественном залегании. Из общего списка можно выделить ряд минералов, поиски которых на отвалах Челябинского бассейна необходимы и вероятно будут не безуспешны: майенит и другие алюминаты, бруанмиллерит, мервинит, бредигит, нагельшмидтит, хатрурит, ранкинит, куспидин, ксонотлит, фшагит, гиллебрандит, афвиллит, этрингит, цеолиты.

В Челябинском бассейне нами также установлен ряд минералов, образовавшихся на стенках уступов в угольных разрезах (мелантерит, розенит, ремерит, билинит, ссомольнокит) и в подземных горных выработках (мирабилит, тенардит) [15]. Они достоверно диагностированы, но в данную работу из-за специфики нахождения не включены.

ХАРАКТЕРИСТИКИ МИНЕРАЛОВ

Собранный нами обширный материал изучен неравномерно. Наиболее детально исследованы новые минеральные виды и ряд характерных (типоморфных) минералов. Для многих минералов приведены только необходимые для подтверждения диагностики сведения, для каждого - указания о том, кем он был найден определен и изучен. В тех случаях, когда это не оговорено, автором находок, определений и описаний является Б. В. Чесноков.

Определения показателей преломления сделаны в белом свете с погрешностью $\pm 0,002$. Там, где приведены данные определений в высокопреломляющих

средах, погрешности указаны в тексте. Имеются некоторые профессиональные упрощения текста при характеристике минералов. Например: "в закрытой трубке выделяет воду" — значит, что минерал при нагревании в запаянной с одного конца стеклянной трубке выделяет воду, осаждающуюся в виде налета внутри трубки, и т.п. Ссылки на картотеку АСТМ выглядят следующим образом [57]. Два числа после указания порядкового номера этого источника в списке литературы обозначают номер раздела и карточки.

Порядок описания минералов совпадает с порядком их расположения в табл.7.

Самородные элементы

Железо — α -Fe. Кубическая сингония. Обильные мелкие выделения и крупные губчатые скопления железа находятся в глыбах базальтоподобных переплавленных пород на месте бывшего отвала разреза "Коркинский" (дробильный участок). Здесь же отмечены включения измененного угля, превращенного в шунгитоподобное вещество. Значительное количество железа в виде губчатых агрегатов находится в "черных желваках" вместе с ольдгамитом и троилитом. При разбивании кусков пород с железом, выделения железа разламываются и разрываются по совершенной спайности по $\{100\}$. Некоторые зерна по спайности достигают нескольких миллиметров в поперечнике. На плоскостях спайности цвет металла белый, блеск сильный металлический. На открытом влажном воздухе выделения железа довольно быстро ржавеют. В "черных желваках" в мелких полостях встречены кристаллы железа гексаэдрического облика (до 1 мм в поперечнике). Области ребер и вершин таких кристаллов округлены. Поверхность кристаллов покрыта тонкой черной пленкой.

По рентгенографическим данным минерал относится к α -железу. Главные линии на дебаеграмме^I: 2,022(10)(110); 1,432(8)(200), 1,169(9)(211), 1,013(4)(220). Параметр $a_0 = 2,864 \text{ \AA}$, для эталонного α -Fe $a_0 = 2,86 \text{ \AA}$ [16]. На электронно-рентгеновском микроанализаторе ЖХА-5 (Институт геологии и геохимии УрО АН СССР, аналитик В.А.Вилисов) определен химический состав четырех зерен железа в образце с ольдгамитом и троилитом. Содержание компонентов в них колеблется в следующих пределах (мас.%): Fe — 98,35–99,48, Ni — 0,21–0,26, Co — 0,05–0,11, Si — 0,00–0,02. В качестве эталонов использованы соответствующие чистые металлы.

Железо в базальтоподобных породах возникло при изменении сидеритовых ксенолитов, захваченных расплавом, проникшим по ослабленным зонам в негорелые части террикона. Незначительные выделения железа данного типа встречены и на отвале шахты № 45 в Копейске.

В "черных блоках" неоднократно встречались графито-железные псевдоморфозы по кристаллам когенита. Они имеют серо-стальной цвет, металлический блеск и обладают высокой магнитностью. Стальной иглой псевдоморфозы пластически деформируются ("размазываются"). Твердость их вещества около

^I Здесь и далее данные приведены в следующем порядке: $\frac{d}{n}$, \hat{A} (I)(hkl).

4. Они состоят из тонкодисперсного агрегата железа и графита, установленных рентгенографически. Если до разложения когенит был в виде корок или жилок в породе, то за счет их образуются своеобразные "листы жесткости", обладающие способностью сгибаться и звенеть при легком ударе. Отмечались также случаи образования железной "жести" за счет жилок троилита в обогащенных углеродом кусках измененного глинистого сланца. Довольно часто также слои "жести" образуются в "черных блоках" за счет разложения корок когенита или троилита на поверхности железных предметов. Очень широко распространены в "черных блоках" также железо-графитовые псевдоморфозы по кристаллам высокоуглеродистого карбида (предположительно FeC_4). В трещинах усадки в таких псевдоморфозах мелкие кристаллы железа находятся вместе с кристаллами когенита. Кристаллы железа покрыты многочисленными зеркально-гладкими гранями $\{hko\}$ (тетрагексаэдров), имеют серо-стальной цвет, сильный металлический блеск и обладают высокой пластичностью. Наибольшее количество образцов самородного железа из "черных блоков" собрано на разрабатываемом терриконе шахты № 45. На открытом воздухе железо из "черных блоков" также быстро ржавеет. Особенно легко ржавеет тонкодисперсные псевдоморфозы по кристаллам карбидов железа.

М е д ь. Кубическая сингония. Встречена только в виде мелких выделений в продуктах выветривания медьсодержащих металлических предметах. На терриконе шахты Центральная медь в виде мелких редких листовых выделений найдена в агрегатах лимонита и малахита на бронзовой детали механизма. На терриконе шахты Подозерная многочисленные микроскопические выделения меди находятся в массе котуннита, образовавшегося за счет свинцовой оболочки куска медного электрокабеля.

Г р а ф и т - С. Гексагональная сингония. Широко распространен в "черных блоках", где нередко образует отдельные чешуйки и их скопления. Наиболее крупные чешуйки и лентовидные выделения графита находятся на поверхности кусков пород вместе с кристаллами силикатов (волластонита, фаялита, сфена и др.), троилита и когенита. На стенках трещин в кусках древесного угля встречены наиболее крупные листочки (до 1 мм и более) и их очень рыхлые скопления. Некоторые листочки графита были сферически выпуклы наподобие слюды, образующей широко известный "барботов глаз". Дебаграмма графита из "черных блоков" соответствует эталонной.

Графит входит также в состав псевдоморфоз по кристаллам когенита и высокоуглеродистого карбида железа. Псевдоморфозы по такому карбиду нередко имеют вид типичного клифтонита (см. ниже).

Как отмечалось, основная часть углеродистого вещества, "черных блоков" представлена тонкодисперсным рентгеноаморфным углеродом типа газовой сажи. Графит преобладает в участках, претерпевших наиболее сильное и длительное прокаливание. Выделения графита в кусках пород и на их поверхности в значительной степени - продукт диссоциации CO_2 , выделившийся при термическом разложении карбонатов.

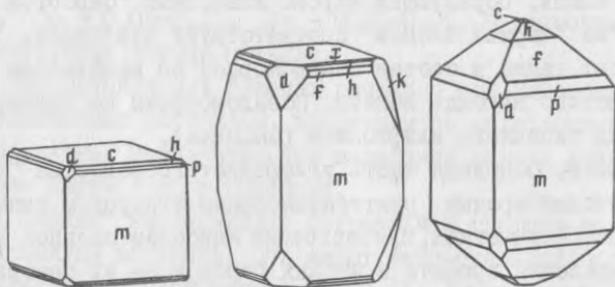
С е р а - α -S. Ромбическая сингония. Обычная составная часть асфальтоподобных кор, где она находится в виде мелких кристаллов (1 мм

и менее) светло-желтого или коричневатого цвета. Количество ее в некоторых участках кор достигает десятков процентов по объему. Под корами на стенках трещин усадки в отвальной массе сера иногда образует значительные скопления, состоящие из светло-желтых кристаллов остропирамидального облика (главная форма $\{III\}$) и их скелетных агрегатов. Наиболее крупные индивиды достигают 5 мм по $\{001\}$. По морфологии сера в таких скоплениях очень сходна с серой горелых терриконов Донбасса [30]. Незначительные выделения серы встречены в материале "черных блоков", в обычном горельнике, фумаролах с сульфатами и хлоридами и в продуктах выветривания. Игольчатые желтоватые прозрачные кристаллы моноклинной серы (?) найдены Т.П.Нишанбаевым в материале асфальтоподобной коры восточного террикона шахты Глубокая летом 1987 г.

Карбиллы железа

Когенит - Fe_3C . Ромбическая сингония. Мелкие (доли миллиметра) кристаллы когенита местами в изобилии встречаются в "черных блоках" террикона шахты № 45. Иногда они сплошной коркой покрывают стенки трещин в кусках бывших алевритов и аргиллитов, а также и поверхность некоторых кусков. Обычны кристаллы когенита в землистой и кавернозной черной массе между кусками пород. Наиболее крупные кристаллы (1-2 мм) встречены на стенках трещин в кусках древесного угля. Обычными спутниками когенита являются: моносulfиды железа, графит, фаялит, волластонит, анортит, хондродит, норбергит, сфен, муллит, осумилит, беллаит, псевдоморфозы по высокоуглеродистому карбиду железа. Очень часто основанием для индивида когенита служила именно такая псевдоморфоза. Когенит также нередко замещает железные предметы и образует на них мелкокристаллические корки.

Главными формами когенита во многих случаях являются $m\{110\}$ и $c\{001\}$ (рис.16). Нередки также кристаллы короткопризматического облика с хорошо развитыми гранями бипирамид $f\{112\}$ и $h\{113\}$ и со слабо развитым или отсутствующим базопинакоидом $s\{001\}$. Грани $\{001\}$ и бипирамид гладкие и блестящие. Грани $\{110\}$ имеют своеобразный геометрический рельеф, нередко с резко выраженными бугорками роста.



Р и с.16. Кристаллы когенита

$c\{001\}$, $m\{110\}$, $d\{101\}$, $k\{021\}$, $p\{111\}$,
 $f\{112\}$, $h\{113\}$, $x\{117\}$

Цвет неизменных кристаллов когенита яркий светло-желтый до желто-вато-белого, он сохраняется и в свежем изломе. Большинство кристаллов обла- дают яркими цветами побежалости - от розовых и малиново-красных до густых синих тонов, переходящих в синевато-серые ("вороненные"). В последнем слу- чае рентгенографически устанавливается, что пленка изменений представлена гематитом. Образование побежалости и дальнейшее окисление когенита проис- ходит в тех случаях, когда горячая масса "черного блока" оказывается на поверхности забоя. Если эта масса была очень горячей, то когенит в ней "сторае" (вместе с углеродистым веществом и сульфидами).

Черта когенита черная, блеск сильный металлический (сильнее, чем у пирита). Твердость около 7, хрупкий. Излом раковистый, спайности не наб- людалось. Плотность высокая. В кислотах без нагревания заметно не раство- ряется. Сильно магнитен. Перед паяльной трубкой не плавится, в закрытой трубке возгонов не дает.

Порошковая диаграмма (табл.8) соответствует эталонному когениту (цементиту). Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 4,536 \pm 0,002 \text{ \AA}$, $b_0 = 5,057 \pm 0,002 \text{ \AA}$.

Т а б л и ц а 8

Порошковые диаграммы пробы 054-107 когенита (1) и эталонного когенита (цементит) (2)

1		2 [18]		
I	d изм. А	I	d	hkl
9	2,39	100	2,38	012
7	2,27	50	2,26	200
7	2,22	50	2,213	120
10	2,11	60	2,104	121
10	2,07	50	2,065	210
10	2,02	100	2,001	022
10	1,980	60	1,971	211
8	1,876	50	1,864	113
9	1,854	75	1,850	122
7	1,765	50	1,756	212
7	1,689	50	1,682	004
7	1,610	50	1,583	130
8	1,331	50	1,327	230
7	1,224	50	1,223	140
8	1,214	50	1,214	322
8	1,162	75	1,160	233
7	1,151	50	1,150	134
9	1,127	75	1,126	330

Примечание. 1 - $\text{FeK}_{\alpha 1}$; $D = 57,3 \text{ мм}$, $d = 0,3 \text{ мм}$, эталон Ge.

Аналитик А.Ф.Бупмакин (СТИ).

$c_o = 6,755 \pm 0,003 \text{ \AA}$. Содержание углерода 7,23% (анализ выполнен в лаборатории Уральского автозавода). Повышенное его значение (против 6,69% в Fe_3C) связано с примесью графита в пробе.

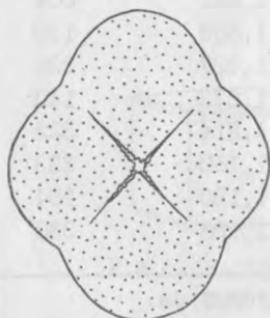
Часто на кристаллы когенита нарастают мелкие кристаллы фаялита, образующие иногда сплошную корочку. В трещинах древесного угля встречены сростания кристаллов когенита с кристаллами троилита и анортита. Характер сростаний (индукционные поверхности) свидетельствует об одновременной кристаллизации этих пневматолитовых минералов.

Мелкие и довольно редкие выделения когенита присутствуют в полированных шлифах самородного железа из базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский.

Неоднократно встречались продукты эндогенного разложения когенита в виде графито-железных псевдоморфоз по его кристаллам и жилкам. В тлеющем "черном блоке" когенит сторает, от его кристаллов остаются пористые комочки тонкодисперсного гематита. На открытом сыром воздухе когенит быстро ржавеет. В стенках забоя такое разрушение кристаллов происходит за несколько месяцев. В условиях обычного помещения за 4 года кристаллы заметно не изменились. Когенит в отвалах найден и определен Б.В.Чесноковым летом 1986 г. (изучен и описан Б.В.Чесноковым и Т.П.Нишанбаевым).

Высокоуглеродистый карбид железа - (FeC_4 (?)). Кубическая сингония (?). В "черных блоках" террикона шахты № 45 собрано много железных предметов (куски листов и прутков, детали механизмов), очень сильно карбидизированных. Некоторые из них почти не содержат неизмененного металла. Они покрыты корками моносльфидов железа и когенита. Последний также интенсивно развивался в виде отдельных зерен и агрегатов в массе металла. Но более значительную роль в объеме предметов играют железо-графитовые псевдоморфозы по неизвестному высокоуглеродистому карбиду железа.

Наиболее крупные псевдоморфозы (до нескольких миллиметров в поперечнике) имеют вид сфероидов, овоидов и более сложную форму (рис.17). Более мелкие псевдоморфозы (около 1 мм) в разрезе имеют округло-полигональные очертания, чаще всего четырех-, пяти- или шестиугольные. Чем крупнее псевдоморфоза, тем более выпуклы стороны таких многоугольников.



Р и с. 17. Поперечный разрез железо-графитовой псевдоморфозы по кристаллу высокоуглеродистого карбида железа

На стенках х-образной полости находятся мелкие кристаллы когенита и железа

Крупные псевдоморфозы сложены из шести "секторов" (в разрезе обычно наблюдаются четыре из них). В центральной части сростка почти всегда имеются щелевидные полости, по-видимому, из-за усадки вещества псевдоморфозы.

В изломе вещество псевдоморфоз тонкозернистое, серо-черного или черного цвета, сильно магнитное. По рентгенографическим данным, оно сложено графитом и железом. Содержание графита составляет 53,3% (определено после выщелачивания железа соляной кислотой из растертого в порошок материала).

Поверхность металлического предмета над крупными псевдоморфозами вздута бугром. В ряде случаев вершина бугра полопалась и через отверстие произошла экструзия вещества псевдоморфозы. На поверхности металла, граничащей с такой псевдоморфозой, видны резко выраженные шрамы и штрихи (зеркала скольжения). Все это указывает на то, что при псевдоморфизации произошло значительное увеличение объема тела. Если псевдоморфоза находится в глубине металла, вокруг нее наблюдается резко выраженная узкая зона смятия агрегата металлических зерен.

Мы считаем, что псевдоморфизации подвергались кристаллы неизвестного карбида железа с очень высоким содержанием углерода. Определенному нами содержанию графита (53,3%) больше всего соответствует кристалл состава FeC_5 (51,82% C). Принимая во внимание то, что в пробу попала часть материала из приповерхностных псевдоморфоз (потерявших часть железа), альтернативным (и предпочтительным) вариантом формулы будет FeC_4 (46,24% C). Такие высокоуглеродистые соединения железа в литературе не отмечались [9, 23]. При распаде подобных веществ на железо и графит объем тела должен значительно возрасти за счет образования относительно "рыхлых" кристаллов углерода со структурой графита.

Экструдировавшие на поверхность предмета порции железо-графитового вещества псевдоморфоз потеряли часть, а иногда практически все железо (под действием горячих газов). Псевдоморфозы в глубине металла видимых следов подобного процесса не обнаруживают.

Трещины усадки, очевидно, возникли после окончания процесса псевдоморфизации. На их стенках находят мелкие кристаллы когенита и железа (см. описание железа). Многие псевдоморфозы также рассечены тонкими жилками когенита.

Псевдоморфозы по кристаллам высокоуглеродистого карбида широко распространены на поверхности кусков порока и на стенках трещин в них в "черных блоках". Размер их здесь редко превышает 1 мм. Форма гексаэдрическая и ромбододекаэдрическая, но чаще псевдоморфозы имеют вид изометричных комочков. Последние иногда почти не содержат железа и представлены рыхлыми агрегатами графита. Некоторые гексаэдры ограничены снаружи шестью крупными чешуйками графита напообие стенок шестигранной коробочки. Внутренние части "коробочек" заполнены рыхлым чешуйчатым агрегатом графита. Таким образом, псевдоморфозы по кристаллам высокоуглеродистого карбида железа практически во всем аналогичны широко известному клифтониту [75].

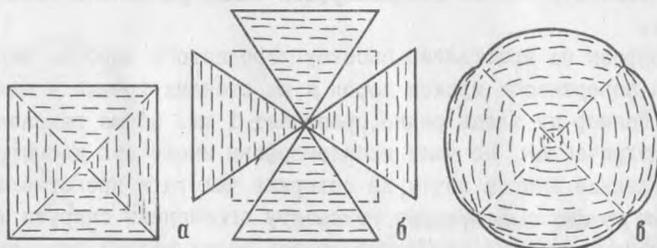
Псевдоморфозы с высоким содержанием железа находятся только в тонких трещинах внутри крупных кусков порош или же в виде включений в кристаллах когенита. В таких местах они в значительной степени были предохранены от выноса железа. Очень часто псевдоморфозы покрыты монокристалльной коркой когенита.

Необходимо подчеркнуть, что изменению со значительным выносом железа подвергаются и псевдоморфозы железа и графита по кристаллам когенита. В ряде случаев уносится и графит, а от бывшего кристалла карбида остается только едва заметный отпечаток на поверхности субстрата или полость в друзовых сростаниях его с другими минералами (например, с осумилитом, с которым он имел сростания с индикционными поверхностями). Во многих случаях трудно решить, является ли псевдоморфоза измененным когенитом или иным карбидом. Но законсервированные в металле или в породе псевдоморфозы всегда отличаются низким содержанием железа.

Предлагается следующее объяснение необычной формы псевдоморфоз, находящихся в металле. Известно, что клифтонит отличается тем, что индивиды графита в нем ориентированы плоскостями слоистости $\{0001\}$ параллельно граням куба $\{100\}$ исходного кристалла. Вследствие этого куб клифтонита оказывается сложенным из шести пирамид, сходящихся вершинами в центре псевдоморфозы. Основанием каждой пирамиды является одна из шести плоскостей куба. В каждой пирамиде плоскости $\{0001\}$ индивидов графита параллельны основанию, т.е. $\{100\}$ куба.

Мы считаем, что исходной формой кристаллов высокоуглеродистого карбида железа был куб или комбинации с другими формами (рис.18, а). На рисунке кристалл показан в разрезе по $\{100\}$, проходящем через центр индивида. Штриховые линии обозначают границы пирамид нарастания и ориентировку плоскостей $\{0001\}$ индивидов графита, которые будут выделяться при разложении карбида.

При разложении карбида в объеме кристалла будут выделяться две кристаллические фазы - графит и железо. Поскольку структура графита в направлении $\perp \{0001\}$ характеризуется большими межплоскостными (и межатомными) расстояниями, приращение объема в каждой пирамиде при распаде карбида будет резко анизотропным: основной прирост объема будет происходить в на-



Р и с.18. Стадии формирования железо-графитовой псевдоморфозы по кристаллу высокоуглеродистого карбида железа

правления $\{0001\}$ индивидов графита (т.е. вдоль осей L_4 каждой из шести пирамид). Если окружающая среда не будет оказывать сопротивления расширению пирамид, кристалл "развалится" на пирамиды, разделенные "клиньями" свободного пространства (см.рис. 18, б).

Если разложение кристалла карбида идет в окружении металла, оказывающего значительное сопротивление расширению псевдоморфозы, то плоские основания всех шести пирамид превратятся в выпуклые, а клиновидных полос-тей между пирамидами, естественно, не образуется. На границах пирамид возникают напряжения, что затем (после образования псевдоморфозы) выражается в образовании трещин усадки по этим плоскостям (см.рис. 17). При полной псевдоморфизации кристалла возникает характерная бугристая псевдоморфоза (рис. 18, в). Во внешней ее зоне плоскости $\{0001\}$ индивидов графита расположены по касательной к поверхности бугров.

Чем меньше размеры псевдоморфоз и чем глубже они расположены от поверхности металлического предмета, тем слабее выражена рассмотренная выше бугристость. Это естественно, поскольку при высоком сопротивлении окружающего металла все более возрастает роль тангенциального течения вещества пирамид, приводящего к уменьшению степени анизотропии рассмотренного механизма. В таких условиях поверхность псевдоморфозы стремится к шаровидной.

Если кристалл карбида находится близко к поверхности предмета, то в этом направлении одна из пирамид резко вытягивается, нарушая симметричность фигуры псевдоморфозы. Когда псевдоморфозы находятся в металлическом листе, резко удлинены их две противоположные пирамиды (см.рис. 17).

В тех случаях, когда кристалл находился на поверхности куска поро-ды или на стенке открытой трещины, внешняя среда не оказывала сопротивления его расширению и он превращался в рыхлый комок, "разваленный" на шесть нечетко выраженных пирамид. Наиболее мелкие псевдоморфозы в этих случаях довольно хорошо сохранили форму гексаэдра. В связи с этим следует отметить, что более четкое "разваливание" кристалла на пирамиды нами наблюдалось на псевдоморфозах портландита по извести (см.рис. 30).

Нами были предприняты попытки обнаружить "высокобарические" формы углерода (алмаз и др.) в псевдоморфозах, где внутреннее давление при разложении карбида было максимальным (т.е. формы, выделенные из массивных железных предметов). Отрицательный результат этих предварительных попыток, по нашему мнению, не может считаться окончательным до проведения систематических исследований в данном направлении.

Сульфиды

Троилит - FeS . Пирротин - $Fe_{1-x}S$. Гексагональная сингония. Моносульфиды железа-троилит и пирротин широко распространены в "черных блоках" и переплавленных базальтоподобных породах. Внешних отличий между ними мы не установили. Диагностика проведена только на основании рентгенографических данных по известной методике [56]. Она основана на анализе положения отражений (114) у троилита и (102) у гексагонального пирротина (лифрактометр ДРОН-2,0).

Параметры элементарной ячейки троилита (7 проб) варьируют в следующих пределах:

$$a_0 = 5,956 - 5,967 (\pm 0,001) \text{ \AA};$$

$$c_0 = 11,741 - 11,752 (\pm 0,001) \text{ \AA}.$$

Эти вариации соответствуют колебаниям в содержании железа [56] в пределах 49,77-50,30 ($\pm 0,25$) ат. % Fe, что близко к стехиометрии FeS. Параметры элементарной ячейки пирротина (3 пробы) следующие:

$$a_0 = 3,446 - 3,452 (\pm 0,001) \text{ \AA};$$

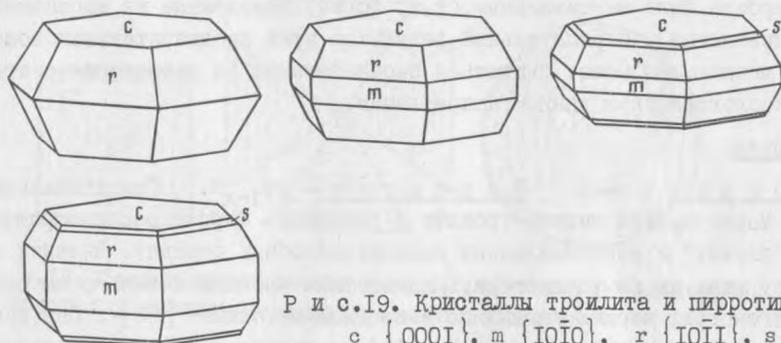
$$c_0 = 5,589 - 5,750 (\pm 0,001) \text{ \AA}.$$

Это соответствует колебаниям в содержании железа [56] в пределах 48,04-48,23 ($\pm 0,25$) ат. % Fe.

Большинство образцов троилита немагнитно или слабо магнитно. Но нередко встречается и магнитный троилит. Причина этого не установлена. Возможно, что такие образцы содержат тонкодисперсную примесь самородного железа. Пирротин сильно магнитен.

В "черных блоках" троилит и пирротин обычно находится в виде отдельных таблитчатых кристаллов до 1-3 мм (нередко более) в поперечнике. Они нарастают на поверхность кусков порол и на стенки трещин в них. Иногда кристаллы образуют сплошные корки. Главными формами являются $c \{0001\}$ и $r \{10\bar{1}1\}$; нередко довольно широко развиты $m \{10\bar{1}0\}$, $s \{10\bar{1}2\}$ и др. (рис. 19). Очень часто грани кристаллов гладкие и блестящие, но нередко они покрыты тонкими сложными ступеньками слоев роста. В кавернозных магнетито-сульфидных агрегатах, образовавшихся в "черных блоках" при разложении сидеритовых порол, обычны таблитчатые кристаллы пирротина, ограниченные только $\{0001\}$ и $\{10\bar{1}0\}$.

Цвет кристаллов бронзовый, блеск металлический. Очень часто кристаллы имеют побежалость ярких цветов (начальные стали окисления в гематит). Кристаллы, подвергшиеся более сильному окислению (при вскрытии горячего "черного блока" экскаватором), имеют темный голубовато-серый цвет. Кристаллы очень хрупкие, излом раковистый. При хранении образцов, извлеченных горячими из забоя, кристаллы почти всегда растрескиваются.



Р и с.19. Кристаллы троилита и пирротина
 $c \{0001\}$, $m \{10\bar{1}0\}$, $r \{10\bar{1}1\}$, $s \{10\bar{1}2\}$

В "черных блоках" вместе с кристаллами моносulfидов железа на поверхности кусков и на стенках трещин обычно находят кристаллы когенина, псевдоморфозы по высокоуглеродистому карбиду, кристаллы фаялита, волластонита, муллита, выделения графита и других минералов. Были встречены сростания троилита с когенином, имеющие индукционные поверхности соприкосновения, что указывает на их совместный рост. Троилит часто нарастает на псевдоморфозы графита и железа по высокоуглеродистому карбиду. Отмечались случаи нарастания троилита на кристаллы анортита.

Каверзные рудные агрегаты, возникшие при изменении силеритовых пород в "черных блоках", часто содержат капли и слитки троилита, морфология которых позволяет утверждать, что это затвердевшие порции расплава (температура плавления троилита 1193°C [28]). Наиболее крупные слитки достигают 5-10 см в поперечнике. На их поверхности нарастают мелкие таблитчатые кристаллы пирротина в форме $\{0001\} + \{10\bar{1}0\}$. Наблюдалось признаки плавления и таблитчатых кристаллов троилита на поверхности кусков порола и троилитовых корок на железных предметах. Встречены рыхлые коробчатые реликты таблитчатых кристаллов троилита, вещество которых почти полностью унесено горячими газами.

На железных предметах моносulfиды железа образуют наружную кристаллическую корку, под которой находится корка когенина или иоцита. Как уже отмечалось, нередко такие корки превращаются в тонкий слой железной "жести", легко отгеляющейся от измененного железного предмета.

В базальтоподобных породах (отвал разреза Коркинский) троилит образует неправильные (иногда каплевидные) выделения и зернистые сростания с железом и ольпгамитом. Микросондовым анализом (ЖА-5. Институт геологии и геохимии УрО АН СССР, аналитик В.А.Вилисов) в этом троилите установлены примеси (в мас. %): 0,50-Mn; 0,29-Cu (среднее из трех зерен).

При тлении порол "черного блока" внутри отвала или в экскаваторном забое троилит и пирротин сгорают, превращаясь в тонкозернистые пористые комочки голубовато-серого гематита. На поверхности отвала моносulfиды железа превращаются в гидроокислы железа, но гораздо медленнее, чем когенин. Некоторые кристаллы остаются относительно свежими даже несколько лет. Многое зависит от состава атмосферы в данном месте. Если данная часть отвала "газит", разрушение sulfидов на поверхности пород происходит очень быстро (недели, месяцы). Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков и Т.П.Нишанбаев.

П и р и т - FeS_2 . Кубическая сингония. Встречается редко. В "черных блоках" террикона шахты № 45 иногда образует тонкозернистые корки на поверхности кусков пород. Суля по форме выделений, здесь он, возможно, образует псевдоморфозы по кристаллам марказита, заместившего троилит и пирротин. Дебаеграмма соответствует эталонной: $a_0 = 5,410 \text{ \AA}$.

Х а л ь к о п и р и т - CuFeS_2 . Тетрагональная сингония. Встречен как продукт изменения кусков мелкого тролейного провода в "черных блоках" террикона шахты № 45. Халькопирит пропитывает мелкообломочный пористый

черный материал вокруг частей провода на расстояние по 2 см. На месте провода находится полость (сохранившая исходную форму металла) с рыхлыми пролуктами зеленовато-серого цвета (не диагностировались).

Халькозин - Cu_2S . Моноклинная сингония. Встречен на отвале шахты Глубокая как продукт изменения куска мелкого кабеля в асфальтоподобной коре. Халькозин слагает внутреннюю (ближнюю к металлу), а ковеллин - внешнюю части корки.

Ковеллин - CuS . Гексагональная сингония. Как продукт изменения мели находится вместе с халькозином в виде темно-синей мелкозернистой корочки. Дебаеграмма соответствует эталонной.

Галенит - PbS . Кубическая сингония. Образует мелкие выделения в пролуктах окисления свинцового слитка, возникшего при плавлении свинцовой оболочки мелкого кабеля, помещенного в фумаролу на терриконе шахты Северная.

Ольгамит - CaS . Кубическая сингония. Является одной из главных составных частей "черных желваков" в базальтоподобных породах отвала разреза Коркинский (пробильный участок). Сопровождается губчатым самородным железом, троилитом, графитом, тонкодисперсным углеродистым веществом, железистым периклазом, баженовитом, флюоритом и рядом еще не диагностированных минералов.

Ольгамит образует мелкозернистые светло- или темно-серые агрегаты, содержащие примесь железа и других минералов. Зерна изометричные, по 1 мм в поперечнике. Темный цвет агрегатам в основном придают зеленовато-серые, почти черные, тонкодисперсные пленки между зернами ольгамита. В мелких полостях встречаются кристаллы ольгамита в виде нечетко выраженных гексаэдров с округленными ребрами и вершинами.

Спайность зерен ольгамита совершенная по $\{100\}$. Спайные обломки прозрачны, от почти бесцветных до коричневатых. Блеск алмазный, черта белая. Твердость 3, очень хрупок. В ультрафиолетовых лучах (360 нм) светится красновато-коричневым цветом. Плотность $2,63 \pm 0,01$ г/см³ (определено уравниванием чистых спайных обломков в растворе бромформа и этанола). Расчетная плотность $2,608$ г/см³. Незначительное превышение определенной плотности над расчетной обусловлено наличием в ольгамите небольшого количества микроскопических включений железа (менее 0,01 мм), установленных в полированных шлифах под микроскопом. Перел паяльной трубкой не плавится, сильно светится и окрашивает пламя в красный цвет (Ca). При прокаливании в закрытой трубке практически не изменяется, налетов не дает. Порошок ольгамита в воле медленно разлагается с выделением H_2S . В HCl ольгамит бурно вскипает, выделяя H_2S . На фотоэмульсии с каплей воды порошок дает черное пятно (реакция на S). В прозрачных шлифах и в иммерсионных препаратах бесцветен, оптически изотропен, $n \approx 2,19$ (определено в сплавах). В полированных шлифах серый с беловатыми внутренними рефlekсами. Обычны треугольные ямки выкалывания (как у галенита).

Дифрактограмма ольггамита (табл. 9) соответствует эталонной:
 $a_0 = 5,696 \pm 0,001 \text{ \AA}$ (у эталона $a_0 = 5,697 \text{ \AA}$).

Л.Ф.Баженовой выполнен химический анализ пробы 0107-486 ольггамита (в мас.%): 50,86 Ca; 39,07 ; 2,49 Fe; Mn не обнаружен; 0,53 H₂O; 6,60 нерастворимых остатков (сумма 99,55).

В материале пробы присутствовала примесь железа и портландита. Поэтому при пересчетах анализа исключены железо, вода и соответствующее количество кальция. Нерастворимый остаток в основном представлен тонкодисперсной серой (дифрактограмма). Эмпирическая формула ольггамита: $Ca_{1,01}S_{1,00}$, что близко к стехиометрии (пересчет при $S = 1,00$).

Микронзондовый анализ трех зерен ольггамита (ЖХА-5, Институт геологии и геохимии УрО АН СССР, аналитик В.А.Вилисов) дал следующие результаты (в мас.%): 55,24 Ca; 45,42 S; 1,12 Fe; 0,10 Mg; 0,08 Cu (сумма 101,96).

Содержание серы соответствует расчетному содержанию ее в CaS (44,45%). Количество катионов несколько завышено. Однако микронзондовый анализ показывает, что в решетке ольггамита железо присутствует. Возможно, это обусловило коричневатый оттенок многих зерен ольггамита.

Ольггамит в "черных желваках" рассекается жилкообразными выделениями баженовита. По-видимому, баженовит местами развивается за счет ольггамита. В разработанном отвале в плохо законсервированных "черных желваках" ольггамит замещается портландитом, что сопровождается выделением желтоватой или белой тонкодисперсной серы.

Необходимо отметить, что при обсуждении результатов изучения некоторых минералов с горелых терриконов Донбасса Л.И.Карякин [4] предположил, что в продуктах горения отвалов может встретиться ольггамит, известный в то время только в составе метеоритов. С удовлетворением подтверждаем этот прогноз.

Т а б л и ц а 9.

Порошковые дифрактограммы ольггамита, проба 0107-486 (1) и эталонного ольггамита (2)

1				2 [57, 8-464]	
I	$d_{изм}, \text{ \AA}$	$d_{выч}, \text{ \AA}$	hkl	I	$d, \text{ \AA}$
<1	3,239	3,239	111	<1	3,28
10	2,851	2,848	200	100	2,846
8	2,011	2,014	222	70	2,013
1	1,724	1,717	311	<1	1,717
4	1,645	1,644	222	21	1,6439
3	1,423	1,424	400	10	1,4238
7	1,274	1,274	420	20	1,2737

Примечание. 1 - дифрактометр ДРОН-2,0; CuK_{α} (монохроматор).

По-видимому, находка ольпгамита в горелых отвалах Челябинского угольного бассейна является первой находкой земного ольпгамита. До этого он был известен только в составе метеоритов. Сообщение об ольпгамите из вулканитов Кавказа [17] с 1972 г. не получило подтверждения. Ольпгамит найден и определен Б.В.Чесноковым осенью 1985 г. (Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков и Т.П.Нишанбаев).

Ба ж е н о в и т - $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Моноклинная сингония. Новый минерал - водный полисульфид-тиосульфат-гидроксид кальция найден Б.В.Чесноковым летом 1984 г. в "черных желваках", включенных в базальто-подобные породы отвала разреза Коркинский (дробильный участок). Основные сборы минерала сделаны им совместно с С.В.Ефремовым осенью 1985 г. Минерал получил название баженовит (*bazhenovite*) в честь ветеранов Ильменского заповедника А.Г.Баженова (петрографа и геохимика) и Л.Ф.Баженовой (химика-аналитика, выполнившей анализы ряда новых минералов, в том числе и баженовита).

Баженовит - обычная составная часть "черных желваков". Он образует в агрегатах ольпгамита, железа, троилита отдельные включения и скопления, жилки и кристаллы на стенках небольших полостей. Содержание его в желваке не превышает 1-2%. Наиболее крупные выделения достигают 1 см в поперечнике. Кристаллы удлиненно-пластинчатые, вытянутые по [001] (рис.20), достигающие в этом направлении 5 мм. Главной формой является $b\{010\}$. Менее развиты $m\{110\}$, $u\{011\}$, $o\{\bar{1}11\}$, $k\{\bar{1}01\}$ и ряд других, слабо выраженных. Почти всегда кристаллы состоят из параллельно сросшихся индивидов, распространены двойники по $\{hko\}$. Кристаллы измерены на гониометре ZRG - 3 и при помощи столика Федорова и бинокулярной лупы [46] (табл. 10). Точность измерения невысокая из-за несовершенства кристаллов.

Т а б л и ц а 10

Сферические координаты граней кристалла баженовита

Грань	φ	ρ
$b\{010\}$	$0^{\circ}00'$	$90^{\circ}00'$
$m\{110\}$	64°	$90^{\circ}00'$
$u\{011\}$	$50^{\circ}30'$	$36^{\circ}30'$
$o\{\bar{1}11\}$	-50°	36°
$k\{\bar{1}01\}$	-90°	$0^{\circ}30'$

Примечание. Геометрические константы: $a:b:c=0,4757:1:0,4706$ ($a_0:b_0:c_0=0,4837:1:0,4717$ (см ниже)).

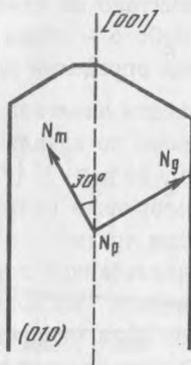
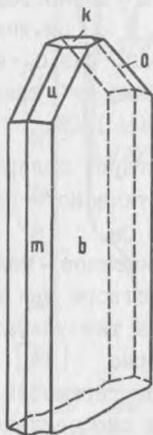
Цвет баженовита оранжевый (до желтого). Черта светло-желтая. Блеск сильный стеклянный, приближающийся к жирному. Агрегаты параллельно сросшихся пластинок имеют перламутровый блеск. Тонкие кристаллы прозрачны,

зерна просвечивают или тоже прозрачные. В ультрафиолетовых лучах (360 нм) не люминесцирует. Спайность по {010} (уплощение) очень хорошая, как у гипса. Излом неровный. Крупок, но тонкие листочки проявляют гибкость. Твердость по Моосу 2. Плотность $1,83 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в бромоформе с ксилолом).

Перед паяльной трубкой не плавится (плавкость ~ 6), выделяет SO₂, сильно светится; после прокаливания - белый. Смоченный HCl, окрашивает пламя в красный цвет (Ca). В закрытой трубке выделяет обильные налеты воды и серы. В воле (особенно в горячей) разлагается с выделением серы; остаток белый и рыхлый. В HCl интенсивно разлагается с выделением серы и сероводорода; остаток белый и рыхлый. Кусочек баженовита, помещенный на фотоэмульсию и смоченный каплей H₂O, дает черное пятно (S).

Оптические свойства баженовита определены в белом свете. Двуосный, положительный, $n_g = 1,697 \pm 0,003$; $n_m = 1,619 \pm 0,002$; $n_p = 1,595 \pm 0,002$; $n_g - n_p = 0,102$. $N_p = [010]$, $N_g = [100]$, $\alpha N_m = 30^\circ$ (рис.21). $2V_{выч} = 60^\circ 20'$. Плеохроизм сильный: N_p - густой зелено-желтый, N_g - зеленовато-желтый, N_m - бледный зеленовато-желтый; $N_p > N_g > N_m$.

Химический анализ минерала выполнен Л.Ф.Баженовой в лаборатории Ильменского заповедника (табл.11). Кальций определен из отвальной навески комплексометрическим методом. Для определения общей серы (S⁰) серу окисляли до сульфата, сплавления навеску минерала с содой в присутствии окислителя [27]. Определение тиосульфатной (S^T) и сульфидной серы (S^C) проводилось следующим образом. Навеску минерала помещали в небольшую химическую колбу с притертой пробкой и приливали туда свежеприготовленную суспензию углекислого кальция (0,5 г CaCO₃ + 15 мл H₂O). Содержимое колбы систематически взбалтывали и оставляли на ночь. При взаимодействии с карбонатом кальция полисульфид кальция лавал CaS_x , а ионы



Р и с .20. Кристалл баженовита

b {010}, m {110}, u {011}, o {111}, k {101}

Р и с.21. Оптическая ориентировка баженовита в плоскости (010)

$S_2O_3^{2-}$ переходили в раствор. На следующий день осалок отфильтровывали и определяли тиосульфатную серу иодометрическим методом [41; 80]. В осалке сульфидная сера определялась также иодометрическим методом [27]. Полисульфидная сера определена как разность: $S^{\Pi} = S^{\circ} - (S^c - S^T)$ (см. табл.11). Зола определена на дериватографе.

Т а б л и ц а II

Химический состав баженовита и синтетического $CaS_5 \cdot CaS_2O_3 \cdot 6Ca(OH)_2 \cdot 20H_2O$ (в мас.%)

Компоненты	1	2	3	4	Пересчет анализа 3 на Ca =8,00
Ca	28,12	-	27,58	27,70	8,00
S°	19,56	-	19,56	19,39	7,10
S^c	6,11	} 13,40	6,11	2,77	2,22
S^{Π}	7,25		7,25	11,08	2,63
S^T	6,20	-	6,20	5,54	2,25
Fe	1,34	-	-	-	-
H_2O°	-	41,90	40,66	40,47	-
H_2O^{Γ}	-	10,20	9,46	9,33	12,20
H_2O^K	-	31,70	31,20	31,13	20,14
O	-	-	12,20	12,44	-
Сумма	-	-	100,00	100,00	-

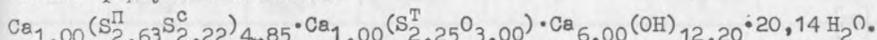
Примечание. 1 - химический анализ (проба 0107-48); 2 - термографический анализ; 3 - скорректированные данные для 1 и 2 (см. текст); 4 - рассчитано по идеальной формуле $CaS_5 \cdot CaS_2O_3 \cdot 6Ca(OH)_2 \cdot 20H_2O$ [71]. H_2O : о - общая, г - гидроксильная, к - кристаллизационная. Кислород определен по разности от суммы 100%.

В целом результаты анализов хорошо соответствуют содержаниям компонентов, вычисленным по идеальной формуле синтетического соединения $CaS_5 \cdot CaS_2O_3 \cdot 6Ca(OH)_2 \cdot 20H_2O$ [71] (см. табл.11, Ca, S° , S^T и H_2O). Повышенное содержание сульфидной серы и заниженное - полисульфидной объясняется переходом части S^{Π} в S^c в растворе при производстве анализа. Часть полисульфидной серы могла перейти в тиосульфатную при изменении пробы минерала на воздухе, что характерно [44].

Данные анализов были скорректированы с учетом примесей в пробе (см. табл.11, 3). Железо не учитывалось, поскольку оно связано с примесью мелких частиц самородного железа. В баженовите железо если и присутствует, то в очень незначительном количестве, так как после прокаливания он становится белым (на белом фоне частиц видны редкие мелкие буро-черные вкрапления окислов железа, образовавшихся при окислении самородного желе-

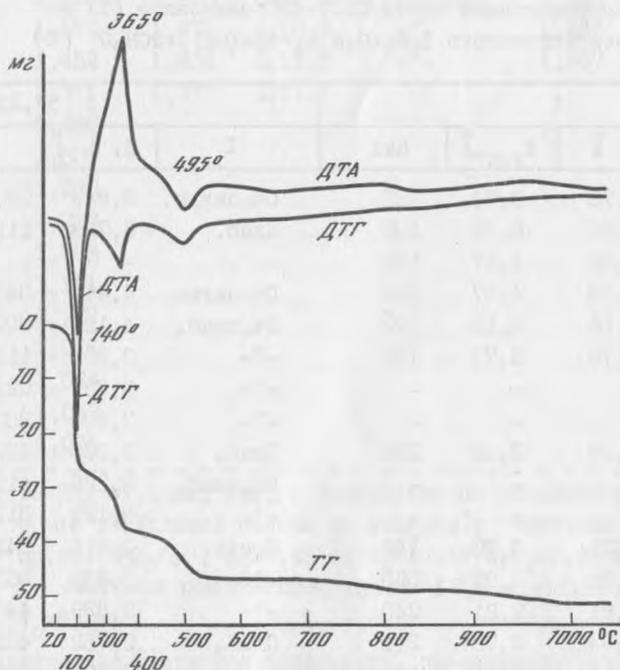
за. Учтена также примесь 1% адсорбированной воды и 1% портландита (продукт частичного гидролиза материала пробы).

Пересчет анализа при условии $\text{Ca} = 0,00$ приводит к следующей эмпирической формуле баженовита:



Идеальная формула $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ соответствует химической формуле синтетического ромбического аналога [71].

Дериватограмма баженовита (рис.22) получена на дериватографе системы Паулик и Эрлеи в лаборатории Ильменского заповедника аналитиком Т.С.Корниловой. На ней имеется ряд характерных эффектов: глубокий эндотермический с максимумом 140°C – выделение кристаллизационной воды (31,7 мас.%); резкий экзотермический с максимумом 365° – потеря полисульфидной и сульфидной серы (13,4 мас.%); эндотермический с максимумом 495° – потеря гидроксильной воды (10,2 мас.%). При дальнейшем нагревании проба теряет еще 4,3% (часть тиосульфатной серы?). Дифрактограмма свежего пролукта прокаливания пробы до 1000°C указывает на наличие CaO (известки) с незначительной примесью CaSO_4 (ангидрита). Таким образом, термический анализ подтверждает кристаллохимическую природу баженовита, выраженную приведенной выше идеальной формулой.



Р и с.22. Дериватограмма баженовита (проба О107-48; навеска 83 мг)

В ИК-спектре баженовита, полученном в лаборатории Ильменского заповедника на приборе *Specord-71*, имеется ряд полос поглощения, характерных для синтетического соединения $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ (см^{-1}): 810 (H_2O), 1100 (ν_{SO} в S_2O_3), 1630 ($\delta\text{H}_2\text{O}$), 3300 (ν_{OH}) [71].

Рентгеноструктурное изучение баженовита выполнено В.О.Поляковым в лаборатории Ильменского заповедника на камерах РКВ-86 и КФОР-5 и А.Ф.Бушмакиным в лаборатории кафедр минералогии и петрографии Свердловского горного института (порошкограмма, табл.12). Сигнония баженовита моноклинная, пространственная группа $\text{P2}_1/\text{c}$. $a_0=8,45(1)$; $b_0=17,47(1)$; $c_0=3,24(1)$ Å; $\beta=119,5^\circ$; $V=1053,44$ Å³; $Z=1$. Плотность, вычисленная с использованием эмпирической формулы ($M=1170,48$), равна $1,845$ г/см³. К результатам химического анализа, предпочтительнее выбрать плотность, вычисленную с использованием идеальной формулы $M=1157,4$. В этом случае $\rho_{\text{выч}}=1,824$ г/см³, что находится в хорошем согласии с измеренной плотностью ($1,83$ г/см³, см. выше). Порошкограмма баженовита схожна с порошкограммой синтетического $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ [57, 71].

Т а б л и ц а 12

Порошкограммы пробы 0107-48 баженовита (1) и синтетического $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ (2)

1				2 [57,22-154;71]		
I	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	hkl	I	$d, \text{Å}$	hkl
10	8,76	8,74	020	Оч.сильн.	8,829	020
1	6,75	6,78	100	Слаб.	6,703	111
2	4,52	4,57	130	-	-	-
10	4,39	4,37	040	Оч.сильн.	4,414	040
1	4,16	4,12	$10\bar{2}$	Оч.слаб.	4,121	002
2	3,75	3,73	$\bar{1}22$	"-	3,864	112
-	-	-	-	"-	3,737	022;141
-	-	-	-	"-	3,603	202;122
1	3,37	3,39	220	Слаб.	3,390	420;331,032
-	-	-	-	Оч.слаб.	3,225	411;132
-	-	-	-	"-	3,129	312
3	3,01	3,00	$\bar{1}42$	Средн.	3,015	042
6	2,91	2,91	060	"-	2,939	060;142
5	2,81	2,81	240	"-	2,829	440
1	2,74	2,73	211	Слаб.	2,752	402
5	2,62	2,61	122	Сильн.	2,623	422
-	-	-	-	Слаб.	2,500	531
4	2,38	2,38	$\bar{1}62$	"-	2,390	502;062
2	2,34	2,32	$\bar{3}23$	-	-	-

Таблица 12 (окончание)

1				2 [57,22-154;71]		
I	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl	I	$d, \text{Å}$	hkl
5	2,28	2,28	260	Средн.	2,296	460
2	2,17	2,18	080	Слаб.	2,210	080;461;532
-	-	-	-	Оч.слаб.	2,108	181;343;602
-	-	-	-	"-	2,061	004;272;433
7	1,996	1,994	162	Средн.	2,005	462;024
4	1,930	1,930	182	Слаб.	1,939	263;224;082
4	1,873	1,877	280	Слаб.	1,889	490;191;314
1	1,840	1,839	400	"-	1,838	800;661
4	1,798	1,799	420	Средн.	1,799	404
-	-	-	-	"-	1,752	821
2	1,709	1,710	382	Оч.слаб.	1,724	581;292;742
2	1,680	1,676	302	Слаб.	1,674	802;233;354
3	1,646	1,646	322	Оч.слаб.	1,646	822;264
2	1,601	1,608	1.10.2	-	-	-
1	1,570	1,570	342	Оч.слаб.	1,563	4.10.1;305
3	1,470	1,472	1.10.2	"-	1,483	644;425;4.10.2
3	1,452	1,456	0.12.0	"-	1,467	714;704
2	1,371	1,377	2.11.1			
1	1,330					
1	1,309					
1	1,290					
3	1,237					
1	1,208					
2	1,161					
3	1,127					
2	1,086					
1	1,064					
1	1,043					
1	1,021					

Примечание. 1 - РКД 57,3 мм; FeK α ; Исправлено по отдельному снимку с Ge. (Условия съемки не указаны); сингония моноклинная, пр.гр. P2₁/c; a₀=8,45 Å; b₀=17,47 Å; c₀=8,24 Å; β =119,5°; 2 - сингония ромбическая, пр.гр. (?); a₀=14,67 Å; b₀=17,65 Å; c₀=8,254 Å.

Кристаллическая структура баженовита, по-видимому, слоистая. Слои Са(ОН)₂ ("портланлитовые") лежат параллельно {010}. Параллельно {010} лежат слои "полисульфидной части" и Н₂О. Отражением этого является очень хорошая спайность баженовита по {010}, псевдогексагональность облика кристаллов (в плоскости {010}, ориентировка оптической индикатрисы: N_g и N_m лежат в плоскости слоев) и значение угла $\beta \approx 120^\circ$.

По составу и свойствам баженовит является моноклинным аналогом синтетического ромбического соединения $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6 \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20 \text{H}_2\text{O}$. По своей кристаллохимической природе баженовит—типичное гибридное соединение. Его образование обусловлено реакциями в практически замкнутой системе ("черный желвак" в остывающей базальтоподобной породе) с избытком серы.

На открытом воздухе, особенно при повышенной влажности, баженовит медленно гидролизуеться и превращается в портландит. Яркий оранжевый цвет баженовита постепенно сменяется желтым, а потом кристаллы становятся практически бесцветными, со слабым голубоватым оттенком, сохраняя прозрачность. На таких псевдоморфозах нередко отлагаются рыхлые агрегаты землистой серы; подобные агрегаты серы находяться и поблизости измененных скоплений баженовита. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, В.О.Поляков, А.Ф.Бушмакин [52].

"Красный сульфид". Часто встречается в "черных желваках" вместе с железом, ольгмитом, троилитом, баженовитом. Образует тонкие примазки и пленки на поверхности зерен других минералов. Твердость, по-видимому, ниже, чем у графита. Блеск металлический, цвет густой малиново-красный, черта блестящая, малиново-черная. Магнитен. Бурно вскипает в HCl и полностью растворяется; раствор при этом желтеет.

Галогениды

Нашатырь — NH_4Cl . Кубическая сингония. Б.И.Кочнев вместе с членами руководимого им кружка юных геологов г.Копейска весной 1981 г. на терриконе шахты Капитальная нашел и правильно определил друзы кристаллов нашатыря [36]. Размер кристаллов до 5–7 мм.

Нашатырь широко распространен в отложениях хлоридных и сульфатных фумарол. Образует щетки, корки, зернистые и шестоватые агрегаты, выцветы. С.Г.Суставовым [36] на кристаллах установлены главные формы: тетрагонтриоктаэдр {211} и ромбододекаэдр {110}. Мы неоднократно отмачали такие кристаллы в виде куба. Обычно кристаллы прозрачны и бесцветны, но встречаются желтые, оранжевые и коричневые кристаллы. В последнем случае окраска, по-видимому, вызвана битуминозным веществом.

По С.Г.Суставову [36], твердость нашатыря 2, излом раковистый, обладает пластичностью, вкус глуже-соленый. В иммерсионных препаратах изотропен, $n = 1,638 \pm 0,002$. Плотность $1,53 \pm 0,01 \text{ г/см}^3$ (определено пикнометрически в ксилоле). Дебаеграмма соответствует эталонной, $a_0 = 3,875 \pm 0,001 \text{ \AA}$. Синтетический хлорид аммония имеет $a_0 = 3,8756 \text{ \AA}$ [57, 7–7].

На кривой ДТА дериватограммы нашатыря имеються два эндотермических эффекта [36]: 184°C , связанный с переходом структуры типа CsCl в структуру типа NaCl и 366°C , связанный с разложением и полной возгонкой вещества. В обычных комнатных условиях нашатырь устойчив и сохраняется несколько лет. Во влажной атмосфере постепенно растворяется.

Лавренсит - FeCl_2 . Тригональная сингония. Найден и изучен Е.П.Щербаковой. Входит в состав нижних, наиболее горячих (до 100°C и выше) частей хлоридных кор на терриконе шахты Подозерная вместе с нашатырем и серой. Образует тонкие блестящие светло-зеленые корочки и жилки в горельнике. В сухом горячем воздухе очень быстро становится красно-коричневым и расплывается. Рентгенограмма соответствует эталонной (табл.13). Лавренсит является непосредственным продуктом возгонов фумарол (веществ, возгоняющихся при тлении "черного блока").

Т а б л и ц а 13

Порошковая рентгенограмма лавренсита (проба 053щ-41а) (1) и синтетического FeCl_2 (2) [57, 1-1106]

1		2		
I	d, Å	I	d, Å	hkl
2	5,84	63	5,9	003
1	3,05	30	3,07	101
1	2,54	100	2,54	104
1	2,32	7	2,32	015
1	2,082	7	2,09	-
1	1,949	13	1,953	009; 107
2	1,799	63	1,800	018; 110
<1	1,727	13	1,721	113
<1	1,638	2	1,633	-
<1	1,554	4	1,553	021
<1	1,472	20	1,467	-
<1	1,430	5	1,421	-

Примечание. 1 - дифрактометр ДРОН-2,0; CuK_α (монохроматор); проба снималась в вазелине.

Молизит - FeCl_3 . Тригональная сингония. Является продуктом изменения лавренсита. Молизитсодержащие хлоридные сыпучки имеют светлый табачный или светло-желтый цвет. Очень гигроскопичен. Рентгенограмма соответствует эталонной (табл.14). В верхних зонах хлоридных сыпучек молизит размокает или же переходит в волные хлориды железа, наиболее устойчивым из которых в данных условиях является $\text{FeCl}_3 \cdot 2,5\text{H}_2\text{O}$.

Копейскит - $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ромбическая сингония. В 1981 г. С.Т.Суставов определил в образцах, собранных Б.И.Кочневым на терриконе шахт г.Копейска, красный минерал из группы эритросидерита, предположительно содержащий аммоний. Малое количество вещества не позволило тогда детально изучить этот материал. В 1982 и 1983 гг. красный минерал из группы эритросидерита собран там же Б.В.Чесноковым и подвергнут детальному исследова-

Порошкограмма молизита (проба 053щ-22) (1)
и синтетического FeCl_3 (2) [57, 1-1059]

I	1		2		hkl
	d, Å	I	d, Å	I	
2	5,90	32	5,9		003
<1	5,10	5	5,1		101
<1	4,79	6	4,79		-
<1	4,50	3	4,50		012
0,5	3,03	3	3,03		110
0,5	2,90	3	2,90		006; 015
<1	2,679	100	2,68		113
<1	2,514	2	2,52		202
1	2,402	2	2,40		-
-	-	2	2,23		024
<1	2,078	40	2,08		116; 205
1	2,022	2	2,02		018
0,5	1,965	3	1,96		009; 211
1	1,758	32	1,75		300
-	-	6	1,67		208
<1	1,638	16	1,63		-
<1	1,462	6	1,46		-
<1	1,340	5	1,34		-
<1	1,302	2	1,30		-

Примечание. 1-Дифрактометр ДРОН-2,0; $\text{CuK}\alpha$ (монохроматор); проба снималась в вазелине.

нию. Минерал оказался новым и по месту нахождения получил название копейскит (kopeiskite).

Копейскит найден в виле оранжево-красных рыхлых скоплений и корок в привершинных частях терриконов на глубине 5-20 см. Сверху находится рыхлый грунт, состоящий из пыли, песка, дресвы и щебня углевмещающих горных пород (глинистые сланцы, аргиллиты, алевролиты, песчаники) и частиц каменного угля. Температура этого слоя на глубине около 5 см доходит до 50°C (летом). Копейскит вместе с другими хлоридами (железа, кальция, магния) и нашатырем образует прослой и корки мощностью до 5-10 см. Площадь участков такой хлоридной минерализации достигает нескольких квадратных метров. В верхних частях прослоев с копейскитом температура достигает $60-70^{\circ}\text{C}$, а в нижних до $90-100^{\circ}\text{C}$. Ниже находится рыхлый и горячий материал (температура 100°C и более), состоящий из щебня, глыб и дресвы с пылью углевмещающих пород.

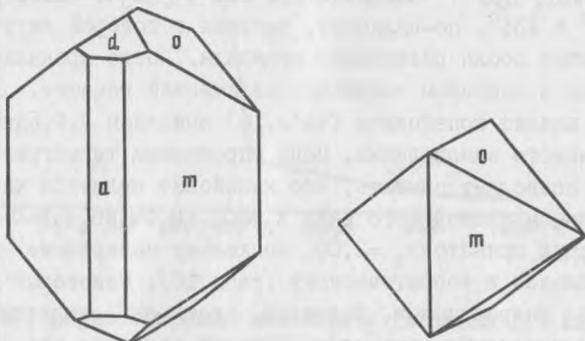
Копейскит представлен отдельными кристаллами или их сростками. Кристаллы короткопризматические или "октаэдрические" (рис.23), достигающие 1 мм. Измерение кристаллов выполнено при помощи столика Федорова и бинокулярной лупы [46] (табл.15). Копейскит относится к ромбической сингонии, планаксиальному виду симметрии. $a:v:c=1,387:1:0,720$. Гониометрические данные копейскита близки к данным эритросидерита $K_2FeCl_5 \cdot H_2O$ [16]

Т а б л и ц а 15

Сферические координаты граней кристаллов копейскита

Грани	Измеренные		Вычисленные	
	φ	ρ	φ	ρ
a {100}	90°00'	90°00'	90°00'	90°00'
m {210}	55°15'	90°00'	55°15'	90°00'
o {011}	0°00'	35°45'	0°00'	35°45'
d {101}	90°00'	28°00'	90°00'	27°26'

Кристаллы копейскита прозрачные или просвечивающие, цвет яркий, оранжево-красный. Тонкозернистые агрегаты красновато-оранжевые. Черта желто-оранжевая. Блеск стеклянный, в изломе жирноватый. В ультрафиолетовом свете не люминесцирует. Твердость 2,5 по шкале Мооса, очень хрупкий, излом раковистый. Спайность ясная по m {210}. Плотность $1,99 \pm 0,01$ г/см³ (определено уравниванием прозрачных кристалликов в растворе бромформа с ксилолом). Весьма легкоплавок; сначала плавится в просвечивающий красновато-коричневый шарик с жирноватым блеском. При дальнейшем прокаливании сплавляется в черный магнитный шлак. В закрытой трубке выделяет умеренное количество воды, плавится и превращается в красно-бурую возгоняющуюся жидкость. При нагревании в открытой трубке плавится, выделяет хлор и другие летучие вещества. На месте пробы остается тонкая корочка и пленки гемати-



Р и с .23. Кристаллы копейскита

a {100}; m {210}; o {011}; d {101}

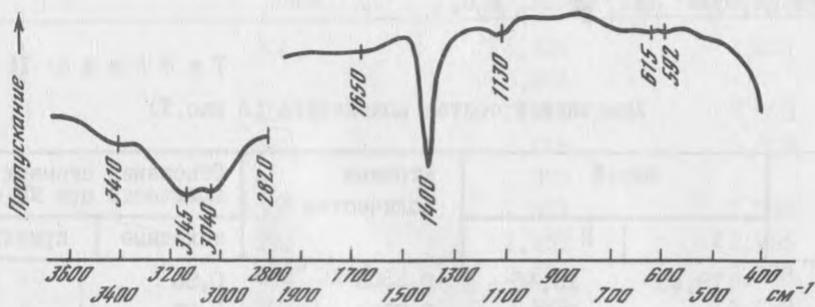
та. Легко растворяется в воде, образуя желтый раствор. В растворе $\text{Na}(\text{OH})$ разлагается с выделением NH_3 и бурого хлопьевидного осадка. Дает яркую реакцию на хлор с AgNO_3 в водном растворе.

В иммерсии под микроскопом цвет от желтого (мелкие частицы) до красновато-коричневого (крупные частицы). Двуосный, положительный $n_g = 1,790 \pm 0,002$; $n_m = 1,754 \pm 0,002$; $n_p = 1,737 \pm 0,002$; $n_g - n_p = 0,053$ (белый свет). Угол $2V$ средний (вычисленный 68°). Дисперсия оптических осей сильная, $r > v$. Плеохроизм слабый: N_g и N_p - коричневато-желтый с зеленоватым оттенком, N_m - красновато-коричневый; $N_m > N_g$ и N_p . Ориентировка осей индикатрисы: $N_g = [010]$; $N_m = [001]$; $N_p = [100]$. Оптические свойства копейскита очень близки к свойствам эригросидерита $\text{K}_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ и кремерзита $\text{NH}_4\text{KFeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [16].

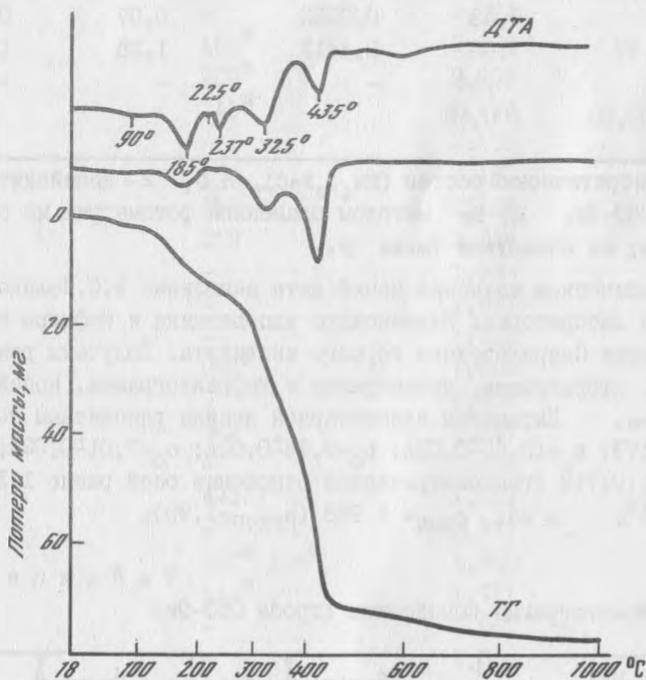
ИК-спектр копейскита (рис.24) получен в лаборатории Ильменского заповедника аналитиком Л.П.Армазасцевой на спектрофотометре UR -20. В спектре имеются полосы поглощения всех четырех валентных колебаний иона NH_4^+ : $\nu_1 - 3040$, $\nu_2 -$ около 1650 , $\nu_3 - 3145$, $\nu_4 - 1400 \text{ см}^{-1}$ и обертона колебания ν_4 ($2 \nu_4$) около 2820 см^{-1} . Отнесение полос поглощения выполнено по К.Накамото [22]. Полоса поглощения 3410 см^{-1} обусловлена валентными колебаниями кристаллизационной воды. Деформационные колебания H_2O около 1640 см^{-1} слабо выражены, по-видимому, в связи с взаимодействием с колебаниями ν_2 иона NH_4^+ . Имеются еще три слабые размытые полосы поглощения: около 1130 , 615 , 592 см^{-1} . Первая из них относится к колебаниям NH_4^+ , так как она обнаружена нами на спектре химически чистого NH_4Cl , природа других полос не ясна.

Дериватограмма копейскита (рис.25) получена в лаборатории Ильменского заповедника аналитиком Т.С.Корниловой на дериватографе системы Паулик и Эрлеи. Кривая ДТА имеет ряд эндотермических эффектов: слабый и широкий около 90°C - потеря адсорбированной воды (2,14%); 185° - потеря кристаллизационной воды и в конце процесса потеря части гидроксильной воды (7,95%); 225° - потеря остальной гидроксильной воды (0,43%); 237° - плавление (синтетическая $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ плавится при 234°C [28]). Эндотермические эффекты при 325° и 435° , по-видимому, связаны с потерей летучих соединений, образовавшихся после разложения минерала. После прокаливания пробы до 1000° остается в основном тоннокристаллический гематит.

Химический анализ копейскита (табл.16) выполнен Л.Ф.Баженовой в лаборатории Ильменского заповедника. Вода определена термогравитационным методом. Анализ позволяет считать, что копейскит является чисто аммониевым конечным членом изоморфного ряда $\text{K}_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O} - (\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$. За основу расчета формул принято $\text{NH}_4 = 2,00$, поскольку содержание этого компонента наиболее близко к теоретическому (табл.16). Некоторый дефицит хлора компенсируется гидроокислом. Очевидно, часть OH^- теряется пробой уже в конце процесса выделения кристаллизационной воды (см.рис.25), поэтому часть потери относим за счет OH^- и дополняем ею группу (Cl, OH) до 5,00 (см.табл.16). После этого эмпирическая формула копейскита имеет вид



Р и с.24. Инфракрасный спектр копейскита



Р и с.25. Дериватограмма копейскита (навеска 117 мг)

$(\text{NH}_4)_{2,00}(\text{Fe}_{0,96}\text{Al}_{0,07}\text{Ca}_{0,03}\text{Mg}_{0,02})_{1,08}(\text{Cl}_{4,70}\text{OH}_{0,30})_{5,00} \cdot 1,05\text{H}_2\text{O}$.
Идеальная формула: $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$.

Т а б л и ц а 16

Химический состав копейскита (в мас.%)

Компо- ненты	Мас.%		Атомные количества	Отношения атомных количеств при $\text{NH}_4=2,0$	
	1	2		исходные	принятые
Fe	19,45	18,45	0,3303	0,96	} 1,08
Al	-	0,71	0,0263	0,07	
Ca	-	0,39	0,0097	0,03	
Mg	-	0,20	0,0082	0,02	
Mn	-	0,03	-	-	-
NH_4	12,55	12,42	0,6896	2,00	2,00
Cl	61,43	57,46	1,6209	4,70	4,70
OH	-	0,43	0,0253	0,07	0,30
H_2O^+	6,27	7,95	0,4417	1,28	1,05
H_2O^-	-	2,14	-	-	-
Сумма	100,00	100,18			

Примечание. 1 - теоретический состав $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 2 - копейскит, проба 053-9и; К, Na методом пламенной фотометрии не обнаружены; не обнаружен также F.

Рентгенографическое изучение копейскита выполнено В.О.Поляковым и С.Г.Сустановым в лабораториях Ильменского заповедника и кафедры минералогии и петрографии Свердловского горного института. Получены рентгенограмма вращения, кфорограммы, дебаеграммы и дифрактограмма. Копейскит ромбический, Pnma . Параметры элементарной ячейки рассчитаны по дифрактограмме (табл.17): $a_0=13,63 \pm 0,02 \text{ \AA}$; $b_0=9,84 \pm 0,02 \text{ \AA}$; $c_0=7,01 \pm 0,02 \text{ \AA}$; $a_0:b_0:c_0=1,390:1:0,712$ (гонометрическое отношение осей равно 1,387:1:0,720); $v=944 \text{ \AA}^3$; $z=4$; $\rho_{\text{выч}}=1,998$ ($\rho_{\text{эксп}}=1,99$).

Т а б л и ц а 17

Дифрактограмма копейскита (проба 053-9и)

I	hkl	$d_{\text{эксп}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{ \AA}$
1	200	6,85	6,84
4	011*	5,67	5,71
10	210*	5,597	5,616
3	020*	4,919	4,920
4	201*	4,870	4,896
1	-	4,338	-
1	-	4,230	-

I	hkl	$d_{\text{ЭКСП}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{ВЛУ}}, \text{ \AA}$
1	301	3,826	3,822
1	-	3,806	-
3	401	3,065	3,073
2	321	3,016	3,019
3	-	2,975	-
3	230*	2,967	2,958
3	022	2,857	2,855
10	420* 122*	2,808	2,808; 2,794
5	302	2,776	2,779
3	500	2,732	2,736
1	-	2,637	-
1	-	2,547	-
8	040* 511	2,471	2,460; 2,467
4	402	2,448	2,448
1	-	2,374	-
1	103*	2,305	2,303
2	203*	2,208	2,211
2	241*	2,194	2,198
2	-	2,189	-
2	502	2,160	2,157
2	512	2,108	2,107
1	313	2,036	2,035
1	-	1,933	-
1	-	1,927	-
1	-	1,922	-
2	051*	1,900	1,895
1	-	1,878	-
3	342	1,847	1,842
1	-	1,806	-
1	423	1,802	1,796
1	-	1,777	-
3	422* 104*	1,740	1,735; 1,738
2	114*	1,711	1,712
1	-	1,661	-
1	-	1,650	-
1	060*	1,641	1,640
1	-	1,628	-
1	-	1,616	-
1	062*	1,486	1,485
1	-	1,482	-
1	-	1,458	-

I	hkl	$d_{\text{эксп}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$
1	144*	1,424	1,420
1	-	1,406	-
1	-	1,308	-
1	-	1,274	-
1	-	1,270	-
1	-	1,239	-

* Стражения, наблюдавшиеся на кфорограммах.

Примечание. Условия съемки: дифрактометр ДРОН-2,0; $\text{CuK}\alpha$ излучение (монохроматор); скорость движения счетчика 1 град/мин, ленты - 720 мм ч; аналитик В.О.Поляков. Порошок пробы снимался в смеси с вазелином из-за гигроскопичности материала.

Рентгеновские характеристики и плотность копейкита соответствует характеристикам синтетического соединения $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (табл.18). Отнако пространственная группа минерала и синтетического вещества определена различно. Принадлежность копейкита к группе $\text{Fm}\bar{3}m$ установлена на основании анализа кфорограмм.

Т а б л и ц а 18

Кристаллографические данные копейкита (1) и синтетического $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (2)

Показатель	1 (проба 053-9и)	2 [70]
Цвет	Оранжево-красный	Коричневато-красный
Габитус кристаллов	Призматический и "октаэдрический"	"Октаэдрический"
Сингония	Ромбическая	Ромбическая
Группа	$\text{Fm}\bar{3}m$	$\text{Fm}\bar{3}m$
$a_0, \text{Å}$	13,68	13,78
b_0	9,84	9,85
c_0	7,01	7,09
$a_0 : b_0 : c_0$	1,390:1:0,712	1,399:1:0,719
$V, \text{Å}^3$	944	962
z	4	4
$\rho_{\text{изм}}, \text{г/см}^3$	1,99	1,99

Таким образом, известный изоморфный ряд минералов: эритросилерит-кремензит [16] пополнился конечным аммониевым членом ряда - копейситом. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Л.Ф.Баженова, В.О.Поляков, Ю.Б.Корнилов, С.Г.Суставов, А.Ф.Бушмакин.

Fe³⁺кв а д в а л а д е р и т - Fe(OH)₂Cl₂·2H₂O. Кубическая сингония. Обнаружен Б.В.Чесноковым в хлоридных сыпучках и корках терриконов шахт № 45, 50. Образует золотисто-желтые стебельки и волоски длиной до 1-2 мм. Прозрачен, блеск стеклянный, очень хрупок. Весьма гигроскопичен. На открытом влажном воздухе за несколько секунд превращается в капельку желтого раствора. В сухом воздухе лаборатории более устойчив. В закрытой трубке выделяет воду. В пламени вскипает и превращается в красновато-черный магнитный шлак. Не содержит NH₄⁺ (микрореакция по [13]). Плотность 1,91 г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа и этанола). В иммерсии желтый, не плеохроирует, изотропен; n = 1,680[±]0,002. Главные линии порош-кограммы: 4,93(8)(111); 4,27(10)(200); 2,848(7)(221, 300). Параметр a₀ = 8,55Å; V = 625,03Å³; z = 4; ρ_{внч} = 1,912 г/см³.

(?) По-видимому, минерал наиболее близок к квдаладериту Al(OH)₂Cl·4H₂O [16].

Не исключено, что приведенная выше формула изученного минерала не является окончательной. Автор определения и описания Е.П.Щербаков.

Водные хлориды Fe³⁺. Входят в состав хлоридных сыпучек терриконов шахт № 45 и № 50. Представляют собой табачные, зеленоватые и коричневатые очень тонкозернистые налеты и "пропитки" в глинистой отвальной мелочи, которая обычно является несколько сыроватой. Легко растворяются в воде, раствор дает положительные реакции на Cl⁻ и Fe³⁺. В закрытой трубке выделяет воду и газ с запахом хлористого водорода. На порош-кограммах имеются линии FeCl₃·2H₂O, FeCl₃·2,5H₂O, FeCl₃·3,5H₂O, FeCl₃·6H₂O (табл.19).

Т а б л и ц а 19

Главные линии на порош-кограммах
водных хлоридов железа

Хлорид	H ₂ O, мас. %	№ пробы	Главные линии d (Å)	№ карты, по [57]
FeCl ₃ ·2H ₂ O	18,1	053щ-18; 054-176	5,5(100); 4,28(63); 2,75(75); 2,39(50); 2,08(50)	1-0210
FeCl ₃ ·2,5H ₂ O	21,6	053щ-18,32,36; 053-19; 054-176	5,08(100); 4,50(50); 2,98(50)	1-0240
FeCl ₃ ·3,5H ₂ O	27,9	053щ-36,37	6,45(100); 5,5(86); 4,36(57); 3,03(51); 2,88(51)	1-0132
FeCl ₃ ·6H ₂ O	39,9	053щ-36	6,00(100); 3,14(75); 2,76(50)	

Наиболее часто фиксируются линии соединения FeCl₃·2,5H₂O, которое, по-видимому, является наиболее устойчивым водным хлоридом в данных условиях. Водные хлориды с большим и меньшим содержанием воды отражают сезонные и суточные изменения ее количества в окружающей среде. Так, FeCl₃·3,5H₂O

и $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ обнаружены в отсыревших после ночного дождя сыпучках, причем гексагидрат - в самых верхних, наиболее размокших, участках. Напротив, проба, содержащая двухводный хлорид, отбиралась в сухую, солнечную и ветренную погоду. Не исключено присутствие в пробах и других водных хлоридов, так как на рентгенограммах остаются отдельные недиагностированные линии (в "ключевом" интервале 5-7Å). Автор определения и изучения Е.П.Щербакова.

Безводный CaCl_2 . Ромбическая сингония. Водные хлориды Са. Найден Б.В.Чесноковым (1982 г.) на терриконе шахты № 45 в виде белых пластинчатых кристаллов на кусках горячего (более 100°C) горельника в жерле фумаролы. Весьма гигроскопичен, быстро превращается в бесцветную жидкость, дающую реакцию на Ca^{2+} и Cl^- . Основной материал собран Б.В.Чесноковым и С.В.Ефремовым в 1986 г. В это время отвал шахты № 45 начал разрабатываться, и в осыпях у основания его восточного склона С.В.Ефремовым были обнаружены "мокрые глыбы" полуразложившегося окаменелого дерева до 20-40 см в поперечнике. Они были покрыты слоем черной полужидкой "грязи". Экскаватором на вершине террикона вскрывался крупный "черный блок", и глыбы с "грязью" несомненно происходили из него. При разбивании глыб обнаруживались совершенно сухие серо-черного цвета внутренние части, которые за несколько секунд становились мокрыми. Значительное количество еще сухих обломков удалось герметизировать в стеклянных банках, имеющих крышки с резиновыми прокладками. В них материал сохранился неизменным до настоящего времени.

Куски полуразложившейся окаменелой древесины "пропитаны" крупнозернистым белым (серым или черным от примеси углеродистого вещества) агрегатом. Зерна имеют хорошо выраженную спайность, стекланный блеск и низкую твердость (около 1,5-2). Весьма гигроскопичен и легко переходит в бесцветную жидкость, содержащую Ca^{2+} и Cl^- . Быстро помещенный в вазелин и в нем растертый, дает на дифрактограмме отражения, соответствующие главным отражениям синтетического CaCl_2 [57, 1-0998]. Хотя приведенные нами данные не полны, в существовании безводного CaCl_2 в горелых отвалах мы не сомневаемся.

На дифрактограмме безводного CaCl_2 имеются также отражения, указывающие на присутствие в пробе водных хлоридов кальция $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (антарктикит), $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (новый минерал) и $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (синджарит).

Редикорцевит - $\text{NH}_4\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Ромбическая сингония. Найден Б.В.Чесноковым в кусках хлоридных корок, раскисших от лождей, на терриконе шахты Полозерная. Образует светло-желтые (до бесцветных) кристаллы уплощенно-призматической формы, находящиеся в жидкой хлоридной массе вместе с мелкими кристаллами копейскита. Название редикорцевит (*redikortsevit*) дано в честь И.И.Редикорцева (1808-1866 гг.), первооткрывателя Челябинского угольного бассейна [29].

Твердость около 2,5. Хрупкий, излом раковистый, спайности не обнаружено. Плотность $1,43 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа и

ксилола). В иммерсии бесцветен; $n_g = 1,480$, $n_p = 1,467$, $n_g - n_p = 0,013$. Легко растворим в воде. При действии NaOH выделяет аммиак. В закрытой трубке выделяет воду и налет нашатыря. Перед паяльной трубкой не плавится, после прокаливания остается светло-кремовый рыхлый остаток, сложенный периклазом (по дебаеграмме).

Химический анализ пробы 053-21 реликорцевита выполнен Л.Ф.Баженовой (в мас. %): 8,44 $(NH_4)_2O$; 12,80 MgO; 39,21 Cl; 2,54 Fe_2O_3 ; 1,51 Al_2O_3 ; 0,60 CaO; 0,11 MnO; <0,10 K_2O ; <0,10 Na_2O ; TiO_2 не обнаружен.

Проба была загрязнена примесью копейскита (весь Fe_2O_3 нужно отнести за счет него). Возможна примесь хлоридов Al и Ca. Хорошо раскрывает состав минерала интерпретация дериватограммы (в скобках - содержания в мас. % для идеального состава $NH_4MgCl_3 \cdot 6H_2O$):

эндозффект 315°C - потеря 3,5 H_2O 24,73(24,55);

эндозффект 395°C - потеря 2,5 H_2O 17,85(17,54);

эндозффект 660°C - потеря NH_4Cl 19,79(20,84);

общие потери массы при нагревании до 920° составляют 62,37(62,93).

Порошкограмма реликорцевита соответствует синтетической $NH_4MgCl_3 \cdot 6H_2O$ [57, 25-39]. Главные линии порошкограммы: 3,85(5)(220); 3,35(10)(040); 2,99(5)(222); 2,36(5)(400). Параметры элементарной ячейки (в скобках - для синтетической $NH_4MgCl_3 \cdot 6H_2O$ [57]): $a_0 = 9,60 \pm 0,01 \text{ \AA}$ (9,570); $b_0 = 13,40 \pm 0,01 \text{ \AA}$ (13,330); $c_0 = 9,33 \pm 0,01 \text{ \AA}$ (9,315).

Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков и Л.Ф.Баженова.

Нантокит - $CuCl$. Кубическая сингония. Является продуктом изменения куска мелного тролейного провода в хлоридной фумароле. Слагает серую мелкозернистую корочку с искристым алмазным блеском. Зерна его коричневато-серые и серые, блеск алмазный, просвечивает. Легко плавится, окрашивая пламя в голубой цвет (Cu). В растворе HNO_3 дает яркую реакцию на Cl^- с $AgNO_3$. Дебаеграмма соответствует нантокиту. Параметр $a_0 = 5,416 \text{ \AA}$ (у эталонного нантокита $a_0 = 5,416 \text{ \AA}$) [57, 6-0344]. Изучение нантокита выполнено Т.А.Михаль.

Атакамит - $Cu_2(OH)_3Cl$. Ромбическая сингония. Широко распространен в виде продукта минерализации медных предметов на поверхности горелых отвалов или в поверхностном слое покрывающего их грунта. Найден и определен Б.В.Чесноковым. Образует землистые и плотные корки светло-зеленого цвета. Нередки полные псевдоморфозы по обрывкам медных проводов и кускам мелного листа. После смачивания в HCl окрашивает пламя в голубой и зеленый цвет (Cu). В растворе HNO_3 дает яркую реакцию на Cl^- с $AgNO_3$. В закрытой трубке выделяет воду. Лазерным микроанализом установлена примесь Fe, Mn, Mg, Ti и Al (аналитик В.О.Поляков). Кривая нагревания соответствует атакамиту [37]. Дифрактограмма также соответствует эталону [57, 23-943]. Главные отражения: 5,491(100)(110); 5,039(40)(011); 2,838(45)(211); 2,770(70)(102); 2,742(35)(220); 2,276(70)(230, 040). Параметры элементарной ячейки (в скобках - для эталона): $a_0 = 6,87$ (6,69) \AA , $b_0 = 9,12$ (9,08) \AA , $c_0 = 6,04$ (6,05) \AA . Рентгенографический анализ выполнен Т.А.Михаль.

П а р а т а к а м и т - $\text{Cu}_2(\text{OH})_3\text{Cl}$. Тригональная сингония. Находится в смеси с атакамитом, установлен рентгенографически. Параметры ячейки: $a_0 = 13,74 \text{ \AA}$, по отражениям 2,269(50)(143) и 2,244(8)(502); $c_0 = 14,02 \text{ \AA}$, по отражениям 3,417(4)(220) и 2,337(5)(006). Установлен Т.А. Михаль.

К о т у н н и т - PbCl_2 . Ромбическая сингония. Сначала был найден в виде псевдоморфозы по свинцовой оболочке медного кабеля на поверхности грунта южного склона террикона шахты Подозерная. Желтоватый, до бесцветного. Просвечивает или полупрозрачен. Блеск алмазовидный, черта белая. Твердость 2,5; излом раковистый. В растворе HNO_3 дает положительную реакцию на Cl^- с AgNO_3 . Легкоплавок, окрашивает пламя в голубоватый цвет (Pb). Дифрактограмма соответствует котунниту [57, 5-0416]. Главные отражения: 4,047(26); 3,883(100); 3,801(45); 3,567(84); 2,773(59); 2,094(76). Кроме того, желтоватые выделения котуннита встречены в отложениях горячих газовых струй (220°C) в экскаваторном забое на террико-не шахты № 45. Котуннит находился в виде мелких зерен вместе с листоватыми образованиями англезита на поверхности кусков красного горельника. Возможно, что эти налеты образовались за несколько суток до отбора образцов, поскольку забой был действующим. В этих же образцах находились и незначительные выделения весьма гигроскопичных минералов (хлориды?), сохранить которые не удалось. Источник свинца в данном случае проблематичен.

Ф л ю о р и т - CaF_2 . Кубическая сингония. Широко распространен в материале "черных блоков" террикона шахты № 45. Чаще всего встречается в продуктах изменения окаменелого дерева и кусков силеритовых пород вместе с моносulfидами железа, фторapatитом, селлаитом, шинелью, хондролитом и норбергитом, форстеритом, анортитом. Морфология выделений флюорита очень разнообразна: мелкие бесцветные кристаллы в виде октаэдров, кубооктаэдров и более сложных комбинаций, мелкие монокристалльные шарики (формы растворения), сложные скелетные формы из октаэдров (площадью по нескольким квадратным сантиметрам), зернистые выделения. Поперечник индивидов обычно не более 1-2 см. Бесцветен, блеск стеклянный, люминисцирует фиолетовым цветом (не ярко) в ультрафиолетовых лучах (360 нм). Спайность совершенная по {111}, хрупок, твердость 4. Оптически изотропен, $n = 1,433 \pm 0,002$. Рентгенограмма соответствует флюориту, $a_0 = 5,459 \text{ \AA}$ (у эталонного флюорита $a_0 = 5,463 \text{ \AA}$ [16]).

Флюорит является также обычной примесью в "черных желваках", включенных в базальтоподобные породы отвала разреза Коркинский. Здесь он находится в виде розовато-фиолетовых октаэдров (десяти доли миллиметра) а агрегатах железа, ольгамита и ферропериклаза.

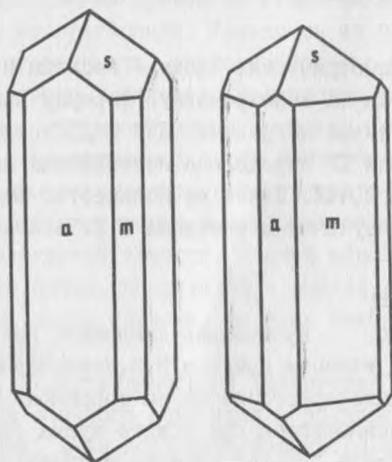
С е л л а и т - MgF_2 . Тетрагональная сингония. Значительное количество селлаита встречено в 1987 г. Б.В. Чесноковым в "черных блоках" террикона шахты № 45. Из некоторых углеродистых рыхлых гнезд в стенке забоя (волокуистые углеродистые псевдоморфозы по кускам окаменелого дерева) высыпались длиннопризматические и игольчатые кристаллы селлаита.

Селлаит находится либо в углеродистой рыхлой массе псевдоморфоз, либо во внутренних частях силикатных корок, окружающих псевдоморфозы. Встречен также на поверхности реликтов измененной окаменелой древесины, окруженных рыхлой "сажей" и в углеродистой массе продуктов изменения кусков сидеритовых пород. Спутниками селлаита являются: моносulfиды железа, когениит, флюорит, ферропериклаз, норбергит, фтороapatит.

Призматические и игольчатые кристаллы селлаита (до 1 см и более в длину) "пронизывают" в разных направлениях углеродистую волокнистую массу псевдоморфоз. Многие кристаллы хорошо образованы, имеют гладкие и блестящие грани, тип кристаллов "рутиловый" (рис.26). Главными формами являются: $a\{100\}$, $m\{110\}$, $s\{111\}$. Однако большинство индивидов не имеет плоских граней, а покрыто гладкими и блестящими бугорчатыми и ямчатыми поверхностями. Очень много скелетных кристаллов и параллельных сростков; встречены трубчатые кристаллы.

Кристаллы селлаита бесцветны, многие похожи на тонкие ледяные "сосульки". Блеск стеклянный, черта белая. В ультрафиолетовых лучах (360 нм) не люминесцирует. Твердость около 5,5. Очень хрупкий, излом раковистый, ясной спайности не обнаружено. Плотность $3,173 \pm 0,005$ г/см³ (пикнометрическое определение в бромформе). В иммерсии бесцветный, одноосный, положительный; $n_g \approx 1,390$; $n_p \approx 1,380$. Дифрактограмма (табл.20) соответствует эталонной: $a_0 = 4,620 \pm 0,001 \text{ \AA}$, $c_0 = 3,051 \pm 0,001 \text{ \AA}$ (для эталона $a_0 = 4,623 \text{ \AA}$; $c_0 = 3,052 \text{ \AA}$).

Химический анализ пробы 054-205 селлаита выполнен Л.Ф.Баженовой (мас.%): 60,30 F; 39,35 Mg; 0,44 H₂O (сумма 100,09).



Р и с. 26. Кристаллы селлаита
 $a\{100\}$; $m\{110\}$; $s\{111\}$

Т а б л и ц а 20

Порошкограммы селлаита из террикона шахты № 45
(проба 054-205) (1) и эталонного селлаита [57, 6-0290] (2)

I	1		2		hkl
	d _{изм.} , Å	d _{ввц.} , Å	I	d, Å	
10	3,265	3,266	100	3,27	110
6	2,543	2,546	20	2,545	101
-	-	-	1	2,310	200
10	2,228	2,230	95	2,231	111
8	2,066	2,066	35	2,067	210
9	1,710	1,711	75	1,711	211
5	1,634	1,633	30	1,635	220
4	1,525	1,525	20	1,526	002
2	1,461	1,461	6	1,462	310
1	1,440	1,440	4	1,441	221
-	-	-	14	1,382	112
7	1,375	1,375	35	1,375	301
2	1,318	1,318	8	1,318	311
0,5	1,281	1,231	2	1,282	320
1	1,228	1,227	6	1,228	212
1	1,155	1,155	4	1,1556	040
1	1,121	1,121	6	1,1217	410
2	1,115	1,115	10	1,1154	222

Примечание. I - дифрактометр ДРОН-2,0; $\text{CuK}\alpha$ излучение (монохроматор), лаборатория Ильменского заповедника.

Фтор определен потенциметрически, вода - весовым и термовесовым (ТГ) методом. Анализ пересчитан на эмпирическую формулу при $Mg = 1,00$: $Mg_{1,00}(F_{1,96}OH_{0,02})_{1,98}$. На кривых нагревания ДТА и ДТГ селлаита не обнаруживается эффектов; по кривой ТГ определена постепенная потеря массы (выделение H_2O), составляющая 0,44%. Такое же количество воды определено и весовым методом. Авторы изучения и описания В.В.Чесноков и Т.П.Нишанбаев.

Окислы и гидроокислы

Известь - CaO . Кубическая сингония. Неизменные зернистые мраморовидные агрегаты извести найдены В.В.Чесноковым в 1937 г. в горячей свежей стенке экскаваторного забоя на терриконе шахты № 45. Они слагли ядро "ореха", образовавшегося при обжиге куса окаменелого дерева в красном горельнике. Скорлупа "ореха" сложена мелкозернистым ангилритом с примесью флюораллесталита на внутренней стороне. В ядре находилось несколько скоплений зернистой извести, разделенных полостями усадки.

Куски извести были сухие и очень горячие (температура выше 100°C) размером до $5 \times 10 \times 20$ см. Агрегат примерно такой же крепости, как мрамор.

разбивается при ударе молотка. Излом кусков довольно ровный, поверхность его шероховатая, зернистая. Текстура слабо выраженная полосчатая: темные полосы, обогащенные мелкими табличками и листочками сереброольскита, чередуются с коричневато-серыми полосами с низким содержанием сереброольскита. Структура мелкозернистая, размер зерен до 0,5–1 мм. В коричневато-серых частях образцов содержание извести около 70–35%. Около 10–25% составляют бесцветные округлые зерна периклаза обычно менее 0,1 мм в диаметре. Количество сереброольскита около 3–5%. Местами присутствуют зеленовато-голубые прожилки флюореллестадиита, а также выделения не диагностированных минералов.

Зерна извести имеют совершенную спайность по кубу. Цвет их почти всегда коричневатый, иногда почти бесцветный. Блеск на плоскостях спайности сильный, близок к алмазовидному. Блеск поверхности зерен жирноватый. Полупрозрачен или просвечивает в спайных осколках. Черта белая. Твердость 3,5. Обладает некоторой пластичностью: от стальной иглы на поверхности спайности остается блестящий след. Но в целом хрупкий – зерна между стеклами раздавливаются "с треском" на множество осколков. В иммерсии бесцветен, изотропен, $n = 1,840 \pm 0,003$.

Перед паяльной трубкой не плавится, сильно светится. Смоченный HCl сильно окрашивает пламя в красный цвет (Ca). В воле заметно не изменяется в течение десятков минут. При длительной выдержке в воле разлагается. В HCl растворяется быстро (периклаз за это время заметно не растворяется). В закрытой трубке никаких налетов не выделяет. Рентгенограмма соответствует эталонной: $a_0 = 4,81 \text{ \AA}$.

Вызывает удивление стойкость к гидратации зернистых агрегатов извести. Через 10 дней пребывания кусков на открытом воздухе в лаборатории видимых изменений они не претерпели. Только на их поверхности образовалась незначительная "припудренность" тонкодисперсного кальцита. Через 20 дней углы образцов стали легко крошиться. Количество тонкодисперсного кальцита стало гораздо больше, но крошившийся материал содержал воли очень мало (закрытая трубка), а неизменных зерен извести в нем было много. Только через 3 месяца образцы рассыпались в коричневато-черный песок, материал в котором был сильно гидратирован и карбонатизирован, но и тогда в нем было много зерен реликтовой извести. Свежий образец извести, завернутый в сырую ткань, через сутки превратился в рыхлый, сильно гидратированный материал с реликтами зерен извести. Во всех описанных выше случаях зерна периклаза не изменялись.

Таким образом, "кристаллическая" (зернистая) известь относительно устойчива в условиях обычного помещения и подвергается здесь в первую очередь кальцитизации, а не портлантитизации. В экскаваторном забое на терриконе от влаги воздуха и дождей известь быстро гидратируется. Поскольку кристаллическая структура портлангита более рыхлая, чем извести, то происходит разбухание вещества ядра "ореха" и иногда разрывы его скорлупы (на 1 Ca в элементарной ячейке портлангита приходится $54,8 \text{ \AA}^3$, а в ячейке извести в 2 раза меньше – $27,3 \text{ \AA}^3$).

Плотные зернистые агрегаты извести можно условно считать специфической периклаз-известковой породой. Нахождение подобных пород в геологических формациях вполне возможно (продукты "горячих контактов" кальцитовых и доломитовых пород).

Периклаз - MgO . Кубическая сингония. Широко распространен в ядрах "орехов", возникших при обжиге кусков окаменелого дерева. Образует мелкие зерна вместе с известью или весьма рыхлые и хрупкие агрегаты с объемной плотностью до $0,6 \text{ г/см}^3$ и ниже. Цвет агрегатов меняется от почти белых до светло-коричневых. Агрегаты сложены бесцветными или коричневатыми округлыми зернами периклаза около $0,1 \text{ мм}$ и менее в поперечнике. В иммерсии изотропен, $n = 1,740$. Дебаеграмма соответствует периклазу, $a_0 = 4,212 \text{ \AA}$ (у эталонного периклаза $a_0 = 4,213 \text{ \AA}$). Содержание FeO в бесцветном периклазе около $0,05\%$, а в коричневатом около $0,18\%$ (аналитик Л.Ф.Баженова). В пористых периклазовых агрегатах обычной примесью являются мелкие зерна магнетиоферрита, сребродольскита и гематита. Во многих случаях зерна периклаза покрыты оболочками просвечивающего брусита.

В "черных блоках" бесцветные мелкие кристаллики периклаза встречаются в составе силикатных корок, окружающих разложившиеся куски окаменелого дерева. Бесцветные и светло-желтые округлые зерна периклаза менее $0,1 \text{ мм}$ в поперечнике встречены с такими же мелкими зернами густо-красного ферропериклаза в составе "черных желваков" вместе с железом, ольдгамитом и тропилитом. Некоторые участки желваков содержат зерна периклаза всех переходных цветов от бесцветного и желтоватого до густо-красного и красно-черного (т.е. вариации содержания FeO в них весьма широки).

Ферропериклаз - $(Mg, Fe)O$. Кубическая сингония. По литературным данным [16, 26] максимальное содержание железа имеет ферропериклаз с Везувия и из скарнов Анабарской синеклизы. Нами встречены ферропериклазы с очень высоким содержанием железа, в которых FeO составляет десятки процентов. Такие ферропериклазы обладают красным цветом разной густоты.

В составе "черных желваков" из базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский ферропериклаз образует вкрапленность мелких округлых кристаллов, размер которых обычно менее $0,1 \text{ мм}$. Интенсивность вкрапленности варьирует в широких пределах. В некоторых периферических частях желваков встречены обогащенные ферропериклазом полосы, в которых его содержание достигает до 50% и более. Некоторые зерна ферропериклаза имеют довольно ясный кубооктаэдрический облик. Цвет их густо-красный, блеск сильный стеклянный, в изломе алмазовидный. Более мелкие зерна прозрачны. Спайность ясная по кубу. В иммерсионных препаратах коричнево-красный, изотропный, $n = 1,96$. В HCl медленно растворяется (гораздо быстрее, чем периклаз), раствор становится желтым. Умеренно магнитен. Микронзондовым анализом (ЖХА - 5, Институт геологии и геохимии УрО АН СССР, аналитик В.А.Вилисов) в 5 зернах густо-красного периклаза определено содержание железа и марганца (в мас.%, среднее из пяти, в скобках - колебания): $Fe - 28,21 (24,49-30,93)$; $Mn - 0,35 (0,73-0,91)$.

Дебаеграмма "периклазового типа". Главные линии: 2,46(5)(111); 2,12(10)(200); 1,502(9)(220); 1,280(7)(311); 1,225(8)(222); 1,062(8)(400). Параметр $a_0 = 4,253 \text{ \AA}$. Некоторые участки образцов содержат зерна разной окраски - от густо-красной до светло-красной, желтой и почти бесцветной. Показатели преломления этих зерен соответственно понижаются от 1,96 (ферропериклаз) до 1,742-1,744 (периклаз).

В "черном желваке" встречен ферропериклаз с еще более высоким содержанием железа. Он был в виде тонкозернистой полосы, состоящей из очень темных густо-красных зерен около 0,1-0,2 мм. Химический анализ очищенного концентрата этих зерен (аналитик Л.Ф.Баженова) дал следующие результаты (в мас. %): 51,11 MgO; 46,34 FeO; 1,74 MnO; 1,03 Fe₂O₃ (сумма 100,22).

Мелкозернистые агрегаты ферропериклаза, состоящие из мелких округлых темно-красных и красных зерен неолонкратно встречались и в горелых породах. Анализы их не производились. Возможно, что они имеют повышенное содержание Fe³⁺. В псевдоморфозах углеродистого вещества по кускам окаменелого дерева в черных блоках террикона шахты № 45 встречаются густо-оранжевые кристаллы ферропериклаза в виде октаэдра до 0,5 мм в поперечнике.

Характерно, что в концентрированной HCl красный концентрат ферропериклаза растворяется бурно, при этом раствор сильно разогревается (небольшие же порции растворяются спокойно). Видно, саморазогревание раствора в первом случае сильно ускоряет процесс. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков и Т.П.Нишанбаев.

Магнезиоцит-(Fe,Mg)O. Кубическая сингония. Является новой минеральной разновидностью. Найден в образце базальтоподобной породы с губчатым железом из отвала разреза Коркинский (дробильный участок), отобранном С.З.Вфремовым. Образует черные зернистые агрегаты до 1-2 см в поперечнике. Зерна изометричны, до 1-2 мм. Цвет зерен в свежем изломе черный с коричневатым оттенком. Блеск полуметаллический, с жирным оттенком. В тонких осколках просвечивает густо-красным цветом. Черта черно-бурая. Спайность по кубу ясная. Поверхности спайности не очень гладкие. Излом от неровного до раковистого. Хрупкий. Твердость 5,5. Умеренно магнитен. Мелленно растворяется в HCl, окрашивая раствор в желто-зеленый цвет. Параметр $a_0 = 4,299 \text{ \AA}$.

Химический анализ пробы 0107E-2 магнезиоцита выполнен Л.Ф.Баженовой (в мас. %): 74,71 FeO; 6,18 Fe₂O₃; 0,50 MnO; 16,43 MgO; 0,50 Al₂O₃; 1,00 нерастворимых остатков (сумма 99,32) Fe₂O₃ при пересчете анализа отброшен, поскольку основное его количество связано с гематитом. Эмпирическая формула магнезиоцита (при O=1,00): (Fe_{0,71}Mg_{0,28}Mn_{0,01})_{1,00}O_{1,00}.

Полобные выделения магнезиоцита встречены и в горелых породах Копейского района (не анализировались).

И о ц и т - FeO. Кубическая сингония. Чаще всего встречается в виде черных блестящих корок на железных предметах в "черных блоках". Корка

иоцита является внутренней, прилегающей к металлу. На нее нарастает корка моносulfидов железа или же снаружи она переходит в слой рыхлого бурокрасного гематита (продукт окисления иоцита при тлении "черного блока"). Толщина корки иоцита иногда доходит до 5 мм, а чаще всего около 1-2 мм. Цвет иоцита глубокий черный, блеск полуметаллический ("мягкий"), черта черная. Непрозрачен. Сильно магнитен. Твердость около 5,5. Спайность по кубу, проявляется слабо. Излом раковистый. Параметр $a_0 = 4,302 \text{ \AA}$. В крепкой HCl около крупинки иоцита за несколько секунд образуется яркий зелено-желтый ореол. В тех же условиях около магнетита такой ореол образуется значительно медленнее, а около гематита ореол не образуется и за 10 мин.

Даже наиболее чистые образцы иоцита (блестящий, черный, с раковистым изломом) имеют гематитовые участки в качестве продукта окисления. Их отличает сероватый оттенок и более неровный излом. Это отражается на результатах химического анализа. Тщательно отобранный черный блестящий иоцит с железной полосы из "черного блока" террикона шахты № 45 имеет следующий состав (аналитик Л.Ф.Баженова, в мас. %): 83,05 FeO; 14,84 Fe₂O₃; 0,20 Al₂O₃; 0,4 MgO; 0,50 нерастворимых остатков (сумма 98,99).

В частично протлевшем материале "черного блока" террикона шахты № 45 встречена глыба (15x20x30 см), в значительной части состоящая из черных крупнозернистых агрегатов иоцита. В ней также имелись полуобогатившие скопления крупнозернистого ширротина с флюоритом и силикатами. Иоцит этого образца содержит значительное количество включений тонкозернистого гематита. Это отразилось и на результатах химического анализа (аналитик Л.Ф.Баженова, в мас. %): 33,05 FeO; 66,65 Fe₂O₃; 0,35 MgO (сумма 100,05). Параметр элементарной ячейки иоцита этого образца $a_0 = 4,29 \text{ \AA}$.

Черные кавернозные скопления, состоящие из мелких (обычно не более 1 мм) кристаллов иоцита находятся вместе с магнетитом и моносulfидами железа в продуктах разложения кусков сидеритовых пород в "черных блоках". Все полости таких агрегатов заполнены сажистым углеродистым веществом. Кристаллы иоцита обычно имеют октаэдрический облик и иногда очень богаты мелкими гранями других форм.

Магнетит - Fe²⁺Fe³⁺O₄. Кубическая сингония. Мелкие, октаэдрического облика кристаллы железа при разложении кусков сидеритовых пород в "черных блоках". Как правило, кристаллы имеют кроме {111} еще многие мелкие грани других форм. Химический анализ тщательно очищенной фракции -0,2+0,1 мм таких кристаллов дал следующие результаты (в мас. %, аналитик Л.Ф.Баженова): FeO - 30,89; Fe₂O₃ - 65,16; остальное - нерастворимый остаток в виде черного тонкодисперсного углеродистого вещества. Часто крупнозернистыми агрегатами магнетита сложены псевдоморфозы по железным предметам. Параметр элементарной ячейки $a_0 = 3,400 \text{ \AA}$.

Магнезиоферрит - $MgFe_2^{3+}O_4$. Кубическая сингония.

Широко распространен в горелых породах. Обычно образует мелкокристаллические пористые агрегаты вместе с периклазом (иногда без него) в ядрах сильно обожженных "орехов", образовавшихся за счет кусков окаменелого дерева. Кристаллы менее 1 мм, обычно имеют форму октаэдра со слабо выраженными гранями ромбододекаэдра. Встречены также все переходы к ромбододекаэдру. Цвет агрегатов черный, блеск их яркий "искристый". Цвет кристаллов глубокий черный, блеск сильный металловидный, черта коричневая. Тонкие осколки просвечивают коричнево-красным цветом. Твердость около 5,5. Излом раковистый. Сильно магнитен. Дифрактограмма соответствует эталону. Главные отражения: 2,97(4)(022); 2,529(10)(113); 2,098(4)(004); 1,428(6)(044). Параметр $a_0 = 8,38 \text{ \AA}$. Параметр магнезиоферрита из других месторождений составляет 8,380-8,382 \AA [16]. Содержание $MgO = 23,40\%$ (аналитик Л.Ф.Баженова).

Гематит- α - Fe_2O_3 . Тригональная сингония. Является наиболее характерным (типоморфным) минералом горелых пород. Кирпично-красный цвет горелого материала отвалов обусловлен широким распространением в нем тонкодисперсного гематита.

В полостях горельника образует хорошо выраженные кристаллы размером до 2-3 мм, различного облика: "кубоподобные" ромбоэдры $\{10\bar{1}1\}$, таблитчатые и пластинчатые по $\{0001\}$ кристаллы, толстые таблицы с $\{11\bar{2}0\}$ и $\{0001\}$. Встречены ветвистые плоские дендриты. Иногда кристаллы имеют вид листочков, просвечивающих густо-красным цветом. Широко развит в псевдоморфозах по железным предметам, где образуется за счет окисления иоцита и магнетита и за счет сгорания моносульфидов и карбидов железа. В горячей (выше $100^\circ C$) хлоридно-сульфатной фумароле близ вершинной части террикона шахты № 45 кристаллы гематита размером до 1-2 мм выросли на кусках горельника менее чем за полгода.

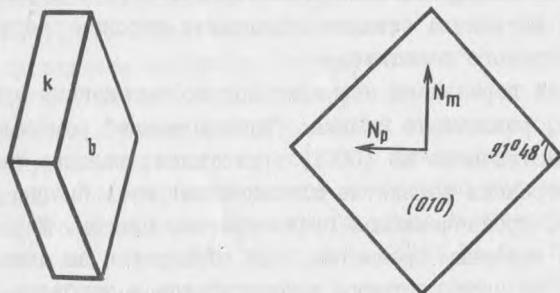
Маггемит- γ - Fe_2O_3 . Кубическая сингония. Установлен в горелых отвалах г.Копейска С.Г.Суставовым [36] в виде отдельных сильно магнитных зерен темно-коричневого цвета до 2 мм в поперечнике. Дебаеграмма соответствует маггемиту.

Сребродольскит - $Ca_2Fe_2O_5$. Ромбическая сингония. Найден Б.В.Чесноковым (1982 г.) и определен как новый минерал. Назван сребродольскитом (srebrodolskite) в честь известного минералога Б.И.Сребродольского, ряд трудов которого посвящен минералогии горящих терриконов угольных шахт.

Сребродольскит - обычная составная часть ядер "орехов", возникших при обжиге кусков окаменелого дерева (см.рис.7). Его мелкозернистые выделения обычно приурочены к внешним зонам ядра и к границе ядра со скорлупой. Здесь же встречаются небольшие полости с кристаллами сребродольскита, имеющими вид почти прямоугольных таблиц с ровными, обычно не сильно блестящими гранями $\{101\}$ и $\{010\}$ (рис.27).

Агрегаты сребродольскита обычно довольно рыхлые. Структура их тонкозернистая, зерна обычно менее 0,1 мм. Цвет агрегатов глубокий черный, поверхность "искристая". Зерна и кристаллы таблитчатые по {010}. Цвет их черный, блеск сильный, алмазовидный. Тонкие таблочки просвечивают бурокрасным цветом. Черта серовато-коричневая. Твердость 5,5. Хрупок, отмечается спайность по {101}. Плотность $4,04 \pm 0,01$ г/см³ (определено пикнометрически в бромформе). Слабо магнитен (слабо притягивается магнитом Сошнева). Плавокость около 4,5; перед паяльной трубкой оплавляется в черное "стекло". Перл буры коричневатого-желтый (Fe). Растворяется в HCl; раствор становится желто-коричневым и горячим.

В иммерсии имеет вид почти квадратных таблечек, углы которых отличаются от прямого на $2^{\circ}30'$. Биссектриса тупого угла N_p , а острого $-N_m$ (рис.28). Тонкие таблочки прозрачные, коричневатокрасные. Более тонкие осколки коричневатожелтые. Плеохроизм слабый. Толстые таблочки непрозрачны. Оптически двуосный, отрицательный (?); $n_g \approx 2,27$; $n_m \approx 2,25$; $n_p \approx 2,24$ (определено в сплавах).



Р и с.27. Кристаллы сребродольскита
в {010}, к {101}

Р и с.28. Оптическая ориентировка сребродольскита в плоскости (010)

Порошковая диаграмма сребродольскита находится в хорошем соответствии с порошковой диаграммой синтетического двухвалентного феррита $Ca_2Fe_2O_5$ (табл.21). По аналогии с этим ферритом приписываем сребродольскиту пространственную группу $Fm\bar{3}m$. Параметры ячейки сребродольскита: $a_0 = 5,420 \pm 0,003$ Å; $b_0 = 14,752 \pm 0,003$ Å; $c_0 = 5,594 \pm 0,003$ Å. $v = 447,27$ Å³, $z = 4$, $\rho_{вч} = 4,03$ г/см³.

Химический анализ сребродольскита выполнен Л.Ф.Важеновой (табл.22). Он пересчитывается на эмпирическую формулу $Ca_{2,01}(Fe_{1,91}^{3+}Mg_{0,08}Mn_{0,03})_{2,02}O_5,00$, что близко к стехиометрии $Ca_2Fe_2O_5$. Лазерным микроспектральным анализом (аналитик В.О.Поляков) обнаружены также примеси Ti и Be. На термодиаграмме сребродольскита никаких эффектов не имеется (нагрев до 1000°C, дериватограф Паулик и Эрлей). В табл.23 приведено сравнение свойств сребродольскита и синтетического $Ca_2Fe_2O_5$.

Т а б л и ц а 2I

Порошкограмма серебродольскита (проба 066-18) (1.) и
синтетического $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ (2.)

1			2 [8I]		
I	$d_{\text{ИЗМ}}, \text{Å}$	$d_{\text{ВЫЧ}}, \text{Å}$	I	$d, \text{Å}$	hkl
10	7,381	7,376	10	7,418	020
1	5,234	5,231	4	5,242	011
2	3,887	3,893	10	3,898	101
10	3,690	3,688	24	3,696	040
2	3,052	3,052	8	3,056	131
6	2,797	2,797	63	2,799	002
6	2,710	2,710	48	2,714	200
10	2,676	2,677	100	2,680	141
3	2,611	2,610	14	2,609	051
3	2,459	2,460	3	2,460	112
3	2,351	2,355; 2,351	5	2,356	122; 151
1,5	2,187	2,185; 2,184	9.	2,189	231; 240
4	2,081	2,079	23	2,382	161
7	1,946	1,946	42	1,949	202
1	1,905	1,901	4	1,903	152
2	1,883	1,882; 1,880	8	1,884	222, 251
10	1,844	1,844	22	1,847	080
2,5	1,745	1,744	9	1,746	033
1,5	1,669	1,666; 1,664	5	1,669	181; 270
2	1,624	1,625; 1,623	7	1,626	252; 331
1	1,604	1,607	3	1,609	172
3	1,592	1,591	15	1,593	143
1	1,573	1,576	6	1,578	053
2,5	1,559	1,558	18	1,561	341
3	1,540	1,540	8	1,541	082
2	1,526	1,526; 1,525	10	1,527	262; 280
1	1,488	1,486; 1,485	5	1,488	322; 351
1	1,468	1,466	7	1,468	233
1	1,433	1,433; 1,430	5	1,434	163, 272
2	1,415	1,409	7	1,411	361
1	1,400	1,398	2	1,400	004
1	1,382	1,379	2	1,331	1.10.1
1	1,378	1,374	4	1,375	024
<1	1,365	1,363	3	1,364	253
<1	1,357	1,355	4	1,357	400
<1	1,350	1,350; 1,349	2	1,350	352; 410

Таблица 2I (окончание)

1			2 [8I]		
I	d, ИЗМ Å	d, ВЫЧ Å	I	d, Å	hkl
2	1,340	1,339	10	1,341	232
2	1,2320	1,2314; 1,2315	-	-	450, 372
2	1,1750	1,1751; 1,1756	-	-	2.11.1; 2.10.2

Примечание. I - дифрактометр ДРОН-2; CuK_α ; Ni-фильтр, смесь с эталонным Ge в кювете, съемка С.Г.Суставова. 2 - дифрактометр, смесь с эталонным Al-порошком. Для 1 сильнее проявлена текстура препарата по {010} частиц сребролольскита.

В базальтоподобных породах отвала разреза Коркинский встречены рудные желваки со сребролольскитом. В полостях желваков черные пластинчатые кристаллы сребролольскита "прямоугольного облика" (см. рис. 27) достигают 1 см в поперечнике.

При обжиге кусков окаменелого дерева сребролольскит в ядре "ореха" начинает образовываться по термического разложения кальцита. Нередко встречаются ядра, состоящие из мраморовидного крупнозернистого агрегата кальцита с множеством равномерно распределенных пластинок сребролольскита. По-видимому, железистый компонент первичного анкерита окаменелого дерева был разложен с образованием сребролольскита, а кальцитовый компонент дал начало кальцитовому агрегату, ставшему впоследствии крупнозернистым вследствие собирательной перекристаллизации. Соотношение этих пластинок сребролольскита и его тонкозернистых агрегатов в периферических частях ядра достоверно не установлено. Вероятно, позднее формировались зернистые агрегаты.

Можно провести аналогию между процессом образования сребролольскита и $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (ферритовых фаз) при спекании сырьевой цементной смеси в промышленных печах [39]. В отличие от этих фаз сребролольскит не содержит алюминия. Сребролольскит должен быть внесен в группу родственного ему браунмиллерита, от которого его трудно отличить по внешним признакам [16, 58].

В выветрелых "орехах" (на старых отвалах) сребролольскит нередко замещен бурым лимонитоподобным веществом. Авторы изучения и описания Б.В. Ченоков и Л.Ф. Баженова [50].

Псевдобрукит - $\text{Fe}_2^{3+}\text{TiO}_5$. Ромбическая сингония. Встречается в полостях сильно обожженных кусков и по плоскостям сланцеватости их в виде отдельных длиннопризматических и игольчатых кристаллов, уплощенных по {100}. По результатам измерения на гониометре ZRG-3, проведенного Е.П. Макагоновым, установлены а {100}; μ {210}; е {101}; π {110} и ряд других, слабо развитых форм. Кристаллы удлинены по {001} и

достигают в этом направлении 1–2 мм. Цвет кристаллов темный красновато-бурый; тонкие кристаллы просвечивают коричневато-красным цветом. Блеск от алмазного до металловидного. Лазерным микроанализом установлены Fe и Ti. Дебаеграмма соответствует псевдобрукиту [57, 9–182]. Главные линии дебаеграммы: 3,499(10)(100); 2,748(10)(230); 2,409(4)(131); 1,869(7)(002).

Т а б л и ц а 22

Химический анализ серебродольскита (проба 066–18)

Компоненты	Мас. %	Молекулярные количества	Количество кислорода	Катионы на 5 ат. O
CaO	41,69	0,7434	0,7434	2,012
Fe ₂ O ₃	56,50	0,3538	1,0614	1,915
MgO	1,19	0,0295	0,0295	0,080
MnO	0,90	0,0127	0,0127	0,034
Al ₂ O ₃	Не обн.	–	–	–
Сумма	100,28	–	1,8470	–

Т а б л и ц а 23

Сравнение серебродольскита (1) с синтетическим Ca₂Fe₂O₅ (2N)

Характеристики	1 (проба 066–18)	2 [81]
Формула	Ca ₂ (Fe, Mg, Mn) ₂ O ₅	Ca ₂ Fe ₂ O ₅
Сингония	Ромбическая	Ромбическая
Пространственная группа	Rhna	Rhna
a ₀ , Å	5,420	5,428
b ₀	14,752	14,760
c ₀	5,594	5,596
a ₀ :b ₀ :c ₀	0,3674:1:0,3792	0,3677:1:0,3791
V, Å ³	447,27	448,34
z	4	4
ρ _{изм} , г/см ³	4,04	–
ρ _{выч} , г/см ³	4,03	–
Наиболее яркие линии порошковой диаграммы (d, i, hkl)	7,381(10)(020); 3,690(10)(040); 2,797(6)(002); 2,710(6)(200); 2,676(10)(141); 2,081(4)(161); 1,946(7)(202); 1,844(10)(080).	7,418(10)(020); 3,696(24)(040); 2,799(63)(002); 2,714(48)(200); 2,680(100)(141); 2,082(23)(161); 1,949(42)(202); 1,847(22)(080).

Примечание. a₀, b₀, c₀ определены по отражениям (200), (080), (002) соответственно.

В полостях вместе с псевдобрукитом находятся кристаллы гематита, анортита, почковидные выделения α -кристобалита и другие минералы.

Перовскит - CaTiO_3 . Ромбическая сингония. Мелкие коричневатые кубики около 0,1 мм и менее встречены вместе с густо-красным ферропеприклазом в остатке после быстрого растворения в HCl порции измельченного агрегата ольгамита и железа из "черного желвака" (отвал разреза Коркинский). Кристаллы перовскита имеют сильный алмазный блеск и полупрозрачны или просвечивают. Встречались двойники прорастания по {111}, характерные для минералов этой группы. Дебаеграмма соответствует эталонной [16]. Главные линии дебаеграммы 2,72(10)(044); 1,919(9)(008); 1,565(8)(139); 1,353(5)(083); 1,207(5)(0.4.12); 1,020(3)(2.5.14).

Кварц - SiO_2 . Тригональная сингония. Некоторое количество тонкодисперсного кварца постоянно присутствует в сульфатных корках, возникающих при сернокислотном разложении глинистых пород в фумаролах (рентгенографическое определение). Очевидно, это кремнезем, выделившийся при разложении силикатных первичных минералов.

Тридимит - SiO_2 . Гексагональная сингония. Воляно-прозрачные шестиугольные пластинки тридимита до 1 мм в поперечнике и их характерные двойниковые сростки встречаются в полостях глыб вишнево-красного спёка. В иммерсии бесцветен, $n_g = 1,474$; $n_p = 1,470$; $n_g - n_p = 0,004$. Рентгенографически определяется в составе горелых пород вместе с корилеритом, муллитом, гематитом.

α -кристобалит - SiO_2 . Тетрагональная сингония. Находится в газовых пузырьках в сильно обожженных к/сках пород в виде голубовато-серых лишайполюбных нарастаний. В этих же полостях находятся кристаллы гематита, псевдобрукита, разных силикатов. Толщина этих нарастаний (корочек) около 0,1 мм, а в поперечнике до 1-2 мм. Строение корочек зернистое. Твердость 6. В иммерсии слабо анизотропен; $n_g = 1,436$; $n_p = 1,433$; $n_g - n_p = 0,003$. Дебаеграмма соответствует α -кристобалиту. Главные линии дебаеграммы: 4,02(10)(101); 3,118(4)(111); 2,832(5)(102); 2,471(8)(200); 1,095(7)(116). В "черных блоках" α -кристобалит нередко образует мелкие белые сферолитолюбные нарастания (обычно менее 1 мм) на поверхности кусков пород. Найден и определен С.В.Ефремовым.

Корунд - Al_2O_3 . Тригональная сингония. Находится в газовых пузырьках переплавленной породы серого цвета из горельников отвала шахты № 204. Вместе с ним присутствуют кристаллы анортита, муллита, гематита, топаза, варвикита. Пластинчатые кристаллы корунда образуют плоские розетки менее 1 мм в поперечнике. Цвет розовато-коричневатый, блеск в изломе стеклянный, а на гранях 0001 - перламутровый. Твердость 9. Дебаеграмма соответствует корунду. Главные линии дебаеграммы: 2,565(10)(104); 2,095(10)(113); 1,609(10)(116); 1,414(8)(124); 1,383(9)(030). Найден и определен С.В.Ефремовым.

Шпинель - MgAl_2O_4 . Кубическая сингония. Широко распространена как в горелых породах, так и в сильно прокаленных "черных блоках".

В тонкозернистых кусках обожженных пород устанавливается рентгенографически. Образует мелкие (обычно не более 0,1 мм) желтоватые, до почти бесцветных, октаэдр в силикатных кавернозных корках в красном горельнике. Твердость очень высокая (около 8). Оптически изотропна, $n = 1,72-1,73$. Практически постоянно обнаруживается в составе силикатных корок, окружающих куски разложенного окаменелого дерева в "черных блоках" отвала шахты № 45. Образует совершенно бесцветные, "воляно-прозрачные" мелкие (как правило, менее 0,1 мм) прекрасно образованные октаэдр и ромбододекаэдр с мелкими гранями многих других форм. Часть срастается с кристаллами форстерита, норбергита, хондролита, флюорита. При тлении пород "черных блоков" переходит в состав горельника; при этом поверхность кристаллов теряет блеск и становится матовой в разной степени.

Герцинит - FeAl_2O_4 . Кубическая сингония. Установлен рентгенографически Э.В. Лотоной в составе шлакоподобных пород и обожженных аргиллитов террикона шахты Миасская в ассоциации с муллитом, кордиеритом и кварцем. Отмечен в прокаленном аргиллите из "черного блока" террикона шахты № 45 в ассоциации с кордиеритом, кварцем, муллитом и осумилитом.

Куприт - Cu_2O . Кубическая сингония. Широко распространен как продукт минерализации мелких предметов, находящихся в отвальной массе и на поверхности отвалов, особенно в местах развития сульфатных fumarol. Образуется, естественно, и при горении отвальных масс. Однако при сильном (и длительном) горении мелкие предметы переходят в тенорит, а затем и вообще целиком возгоняются (см. тенорит). Куприт слагает внутреннюю зону корки изменения меди. Внешняя зона сложена теноритом, а иногда также хлоридами и сульфатами меди. Встречены полные псевдоморфозы по проволокам из меди, в которых куприт слагает центральную часть. Строение агрегатов куприта обычно тонкозернистое, цвет серовато-красноватый, черта красная, блеск у зерен алмазный. Землистые и скрытокристаллические корки имеют красный цвет. Кристаллы на стенках полостей имеют форму куба или кубооктаэдра. В горельнике террикона шахты Куллярская-3 (г. Красногорск) найдена псевдоморфоза по обрезку тросового провода, сложенная крупнокристаллическим купритом. Он имеет густо-красный цвет, алмазовилный блеск и спайность по кубу. Лебаеграмма соответствует куприту. Главные линии лебаеграммы: 2,461(10)(111); 2,133(?) (200); 1,513(6)(220); 1,284(6)(311); 1,067(3)(400). Параметр $a_0 = 4,268 \text{ \AA}$ (у эталонного куприта $a_0 = 4,2696 \text{ \AA}$ [57, 5-0667]).

Тенорит - CuO . Моноклинная сингония. Как и куприт, широко распространен в виде продукта изменения медных предметов. Слагает внешние части корок, внутренняя часть которых сложена купритом. Образует мелкие призматические кристаллики, чешуйки, тонкозернистые и сажистые агрегаты. Цвет черный, блеск смолистый. Зерна хрупкие, а чешуйки гибкие и упругие. В красном горельнике (спёке) были встречены более или менее изометричные ореолы тенорита до 20-30 см в поперечнике. Ореолы представлены тонкими черными листочками тенорита до 1 см в длину, наросшими

на стенки полостей в спёке. Листочки очень тонкие, изгибающиеся при очень легком прикосновении, но упругие. Они просвечивают коричневатым цветом. По-видимому, на месте таких ореолов были мелкие предметы, которые при длительном нагреве подверглись возгонке. Дебаеграмма зернистого тенорита соответствует эталону. Главные линии: 2,516(10)(111, 002); 2,314(10)(111, 200); 1,860(7)(202); 1,576(5)(202); 1,500(5)(113); 1,405(5)(311, 310); 1,379(6)(220, 113); 1,264(5)(004, 222).

Г л ё т - PbO . Тетрагональная сингония. Образовался при изменении свинцового слитка, возникшего при плавлении свинцовой оболочки куска электрического кабеля, помещенного в сульфатную фумаролу на терриконе шахты Глубокая. Цвет оранжево-красный, блеск от жирного до алмазовидного. Дебаеграмма соответствует глёту. Главные линии: 3,10(10)(101); 2,81(7)(110); 2,50(5)(002); 1,870(9)(112); 1,677(7)(211); 1,545(7)(103).

М а с с и к о т - PbO . Ромбическая сингония. Слагает основную массу пролуктов изменения свинцового слитка (см. глёт). Строение агрегатов листоватое, цвет золотисто-желтый. Блеск от жирного до алмазовидного. Черта светло-желтая. Листочки прозрачные или просвечивают. Спайность очень хорошая. Дебаеграмма соответствует массикоту. Постепенно превращается в глёт даже в комнатных условиях.

П л а т т н е р и т - PbO_2 . Тетрагональная сингония. Образует мелкие призматические кристаллы на корках изменения свинцовых предметов. Довольно редок. Цвет черный, блеск смолистый. Твердость около 4,5. Излом раковистый. Легкоплавко, окрашивает пламя в лилово-голубой цвет (Pb).

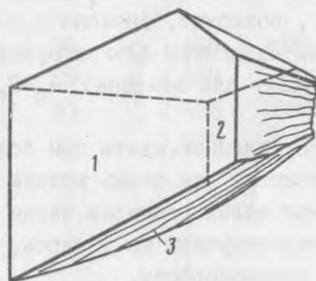
К у б и ч е с к а я PbO_2 является продуктом изменения свинца совместно с глётком и массикотом в сульфатной фумароле террикона шахты Глубокая. Образует корочку толщиной до 1 мм на массикоте. Строение корочки поперечно-шестоватое. Цвет коричневый. Твердость около 4, хрупкий. Легкоплавко, дает королек свинца. Лазерным микроанализом обнаружен Pb и примесь Fe . Дебаеграмма соответствует синтетической кубической PbO_2 [57, 22-339]. Главные линии на дебаеграмме: 3,093(10)(111); 2,679(7)(200); 1,895(9)(222); 1,617(9)(311); 1,229(5)(331); 1,199(5)(420); 1,095(7)(422). Параметр $a_0 = 5,316 \text{ \AA}$. Образец отобран Б.В.Чесноковым. Определение произведено Т.А.Михаль.

К р а с н о г о р и т - WO_3 . Ромбическая сингония. На разрабатываемом терриконе шахты Красносельская (г.Красногорск) С.В.Ефремовым (1984 г.) был найден сильно измененный резец, предназначенный для бурения шпуров. Б.В.Чесноковым было установлено, что он относится к типу РП7 [12] (бурение шпуров в углевмещающих породах) и что армирующие его пластинки твердого сплава типа ВКЗ (марка пластинок ГЗЗ) полностью разложены в мягкое (режется ножом) голубовато-серое вещество. Рентгенографическое изучение фазового состава этого вещества выполнено Т.А.Михаль в лаборатории кафедр кристаллографии Ленинградского университета.

Резец находился в рыхлой горелой кирпично-красной породе в стенке экскаваторного забоя. Тело резца, оба пера и хвостовик покрыты коркой окислов железа толщиной до 2 мм. Снаружи она буро-красная, а в изломе — от бурой до буровато-черной. Кора легко отделяется от металла, обломки ее магнитны. Черта обломков меняется от красно-коричневой (наружная часть коры) до черной (внутренняя часть). По-видимому, кора сложена магнетитом и гематитом. Псевдоморфоза по одной пластинке твердого сплава находилась возле одного резца, а измененная пластинка от другого пера отделилась и скатилась по склону, затерявшись в рыхлой массе горельника. На обоих перьях остались небольшие части псевдоморфоз, довольно прочно связанные с резцом.

Для армирования резцов типа РП7 применяются пластинки из твердого сплава ВК8, состоящего на 92% из карбида вольфрама (WC) и на 8% из металлического кобальта, играющего роль связки (цемента) для мелких зерен WC . Такие пластинки марки ГЗ3 имеют толщину 4 мм [2, 12].

Псевдоморфоза по пластинке твердого сплава (рис.29) имеет форму усеченной пирамиды с основанием в виде неправильного пятиугольника. Это



Р и с.29. Псевдоморфоза по пластинке твердого сплава
Грани: 1 — передняя; 2 — задняя; 3 — нижняя

основание было передней режущей гранью пластинки. Оба основания усеченной пирамиды (см. рис.29, передняя и задняя грани) и нижняя ее грань представляют собою исходные поверхности пластинки, сильно измененные морфологически и химически. Они довольно неровные (за исключением передней грани — основания) и местами покрыты тонкими черными и бурыми корочками продуктов изменений. На задней грани (малое основание усеченной пирамиды) имеется округлое углубление от оставшейся на перо резца части псевдоморфозы. Остальные грани псевдоморфозы представляют поверхности сколов, прошедших в основном параллельно боковым граням исходной пластинки. Отделившиеся отщепы не найдены. Поверхность сколов чистая, свежая.

Псевдоморфоза — это сильно "вспухшая" исходная пластинка. Ее толщина (высота усеченной пирамиды) составляет 12,0 мм. Толщина исходной пластинки твердого сплава была 4 мм. Следовательно, толщина пластинки при псевдоморфозации увеличилась в 3 раза. По-видимому, приращение объема в

других направлениях было гораздо меньшим. Это подтверждается, например, величиной объемной плотности псевдоморфозы ($6,62 \text{ г/см}^3$, гилростатическое взвешивание). Плотность твердого сплава ВК8 $14,4\text{--}14,8 \text{ г/см}^3$. Таким образом, объемная плотность пластинки при псевдоморфизации уменьшилась в 2,2 раза.

Поверхность сколов на псевдоморфозе имеет зеленовато- и голубовато-серый цвет. Местами видна сиреневая побегалость. В свежем изломе вещество псевдоморфозы зеленовато-серое с голубоватым оттенком. Черта голубовато-серая. На поверхности сколов (границ псевдоморфозы) излом занозистый; линейность излома в общем перпендикулярна основаниям пирамиды. Строение вещества однородное, весьма тонкозернистое. Твердость около 4 (довольно легко царапается стальной иглой). Вещество хрупкое, но при заглаживании твердым предметом слабо полируется.

На дифрактограмме вещества псевдоморфозы (однородная проба с поверхности свежего излома) обнаружены отражения только WO_3 и CoWO_4 (табл. 24). Часть слабых отражений WO_3 и CoWO_4 на дифрактограмме не проявилась. Сходство рентгенограммы с данными для эталонов WO_3 и CoWO_4 хорошее, особенно в отношении CoWO_4 . Более значительные отклонения для WO_3 , возможно, связаны с примесью 2% Nb_2O_5 в эталонном WO_3 57,20-1324. Параметры элементарной ячейки псевдоморфозы WO_3 следующие (в Å; в скобках — для эталона): $a_0 = 7,39(7,384)$; $b_0 = 7,53(7,512)$; $c_0 = 3,84(3,846)$.

В полированных шлифах в отраженном свете при большом увеличении фазы WO_3 и CoWO_4 различаются как очень мелкие зерна с низкой отражательной способностью. Из-за малых размеров зерен количественные характеристики их оптических свойств получить не удалось. Характерна равномерная микропористость вещества псевдоморфозы.

Образование WO_3 и CoWO_4 за счет смеси WC и Co произошло под действием окисляющих горячих газов. В связи с этим подчеркнем одну замечательную особенность процесса псевдоморфизации пластинок твердого сплава: изменение объема тела при этом процессе происходило резко анизотропно. Практически все приращение объема обязано расширению пластинки перпендикулярно ее главной режущей (перелней) грани, т.е. перпендикулярно уплощению. А в этом направлении как раз происходило уменьшение объема исходной смеси WC и Co при изготовлении пластинки методом прессования порошка. Таким образом, мы встретились с новым явлением запоминания предыдущих деформаций вещества керамического изделия при его химическом изменении (псевдоморфизации).

Изученный нами окисел WO_3 представляет собой новый минерал, которому дается название красногорит (krasnogorite) по месту нахождения (г. Красногорск). Авторы изучения и описания Б.В. Чесноков и Т.А. Михаль.

Портландит — Ca(OH)_2 . Тригональная сингония. Широко распространен как продукт гидратации зерен извести в ядрах "орехов" и обожженных кусков карбонатных конкреций. При замещении извести портландитом

Т а б л и ц а 24

Дифрактограммы псевдоморфозы по пластинке твердого сплава (1), WO_3 (2) и $CoWO_4$ (3)

1		2 [57,20-1324]			3 [57, 15-867]		
I	d, Å	I	d, Å	hkl	I	d, Å	hkl
4	5,680	-	-	-	8	5,683	010
17	4,667	-	-	-	30	4,673	001
100	3,848	100	3,85	001	-	-	-
100	3,769	65	3,75	020	-	-	-
41	3,739	-	-	-	30	3,733	110
86	3,656	95	3,69	200	-	-	-
23	3,611	-	-	-	30	3,608	011
-	-	2	3,43	011	-	-	-
11	3,345	10	3,35	120	-	-	-
12	3,091	25	3,10	111	-	-	-
77	2,916	-	-	-	100	2,916	111
7	2,843	-	-	-	10	2,842	020
22	2,690	35	2,686	021	-	-	-
20	2,661	35	2,662	201	-	-	-
32	2,625	50	2,633	220	-	-	-
4	2,523	6	2,525	120	-	-	-
-	-	-	-	-	20	2,473	200
16	2,466	-	-	-	20	2,464	120
3	2,428	-	-	-	6	2,428	021
5	2,331	-	-	-	10	2,335	002
1	2,265	-	-	-	<1	2,269	210
-	-	-	-	-	14	2,185	201
12	2,178	-	-	-	14	2,180	121
-	-	16	2,173	221	-	-	-
9	2,159	-	-	-	<1	2,160	012
-	-	2	2,099	031	-	-	-
-	-	2	2,056	320	-	-	-
5	2,039	-	-	-	8	2,041	211
4	2,022	10	2,018	131	-	-	-
-	-	6	1,998	311	-	-	-
7	1,978	-	-	-	8	1,979	112
6	1,922	20	1,923	002	-	-	-
-	-	-	-	-	2	1,894	030
7	1,882	10	1,878	040	-	-	-
5	1,864	-	-	-	8	1,866	220
-	-	20	1,846	400	-	-	-
15	1,824	10	1,820	140	-	-	-
11	1,801	-	-	-	6	1,803	022

Таблица 24 (окончание)

1		2 [57,20-1324]			3 [57, 15-867]		
I	d, Å	I	d, Å	hkl	I	d, Å	hkl
-	-	16	1,806	112	-	-	-
6	1,754	-	-	-	14	1,755	031
2	1,731	-	-	-	4	1,733	231
7	1,711	10	1,712	022	-	-	-
14	1,703	10	1,706	202	-	-	-
-	-	-	-	-	25	1,698	202
20	1,695	-	-	-	25	1,695	122
-	-	16	1,688	041	-	-	-
7	1,675	10	1,674	240	-	-	-
-	-	16	1,665	401	-	-	-
-	-	16	1,657	420	-	-	-
10	1,652	-	-	-	2	1,654	131
12	1,644	6	1,645	141	-	-	-
-	-	-	-	-	2	1,626	212
-	-	2	1,597	331	-	-	-
1	1,532	-	-	-	4	1,533	310
-	-	-	-	-	<1	1,556	003
2	1,554	6	1,553	222	-	-	-
4	1,536	10	1,535	241	-	-	-
4	1,529	10	1,522	421	-	-	-
11	1,498	-	-	-	14	1,500	311
6	1,492	6	1,493	132,340	-	-	-
-	-	6	1,486	312	-	-	-
3	1,471	-	-	-	4	1,471	032
2	1,457	-	-	-	6	1,457	222
7	1,432	-	-	-	10	1,436	113

Примечание. Условия съемки: 1- ДРОН-2; CoK_{α} (монохроматор); эталон Ge ;
2- дифрактометр; Cu -анод, Ni -фильтр; 3- дифрактометр;
Co-анод, Fe -фильтр.

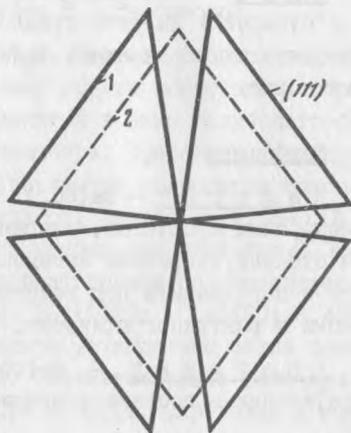
(гашение извести) объем ядра "ореха" сильно увеличивается и ангидритовая скорлупа лопается с образованием полигонов наполюбие полигонов на панцир черепахи.

В пористых агрегатах ядер "орехов" многие зерна извести граничат со свободным пространством полостей; в таких случаях наблюдаются интересные объемные эффекты при замещении зерен портландитом. При переходе извести в портландит происходит значительное увеличение объема, а ориентировка микроиндивидов портландита, по-видимому, закономерная: {0001} его парал-

лельна $\{111\}$ извести (плоскости плотнейшей упаковки ионов обоих минералов параллельны). Вследствие этого приращение объема псевдоморфозы происходит максимально в направлениях, перпендикулярных плоскостям $\{111\}$ извести. В итоге псевдоморфоза разваливается на восемь пирамид, сходящихся вершинами в центре бывшего зерна извести (рис.30). В данном случае имеется аналогия с образованием железо-графитовых псевдоморфоз по кристаллам карбида железа (см.рис.18).

Р и с.30. "Разваленная" псевдоморфоза портландита по кристаллу извести, разрез по (110)

1 - секторы (пирамиды) псевдоморфозы; 2 - исходный октаэдр извести



Определение портландита подтверждено термическим и рентгенографическим анализами. Крупные чешуйки портландита образуются при гидратации баженовита.

Б р у с и т - $Mg(OH)_2$. Тригональная сингония. Обычный продукт гидратации периклаза. Как и портландит, с течением времени переходит в волновые карбонаты (см.ниже). Определение подтверждено оптически, рентгенографически и термическим анализом.

Г ё т и т - $\alpha-FeOOH$. Ромбическая сингония. Встречен в виде поперечно-волоконистых красновато-бурых прожилков в лимоните, образовавшихся при интенсивной минерализации железных предметов в поверхностном слое рыхлого грунта термически активных отвалов.

Д е ц и д о к р о к и т - $\gamma-FeOOH$. Ромбическая сингония. Образует тонкие поперечно-листоватые корочки до 1 мм в трещинах лимонита, замещившего железную пластинку (осыпь террикона шахты № 45). Листочки просвечивают коричневато-красным цветом.

Л и м о н и т - $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$. Очень широко распространен в виде продукта минерализации железных предметов на поверхности отвалов, в поверхностном слое грунта и в сульфатных fumarолах. Образуется также при окислении самородного железа, когениита и моносульфидов железа. Фазовый состав этих образований лимонита не изучался.

Гидроокислы алюминия - $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. Собрана обширная коллекция алюминиевых предметов, в той или иной степени (по полной минерализации) замещенных гидроокислами алюминия. Она пока не изучена. Характерно, что в условиях агрессивной среды на поверхности отвалов и в поверхностном слое грунта коррозия алюминия не сдерживается образованием защитной пленки, а идет очень быстро до полной минерализации предмета.

Опал - $SiO_2 \cdot nH_2O$. Встречен в виде весьма пористых легких кусков ("сухарей") на рьяле отвалов в слабо обожженной отвальной массе. Возможно, что их образование связано с процессами "доотвального" существования пород.

Карбонаты

Кальцит - $Ca(CO_3)$. Тригональная сингония. Входит в состав тонкодисперсных продуктов, слагающих ядра "орехов", полвергнутых в той или иной степени вторичным изменением. Является продуктом карбонатизации извести и порглангита под действием атмосферной CO_2 . Установлен микроскопически и рентгенографически.

Драгонит - $Ca(CO_3)$. Ромбическая сингония. Обнаружен рентгенографически в составе тонкодисперсных продуктов ядер измененных "орехов".

Несквегонит - $Mg(CO_3) \cdot 3H_2O$. Моноклиная сингония. Неолнократно встречается в ядрах слабо обожженных кусков окаменелого дерева, имеющих ржаватый или табачный цвет. Образует радиально-лучистые корочки на стенках полостей. Длина игольчатых доходит до 2-3 мм. Бесцветен, блеск стеклянный, черта белая. Твердость 2,5. Хрупок, излом занозистый, спайность совершенная в одном направлении (по удлинению). Плотность $1,82 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа с ксилолом). В HCl растворяется со вскипанием, но менее бурно, чем кальцит. В закрытой трубке выделяет воу. Дает положительную реакцию на Mg с гидрофосфатом натрия. В иммерсии погасание прямое, по удлинению расположена N_m . Двусный, отрицательный; $n_g = 1,529$; $n_m = 1,508$; $n_p = 1,418$; $n_g - n_p = 0,111$.

Диаграмма соответствует несквегониту [57, 20-669]. Главные линии: 6,52(10)(101); 3,37(9)(002); 3,24(7)(310); 2,63(8)(120). Параметры моноклиной элементарной ячейки: $a_0 = 12,13$; $b_0 = 5,37$; $c_0 = 7,72$ Å; $\beta = 90,42^\circ$. На кривой нагревания ДТА имеются три эндотермических пика: 200, 440 и 510°C. Общая потеря массы по ТГ при нагревании до 1000°C равна 70,33%, а потеря на дегидратацию 37,3%. Соответствующие расчетные величины для идеальной формулы равны 71 и 39%. Вместе с несквегонитом находят основные водные карбонаты магния - дипингит и иосикаваит. Изучение проведено Е.Л.Щербаковой в образцах, отобранных Б.В.Чесноковым.

Дипингит - $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$. Моноклиная сингония (?). Встречен вместе с несквегонитом в виде зернистых корочек толщиной до 3-5 мм, наростивших на измененное окаменелое дерево и на сферолиты иосикаваита. Бес-

цветный до белого, блеск стеклянный. Плотность $2,18 \pm 0,01$ г/см³. Растворяется в HCl со вскипанием. В закрытой трубке выделяет волю. Показатели преломления колеблются в пределах 1,508–1,514. Дифрактограмма соответствует лингиту [59, 76]. Главные отражения: 15,45(3); 10,31(8); 6,40(7); 5,31(10); 2,99(6). На кривой ДТА в пределах 60–475°C имеется сложное эндотермическое понижение и характерный экзотермический пик при 510°. Общая потеря массы по ТГ при нагревании до 1000°C равна 53,15%; потеря на гидратацию равна 23,3%. Соответствующие расчетные величины для идеальной формулы равны 53,7 и 22,3%. Определен и изучен Е.П.Щербаковой.

И о с и к а в а и т - $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 8H_2O$. Широко распространен в полостях обожженных кусков окаменелого дерева, других карбонатных пород и прилегающих к ним частях горельника. Выделяется в виде голубовато-белых тонковолокнистых сферолитов до 0,5–1 мм в диаметре. Сферолиты иногда сливаются в сплошные натечные корки. Блеск поверхности сферолитов матовый, а в изломе - шелковистый. Твердость низкая, хрупок. Плотность $2,16 \pm 0,01$ г/см³. Растворяется с шипением в HCl. В закрытой трубке выделяет волю. Показатели преломления в пределах 1,517–1,523. Дифрактограмма соответствует иосикаваиту [84]. Главные отражения: 33,15(4); 16,10(3); 10,45(6); 6,43(6); 5,35(10); 2,90(7). При прокаливании в капилляре установлены общие потери массы в 61,7%; потеря воли составляет 30,7%. Соответствующие величины, рассчитанные по идеальной формуле, равны 62,3 и 30,1%. Определен и изучен Е.П.Щербаковой.

П и р о а у р и т - $Mg_6Fe_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$. Ромбическая сингония. Преположительно установлен рентгенографически в составе "белых комьев", образовавшихся при обжиге кусков карбонатных пород совместно с несквегонитом, арагонитом, бруситом и портландитом (отражения 3,83 и 2,62 Å).

К о л и н г и т - $Mg_{10}Fe_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2H_2O$. Преположительно установлен рентгенографически в "белых комьях" вместе с пироауритом (см. выше) (отражения 6,01 и 2,36 Å).

М а л а х и т - $Cu(CO_3) \cdot Cu(OH)_2$. Моноклинная сингония. Редко встречается как пролукут изменения мелных прелметов на поверхности отвалов в виде землистых примазок и корочек.

А з у р и т - $2Cu(CO_3) \cdot Cu(OH)_2$. Моноклинная сингония. Встречен в виде тонких пленок на кусках измененного (в куприт и тенорит) мелного провода.

Сульфаты.

С у л ь ф а л ю м и т - $(Al, Fe^{3+})_2(SO_4)_3$. Тригональная сингония. Найден и определен Б.В.Чесноковым в 1982 г. Широко распространен. Является главной составной частью сульфатных корок наиболее горячих fumarol (несколько сот градусов). Самые обильные скопления найдены на терриконе шахты Октябрьская. Они имеют белый цвет, мелополобны. Часто встречаются пенистые натечки ("безе"). На открытом воздухе довольно быстро гидратируются.

В иммерсии оптически анизотропен, весьма тонкозернистый, показатель преломления около 1,53-1,54. Перел паяльной трубкой не плавится, становится светло-красным и слабо магнитным. В закрытой трубке налетов не выделяет. Медленно растворяется в воде. Химический анализ выполнен Л.Ф.Баженовой (табл.25). CaO, K₂O, MgO, MnO, Na₂O связаны с примесью ангидрита и лангбейнита, установленных оптически и рентгенографически, поэтому из расчета исключены. Эмпирическая формула сульфалюмита (при S=3,00): (Al_{1,46}Fe³⁺_{0,48}Ti_{0,04})_{1,98}(SO₄)_{3,00}. Идеальная формула: (Al, Fe³⁺)₂(SO₄)₃.

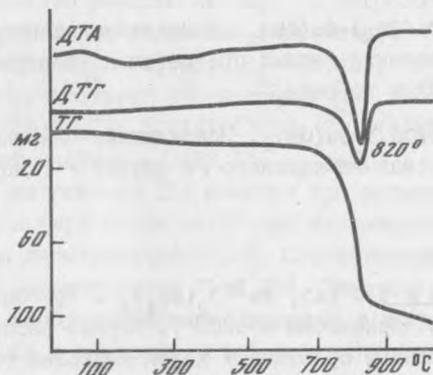
Т а б л и ц а 25

Химический анализ пробы 070-23 сульфалюмита

Компоненты	Мас.%	Молекулярные количества	Компоненты	Мас.%	Молекулярные количества
SO ₃	63,70	0,79565	CaO	2,76	0,04922
Al ₂ O ₃	16,00	0,15692	MnO	0,16	0,00226
Fe ₂ O ₃	8,32	0,05210	K ₂ O	1,71	0,01815
TiO ₂	0,71	0,00889	Na ₂ O	0,20	0,00322
MgO	2,98	0,07393	H ₂ O	3,51	0,19478
			Сумма	100,05	

Примечание. H₂O идентифицирована по ТГ, как потеря массы при прокаливании до 400°C (см.рис.31).

Дифрактограмма соответствует синтетическому Al₂(SO₄)₃ (табл.26). Слабые отражения выше указанных примесей в таблицу не включены. Параметры элементарной ячейки: a₀ = 8,06±0,01; c₀ = 21,53±0,01 Å. v = 1211,3 Å³; z = 6; ρ_{выч} = 2,932 г/см³. На дериватограмме (рис.31) имеется один глубокий эндотермический эффект при 820°C (десульфатизация).



Р и с.31. Дериватограмма сульфалюмита (проба 070-23, навеска 228 мг)

Порошкограммы сульфалюмита (проба 070-23) (1) и
эталонного $Al_2(SO_4)_3$ [57, 22-21] (2)

1			2		
i	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	i	$d, \text{Å}$	hk \bar{l}
4	5,83	5,86	30	5,82	012
4	4,23	4,26	20	4,24	104
-	-	-	4	4,00	110
-	-	-	20	3,59	006
10	3,50	3,51	100	3,49	113
3	2,923	2,928	35	2,91	024
3	2,672	2,680	30	2,66	116
1,5	2,618	2,619	25	2,60	211
-	-	-	6	2,55	122
3	2,365	2,369	4	2,36	214
1	2,326	2,327	6	2,32	300
1	2,210	2,213	15	2,20	303
1	2,034	2,057	10	2,04	119
1	2,010	2,000	6	1,99	217
1	1,951	1,952	6	1,94	306
-	-	-	4	1,92	312
1	1,886	1,884	6	1,87	128
1	1,757	1,757	10	1,74	226
-	-	-	4	1,71	042
2,5	1,667	1,668	10	1,66	2.1.10
1	1,641	1,638	8	1,63	137
1	1,567	1,572	4	1,56	318
3	1,539	1,541	4	1,54	229

Примечание. 1 - дифрактометр ДРОН-2; CuK_{α} ; Ni-фильтр; аналитик В.Ф. Жланов; 2 - дифрактометр; CuK_{α} ; Ni-фильтр.

Название сульфалюмит (*sulfalumite*) отражает основные особенности состава минерала. Подобный минерал был описан Б.И. Сребродольским с горящих терриконов шахт Львовско-Волинского угольного бассейна как миллозевичит [31]. Миллозевичит же относится к проблематичным минералам, изучение его не было выполнено в свое время. Отнесение к миллозевичиту безводного сульфата алюминия с примесью железа было сделано без надлежащих оснований. Авторы изучения и описания сульфалюмита Б.В. Чесноков, Л.Ф. Баженова, В.О. Поляков.

Метабазалюминит - $Al_4(SO_4)(OH)_{10}$. Ассоциирует с сульфалюмитом в пробах из внутренних зон сульфатных кор. Дифрактограмма соответствует метабазалюминиту [57, 8-80]. Главные отражения 8,50(7); 4,90(2); 4,36(6). Установлен Е.П. Шербаковой.

Ростит - $\text{Al}(\text{SO}_4)(\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Ромбическая сингония. Слагает внутренние части верхних зон сульфатных кор. По-видимому, является продуктом изменения сульфалюмита, а также наиболее устойчивой промежуточной фазой при ступенчатой гидратации сульфалюмита до алуногена. Встречен в белых сульфатных корках на терриконах шахты № 43-бис и шахты Центральная вместе с чермитом и шиккерингитом, а также в серых сульфатных корках на отвалах ЦОФ с кокимбитом и гидробазалюминитом. Дифрактограмма соответствует росту (ихалемиту) [85]. Главные отражения: 4,25(10)(220); 4,19(6)(022); 3,93(10)(221); 3,35(9)(222); 3,27(8)(040); 2,736(9)(331); 2,098(6)(351); 2,027(9)(125); 1,995(6)(352); 1,675(6)(444). Установлен Е.П.Щербаковой.

Гидробазалюминит - $\text{Al}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_{10} \cdot 36\text{H}_2\text{O}$. Найден в серой мелкокристаллической корке из отвала ЦОФ с чермитом, роститом, кокимбитом. Дифрактограмма соответствует гидробазалюминиту [57, 8-36]. Главные отражения: 12,5(5); 6,27(2); 4,71(1); 4,23(10); 3,72(2). Установлен Е.П.Щербаковой.

Алуноген - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$. Триклинная сингония. Широко распространен в верхних зонах сульфатных кор. Образует слоистоподобные мелкочешуйчатые агрегаты светло-серого, белого, зеленовато-желтого цвета. Часто слагает сталактиты и различной формы натечи в полостях сульфатных кор. Дифрактограммы соответствуют алуногену [57, 16-360, 22-22]. Главные отражения: 13,40(3)(020); 6,75(2)(040); 4,47(8)(060); 3,95(5)(131, 141); 3,89(5)(131, 160); 3,65(5)(151, 200); 3,38(9)(151); 3,02(6)(002, 180); 2,84(5)(081). Химический анализ алуногена выполнен Л.Ф.Баженовой (проба 062-4, в мас.%): 39,49 SO_3 ; 12,30 Al_2O_3 ; 4,19 Fe_2O_3 ; 0,29 TiO_2 ; 1,54 MgO ; 0,05 MnO ; 0,26 CaO ; 0,20 Na_2O ; 0,22 K_2O ; 42,00 H_2O (сумма 100,54).

На дривертограмме алуногена имеются три глубоких эндотермических пика: 150 и 290°C (дегидратация) и 810°C (десульфатизация). Содержание воды по ТГ около 40%. Таким образом, расчетное содержание H_2O в формуле изученных алуногенов составляет 13-14 "молекул". Трудно сказать, является ли это количество воды первичным или же алуноген с максимальным количеством воды подвергся дегидратации.

В дождливую погоду пастообразные массы алуногена стекают вниз, образуя на стенках полостей горельника и сульфатных корок натечные формы. Проникая в горячие зоны, они вскипают и образуют пенные массы "безд", состоящие из сульфалюмита. При сильном прокаливании они частично десульфатируются и становятся красными из-за выделенного тонкодисперсного гематита.

Иногда алуноген настолько насыщен серным ангидритом, что на открытом воздухе быстро превращается в полужидкую сернокислотную пасту, сохраняющуюся в таком состоянии в течении ряла лет. Найден и определен Б.В.Чесновым, изучен совместно с Е.П.Щербаковой.

Масканьит - $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$. Ромбическая сингония. Является сквозным минералом алюмо-аммониевых и магний-аммониевых кор и образуется в широком температурном интервале. Первоначально обнаружен в фумарольных

отложениях магний-аммониевого типа на терриконе шахты № 43-бис. Он находился на глубине до 1 м в трещинах усадки горельника. На поверхности отвала над трещинами залегала асфальтоподобная кора с клалноитом и серой. Масканьит слагает пузыристые стеклоподобные корки и пустотелые сталактиты на стенках трещин. Длина сталактитов до 5-7 см, толщина до 1-2,5 см. Цвет их коричневый от примеси органического вещества, осколки бесцветные. Блеск стеклянный, черта белая. Хрупкий, излом от неровного до раковистого, твердость 2,5. На вкус едкий и горький. Хорошо растворяется в воде, раствор дает реакции на SO_4^{2-} и NH_4^+ . В закрытой трубке вскипает и полностью возгоняется. Плотность $1,77 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа с ксилолом). Двуосный, положительный; $n_g = 1,532$; $n_m = 1,523$; $n_p = 1,520$; $n_g - n_p = 0,012$. Масканьит данного типа образуется непосредственно как продукт возгонки и часто отмечается в местах естественных угольных пожаров [24].

Наиболее распространена другая минералогическая разновидность масканьита - белые порошоквидные агрегаты. В ассоциации с другими минералами аммония такой масканьит отмечается почти во всех корах алюмо-аммониевого типа. Так, на терриконе шахты Подозерная он обнаружен в нижней зоне сульфатной коры вместе с годовиковитом; на терриконе шахты № 4/6 слагал выцветы на поверхности сульфатного "гриба" с чермитом, моритом и коктаитом. На терриконе шахты Северная почти нацело слагал белые корки на кусках глинистых порол, скатившихся сверху при разравнивании вершины отвала бульдозером. Эти порола серого цвета составляли слабо измененное ядро в "черном блоке". Аналогичные выделения масканьита известны и на терриконах других угольных бассейнов [34, 72, 73]. Такие агрегаты, по-видимому, осаждаются как выцветы из аммонийсодержащих растворов при различных температурах, вплоть до нормальных. Дифрактограммы обеих разновидностей соответствуют масканьиту [57, 10-343]. Главные отражения: 4,36(100)(102); 3,89(46)(200); 3,13(50)(211); 3,03(70)(013); 2,984(22)(020); 2,315(19)(221); 2,161(10)(222). Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 7,78$; $b_0 = 5,97-6,00$; $c_0 = 10,59-10,62$ Å. На кривой нагревания ДТА имеется обширный эндотермический эффект с двумя пиками при 350 и 425°C, соответствующий разложению и возгонке масканьита. Установлен Е.П.Щербаковой.

Г о д о в и к о в и т - $(\text{NH}_4)(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{SO}_4)_2$ Гексагональная сингония. Обнаружен в 1982 г. Б.В.Чесноковым и первоначально был определен им как основной сульфат алюминия. Переопределен впоследствии Е.П.Щербаковой. Он получил название годовиковит (godovikovite) в честь известного советского минералога, доктора геолого-минералогических наук А.А.Годовикова. Годовиковит - основной минерал алюмо-аммониевых кор сульфатных fumarol (например, на терриконах шахт Северная, Глубокая, Подозерная). Образует плотные или ноздреватые белые мелоподобные агрегаты. При кипячении со щелочью выделяет аммиак, при этом выпадает бурый осадок гидроокиси железа. Плотность $2,53 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа и ксилола). Оптически одноосный, отрицательный; $n_g = 1,581$; $n_p = 1,572$; $n_g - n_p = 0,009$. Химический анализ годовиковита выполнен Л.Ф.Баженовой (в мас.%):

57,02 SO₃; 8,50 (NH₄)₂O; II,98 Al₂O₃; 7,70 Fe₂O₃; 0,66 TiO₂; I,00 MgO;
0,40 CaO; 0,04 MnO; Na₂O > 0,05; 0,52 K₂O; I2,49 нерастворимых остатков
(сумма 100,31).

Анализ пересчитывается на эмпирическую формулу: [(NH₄)_{0,92}K_{0,03}]_{0,95}
(Al_{0,66}Fe_{0,27}Ti_{0,02})_{0,95}(SO₄)_{2,00}. Дифрактограмма (табл.27) соответствует
синтетическому NH₄Al(SO₄)₂ с учетом увеличения значения a при замеще-
нии части Al на Fe³⁺. Параметры элементарной ячейки: a₀ = 4,75±
0,01 Å; c₀ = 8,30±0,01 Å. v = 162,1 Å³; z = 1; ρ_{ввч} = 2,520 г/см³.

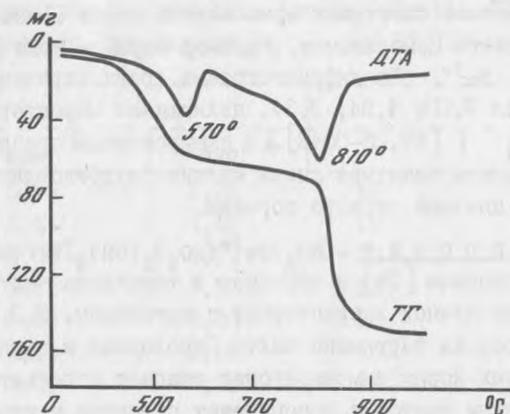
Т а б л и ц а 27

Порошковые головиковита (проба 074-55) (1) и
синтетического NH₄Al(SO₄)₂ [57, 23-1] (2)

1			2		
I	d _{изм} , Å	d _{ввч} , Å	I	d, Å	hkl
9	8,30	8,30	60	8,28	001
1	4,14	4,15	1	4,14	002
10	3,69	3,69	100	3,678	101
9	2,921	2,922	30	2,915	102
7	2,764	2,767	9	2,759	003
8	2,374	2,375	15	2,368	110
-	-	-	2	2,291	103
6	2,280	2,283	3	2,277	111
-	-	-	2	2,071	004
5	2,060	2,061	3	2,056	112
-	-	-	2	2,051	200
2	1,998	1,996	3	1,991	201
7	1,848	1,853	7	1,849	104
-	-	-	8	1,839	202
1	1,803	1,802	1	1,798	113
2	1,653	1,660	1	1,656	005
-	-	-	3	1,647	203
2	1,563	1,562	2	1,559	114
-	-	-	1	1,550	210
-	-	-	2	1,536	105
5	1,532	1,528	7	1,524	211
-	-	-	4	1,457	204
5	1,459	1,456	5	1,452	212
-	-	-	1	1,380	006
4	1,372	1,371	6	1,367	300
5	1,359	1,361	5	1,357	115
-	-	-	2	1,349	301
2	1,311	1,311	1	1,308	106

Примечание. I - дифрактометр ДРСН-2,0; CuK_α (монохроматор).

Кривая ДТА дериватограммы годовиковита (рис. 32) имеет два эндотермических пика: 570°C - разложение сульфата аммония и 810°C - десульфатизация. Соединение $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2$ неважно отмечено как неназванный минерал в отложениях фумарол на отвалах в Пенсильвании [65, 72]. Авторы изучения и описания Е.П.Щербакова, Б.В.Чесноков, Л.С.Баженова.



Р и с.32. Дериватограмма годовиковита (проба 074-55, навеска 251 мг)

$(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (неназванный минерал). Обнаружен в сульфатных корах и определен Е.П.Щербаковой. На терриконе шахты Полозерная ассоциирует с годовиковитом и чермигитом. По-видимому, является стабильной фазой при ступенчатости гидратации годовиковита до чермигита. Дифрактограмма соответствует синтетическому $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [57, 18-79]. Главные отражения (в смеси с годовиковитом): 6,65; 5,85; 4,98; 4,23; 3,62; 3,49; 2,370; 2,699; 2,346.

Чермигит - $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$. Кубическая сингония. Найден и определен Б.В.Чесноковым. В верхних зонах алмосульфатных кор ассоциирует с волнистыми сульфатами алюминия и железа, находится в полчиленном количестве. Местами образует скопления мелких (до 1 мм) бесцветных или сероватых октаэдров, а также натечные корки и небольшие сталактиты вместе с алуногеном, пиккерингитом, роститом и кокимбитом. На некоторых фумаролах верхние зоны сульфатных кор сложены только чермигитом (шахты Глубокая, Полозерная).

Легко растворяется в воде, на вкус кисловатый. Изотропен в иммерсии, $n = 1,459$. Дифрактограмма соответствует синтетическим NH_4 -квасцам - $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ [57, 7-22]. Главные отражения: 7,09(5)(111); 5,49(7)(200); 4,34(10)(220); 4,09(7)(221); 3,28(10)(321); 3,03(6)(400). Параметр $a_0 = 12,23 \text{ \AA}$ (у эталона $a_0 = 12,240 \text{ \AA}$).

На дериватограмме чермигита имеется ряд эндотермических эффектов: глубокий эффект в интервале $75-300^{\circ}\text{C}$ с максимумами при 120, 160 (главный)

и 220° соответствует дегидратации минерала до $(\text{NH}_4)\text{Al}(\text{SO}_4)_2$. Эндозэффект при 570° соответствует разложению на два безводных сульфата и удалению (возгонке) $(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)$. Резкий эндозэффект при 820° отвечает десульфатизации $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Изучение выполнено Е.П.Щербаковой.

$(\text{NH}_4)_3\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)_3$ (не названный минерал). Определен Е.П.Щербаковой в составе блестящих ярко-желтых корок с нашатырем из фумаролы на терриконе шахты Центральная. Раствор корки в воде дает реакции на Cl^- , NH_4^+ , SO_4^{2-} и Fe^{3+} . На дифрактограмме среди отражений нашатыря выделяются отражения 7,60; 4,34; 3,34, являющиеся характеристическими для $(\text{NH}_4)_3\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)_3$ [57, 3-0043]. В иммерсионных препаратах хорошо выделяются в изотропном нашатыре очень мелкие двупреломляющие частицы с интерференционными цветами первого порядка.

Аммонийорозит - $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$. Тригональная сингония. Установлен С.Г.Суставовым [36] в образцах с террикона шахты Капитальная в виде тонких желтых пленок в сростаниях с нашатырем. Е.П.Щербаковой найден в хлоридных корах на терриконе шахты Полозерная и в ряде других мест. В хлоридных площадных корах аммонийорозит слагает отдельную зону, выделяющуюся светло-желтым цветом и ассоциирует с гипсом и копейскитом. В воде не растворяется. Солянокислый раствор дает реакции на SO_4^{2-} и Fe^{3+} . Дифрактограмма соответствует синтетическому $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ [82]. Главные отражения (в смеси с материалом порол): 5,79(003); 5,11(012); 3,10(021); 2,912(006); 2,570(024); 2,318(107); 1,990(303). Довольно часто образует плотные светло-желтые скритокристаллические корки на железных предметах, находящихся в верхнем рыхлом слое грунта на склонах отвалов.

Морит - $(\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{2+}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Моноклиная сингония. Установлен Е.П.Щербаковой. Встречен в незначительных количествах в сульфатных корах аллювиально-аммониевого типа на терриконах шахт № 4/6 и № 23 с масканьитом и чермитом. Растворяется в воде, дает реакцию на Fe^{2+} . Главные отражения рентгенограммы: 7,19(2); 4,19(10); 4,12(3); 3,31(6).

Ефремовит - $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$. Кубическая сингония. Установлен Е.П.Щербаковой в коллективных сборах минералов с террикона шахты № 43-бис (1985 г.). Название ефремовит (efremovite) дано в честь влакшегося советского палеонтолога и геолога, замечательного писателя-фантаста И.А.Ефремова. Ефремовит является кубическим аналогом лангбейнита.

Образует прочные серые наросты на стенках трещины усадки в горелых породах на глубине около 1,5 м под зоной отложений самородной серы и асфальтоподобной корой. Сопровождается не названным минералом состава $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, бусенготитом и масканьитом. Цементовидные мелкозернистые агрегаты ефремовита состоят из изометричных зерен размером до 0,015 мм. Цвет агрегатов от серого до белого. Блеск зерен стеклянный. Твердость около 2, хрупкий, излом неровный, спайность не обнаружена. В закрытой трубке выделяет аммиак и немного воды. После прокаливания белый. В воде растворяется, дает реакции на SO_4^{2-} , Mg^{2+} и NH_4^+ . В иммерсионном

препарате изотропен, $n = 1,550$. Некоторые зерна окружены анизотропной оболочкой $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ и буссенготита. Дифрактограмма соответствует синтетическому $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ (табл. 28.). Параметр $a_0 = 9,992 \pm 0,002 \text{ \AA}$. $v = 997,0 \text{ \AA}^3$, $z = 4$, $\rho_{\text{выч}} = 2,52 \text{ г/см}^3$.

Т а б л и ц а 28

Порошкограммы ефремовита (проба 057щ-11) (1) и синтетического $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$ [57, 18-110] (2)

1			2		
I	$d_{\text{изм}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{ \AA}$	I	$d, \text{ \AA}$	hkl
3,5	5,76	5,76	45	5,71	111
1	4,44	4,46	12	4,44	210
7	4,07	4,07	70	4,06	211
1	3,52	3,53	12	3,51	220
1,5	3,33	3,33	20	3,31	221
10	3,15	3,15	100	3,14	310
3,5	3,00	3,01	25	3,00	311
2	2,776	2,771	8	2,771	320
5	2,668	2,669	40	2,660	321
0,5	2,498	2,497	4	2,489	400
1,5	2,421	2,422	3	2,413	410
0,5	2,286	2,291	6	2,235	331
0,5	2,230	2,233	4	2,225	420
1,5	2,178	2,179	12	2,173	421
0,5	2,132	2,129	4	2,119	332
1	2,039	2,039	6	2,033	422
0,5	2,000	1,998	8	1,993	430
1,5	1,960	1,959	3	1,954	510
1	1,922	1,922	4	1,918	511
2	1,855	1,855	12	1,850	520

Примечание. I - дифрактометр ДРОН-2,0; $\text{CuK}\alpha$ (монокроматор). На дифрактограмме присутствуют отражения масканьита: 5,24(1,5); 4,39* и 4,33(6); 3,39(2).

Химический анализ ефремовита (проба 057щ-11) выполнен Л.Ф.Баженовой (в мас. %): 38,37 SO_3 ; 8,31 $(\text{NH}_4)_2\text{O}$; 11,47 MgO ; 0,72 FeO ; 0,25 MnO ; 0,35 CaO ; 0,13 Na_2O ; 0,50 K_2O ; 39,97 нерастворимых остатков (сумма 100,07). Проба была сильно загрязнена материалом вмещающих пород (пыль силикатов и пр.). Эмпирическая формула: $[(\text{NH}_4)_{2,01}\text{K}_{0,07}]_{2,08}(\text{Mg}_{1,79}\text{Fe}_{0,06}\text{Ca}_{0,04}\text{Mn}_{0,02})_{1,91}(\text{SO}_4)_{3,00}$. Она находится в удовлетворительном соответствии с идеальной. Авторы изучения и описания Е.Л.Тербакова и Л.Ф.Баженова.

$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (не названный минерал). Моноклинная сингония. Является NH_4 -аналогом леонита. Установлен Е.П.Шербаковой летом 1985 г. в коллективных сборах, где он находится вместе с ефремовитом и буссенготитом. По-видимому, является продуктом гидратации ефремовита и промежуточной фазой при образовании буссенготита. В иммерсионных препаратах наблюдается как **анизотропный** продукт изменения изотропного ефремовита. Плотность 1,91–2,06 г/см³. Дифрактограмма соответствует синтетическому $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [57, 18–111]. Главные отражения (в смеси с гдовиковитом): 6,32(1); 5,64(3); 4,54(4); 4,38(5); 4,32(5); 3,54(1,5); 3,43(2).

Буссенготит – $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Моноклинная сингония. Определен С.Г.Сустановым в образцах с нататирем и аммонийрозитом с террикона шахты Капитальная [36]. Е.П.Шербаковой установлено довольно широкое развитие буссенготита в сульфатных корах Al- и Mg-аммониевых типов.

Кристаллы и зерна буссенготита бесцветные или белые, блеск стеклянный. Твердость 2,5. Плотность $1,72 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в бромоформе с ксилолом). В закрытой трубке выделяет воду и аммиак. Продукты прокаливания белые. Легко растворяется в воде и дает реакции на SO_4^{2-} , Mg^{2+} и NH_4^+ . В иммерсии бесцветен, двупреломление низкое, показатели преломления в интервале 1,474–1,479. Дифрактограмма соответствует буссенготиту [57, 17–135]. Главные отражения: 5,34(64)(011); 4,23(100)(121, 210); 3,80(37)(130); 3,14(80)(201, 040); 2,744(32)(212, 041); 2,455(29)(331).

На кривой ДТА дериватограммы буссенготита имеются три эндотермических эффекта: 170°C – дегидратация; 340 и 425° – распад безводного соединения на два сульфата и разложение сульфата аммония. Общая потеря массы при нагревании до 700° составляет 67% (рассчитанная для идеальной формулы 66,6%).

Буссенготит в различных количествах установлен также в верхних зонах сульфатных кор на терриконах шахт № 4/6, Комсомольская и др. обычно в ассоциации с коктаитом и чермигитом. По-видимому, буссенготит образуется не только при гидратации ефремовита, но и выделяется непосредственно вплоть до температур около 100°C и ниже.

Коктаит – $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Моноклинная сингония. Установлен Е.П.Шербаковой. Обнаружен с **чермигитом**, буссенготитом и масканьитом в сульфатном "грибе", на терриконе шахты № 4/6 и вместе с масканьитом в фумарольных отложениях на терриконе шахты № 43-бис. Определен рентгенографически. Дифрактограмма соответствует синтетическому $(\text{NH}_4)_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Главные отражения (в смеси с масканьитом): 9,82(1)(100); 5,31(1)(110); 4,97(1)(200); 4,36(9)(201); 3,31(1)(300); 3,03(10)(310). Возможно, образуется при воздействии на гипс и ангидрит аммоний-содержащих пленочных растворов при нормальных условиях.

$\text{Fe}_2^+(\text{SO}_4)_3$ (не названный минерал). Гексагональная сингония. Найден Е.П.Шербаковой на терриконе шахты Полозерная в нижней части высокотемпературной сульфатной коры. В горячем состоянии его

плотные тонкокристаллические массы имеют зеленовато-желтый цвет, а при остывании они становятся белыми. Определен рентгенографически. Дифрактограмма соответствует синтетическому гексагональному $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$, образующемуся при температуре более 130°C [57, 18-652]. Главные отражения: 6,00(5)(012); 4,33(4)(104); 3,59(10)(113); 3,00(3)(024); 2,759(6)(116); 2,381(2)(300); 1,802(1,5)(226). Параметры элементарной ячейки (в скобках - для эталона): $a_0 = 8,235(8,236)$; $c_0 = 22,185(22,18)$ Å. В значительном количестве отмечался также в горячих (более 200°C) fumarолах на отвалах шахты Комсомольская. Ранее отмечен как неназванный минерал в fumarольных отложениях вулканов Центральной Америки [33].

Лаузенит - $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Моноклинная сингония. Образует белые землистые массы. В закрытой трубке выделяет воду, чернеет и становится магнитным. Волный раствор дает реакции на Fe^{3+} и SO_4^{2-} . Дифрактограмма соответствует лаузениту (проба 062щ-2) [32]. Главные отражения: 7,33(1); 3,80(3); 3,50(10); 3,38(5); 2,35(9); 1,863(6).

Кокимбит - $\text{Fe}_2^{3+}(\text{SO}_4)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$. Гексагональная сингония. Обнаружен Е.П.Щербаковой в верхних зонах алюмосульфатных кор, где, по-видимому, он образовался при гидратации сульфалюмита. Ассоциирует с алуногеном и пиккерингитом (отвал шахты Комсомольская), алуногеном и чермгитом (террикон шахты № 43-бис), роститом и гидробазалюминитом (отвалы ЦФ). Установлен рентгенографически. Дифрактограмма соответствует кокимбиту [68]. Главные отражения: 9,32(10)(100); 8,22(7)(101); 6,32(5)(102); 4,58(3)(112); 3,63(5)(203); 3,36(4,5)(114).

В разрезе Коркинский кокимбит вместе с копиапитом образует корочки на пластах угля в забоях. Внутренняя часть их сложена желтым комковатым копиапитом, а внешняя - белым игольчатым и комковатым кокимбитом.

Копиапит - $\text{Fe}^{2+}\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$. Триклинная сингония. Обычен в низкотемпературных сульфатных отложениях и на бортах угольных разрезов. Зеленовато-желтые и желтые комочки, пленки. Растворяясь в воде, комочки предварительно рассыпаются на мельчайшие слоистоподобные чешуйки. Дифрактограмма соответствует копиапиту [57, 20-659]. Главные отражения: 18,20(10); 9,30(10); 6,16(6); 5,58(3); 4,19(3); 3,50(3); 3,04(3).

Ромбоклаз - $\text{HFe}^{3+}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$. Ромбическая сингония. Установлен Е.П.Щербаковой в рыхлых сульфатных корках отвала шахты Комсомольская вместе с лаузенитом. Белый, землистый. При действии щелочи бурно вскипает (выделение SO_3 , выпадает бурый осадок $\text{Fe}(\text{OH})_3$). Дифрактограмма соответствует синтетическому $\text{HFe}^{3+}(\text{SO}_4)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ [36]. Главные отражения: 9,2(10)(020); 4,71(4)(101); 4,04(6)(031); 3,32(8)(240); 3,23(9)(141); 3,10(7)(231). На кривой ДТА дериватограммы ромбоклаза имеются четыре эндотермических пика: 170, 235, 300 и 780°C . Два первых соответствуют выделению воды, третий - серной кислоты, а четвертый - десульфатизации. Общие потери массы при нагревании до 900°C равны 7,75%; потери, рассчитанные по идеальной формуле, составляют 75,1%.

Гексагидрит - $Mg(SO_4) \cdot 6H_2O$. Моноклинная сингония. Возникает при дегидратации эпсомита при температуре выше $20^{\circ}C$ и влажности менее 70% [77]. Широко распространен в виде белых выцветов (в сухую погоду) на кусках и глыбах горелых пород. Наиболее значительные скопления образуются под "козырьками" пластов горельника в обрывах отвалов и на нижних частях крупных глыб спека, скатившихся с отвалов. Дифрактограмма соответствует гексагидриту [57, 1-0354]. Главные отражения: 5,43; 5,09; 4,44; 4,04; 2,92; 2,01; 1,860.

Эпсомит - $Mg(SO_4) \cdot 7H_2O$. Ромбическая сингония. Широко распространен под "козырьками" пластов спека в обрывах отвалов и на нижних частях крупных глыб спека, скатившихся сверху к подножию отвалов. Образуется белые и зеленоватые мелкокристаллические скопления, в которых почти всегда имеется примесь землистого гексагидрита. Дифрактограмма соответствует эпсомиту [57, 8-467]. Главные отражения: 5,98(8), 5,33(9), 4,22(10), 3,77(7), 2,877(7), 2,664(9), 2,657(9). Химический анализ эпсомита выполнен Л.Ф.Баженовой (в.мас.%): 35,46 SO_3 ; 16,92 MgO ; 0,57 Na_2O ; 0,78 K_2O ; 45,90 H_2O ; (сумма 99,63).

Пониженное содержание воды (против 51,16% в $Mg(SO_4) \cdot 7H_2O$) связано с частичным переходом материала в гексагидрит.

Пиккерингит - $MgAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$. Моноклинная сингония. Широко распространен в верхних зонах алюмосульфатных кор. На южном отвале шахты № 44 и на отвале шахты Комсомольская образует практически мономинеральные корки снежно-белого цвета толщиной до 2-3 см, состоящие из радиально-лучистых и спутанно-волоконистых агрегатов. Иголки бесцветны. Их плотность $1,83 \text{ г/см}^3$. Химический анализ пиккерингита из этих агрегатов выполнен Л.Ф.Баженовой (проба 064-7а, в мас.%): 37,36 SO_3 ; 10,77 Al_2O_3 ; 6,27 MgO ; 0,29 MnO ; 0,52 Na_2O ; 44,79 H_2O ; по разности от 100% (сумма 100,00).

По данным термического анализа содержание H_2O в пробе составляет 46,09% (для идеальной формулы 46,15%). На кривой ДТА дериватограммы пиккерингита имеются три эндотермических эффекта: 150 и 360° (дегидратация) и 845° (десульфатизация). Дифрактограмма соответствует пиккерингиту [57, 12-299]. Главные отражения: 9,53(17)(210); 6,06(20)(040, 320); 4,83(100)(311, 420); 4,31(91)(141, 311); 4,13(68)(241, 321); 3,50(90)(251); 2,687(53).

Астраханит - $Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$. Моноклинная сингония. Установлен Е.П.Щербаковой в виде налетов на угле и углисто-глинистом грунте на отвалах шахт Капитальная и № 45. Вместе с ним встречается тенардит. Обильные белые выцветы, собранные Б.В.Чесноковым на берегу небольшого водоема вблизи террикона шахты № 43-бис (1984 г.), оказались также астраханитом. Дифрактограмма соответствует астраханиту (блédиту) [57, 19-1215]. Главные отражения: 4,55(10)(210, 011); 3,29(10)(220, 021); 3,25(7)(121, 211); 2,723(6)(400, 320); 2,645(40)(311, 202). На дериватограмме астраханита в интервале $140-350^{\circ}C$ имеется эндоэффект с двумя максимумами

при 180 и 250°C, соответствующими дегидратации до безводной соли с образованием $\text{Na}_2(\text{SO}_4)\text{Mg}(\text{SO}_4)$ [37]. Потери массы при дегидратации по ТТ составляют 22%, а рассчитанные для идеальной формулы — 21,7%. Слабое понижение при 650°C связано с разложением и плавлением продуктов (без потери массы).

Лангбейнит — $\text{K}_2\text{Mg}(\text{SO}_4)_3$. Кубическая сингония. Установлен рентгенографически в качестве примеси в сульфаломите по отражениям: 3,33; 2,76; 2,67; 2,45; 2,27; 2,01; 1,951. Содержание K_2O в 1,71% в пробе сульфаломита (см. табл. 25) относим за счет лангбейнита. Изотропные зерна лангбейнита отмечены в иммерсионных препаратах пробы сульфаломита.

Ангидрит — $\text{Ca}(\text{SO}_4)$. Ромбическая сингония. Очень широко распространен в горелых породах в виде зернистых корок "орехов", возникших при обжиге кусков окаменелого дерева (см. рис. 7). Цвет корок в изломе серый, розовато-серый, белый. Строение мелкозернистое (зерна менее 1 мм). Нерелки и более крупнозернистые агрегаты, особенно во внутренних зонах корок (зерна до 2–3 мм). Образует также почковатые агрегаты (натечные формы) с тонкозернистыми или радиально-лучистыми почками. В полостях корок часто встречаются игольчатые и волосистые кристаллы и их скопления. Индивиды ангидрита в них — очень сильно вытянутые прямоугольные брусочки (комбинация трех пинакоидов). Кристаллы почти всегда бесцветные.

Зерна ангидрита бесцветные, розоватые, светло-серые, от просвечивающих до прозрачных. Блеск стеклянный, до перламутрового на плоскостях спайности. Черта белая. Спайность совершенная по трем направлениям, пересекающимся под прямыми углами. Степень совершенства у всех направлений заметно различается. Твердость около 3,5. Плавокость около 3, оплачивается в белую эмаль. В закрытой трубке налетов не выделяет. В иммерсии бесцветен, $n_g = 1,614$; $n_m = 1,575$; $n_p = 1,571$; $n_g - n_p = 0,043$. Дебаеграмма соответствует эталонному ангидриту.

Химический анализ ангидрита выполнен Л.Ф. Баженовой (в мас. %): 55,36 SO_3 , 42,60 CaO ; 1,90 MgO ; 0,14 Fe_2O_3 ; 0,06 MnO ; 0,18 SiO_2 ; (сумма 99,43). Количество Na_2O , K_2O и Cl менее 0,05% для каждого.

В фузарольных отложениях алюмосульфатного и алюмо-аммониевого типов ангидрит присутствует в незначительных количествах вместе с головиковитом, лаузенитом, ромбоклазом (сульфатные сыпучки). На старых отвалах ангидрит во многих случаях частично гидратирован, а иногда за счет его уже возникли новообразования мелкокристаллического гипса.

Гипс — $\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Моноклиная сингония. Широко распространен в верхнем слое поверхностного грунта отвалов. Также слагает наиболее низкотемпературные сульфатные коры (например, на южном склоне террикона шахты Подозерная). Верхняя зона коры сложена щетками кристаллов гипса с пластинками и скелетными сростками серы. Отдельные кристаллы гипса достигают 3–5 мм в длину. Температура на поверхности корок 25°C. Оптические свойства и рентгенограммы соответствуют гипсу. По-видимому, гипс является продуктом изменения карбонатсодержащих пород сернокислыми растворами.

Тенардит - $\text{Na}_2(\text{SO}_4)$. Обнаружен Е.П.Шербаковой в составе белых выветов на угле и углисто-глинистых породах отвалов шахт Капитальная и № 45 в ассоциации с астраханитом.

Халькокианит - $\text{Cu}(\text{SO}_4)$. Ромбическая сингония. Обнаружен Т.А.Михаль вместе с долерофанитом в качестве продукта изменения мелного кабеля, извлеченного из горелых пород привершинной части террикона шахты Пригородная (г.Коркино). Определение подтверждено рентгенографически.

Долерофанит - $\text{Cu}_2(\text{SO}_4)_0$. Моноклинная сингония. Установлен Б.В.Чесноковым и Т.А.Михаль. Образует длиннопризматические и игольчатые кристаллы зеленовато-коричневого цвета длиной до 0,5 см, нарастающие на корки продуктов изменения (куприт, тенорит) медных предметов в горелых породах. Блеск от воскового на гранях до жирного в изломе. Цвет кристаллов варьирует от медово-желтого до темно-коричневого и почти черного. Черта светло-коричневая. Просвечивает или полупрозрачен. Твердость около 3, хрупкий. Легкоплавкий, окрашивает пламя в зеленый и голубой цвет (Cu). В воде разлагается. Хорошо растворяется в HCl и HNO_3 , дает реакции на SO_4^{2-} . Лазерным микроанализом обнаружена мель и незначительная примесь цинка. Дифрактограмма соответствует долерофаниту [57, 13-189]. Главные отражения: 6,45(57)(001); 3,627(100)(20 $\bar{2}$); 2,616(27)(22 $\bar{1}$); 2,432(21)(310); 2,258(18)(40 $\bar{1}$). Параметры элементарной ячейки (в скобках для эталона [57, 13-189]): $a_0=9,356(9,355)$; $b_0=6,321(6,312)$; $c_0=7,655(7,628)$; $\beta=122^\circ 33'(122^\circ 17,5)$. На кривой ДТА дериватограммы долерофанита имеется один эндотермический пик при 370°C (десульфатизация). При нагревании до 990° потеря массы составляет 32,6%, что находится в хорошем соответствии с расчетным содержанием SO_3 в Cu_2SO_5 (33,48%). На влажном воздухе долерофанит постепенно переходит в брошантит.

Долерофанит впервые найден на вулкане Везувий во время извержения 1863 г. В справочниках это месторождение указывается как единственное. В СССР долерофанит установлен в продуктах поствулканической деятельности на вулкане Толбачик [21]. Долерофанит с терриконов Челябинского угольного бассейна является продуктом минерализации медных предметов в условиях интенсивной высокотемпературной газовой коррозии (температура не менее $300-400^\circ\text{C}$).

Антлерит - $\text{Cu}_3(\text{SO}_4)(\text{OH})_4$. Ромбическая сингония. Образует мелкозернистые и порошковатые зеленые агрегаты на корках изменения медных предметов. Зеленый, черта бледно-зеленая, блеск стеклянный. Твердость 3,5, хрупкий. Окрашивает пламя в голубой цвет (Cu). В закрытой трубке выделяет воду. Растворяется в HCl, раствор дает реакцию на SO_4^{2-} . Дифрактограмма соответствует антлериту [57, 7-407]. Главные отражения: 4,36(100)(120); 3,904(23)(210); 2,564(37)(122); 2,312(27)(321); 2,130(28)(042). Параметры элементарной ячейки: $a_0=8,26$; $b_0=12,03$; $c_0=6,04 \text{ \AA}$. Изучен Т.А.Михаль.

Брошантит - $\text{Cu}_4(\text{SO}_4)(\text{OH})_6$. Моноклинная сингония. Образуется при гидратации долерофанита. Голубые рыхлые агрегаты. Лебаграмма

соответствует брошантиту, главные линии: 3,86(7); 2,67(7); 2,51(10); 2,24(7). Определен Т.А.Михаль.

Халькантит - $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$. Триклинная сингония. Часто встречается на корках изменения мелких предметов в виде голубых корочек, мелких кристаллов и светло-голубых землистых агрегатов. Окрашивает пламя в голубой цвет (Cu); в закрытой трубке выделяет воду. Легко растворим в воде, дает реакцию на SO_4^{2-} . Дебаеграмма соответствует халькантиту.

Англезит - $\text{Pb}(\text{SO}_4)$. Ромбическая сингония. Образует слюдоподобные агрегаты на нижних поверхностях кусков горелых пород в фумароле, вскрытой экскаваторным забоем (1937 г.) в районе восточного склона террикона шахты № 45. Вместе с англезитом находились выделения котуннита и ряда весьма гигроскопичных минералов, сохранить которые не удалось. На глубине 5-10 см от поверхности забоя температура газов была около 220°C. Судя по ситуации, поверхность тления "черного блока" находилась на расстоянии нескольких метров от места взятия образцов.

Англезит образует тонкие скелетные пластинки (наподобие пластинок льда в крупнокристаллических образованиях инея) до 2-3 мм в поперечнике. Бесцветный или беловатый, блеск алмазный. Легко плавится, окрашивает пламя в лилово-голубой цвет (Pb). На угле дает королек свинца. Дифрактограмма соответствует англезиту. Главные отражения: 4,26(9)(011, 200); 3,00(8)(211); 2,594(10)(212); 2,065(6)(122, 113). Источник свинца неизвестен. Не исключено, что свинец вынесен горячими газами от свинцового предмета (например, кабель в свинцовой оболочке), находящегося внизу.

Флюорэллестадит - $\text{Ca}_{10}[(\text{SO}_4)_3(\text{SiO}_4)_3]_6\text{F}_2$. Гексагональная сингония. Новый минерал - фтористый конечный член подгруппы элесталита (группа апатита) найден и определен Б.В.Чесноковым (1982 г.) на северном террикон шахты № 44. Он получил название флюорэллесталит (fluorellestadite) по особенности химического состава, как и синтетический флюорэллесталит [79].

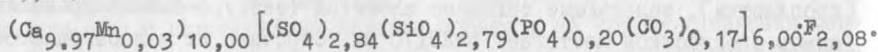
Ярко-голубые и синие выделения этого минерала весьма эффектно выделяются в ядрах "орехов" (см. рис. 7.) на светлом фоне продуктов изменения извести или же среди черных мелкокристаллических агрегатов сереброльскита. Флюорэллестадит в ядрах "орехов" обычно образует удлиненные выделения (пропластки), залегающие согласно слоистой текстуре бывшей древесины. Размер пропластков достигает 5x20x70 мм. Строение их мелкозернистое и обычно пористое. В породах находят землистые продукты изменения извести и периклаза, периклаз, мелкие пластинки сереброльскита и другие минералы. На границе с ангидритовой скорлупой "орехов" флюорэллесталит нередко образует сплошные, неясно ограниченные от ангидрита выделения. Как в пропластках, так и на границе со скорлупой встречаются мелкие полости с игольчатыми и длиннопризматическими кристаллами флюорэллесталита длиной до 3 мм. Главными спутниками флюорэллесталита в неизменных (горячих) "орехах" являются известь, периклаз, сереброльскит, спуррит и другие силикаты, ангидрит.

Цвет флюорэллесталита варьирует от ярко голубого (иногда синего) до светлого голубовато-зеленого. Тонкие иглы практически бесцветны. Черта белая со слабым голубоватым оттенком. Блеск от стеклянного до жирноватого. Прозрачен (кристалл) или просвечивает (мелкозернистые агрегаты). В ультрафиолетовых лучах (360 нм) не люминесцирует. Кристаллы - гексагональные призмы с плохо выраженными конечными гранями. Излом кристаллов раковистый, у агрегатов - неровный. Твердость, по Моосу, 4,5. Спайность не обнаружена. Плотность (зернистый агрегат) $3,03 \pm 0,01$ г/см³ (пикнометрическое определение). Плотность вычисленная $3,090$ г/см³. Разница в значениях плотности, по-видимому, связана с тонкими включениями землистого вещества ядра. Плавкость около 5 (в острых краях сплавляется в фарфоровидную массу). Неоплавленные части кусочков после остывания становятся снова ярко-голубыми. Окрашивает пламя в красноватый цвет (Ca). В закрытой трубке налетов не выделяет. В HCl разлагается с выделением скелета кремнезема (сохраняет форму исходного кусочка) и очень слабо вскипает (CO₂). Дает положительные реакции на SO₄²⁻ и фосфор.

В иммерсии под микроскопом бесцветный, одноосный, отрицательный. Кристаллы имеют прямое погасание и отрицательное удлинение. Показатели преломления (белый свет): $n_g = 1,638 \pm 0,002$, $n_p = 1,632 \pm 0,002$, $n_g - n_p = 0,006$. Низкие показатели преломления отражают высокое содержание фтора.

Для химического анализа были выделены ярко-голубые мелкозернистые пропластки, из которых получена фракция $-0,3 \pm 0,2$ мм, тщательно очищенная под бинокулярным микроскопом. Однако в навеске осталась примесь рыхлого материала ядра, что отразилось в виде слабых линий на дебаеграммах (периклаз, брусит, трехкальциевый алюминат). В частицах пробы также наблюдались редкие очень черные включения сребродольскита. Из-за этих примесей данные химического анализа пришлось корректировать, отбросив часть компонентов (табл.29). Последние: MgO (периклаз), Al₂O₃ и 3% CaO ("трехкальциевый алюминат"), H₂O⁺ и 1% CaO (портландит), Fe₂O₃ (сребродольскит), Na₂O (алюминаты). Отдельно взятые прозрачные чистые от включений кристаллы и зерна флюорэллесталита хлора не содержат (микрхимическое определение).

Эмпирическая формула флюорэллесталита (сумма атомов S, Si, P, C равна 6,00):



Идеальная формула: Ca₁₀ [(SO₄)(SiO₄)(PO₄)(CO₃)]₆ · F₂, а в упрощенном виде: Ca₁₀ [(SO₄)₃(PO₄)₃]₆ · F₂.

Дебаеграмма флюорэллесталита очень близка к дебаеграммам эллесталита и гидроксилэллесталита (табл.30). Параметры элементарной ячейки флюорэллесталита: $a_0 = 9,485 \pm 0,002$ Å; $c_0 = 6,916 \pm 0,002$ Å; $c_0/a_0 = 0,7292$; $v = 538,82$ Å³; $z = 1$; $\rho_{ввч} = 3,090$ г/см³. Пространственная группа приписывается по аналогии с эллесталитом и апатитом. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Л.Ф.Баженова, А.Ф.Бушмакин [51].

Т а б л и ц а 29

Химический анализ флюорэллесталита
(проба 056-31, террикон шахты Центральная, г.Копейск)

Компо- ненты	Мас.%			Сумма атомов (S, Si, P, C)= 6,00	Компо- ненты	Мас.%			Сумма атомов (S, Si, P, C)= 6,00
	Мас.%	(без приме- сей)				Мас.%	(без приме- сей)		
SO ₃	20,75	20,75	2,84	Al ₂ O ₃	1,34	-	-		
SiO ₂	15,30	15,30	2,79	Fe ₂ O ₃	0,11	-	-		
P ₂ O ₅	1,31	1,31	0,20	Na ₂ O	0,33	-	-		
CO ₂	0,66	0,66	0,17	K ₂ O	<0,1	-	-		
CaO	55,00	51,00	9,97	H ₂ O ⁺	0,30	-	-		
MnO	0,18	0,18	0,03	F	3,60	3,60	2,08		
MgO	1,38	-	-	Сумма	100,76				
				-O=F	1,52				
				Сумма	99,24				

Аналитик Л.Ф.Баженова.

Т а б л и ц а 30

Порошкограммы флюорэллесталита (1) и
гидроксилэллесталита (2), по [69]

1					2				
I	d, Å	I	d, Å	hkl	I	d, Å	I	d, Å	hkl
-	-	8	8,230	100	-	-	3	2,075	113
-	-	5	5,267	101	-	-	3	2,013	203
-	-	3	4,744	110	7	1,954	16	1,960	222
-	-	5	4,113	200	5	1,904	5	1,905	312
1	3,90	7	3,919	111	-	-	3	1,886	230
5	3,46	40	3,462	002	8	1,852	43	1,853	213
2	3,19	4	3,187	102	5	1,819	5	1,822	321
4	3,11	9	3,110	210	5	1,792	5	1,792	410
10	2,84	100	2,839	211	6	1,766	12	1,767	402
6	2,80	44	2,801	112	7	1,729	14	1,730	004
9	2,74	60	2,739	300	2	1,654	5	1,656	322
5	2,65	45	2,655	202	-	-	3	1,621	133
-	-	3	2,554	301	-	-	5	1,503	214
-	-	4	2,317	212	5	1,486	20	1,484	502
6	2,28	10	2,282	310	6	1,463	10	1,464	324
-	-	1	2,242	221	1	1,445	2	1,444	511
3	2,16	5	2,165	311					

Примечание. I - РКД, FeK_α; еще 19 слабых линий (по 0,985), a₀=9,485 Å, C₀=6,916; 2 - дифрактометр, CuK_α; a₀=9,491 Å, C₀=6,921.

Фосфаты, вольфраматы, бораты

Фтороapatит - $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\cdot\text{F}_2$. Гексагональная сингония. Бесцветные длиннопризматические, до игольчатых, кристаллы фтороapatита встречаются в газовых пузырях базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский вместе с кристаллами анортита, пироксена, волластонита и других минералов. Определен по самым низким значениям показателей преломления как фтороapatит ($n_g \sim 1,632$, $n_p \sim 1,629$). Дебаеграмма соответствует апатиту.

В "черных блоках" террикона шахты № 45 как второстепенный и акцессорный минерал широко распространен апатит, изучение которого не закончено. Он образует игольчатые (до волосистых), призматические и короткопризматические кристаллы в виде гексагональной призмы $m\{10\bar{1}0\}$ с конечными гранями бипирамиды $s\{11\bar{2}1\}$. Иногда длина его иголок достигает 1-2 см. Кристаллы бесцветны и прозрачны. Находятся они в основном в составе силикатных корок вокруг разложенных кусков окаменелого дерева, а также в углеродистой массе на месте этих кусков. Спутниками его являются силикаты, флюорит, троилит, графит. Одноосный, отрицательный, $n_g = 1,633$, $n_p = 1,630$, $n_g - n_p = 0,003$. Такие низкие показатели преломления свойственны фтороapatиту. Дебаеграмма соответствует апатиту.

Микронзондовым анализом (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н. Нигматулина) в апатите определены следующие компоненты (проба 054-310А, в мас.%): 0,45 SiO_2 ; 0,00 Al_2O_3 ; 0,04 FeO ; 0,04 MnO ; 0,16 MgO ; 52,12 CaO ; 0,05 Na_2O ; 0,01 K_2O ; (сумма 52,88).

В протлевших массах "черных блоков" кристаллы апатита теряют блеск, становятся голубовато-беловатыми или желтоватыми.

Красносельскит - $\text{Co}(\text{WO}_4)$. Моноклиная сингония. Установлен Б.В. Чесноковым и Т.А. Михаль. Вместе с красноритом слагает весьма тонкозернистые псевдоморфозы (см. краснорит) по пластинкам твердого сплава, найденные С.В. Ефремовым в горелых породах террикона шахты Красносельская. Установлен рентгенографически. Дифрактограмма соответствует синтетическому $\text{Co}(\text{WO}_4)$ [57, 15-367] (см. табл. 24). Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 4,95 \pm 0,01$, $b_0 = 5,68 \pm 0,01$, $c_0 = 4,70 \pm 0,01$ Å, $\beta \approx 90,0^\circ$. Название красносельскит (krasnoselskite) дано по месту нахождения (террикон шахты Красносельская). Авторы изучения и описания Б.В. Чесноков и Т.А. Михаль.

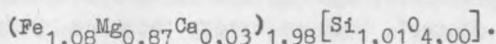
Вольфрамит (ферберит) - $\text{Fe}(\text{WO}_4)$. Моноклиная сингония. Обнаружен в продуктах изменения побелитового резца от угольного комбайна, попавшего в отвал шахты Центральная и найденного в горелых породах Т.П. Нисанбаевым (1987 г.). Вольфрамит в виде темных красновато-бурых удлиненных зерен и удлиненно-пластинчатых кристаллов слагает тонкую зону на границе псевдоморфозы с гематитом (бывшей железной части резца). Определение предварительное. Порошкограмма соответствует фербериту.

Барвикит - $(\text{Mg}, \text{Ti}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_2 \text{Al}_2\text{O}_3$. Ромбическая сингония. Найден и определен С.В. Ефремовым. В газовых пузырях переплавленных се-

рых порол в горельниках отвала шахты № 204 образует уплощенно-игольчатые кристаллы длиной до 1-2 мм, сложенные в отдельные радиальные пучки. Ему сопутствуют муллит, анортит, корунд, гематит, топаз. Поперечное сечение кристаллов остроромбическое. На концах кристаллов имеются грани острой ромбической бипирамиды. Цвет густой красновато-бурый, блеск алмазовидный. Тонкие иглы просвечивают коричнево-красным цветом. Лазерным спектральным микроанализом обнаружены Ti, Mg, B, как главные элементы, а Al и Fe - как второстепенные (аналитик В.О.Поляков). Дебааграмма соответствует варвикиту [57, 12-171]. Главные линии: 6,54(5) (110), 4,17(4)(120), 2,576(10)(320), 1,980(4)(231), 1,593(6). Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 9,19 \text{ \AA}$, $b_0 = 9,45 \text{ \AA}$, $c_0 = 3,01 \text{ \AA}$.

Силикаты

О л и в и н - $(\text{Mg}, \text{Fe})_2[\text{SiO}_4]$. Ромбическая сингония. Породообразующий минерал базальтоподобных порол отвала разреза Коркинский. Слагает породу совместно с основным плагиоклазом (близким к анортиту), моноклинным и ромбическим пироксенами. В этих же породах встречены неправильные щелеобразные полости с кристаллами моноклинного пироксена, оливина и лейцита. Кристаллы оливина короткопризматические, слабо вытянутые по [001]. Главные формы: $m\{110\}$ и $k\{021\}$. Кристаллы покрыты тонкой красновато-черной железистой пленкой (окисление при высокой температуре?). Два кристалла оливина были полвергнуты микронзонловому анализу (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н.Нигматулина, среднее из двух, в мас.%): 34,50 SiO_2 ; 0,04 TiO_2 ; 0,02 Al_2O_3 ; 44,13 FeO ; 19,95 MgO ; 0,93 CaO ; 0,05 Na_2O ; 0,00 Cr_2O_3 (сумма 99,62). Э.В.Лотовой вычислена формула данного оливина:



Ф о р с т е р и т - $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]$. Ромбическая сингония. Является обычной примесью в силикатных корках, окружающих куски разложенного окаменелого дерева в "черных блоках" террикона шахты № 45. Образует отдельные кристаллы обычно менее 0,5 мм. Нередко находится в сростаниях с бесцветными кристаллами шпинели, с норбергитом и флюоритом. Кристаллы хорошо образованы, "топазового" типа. Главными формами являются: $m\{110\}$, $b\{010\}$, $e\{111\}$, $d\{101\}$, $k\{021\}$, $s\{120\}$, обычно присутствует слабо развитый базопинакоид $c\{001\}$. Бесцветен, блеск стеклянный. Твердость около 6,5. Двусосный, положительный; $N_g = [100]$, $N_m = 0,01$, $N_p = [010]$. $n_g = 1,668$, $n_m = 1,651$; $n_p = 1,637$; $n_g - n_p = 0,031$.

Микронзонловый анализ бесцветного кристалла форстерита дал следующие результаты (лаборатория ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н.Нигматулина, проба 054-328, в мас.%): 41,91 SiO_2 ; 0,00 Al_2O_3 ; 0,28 FeO ; 0,47 CaO ; 0,03 Na_2O ; 0,00 K_2O ; 0,11 MnO ; 55,52 MgO (сумма 98,31).

По содержанию MgO данный форстерит относится к максимально магнизальным [16].

Ф а я л и т - $\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$. Ромбическая сингония. Обычный второстепенный минерал в сильно прокаленных породах "черных блоков" (например, в терриконе шахты № 45). Образует "присыпки" мелких (поли миллиметра) кристаллов на поверхности кусков пород и на стенках трещин в них. Ассоциирует с троилитом, когечитом, графитом; нередко нарастает на кристаллы когечита, на псевдоморфозы графита и железа по высокоуглеродистому карбиду и иногда на кристаллы троилита. Также обичен в виде примеси в рыхлой части черной массы. Здесь кристаллы достигают 1 мм. Иногда обрастает тонкие игольчатые и волокнистые кристаллы неизвестного минерала, заключая их в мелкокристаллический "футляр".

Во многих случаях кристаллы хорошо образованы, они несколько уплощены по {100}. Грани пояса [100] ровные и блестящие. На месте граней {100} часто присутствует выпуклая грубоштриховатая по [001] поверхность. Лучше всего развиты γ {010}, η {011}, κ {021}. Цвет кристаллов коричневатый, зеленовато-коричневатый, оливковый. Блеск граней очень сильный, алмазный. Твердость около 6. Притягивается магнитной иглой. Перед паяльной трубкой легко сплавляется в черный магнитный шарик. В иммерсии зеленовато-коричневатый; $n_g \approx 1,88$, $n_p \approx 1,83 (\pm 0,01)$.

Микрозондовый анализ кристалла фаялита (проба 054Н-5, аналитик Е.Н. Нигматулина) выявил (в мас. %): 29,77 SiO₂; 69,52 FeO; 1,36 MnO; 0,01 CaO; 0,03 Na₂O; 0,00 K₂O; 0,75 MgO (сумма 101,45).

По содержанию FeO фаялит из "черных блоков" не имеет аналогов [16] и весьма близок к "идеальному" фаялиту (70,60 мас. % FeO).

Ф е р р и ф а я л и т - $(\text{Fe}_{0,49}^{2+}\text{Fe}_{0,51}^{3+})_{1,00}\text{Fe}_{1,00}^{3+}[\text{SiO}_4]$. Моноклиная сингония. Определение предварительное. Продукт обжига кристаллов фаялита при тлении материала "черных блоков". Местами широко развит в продуктах тления черной массы в забоях верхней части террикона шахты № 45. В беловато-серой или почти белой массе протлевшей породы кристаллы феррифаялита выделяются темной красновато-бурой окраской. Блеск граней полуметаллический, иногда с побелостью. Многие кристаллы покрыты "ржавым" налетом. В изломе блеск от алмазовидного до смолистого. Осколки просвечивают красно-коричневым цветом. Черта коричневая. Излом от неровного до раковистого. Очень хрупок, твердость около 5. Спайности не отмечено. Легкоплавкий, перед паяльной трубкой сплавляется в коричнево-черный магнитный шарик. В иммерсионных препаратах обнаруживается неоднородность состава кристаллов: наряду с коричнево-красными осколками в значительном количестве присутствуют и почти бесцветные (те и другие прозрачны и анизотропны).

Предполагается, что при тлении черного блока фаялит, подвергшись окислительному обжигу, перешел в вещество, соответствующее феррифаялиту, недавно детально исследованному вновь группой советских минералогов [1].

Г р а н а т ы. Мелкие кристаллы зеленовато-коричневого граната в форме ромболепидоксаэдра эпизодически встречаются в скарнополюсных образованиях на границе "орехов" с силикатной массой горельника. Здесь он ассоциирует с моноклинными пироксенами, анортитом, волластонитом, минера-

лами группы мелзилита, гематитом, магнезиоферритом. Лазерным микроанализом в гранате установлены высокие содержания Si, Ca и Fe. Параметр элементарной ячейки $a_0 = 12,05 \text{ \AA}$. По-видимому, относится к андрадиту.

Л а р н и т - $\beta\text{-Ca}_2[\text{SiO}_4]$. Моноклинная сингония. Встречен в ядрах "орехов" северного отвала шахты № 44 в виле бледно-розовых пропластков в рыхлой массе продуктов изменения извести и периклаза. Дебаеграмма соответствует ларниту [20]. Главные линии: 3,01(9); 2,74(10); 1,911(8); 1,807(7); 1,253(7); 1,138(6).

С п у р и т - $\text{Ca}_5[\text{SiO}_4]\text{CO}_3$. Моноклинная сингония. Образует пропластки вместе с голубым флюореллестадитом в ядрах "орехов" на терриконах шахт Центральная и № 44 (северный отвал). Зернистый. Цвет зерен от белого до серовато-белого. Черта белая. Блеск в изломе жирноватый, местами перламутровый (спайность). Просвечивает (до полупрозрачного). Твердость около 5, очень хрупкий, спайность ясная по одному направлению. Перед паяльной трубкой не плавится, несколько вспучивается. Смоченный HCl окрашивает пламя в красный цвет (Ca). В HCl спокойно вскипает, оставляя прозрачный скелет SiO_2 . Двусный, отрицательный, $n_g = 1,680$, $n_m = 1,675$, $n_p = 1,641$, $n_g - n_p = 0,039$. В кусках, длительно время лежавших на поверхности отвалов, слюрит изменен в рыхлые белые продукты и местами выщелочен.

Н о р б е р г и т - $\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]\cdot\text{Mg}(\text{F},\text{OH})_2$. Ромбическая сингония. Установлен в горелых поролах террикона шахты № 45 С.В. Ефремовым. Кристаллы норбергита уплощенно-призматического облика нарастают на стенки полостей в спеке вместе с кристаллами анортита, пироксена и гематита. Цвет красновато-коричневый. Грани матовые, в изломе блеск стеклянный. Твердость 6, хрупкий. Спайность ясная по {001}. Двусный, положительный, $2v = 50-55^\circ$, $n_g = 1,585$, $n_m = 1,566$, $n_p = 1,558$, $n_g - n_p = 0,027$. Дебаеграмма соответствует норбергиту [16]. Главные линии: 3,066(10)(121); 2,652(7)(311); 2,257(6)(401); 2,233(6)(231); 1,730(10)(232).

Наиболее широко развит норбергит в "черных блоках". Здесь он образует кавернозные серые и зеленовато-серые мелкокристаллические агрегаты в углеродистой массе, образовавшейся при разложении кусков окаменелого дерева и в силикатном ореоле вокруг таких кусков. В сростаниях с ним находится хондролит, шпинель, форстерит, флюорит, селлаит, когенит и моносulfиды железа. Размеры зерен и кристаллов в этих агрегатах обычно менее 1 мм. Кристаллы в большинстве случаев плохо образованы, часто имеют таблитчато-удлиненный облик и весьма грубую штриховку на гранях. По цвету кристаллы варьируют от бесцветных до беловатых, светло-серых, зеленовато-серых. Блеск стеклянный, черта белая. Твердость около 6, очень хрупкий. Перед паяльной трубкой не плавится, а покрывается белой фарфоровишной коркой (слабое оплавление?). При сильном прокаливании в закрытой трубке никаких налетов не выделяет (воды нет). При кипячении порошка в HCl получается обильная студень SiO_2 серого цвета. В иммерсии двусный,

положительный, $n_g=1,585$, $n_m=1,564$, $n_p=1,558$, $n_g-n_p=0,027$.
В некоторых образцах почти всегда нарастает на очень сходные с ним кристаллы хондродита. По-видимому, является чисто фтористым норбергитом.

Хондродит - $2Mg_2[SiO_4] \cdot Mg(F,OH)_2$. Моноклинная сингония.
Обычно находится вместе с норбергитом в "черных блоках". Образует кристаллические агрегаты, состоящие из скелетных индивидов до 1-2 мм. Характерны параллельные срастания из множества пластинок. Цвет от белого до светло-серого. Блеск стеклянный, до жирноватого, черта белая. Серый цвет зависит от мелких включений углеродистого вещества. Твердость около 6, крупный. Перед паяльной трубкой не плавится, становится белым, фарфоровидным. Даже при сильном прокаливании в закрытой трубке воды не выделяет. При кипячении порошка в HCl образует большое количество хлопьевидного кремнезема. В иммерсии бесцветен, двусный, положительный, $n_g=1,621$, $n_m=1,600$, $n_p=1,587$, $n_g-n_p=0,034$. По свойствам может быть отнесен безжелезистому фтористому хондродиту.

Микрозондовый анализ этого хондродита (проба 054-328 лаборатория ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н. Нигматулина, в мас.%): 32,82 SiO_2 ; 0,00 Al_2O_3 ; 0,30 FeO; 0,07 MnO; 55,77 MgO; 0,28 CaO; 0,00 Na_2O ; 0,00 K_2O (сумма 89,24). Определение F и OH пока не выполнено.

Встречен также зеленовато-желтый хондродит. Он образует мелкозернистые (крупитчатые) агрегаты в волокнистой углеродистой массе на месте кусков окаменелого дерева. Содержит заметное количество железа, что отразилось в окраске и значениях показателей преломления: $n_g=1,635$, $n_m=1,609$, $n_p=1,600$, $n_g-n_p=0,035$. Совершенно прозрачные, хорошо ограниченные, мелкие кристаллики хондродита изредка встречаются на стенках трещин в кусках древесного угля (в "черных блоках" террикона шахты № 45) рядом с кристаллами анортита, троилита, когенита, сфена и фторфлогопита.

Андалузит - $Al_2[SiO_4]O$. Ромбическая сингония. Преположительно установлен рентгенографически в умеренно обожженных глинистых породах.

Топаз - $Al_2[SiO_4](F,OH)_2$. Ромбическая сингония. Найден в образцах из глыб красного горельника террикона шахты № 204 С.В. Ефремовым. Определен и изучен Б.В. Чесноковым и Э.В. Лотовой. Образует короткопризматические кристаллы длиной до 2-3 мм в газовых полостях переплавленных кусков серой породы вместе с муллитом, корундом, варвикитом, анортитом, гематитом. Облик обычный топазовый. Главными формами являются $m\{110\}$, $b\{010\}$, $o\{111\}$, $y\{021\}$, $c\{001\}$. Цвет голубоватый. Прозрачен, грани $o\{111\}$ иногда матовые. Твердость 8. Спайность совершенная по $\{001\}$. Двусный, положительный, $n_g=1,619$, $n_m=1,611$, $n_p=1,609$, $n_g-n_p=0,010$. Оптические свойства соответствуют топазу, содержащему только фтор (без гидроксильной группы) [40]. Дебааграммы соответствуют топазу. Главные отражения: 3,74(10)(111); 3,22(10)(120); 2,955(10)(112); 2,386(7)(131); 2,119(8)(040); 2,070(7)(220).

Микронзондовый анализ кристалла топаза (лаборатория ИГиГ СО АН СССР, аналитик Л.В.Усова, в мас. %): 30,63 SiO₂; 53,72 Al₂O₃; 0,22 FeO; 0,02 MnO; 0,04 MgO; 0,01 CaO; 0,00 Na₂O; 0,01 K₂O (сумма 84,65).

Фтор не определялся, поэтому анализ может быть принят только как предварительный.

С ф е н (титанит) — CaTi[SiO₄](O, F, OH). Моноклинная сингония. Обычный второстепенный или аксессуарный минерал в "черных блоках". Образует таблитчатые, до изометричных, кристаллы величиной до 1 мм, нарастающие на поверхность кусков пород или же находящиеся в пористой мелкообломочной массе. Ассоциирует с фаялитом, троилитом, когэнитом, волластонитом и другими силикатами. Кристаллы уплощены по {001}. Главными формами являются: с {001}, n {111}, m {110}. Грани всех форм гладкие и блестящие. Чаще всего цвет кристаллов почти черный (в тонких осколках просвечивает синеватым). Рыже голубой, коричневый, желтовато-коричневый. Блеск сильный, алмазовидный. Дает положительную реакцию на Ti с H₂O₂ в сернокислом растворе. В иммерсии двусный, положительный. Дисперсия $r \gg v$, очень сильная. Плеохроизм сильный в синеватых или коричневатых тонах, $n_g \approx 1,99$, $n_p \approx 1,89$, $n_g - n_p \approx 0,100$. Дебаеграмма соответствует сфену (титаниту). Главные линии: 4,98(3)($\bar{1}11$); 3,26(10)(111, 002); 3,015(8)($\bar{2}02$); 2,626(9)($\bar{2}21$, 022); 2,296(7); 2,070(5); 1,659(6).

М е л и л и т — (Ca,Al)₂(Al,Mg,Fe)[(Si,Al)₂O₇]. Тетрагональная сингония. Минералы группы мелилита часто встречаются в базальтоподобных породах отвала разреза Коркинский. Образуют красновато-бурые зернистые выделения и кристаллы в форме тетрагональных таблиц до 2-3 мм в поперечнике. Главные формы: с {001}, m {110}, a {100}. Цвет кристаллов чаще всего густой коричнево-красный. Но встречены серые, желтоватые и почти бесцветные кристаллы. Ассоциируют с пироксенами, основным плагиоклазом, волластонитом. Дебаеграмма соответствует мелилиту. Главные линии: 3,72(3)(111); 3,09(4)(201); 2,86(10)(211); 2,46(2)(310); 2,04(3)(212); 1,762(7)(312); $a_o = 7,77$, $c_o = 5,02$ Å. Зернистые выделения минералов группы мелилита обычны и в скарноподобных образованиях на границе "орехов" и сильно обожженного красного горельника. Они имеют красно-коричневый, оранжевый и желтый цвет, а местами почти бесцветны. Их сопровождают анортит, пироксены, волластонит, гранат, гематит, магнезиоферрит.

К о р д и е р и т — Mg₂Al₃[AlSi₅O₁₈]. Ромбическая сингония. Установлен в горелых отвалах бассейна Б.В.Чесноковым (рентгенографически, в составе горельников и "черных блоков"). Образцы с кристаллами кордиерита в полостях найдены С.В.Ефремовым. Летальное изучение кордиерита проводится Э.В.Лотовой. Приводимые ниже данные рентгенографических и микронзондовых анализов любезно предоставлены Э.В.Лотовой.

Кордиерит является породообразующим минералом как красных горельников, так и пород "черных блоков". Наиболее типичен как продукт преобразования глинистых пород. В горельниках обычны его ассоциации с муллитом,

тридимитом и гематитом, в "черных блоках" - с муллито́м, тридимитом, осуми-литом, графитом, моносulfидами и карбидами железа.

Макроскопически диагностируемый кордиерит слагает голубовато- или лилово-серые зернистые желваки до 10-15 см в поперечнике, спорадически встречающихся в пластах и глыбах "вишневого" (наиболее сильно прокаленно-го) отвального спёка. Как правило, желваки содержат то или иное количество газовых пузырей до 1-2 см в поперечнике. Граница желваков с красным горельником (спёком) резкая, иногда наблюдаются залиты и внедрения вещества желваков в массу горельника. По-видимому, желваки образовались за счет изменения кусков карбонатно-глинистых пород типа мергеля. При высокой температуре в окружении плотной массы спёка эти куски разлагались со вскипанием (выделение CO_2) и с последующим полным или частичным плавлением. Зернистая масса желваков состоит из голубоватых зерен кордиерита и переменного количества анортита, муллита и гематита.

Встречены образцы желваков, в полостях которых находятся обильные скопления хорошо образованных голубовато-сиреневых кристаллов кордиерита размером до 1-1,5 мм. Показатели преломления этого кордиерита (определены С.В.Ефремова): $n_g=1,541$, $n_m=1,533$, $n_p=1,530$, $n_g-n_p=0,011$. Порошкограмма соответствует кордиериту. Параметры элементарной ячейки: $a_0=16,99$, $b_0=9,91$, $c_0=9,35$ ($\pm 0,01$) Å. Железистость кордиеритов определялась Э.В.Лотовой по формуле:

$$F = (\text{Fe} + \text{Mn}) / (\text{Fe} + \text{Mn} + \text{Mg}) 100 \%,$$

где количество элементов дано в значениях формульных единиц. Значения железистости находятся в весьма широких пределах: от 5,2 до 70,6%. Возможно, это определилось количеством железа в исходных кусках "мергелей".

Микронзондовый анализ кордиерита из зернистого агрегата желвак (проба 055E-29, ИГиГ СО АН СССР, аналитик Л.В.Усова) показал (в мас.%): 49,18 SiO_2 ; 32,72 Al_2O_3 ; 3,55 FeO ; 0,37 MnO ; 11,79 MgO ; 0,22 CaO ; 0,05 Na_2O ; 0,20 K_2O (сумма 98,07).

Микронзондовый анализ кристалла кордиерита из друзовой полости в кордиеритовом желваке (проба 055E-32, аналитик Л.В.Усова) показал (в мас.%): 49,42 SiO_2 ; 33,25 Al_2O_3 ; 6,51 FeO ; 0,41 MnO ; 10,20 MgO ; 0,03 CaO ; 0,02 Na_2O ; 0,03 K_2O (сумма 99,87).

С.В.Ефремовым в сильно обожженных кусках аргиллитов рентгенографически был установлен гексагональный аналог кордиерита - индиалит. Это определение впоследствии было подтверждено Э.В.Лотовой, установившей индиалит в ряде образцов горелых пород.

О с у м и л и т - $\text{KMg}_2\text{Al}_3[(\text{Si}, \text{Al})_{12}\text{O}_{30}]$. Гексагональная сингония. Широко распространен как второстепенный минерал в "черных блоках" террикона шахты № 44. Находится обычно в виде короткопризматических бесцветных гексагональных кристаллов (длиной до 1 мм) на стенках трещин в кусках прокаленных аргиллитов. Главные формы - гексагональная призма и базинакоид. Обычно ребра между гранями призмы и пинакоида срезаны узкими гранями бипирамиды. Грани призмы штрихованы по $[0001]$. На ровных и глад-

ких гранях базопинакоида обычно присутствуют ямки травления. На стенках трещин находится вместе с игольчатым волластонитом и часто включает его иголки. Рос одновременно с кристаллами карбида железа (когенит?). Затем кристаллы карбида были растворены (горячими газами), и от них остались только углубления на кристаллах осумилита с характерными индукционными поверхностями. Около этих поверхностей вещество осумилита имеет коричневатую окраску (Fe?).

Кристаллы осумилита бесцветны, блеск стеклянный, черта белая. Твердость около 6, хрупкий, излом раковистый, отмечены следы спайности по $\{0001\}$. В иммерсии бесцветный, одноосный, положительный, $n_g = 1,544$, $n_p = 1,536$, $n_g - n_p = 0,008$. Дебаеграмма соответствует осумилиту (табл.31). Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 10,16 \text{ \AA}$, $c_0 = 14,28 \text{ \AA}$. Для использованного эталона $a_0 = 10,155 \text{ \AA}$, $c_0 = 14,284 \text{ \AA}$ [16].

Т а б л и ц а 31

Порошковые диаграммы осумилита (проба 054-157) (1) и
эталонного осумилита (2), по [16]

I	1			2		
	$d_{изм}, \text{ \AA}$	$d_{выч}, \text{ \AA}$	hkl	I	$d, \text{ \AA}$	hkl
-	-	-	-	20	8,8	1010
6	7,14	7,14	002	80	7,17	0002
4	5,58	5,54	102	40	5,55	1012
8	5,05	5,08	110	80	5,08	1122
2	4,37	4,40	200	60	4,41	2020
7	4,12	4,14	112	80	4,15	1122
6	3,74	3,74	202	60	3,74	2022
4	3,57	3,57	004	40	3,58	0004
4	3,30	3,31	104	40	3,34	1230; 1014
10	3,22	3,23	203	100	3,24	
1	3,01	3,01	122	40	3,02	
8	2,92	2,92	114	80	2,930	1234; 3030
8	2,77	2,77	204	60	2,776	2024
1	2,71	2,71	302	-	-	-
3	2,53	2,54	220	40	2,543	4260
1	2,42	2,41	311	-	-	-
2	2,38	2,38	006	40	2,390	0006
1	2,21	2,20	400	-	-	-
3	2,16	2,16	116	40	2,170	-
2	2,10	2,10	402	-	-	-
4	2,00	2,00	043; 321	40	2,016	-
3	1,889	1,893	117	-	-	-
6	1,849	1,848	306	60	1,855	-
2	1,791	1,785	008	-	-	-
2	1,750	1,749	018	-	-	-

Таблица 3I (окончание)

1				2		
I	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl	I	$d, \text{Å}$	hkl
3	1,732	1,736	226	40	1,737	-
2	1,685	1,684	118	-	-	-
2	1,656	1,654	208	-	-	-
1	1,586	1,580	510	-	-	-
2	1,558	1,561	109	-	-	-
1	1,538	1,543	512	-	-	-
2	1,523	1,524	308	-	-	-
1	1,499	1,500	513	-	-	-
3	1,462	1,460	228	20	1,462	-
3	1,432	1,432	129	40	1,437	-
2	1,399	1,398	417	40	1,406	-
2	1,377	1,380	336			
1	1,362	1,363	246			
2	1,351	1,351	253			
3	1,333	1,332	057			
2	1,315	1,316	516			
2	1,307	1,307	148			
1	1,291	1,291	163			
1	1,223	1,223	419			
3	1,211	1,212	526			
1	1,200	1,200	0.4.10			
2	1,191	1,191	607			
1	1,182	1,182	623			
1	1,148	1,148	249			
1	1,118	1,118	0.4.11			
2	1,103	1,103	0.3.12			
1	1,094	1,092	3.3.10			
1	1,052	1,051	804			
1	1,045	1,045	5.0.11			
1	1,023	1,023	6.0.10			
1	1,015	1,016	550			
1	1,003	1,003	5.2.10			

Примечание. I- РКД 57,3 мм; FeK_{α} ; поправки введены по отдельному снимку с Ge; аналитик А.Ф.Бушмакин. Индексирование и определение $d_{выч}$ произведено В.Ф.Длановым (ИГЗ).

Химический состав осумилита (проба 054-157, ИГиГ СО АН СССР, микроанализатор Сатсбах, аналитик Л.В.Усова) показал (в мас. %): 60,57 SiO_2 ; 24,84 Al_2O_3 ; 2,10 FeO; 0,29 MnO; 6,92 MgO; 0,05 CaO; 0,39 Na_2O ; 3,90 K_2O (сумма 99,06).

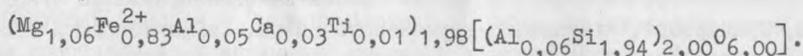
Таким образом, осумилит из "черных блоков" террикона шахты № 45 относится к осумилиту (К, Mg) [16, 60].

Осумилит также находится в качестве второстепенного минерала в составе измененных кусков глинистого сланца в "черных блоках" террикона шахты № 45. Здесь он образует тонкие гексагональные таблички беловатого цвета около 0,1 мм в поперечнике. Такие же таблички осумилита обнаружены в черной рыхлой силикатно-углеродистой массе, заполняющей цилиндрический канал и другие полости в железном предмете (деталь механизма), извлеченном из "черного блока" в том же отвале.

Известные находки осумилита [16] в основном приурочены к вулканическим породам. В горелых породах Челябинского бассейна он пока не обнаружен, хотя "вулканические" ассоциации минералов для них характерны. В протлевшем материале "черных блоков" осумилит встречается как реликтовый минерал.

Гиперстен - $MgFe[Si_2O_6]$. Ромбическая сингония. Входит в состав базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский вместе с клинопироксеном, анортитом и оливином. Наблюдается в молчаливом количестве в виде удлинённых по [001] зеленоватых зерен со слабым плеохроизмом и прямым погасанием относительно спайности по {110}. Микронзонловый анализ (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н. Нигматулина) показал (в мас. %): 50,78 SiO₂; 0,47 TiO₂; 2,47 Al₂O₃; 25,77 FeO; 18,53 MgO; 0,83 CaO; 0,03 Na₂O; 0,19 Cr₂O₃ (сумма 99,05).

Анализ пересчитан на формулу:



Моноклинный энстатит - $Mg_2Si_2O_6$. Встречен в виде бесцветных призматических кристаллов длиной до 1,5 мм, выросших на кусок "черного" глинистого сланца из "черного блока" террикона шахты № 45. Главные формы: а {100}, м {110}, б {010}. Головка кристаллов хорошо образована гранями нескольких призм {hkl} и пинакоидов {h0l}; облик кристаллов четко выраженный моноклинный. Прозрачен, блеск стеклянный. Твердость около 6, хрупкий. Спайность совершенная по {110}. Перед лаяльной трубкой не плавится и почти не изменяется. Двусный, положительный. Плоскость $N_g - N_p$ параллельна {010}. Угол $N_g = 2 \pm 4^\circ$; $n_g = 1,667$, $n_m = 1,662$, $n_p = 1,659$, $n_g - n_p = 0,008$. Дебаеграмма сходна с порошковой программой минералов группы энстатита. Главные линии: 3,13(10); 2,91(3); 2,86(9); 2,66(6); 2,60(5); 1,524(6); 1,483(3); 1,470(8); 1,393(8); 1,308(6); 1,049(7).

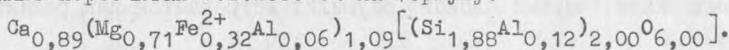
Микронзонловый анализ одного из кристаллов (проба 054-252, ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н. Нигматулина) показал (в мас. %): 57,97 SiO₂; 0,58 Al₂O₃; 0,66 FeO; 0,40 MnO; 37,74 MgO; 0,84 CaO; 0,00 Na₂O; 0,01 K₂O (сумма 98,21).

Описаний магнезиальных пироксенов явно моноклинного облика с углом погасания с N_g (в тупом углу β) порядка $2-4^\circ$ в литературе мы не встре-

тиль. У клиноэнстатита этот угол не менее 20° [16]. Возможно, в данном случае кристаллы представляют собой параморфозы энстатита по клиноэнстатиту (не окончательно оформившиеся).

С а л и т— $\text{Ca}(\text{Mg}, \text{Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$. Моноклинная сингония. Находится в виде призматических кристаллов длиной до 3–4 мм в полостях базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский вместе с кристаллами оливина и лейцита. Главные формы: $m\{110\}$, $a\{100\}$, $b\{010\}$ и $s\{111\}$. Цвет серовато-зеленый. По химическому составу соответствует салиту. Микронзондовый анализ кристалла (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н.Нагматулина) показал (в мас. %): 49,43 SiO_2 ; 0,72 TiO_2 ; 4,09 Al_2O_3 ; 10,16 FeO ; 12,58 MgO ; 21,94 CaO ; 0,05 Na_2O ; 0,07 Cr_2O_3 (сумма 99,04).

Анализ пересчитан Э.В.Лотовой на формулу:

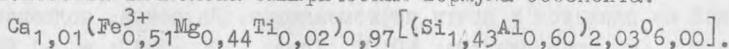


По-видимому, моноклинный пироксен, являющийся порообразующим минералом "базальтов", также близок к салиту или липсилу.

Э с с е н е и т— $\text{CaFe}^{3+}[\text{SiAlO}_6]$. Моноклинная сингония. В 1937 г. Э.В.Лотовой было установлено, что широко распространенный в горелых породах пироксен желтого (до оранжевого и коричневого) цвета относится к недавно установленному новому пироксену— эссенеиту [61, 66]. Чаще всего эссенеит встречается в составе скарноподобных образований на месте скорлупы сильно обожженных "орехов" вместе с анортитом, минералами группы меллилита и гематитом. Он образует мелкие призматические кристаллы яркого желтого, оранжевого, красновато-коричневого цвета. Дифрактограмма соответствует эссенеиту [66]. Главные отражения (ИГиГ СО АН СССР, аналитик С.А.Белорова): 3,214(100)(220); 2,981(60)(221); 2,950(55)(310); 2,394(15)($\bar{3}11$); 2,519(35)(221); 2,145(45)(330).

Микронзондовый анализ эссенеита с тергикона шахты № 204 (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н.Нагматулина) в мас. % среднее из двух кристаллов 36,90 SiO_2 ; 0,59 TiO_2 ; 24,19 CaO ; 0,03 Na_2O ; 13,04 Al_2O_3 ; 17,42 Fe_2O_3 ; 7,70 MgO ; 0,02 Cr_2O_3 ; (сумма 99,87).

Э.В.Лотовой вычислена эмпирическая формула эссенеита:



Эссенеит был установлен в составе бухитов, возникших при обжиге пород при горении угольного пласта в районе Буффало, Вайоминг США [66]. Весьма неоднородные по составу бухиты сложены клинопироксенами, меллилитами, окислами железа и небольшим количеством стекла. Находка в Челябинском бассейне, по-видимому, вторая. Однако следует отметить, что пироксены эссенеитового типа широко распространены и в других угольных бассейнах с горелыми отвалами.

Ф а с с а и т (?). Обычный второстепенный и акцессорный минерал в "черных блоках". Образует тонкие мелкокристаллические корочки на кусках

пород и вкрапленность кристаллов в силикатных корках вокруг кусков разложенного окаменелого дерева. Кристаллы призматические, с острыми коньчезидными концами, главными формами являются $m\{110\}$ и $u\{\bar{2}21\}$. Иногда кристаллы бесцветны, но чаще имеют сероватый или сиреневый оттенок. Блеск граней сильный, стеклянный, жирноватый. Оптические свойства соответствуют фассаиту: двусный, положительный, $r > v$; $n_g = 1,702$, $n_m = 1,631$, $n_p = 1,671$, $n_g - n_p = 0,031$. Главные отражения на лебаеграмме: 3,04(3), 2,99(10), 2,54(7), 2,14(4), 2,03(4), 1,629(6), 1,427(4), 1,409(4), 1,078(4), 1,070(4).

Э г р и н (?) Длиннопризматические кристаллы до 8 мм длиной, уплощенные по $\{100\}$. Встречены в полостях красного слёка с террикона шахты № 23 (образец отобран С.В.Фирмовым). Главные формы $a\{100\}$ и $m\{110\}$, конечные грани не проявлены. Цвет железно-черный. Металловилный оттенок придает тонкий налет гематита на гранях. В изломе буровато-черный, со смолистым блеском. Перел паяльной трубкой легко плавится в черный магнитный шарик. Порошок темно-коричневый и магнитный. В иммерсии красновато-коричневый, анизотропный. Интерференционная окраска маскируется густым собственным цветом. Дихроизм слабый: N_g - густой красновато-коричневый, N_p - густой желтовато-коричневый; $n \sim 1,69$. Главные отражения на лебаеграмме: 3,02(3); 2,543(10); 2,221(3); 1,620(6); 1,494(9); 1,462(5). По-видимому, представляет собой эгрин, измененный длительным прокаливанием в струях горячих газов.

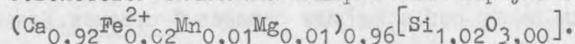
В о л л а с т о н и т - β - $Ca_3Si_3O_9$. Триклинная сингония. Поролообразующий минерал в "черных блоках". Обычно образует беловатые игольчатые кристаллы на поверхности кусков и в пористой черной массе. Кристаллы плохо образованы, но иногда пинаколы зоны $[010]$ довольно четко различаются. Цвет беловатый, сероватый. Блеск стеклянный и шелковистый. Перел паяльной трубкой оплавляется в бесцветное стекло. В закрытой трубке волны не выделяет. При кипячении в HCl дает "студень" кремнезема. В иммерсии бесцветный. Погасание прямое, удлинение по $[010]$ (N_m); $n_g \approx 1,632$, $n_m = 1,623$, $n_p = 1,618$, $n_p = 0,014$. Лебаеграмма соответствует волластониту. Главные отражения: 3,32(5)(400), 3,52(4)(002), 3,32(9)(202), 2,977(10)(310), 2,537(6)(112, 600), 2,136(5), 1,335(6), 1,720(8), 1,605(7).

Среди кавернозной массы силикатных корок вокруг разложенных кусков окаменелого дерева в "черных блоках" терриконов шахт № 44 (северный отвал) и № 45 встречены жилки волластонит-асбеста. Они расположены в рыхлой массе и достигают 5 мм мощности и до 5-10 см в длину. Строение жилок поперечно-волоконное. Волокна волластонита очень тонкие, гибкие, но при сильном сгибании ломаются. Цвет жильной массы светло-серый, блеск шелковистый. Оптические свойства и лебаеграмма соответствуют волластониту.

Некоторые силикатные корки из протлевших масс "черных блоков" содержат параллельно-шестоватые выделения белого или желтого волластонита с характерным "бегущим" отблеском. Его микроскопический анализ (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н.Игматулина) показал (в мас.%, среднее из двух зерен):

52,78 SiO₂; 0,04 Al₂O₃; 1,24 FeO; 0,68 MnO; 0,13 MgO; 44,79 CaO; 0,03 Na₂O; 0,01 K₂O (сумма 99,97).

Э.В.Лотовой вычислена эмпирическая формула этого волластонита:



Муллит — 3Al₂O₃ · 2SiO₂. Ромбическая сингония. Поролообразующий минерал в сильно обожженных глинистых породах. В "красных аргиллитах" он ассоциирует с кварцем, шпинелью и гематитом, а в "вишневых аргиллитах" — с кордиеритом, триммитом (шпинелью). Устанавливается в этих породах рентгенографически.

Прозрачные бледно-желтые длиннопризматические кристаллы муллита (до 1,5–2 мм), собранные в радиальные пучки, встречены на стенках газовых пузырей в серой переплавленной породе из глыб спека террикона шахты № 204. Вместе с муллитом на стенках пузырей находятся кристаллы анортита, гематита, корунда, топаза и варвикита. Облик кристаллов муллита псевдотетрагональный, главными формами являются $m\{110\}$ и $c\{001\}$. Блеск стеклянный. Твердость около 6,5. Погасание прямое, удлинение положительное. $n_g = 1,679$, $n_m = 1,670$, $n_p = 1,659$, $n_g - n_p = 0,020$. Дебаеграмма соответствует муллиту [57, 776]. Главные линии: 3,39(10)(210); 2,545(5)(111); 2,204(3)(121); 1,526(7)(331); 1,326(4)(151). Параметры ячейки: $a_0 = 7,548$; $b_0 = 7,705$; $c_0 = 2,896$ А.

Амфиболы. Спирально встречаются в "черных блоках" террикона шахты № 45. Одиночные кристаллы и их сростки обнаружены в кавернозной массе силикатных корок вокруг разложившихся кусков окаменелого дерева и в виде нарастаний на поверхности кусков пород. Главные формы на кристаллах: $m\{110\}$, $r\{\bar{1}11\}$, $b\{010\}$. Отмечены слабо развитые $a\{100\}$, $e\{130\}$ и $i\{\bar{1}31\}$. Облик кристаллов сильно варьирует в зависимости от степени развития по $[001]$ — от табличатого (сплюснут по $[001]$) до длиннопризматического. Обычный облик изометричный, с примерно равным развитием $m\{110\}$, $r\{\bar{1}11\}$ и $b\{010\}$. Грани $m\{110\}$ обычно имеют штриховку по $[001]$. Длина кристаллов по $[001]$ достигает 1,5–2 мм. Цвет кристаллов светлый коричневатый-серый. Блеск стеклянный. Твердость около 6. Спайность совершенная по $\{110\}$. Перед паяльной трубкой легко плавится, вспучиваясь в "стеклянный пузырь" светло-серого цвета. Скрашивает пламя в желтоватый цвет (Na?). При сильном прокаливании в закрытой трубке не обнаруживается выделение воли. Только вблизи пробы стекло трубки становится ралужным (действие фтора?). Кусочки пробы, вплавленные в стекло трубки, окружены обильными газовыми пузырьками (фтор?). Оптически положительный, двусосный. Угол $eN_g = 29^\circ$, $n_g = 1,623$, $n_m = 1,612$, $n_p = 1,607$, $n_g - n_p = 0,021$. Судя по легкоплавкости и поведению в закрытой трубке, данный амфибол можно считать фторамфиболом (4,55 мас. % F). С ним вместе находится анортит, сфен, фторидогипс, норбергит, хондролит.

Амфибол встречен также срези красного горельника. Он находится в крупнозернистом кавернозном агрегате из скарноподобных образований, возникающих на контактах ангилритовой скорлупы "орехов" с силикатной массой

горельника. Агрегат сложен крупными изометричными зернами желтовато-зеленого амфибола, мелкозернистыми белыми скоплениями анортита, зернами красновато-коричневого ("огненного") фторфлогопита с примесью зерен меллита и гематита. Цвет амфибола варьирует от желтовато-зеленого до оранжевого и мелово-желтого. Спайность совершенная по {110}. Места в полостях на индивидулах наблюдаются плохо выраженные грани {110} и $\{\bar{1}11\}$. Содержит 4,40 мас.% F.

Ф л о г о п и т - $KMg_3[AlSi_3O_{10}] \cdot F_2$. Моноклинная сингония. В "черных блоках" флогопит образует чешуйчатые агрегаты в силикатных оторочках около кусков измененного окаменелого дерева и других карбонатных пород. Здесь он находится вместе с хондритом, норбергитом, волластонитом, анортитом, моносульфидами и карбидами железа, графитом. Листочки обычно менее 1 мм, многие имеют шестиугольную форму. Встречены листочки прямоугольной формы, обусловленной почти отсутствием {110} и не обладающим развитием {010} и {100}. Цвет серебристо-белый, желтоватый, коричневатый. Оптически почти одноосный, отрицательный, $n_g \approx n_m \approx 1,557$. Редкие листочки флогопита отмечены на стенках трещин в кусках древесного угля совместно с анортитом, троилитом, когнитом, графитом, хондритом.

Довольно часто тонкие, почти бесцветные (слегка желтоватые или коричневатые) листочки флогопита встречаются в газовых пузырях и других полостях в переплавленных кусках пород, включенных в вишнево-красный спёк. Здесь флогопит ассоциируется с анортитом, рядом других силикатов и гематитом. Подобные листочки флогопита отмечены и в газовых пузырях базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский.

Таблитчатые зерна красновато-коричневого ("огненного") флогопита вместе с амфиболом, анортитом и гематитом слагают крупнозернистые реакционные образования, возникшие при взаимодействии вещества "ореха" с горельником (террикон шахты № 204).

Добаграммы флогопитов (5 проб) в общем близки к эталонным. Главные отражения: 4,61-4,65(2-7); 3,68-3,72(1-9); 3,40-3,41(1-6); 3,30-3,33(1-7); 3,12-3,17(1-10); 2,618-2,633(8-10); 2,429-2,444(7-9); 2,162-2,178(2-8); 1,937-2,001(2-8); 1,667-1,675(2-8); 1,537-1,545(8-10). Е.В.Белогуб (ИГЗ) определен структурный тип флогопита 1М и параметр b_0 , составляющий 9,17-9,18($\pm 0,01$) Å. По оптическим и рентгенографическим данным изученная структура относится к фторфлогопиту (8,40 мас.% F).

Б и о т и т - $K(Mg, Fe)_3[AlSi_3O_{10}](F, OH)_2$. Моноклинная сингония. Установлен Э.В.Лотовой в шлифах из голубовато-серых кордиеритовых желваков, извлеченных из глыб "вишневого" спёка террикона шахты № 204. Находится в виде неправильных зерен вместе с кордиеритом, анортитом, муллитом и гематитом. Цвет бурый, плеохроизм сильный - от темно-бурого до желтоватого.

Г и р о л и т - $Ca_2Si_3O_7(OH)_2 \cdot H_2O$. Гексагональная сингония. Образует тонкозернистые "присыпки" на некоторых кристаллах "гексагонального анортита". Определен рентгенографически по следующим линиям лебаграммы: 6,35(4); 4,24(6); 3,36(4); 2,04(2); 1,937(1); 1,893(2).

Анортит - $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$. Триклинная сингония. Породообразующий минерал базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский. Здесь он находится в виде таблитчатых по $\{010\}$ зерен, слвйникованных по альбитовому закону (обычные полисинтетические двойники). Микронзондовый анализ этого анортита (ИГиГ СО АН СССР, аналитик Е.Н. Нигматулина) любезно предоставлен Э.В. Лотовой (в мас. %): 44,49 SiO_2 ; 0,47 TiO_2 ; 33,30 Al_2O_3 ; 19,02 CaO ; 0,19 Na_2O ; 0,00 Cr_2O_3 ; 2,37 FeO ; 0,14 MgO (сумма 99,98).

Анализ пересчитан на формулу: $(\text{Ca}_{0,95}\text{Na}_{0,02}\text{Ti}_{0,02}\text{Mg}_{0,01})_{1,00}(\text{Al}_{1,83}\text{Fe}_{0,09})_{1,92}\text{Si}_{2,08}\text{O}_{8,00}$.

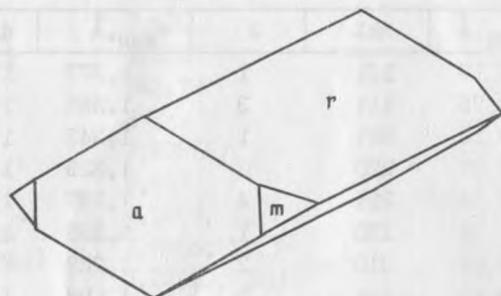
Пластинчатые и листоватые по $\{010\}$ бесцветные кристаллы анортита широко распространены в силикатных корках около разложенных кусков окаменелого дерева в "черных блоках" и в полостях скарноподобных образований в глыбах красного и "вишневого" слёка. В "черных блоках" анортит сопровождается хондролитом, норбергитом, волластонитом, фторфлогопитом, форстеритом и фаялитом, моносulfидами и карбидами железа, флюоритом, шпинелью, апатитом. В слёке ему сопутствуют: пироксены, минералы группы меллилта, кордиерит, муллит, гематит, магнезиоферрит, периклаз. Кристаллы анортита, удлиненные по $[001]$ и в качестве главных форм имеющие $\{110\}$ и $\{1\bar{1}0\}$, обычны на стенках трещин в кусках древесного угля в "черных блоках". Они сопровождаются кристаллами троилита, когенита, фаялита, хондролита, фторфлогопита. Здесь же встречены кристаллы ромбической и гексагональной модификаций $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Во всех этих случаях оптические свойства плагиоклаза соответствуют анортиту. Главные отражения лебаеграммы: 4,05(5); 3,21(10); 2,52(5); 1,930(6), что также характеризует его как анортит. Анортит и битовнит - обычные составные части кордиеритовых желваков в пластках слёка (данные Э.В. Лотовой).

Санилин - $(\text{K},\text{Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$. Моноклинная сингония. Установлен Э.В. Лотовой при анализе дифрактограмм кордиеритсодержащих пород "черных блоков" террикона шахты № 45. Санилин сопровождается кордиеритом (главная фаза), кварцем, трилимитом и осумилитом.

Святославит - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Ромбическая сингония. В работе [62] приведено описание двух синтетических фаз, имеющих состав анортита - $\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$. Одна из фаз была ромбическая, а другая - гексагональная. Обе получены при медленном охлаждении стекла анортитового состава, полученного при плавлении соответствующей шихты в графитовом тигле в атмосфере азота.

Новый минерал - ромбический аналог анортита - найден Б.В. Чесноковым (1985 г.) на терриконе шахты № 45 (Копейск). Он в виде мелких (до 0,5-0,8 мм) бесцветных кристаллов нарастает на стенки трещин в кусках древесного угля из "черных блоков". Вместе с ним находятся кристаллы анортита и троилита. В этих же кусках угля встречены кристаллы когенита, хондролита, фторфлогопита, фаялита, сфена, графита и гексагональной модификации $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Кристаллы нового минерала имеют "топазовый" облик - хорошо образованная ромбическая призма $r\{011\}$ в комбинации с пинакоидом $a\{100\}$ и не всегда присутствующими, слабо развитыми формами: $m\{110\}$ и $d\{101\}$ рис.33. Кристаллы бесцветны, блеск их стеклянный, черта белая. В ультрафиолетовых лучах (360 нм) слабо светятся желтоватым цветом (находящиеся рядом кристаллы анортита светятся сиреневым цветом). Твердость около 6. Хрупкий, спайность слабая по $\{100\}$, излом раковистый. Плотность 2,695 г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа и этанола). Двуосный, отрицательный, $n_g = 1,581(2)$, $n_m = 1,578(2)$, $n_p = 1,552(2)$, $n_g - n_p = 0,029$. $N_g = [100]$, $N_m^g = [010]$, $N_p = [001]$. $-2V_{выч} = 37,08^\circ$.



Р и с.33. Кристалл святославита
 $a\{100\}$, $m\{110\}$, $r\{011\}$

На электронно-рентгеновском микроанализаторе Camebax (ИГиГ СО АН СССР) Л.В.Усовой определен химический состав двух кристаллов (табл. 32).

Т а б л и ц а 32

Химический состав святославита
(проба 054-133)

Компоненты	Мас. %			Атомные отношения при 8 ат. 0
	1	2	Среднее	
SiO ₂	43,62	43,51	43,56	2,04
Al ₂ O ₃	35,37	35,23	35,32	1,95
CaO	19,33	19,15	19,24	0,96
Na ₂ O	0,41	0,44	0,42	0,04
FeO	0,02	0,03	0,02	-
MgO	0,03	0,01	0,02	-
K ₂ O	0,01	0,02	0,01	-
MnO	0,00	0,00	0,00	-
Сумма	98,79	98,44	98,59	-

Эмпирическая формула $(Ca_{0,96}Na_{0,04})_{1,00}(Al_{1,95}Si_{2,04}O_{8,00})$. Идеальная формула $CaAl_2Si_2O_8$. В.С.Павлюченко (ИГиГ СО АН СССР) проведено рентгенографическое изучение кристаллов. Они относятся к ромбической сингонии, пространственная группа $P2_12_12_1$. Параметры элементарной ячейки: $a_0 = 8,232 \text{ \AA}$, $b_0 = 8,606 (10) \text{ \AA}$, $c_0 = 4,852 (5) \text{ \AA}$, $V = 343,78 \text{ \AA}^3$, $z = 2$. Расчетная плотность $\rho_{\text{выч}} = 2,687 \text{ г/см}^3$. Порошкограмма (табл.33) соответствует синтетической ромбической фазе $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ [47, 62]. В табл.34 дано сравнение нового минерала с ромбической синтетической фазой.

Т а б л и ц а 33

Дебаеграмма святославита (проба 054-133)

J	$d_{\text{изм}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{ \AA}$	hkl	J	$d_{\text{изм}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{ \AA}$	hkl
8	4,16	4,17	101	1	1,373	1,372	600
6	3,75	3,75	111	3	1,356	1,355	610
10	3,22	3,22	021	1	1,343	1,345	512
4	2,98	2,97	220	6	1,329	1,329	252
6	2,94	2,94	211	4	1,297	1,299	522
7	2,71	2,71	130	1	1,289	1,293	043
1	2,62	2,61	310	2	1,229	1,229	070
3	2,53	2,53	221	2	1,198	1,199	631
2	2,38	2,38	301	2	1,190	1,190	550
2	2,36	2,36	131	1	1,181	1,180	171
3	2,33	2,33	012	2	1,167	1,167	153
3	2,30	2,30	311	5	1,150	1,151	622
3	2,24	2,24	112	3	1,144	1,144	461
3	2,12	2,12	231	4	1,121	1,122	370
8	2,09	2,09	321	3	1,103	1,103	632
2	2,06	2,06	400	3	1,096	1,097	072
7	1,967	1,967	041	3	1,082	1,082	560
1	1,910	1,907	240	3	1,056	1,056	561
4	1,852	1,855	420	1	1,027	1,028	722
3	1,774	1,774	241	4	1,021	1,022	310
3	1,689	1,685	150	3	1,018	1,018	281
7	1,670	1,672	322	1	1,010	1,009	741
2	1,602	1,598	341	2	1,001	1,001	820
3	1,580	1,579	431	3	0,999	0,999	811
3	1,560	1,557	501	1	0,992	0,992	054
3	1,532	1,533	332	2	0,990	0,992	660
1	1,502	1,509	251	3	0,982	0,982	434
4	1,434	1,434	060	2	0,980	0,980	821
4	1,405	1,404	052	1	0,978	0,977	504
2	1,388	1,388	342				

Примечание. $D=57,3 \text{ мм}$; FeK_{α} ; поправки внесены по отдельному снимку с эталонным Ge . Аналитик А.Ф.Бушмакин.

Сравнение святославита (1) с
с синтетической фазой того же состава (2)

Характеристики	1 (проба 054-133)	2 по [62]
Формула	$\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$	$\text{CaO Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$
Сингония	Ромбическая	Ромбическая
Пространственная группа	$R2_12_12$	$R2_12_12$
$a_0, \text{Å}$	8,232	8,224
b_0	8,606	8,606
c_0	4,852	4,836
$V, \text{Å}^3$	343,78	342,27
z	2	2
$\rho_{\text{изм}}, \text{г/см}^3$	2,695(5)	2,70
$\rho_{\text{выч}}, \text{г/см}^3$	2,637	2,70
Наиболее яркие отражения порош- кограммы (d, J, hkl)	4,16(8, 101)	4,17(85, 101)
	3,75(6, 111.)	3,75(50, 111)
	3,22(10, 021)	3,21(100, 021)
	2,98(4, 220)	2,97(35, 220)
	2,71(7, 130)	2,707(30, 130)
	2,09(8, 321)	2,087(40, 321)
	1,967(7, 041)	1,965(20, 041)
Оптический знак	Отрицательный	Отрицательный
n_g	1,581	1,584
n_m	1,578	1,580
n_p	1,552	1,553
$n_g - n_p$	0,029	0,031

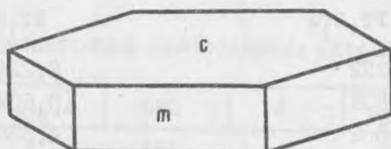
Минерал назван в честь известного уральского геолога члена-корреспондента АН СССР Святослава Несторовича Иванова.

Образование кристаллов святославита произошло из газовой фазы в резко восстановительных условиях при высокой температуре (по-видимому, ненамного ниже 1000°C). Этот минерал выделялся несколько раньше, чем анортит. Последний иногда дает сростки с троилитом и когенимом с образованием индукционных поверхностей совместного роста. А на кристаллы святославита троилит нарастает, облекая уже сформировавшийся индивид. Сростаний святославита с анортитом не встречено, хотя иногда их кристаллы располагаются на угле на расстоянии 3-5 мм друг от друга. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Э.В.Лотова, В.С.Павлюченко, Л.В.Усова, А.Ф.Бушмакин, Т.П.Нипшанбаев.

Дмиштейнбергит - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Гексагональная сингония. Найден Б.В.Чесноковым (1987 г.) в образцах со святославитом. Образует гексагональные таблички с гранями форм $\{1010\}$ и с $\{0001\}$ (рис.

34) до 0,7 мм в поперечнике, нарастающие на стенки трещин в кусках древесного угля вместе с анортитом, троилитом и когенитом.

Бесцветный или беловатый. Блеск стеклянный, на плоскостях {0001} иногда перламутровый. Спайность очень хорошая по {0001}. Хрупкий, твердость около 5,5. Плотность 2,73 г/см³. Одноосный, положительный. В более толстых пластинках по {0001} наблюдается слабое двупреломление (секториально) и ясная двуосность. $n_g = 1,580$, $n_p = 1,575$; $n_g - n_p = 0,005$.



Р и с.34. Кристалл дмшштейнбергита
с {0001}, m {1010}

Результаты микронзондового анализа (табл.35), выполненного Е.Н.Нигматулиной (ИГиГ СО АН СССР), пересчитаны на формулу $(Ca_{0,97}Na_{0,03})_{1,00}(Al_{1,95}Si_{2,05}O_{8,00})$, что соответствует стехиометрии $CaAl_2Si_2O_8$ или $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$.

Т а б л и ц а 35

Химический состав дмшштейнбергита
(проба 054-133/10, 4 кристалла)

Компоненты	Мас.%		Катионы, рассчитанные на 8 ат.
	Колебания	Среднее	
SiO ₂	43,61-44,02	43,89	2,05
Al ₂ O ₃	34,93-35,58	35,39	1,95
FeO	0,00-0,01	-	-
MnO	0,00	-	-
MgO	0,01-0,03	0,01	-
CaO	18,89-19,47	19,29	0,97
Na ₂ O	0,23-0,42	0,32	0,03
K ₂ O	0,03-0,05	0,03	-
Сумма	98,33-99,32	98,93	-

Порошкограмма дмшштейнбергита соответствует синтетической гексагональной фазе $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (табл.36).

Параметры элементарной ячейки (в скобках для синтетической фазы, по [62]): $a_0 = 5,122 \pm 0,005 (5,110 \pm 0,002)$, $c_0 = 14,781 \pm 0,005 (14,738 \pm 0,002)$ Å. По данным [62], пространственная группа синтетической фазы $C6/mmm$, $z = 1$.

На краях изученных нами кристаллов и на их гранях {0001} наблюдаются нарастания мелких кристалликов гиролита (определен рентгенографически). Кроме того, на гранях {0001} наблюдается четкий спиральный рельеф (с на-

Порошкограммы илмштейнбергита (проба 054-133/10) (1)
и синтетического гексагонального $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ (2)

1				2 [62]		
I	d _{изм} , Å	d _{выч} , Å	hkl	I	d, Å	hkl
1	7,39	7,39	002	85	7,37	002
6	4,48	4,44	100	7	4,43	100, 010
6	3,83	3,80	102	30	3,80	102, 012
10	3,73	3,70	004	100	3,68	004
7	2,85	2,84	104	40	2,84	104, 014
8	2,57	2,56	110	9	2,555	110
-	-	-	-	14	2,456	006
1	2,41	2,42	112	3	2,414	112
3	2,14	2,15	106	11	2,147	106, 016
7	1,867	1,866	008	100	1,842	008
-	-	-	-	9	1,770	116
2	1,714	1,706	108	1	1,701	108, 018
-	-	-	-	1	1,658	210
-	-	-	-	2	1,501	212
4	1,481	1,479	030	14	1,495	118
-	-	-	-	3	1,475	300
1	1,410	1,416	033	12	1,399	1.0.10, 0.1.10
1	1,279	1,281	220	8	1,277	1.1.10
1	1,223	1,226	131	6	1,227	2.0.10, 0.2.10
1	1,185	1,181	1.0.12	5	1,183	1.0.12, 0.1.12
-	-	-	-	1	1,152	308, 038

Примечание. I - РКД 57,3 мм; FeK_α ; поправки внесены по отдельному снимку с эталонным Ge. Аналитик А.Ф.Бупмакин. Индицирование выполнено В.Ф.Ждановым (ИГЗ). 2 - авторы [62] отмечают текстурированность препарата.

чалом спирали в центре грани). Как и святославит, гексагональный аналог образован из газовой фазы в резко восстановительных условиях в сильно разогретых частях "черного блока". Возрастные взаимоотношения его с другими минералами не определены. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Э.В.Лотова, В.С.Павлюченко, Е.Н.Нигматулина, А.Ф.Бупмакин.

Минерал назван в честь известного уральского петрографа доктора геолого-минералогических наук Дмитрия Сергеевича Штейнберга.

Л е й ц и т - к $[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$. Кубическая сингония. Образует бесцветные кристаллы в форме тетрагонтриоктаэдра {211} попеременно до 2-3 мм в полостях базальтоподобных пород отвала разреза Коркинский вместе с пироксеном, анортитом и оливином. Плотность 2,48 г/см³ (пикнометр). Оптически

слабо анизотропен, $n_g = 1,506$, $n_p = 1,504$. Дебаеграмма соответствует лейшиту. Главные линии: 5,40(6); 3,44(7); 3,27(10); 2,92(5); 2,82(5); 2,37(4); 1,661(5). В виле коеноморфных зерен входит также в состав "базальта".

Челябинскит — $[\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6 \cdot 9\text{H}_2\text{O}] [(\text{SiO}_4)(\text{CO}_3)_2]$ Ромбическая сингония. Этот новый минерал найден Б.В.Чесноковым (1984 г.) в отвале разреза Коркинский. Он получил название челябинскит (*Chelyabinskite*) в честь главного промышленного и культурного центра Южного Урала.

Челябинскит образует белые рыхлые налеты, землистые корочки и скопления мелких почковидных агрегатов на поверхности кусков горелых пород и на стенках полостей в них. Толщина корочек не превышает 1–2 мм, а поперечник почковидных и сферолитоподобных агрегатов 1–1,5 мм. В экскаваторных забоях в некоторых местах обогащенные челябинскитом участки образуют на фоне горелых пород "белые" пятна площадью до нескольких квадратных метров. Вместе с челябинскитом встречены незначительные выделения гипса в виде мелкокристаллических корочек и мелкие кристаллы неопределенных карбонатов.

В подавляющем большинстве случаев агрегаты челябинскита отличаются чистотой и содержат только некоторую примесь мелких частиц горелых пород. Агрегаты челябинскита обычно рыхлые и мягкие, состоят из мелких волокон и иголок. В тех случаях, когда эти индивиды крупнее, агрегат имеет шелковистый блеск, ватоподобное строение и скрипит при внедрении в него стальной иглы. Часто встречаются и более плотные, мелоподобные агрегаты, в которых волокнистые и игольчатые индивиды очень малы, трудно различаются под микроскопом.

Цвет агрегатов челябинскита чистый белый, блеск иголок стеклянный, блеск агрегатов шелковистый или матовый, черта белая. Твердость невысокая, по-виллиму, около 3. Тонкие волокна легко изгибаются, а их агрегаты сминаются. Плотность ватоподобных комочков с шелковистым блеском $1,908 \pm 0,005$ г/см³, плотность мелоподобных агрегатов $1,912 \pm 0,005$ г/см³ (определено уравниванием частиц в растворе бромформа с ксилолом). Перед пальцовой трубкой комочек челябинскита сильно светится белым цветом, несколько уменьшается в объеме, но не плавится. При длительном прокаливании заметно некоторое спекание поверхности (плавкость около 5,5). После прокалывания остается белым. При смачивании HCl окрашивает пламя в красноватый, а затем в желтоватый цвет. При прокалывании в закрытой трубке выделяет много воды. В HCl бурно и кратко вскипает, оставляя рыхлый беловатый осадок. После растворения значительного количества минерала в HCl в пробирке образуется обильный студенистый осадок кремнезема. В солянокислом растворе дает яркую реакцию на SO_4^{2-} с BaCl_2 . Реакции на P, Cl⁻ и F⁻ отрицательные. В ультрафиолетовых лучах люминесцирует довольно сильно, цвет свечения голубовато-белый.

В иммерсии под микроскопом видны пучки тонких иголок и волокон. Прозрачен и бесцветен. Погасание прямое, удлинение отрицательное (вдоль иголок и волокон расположена N_p). Интерференционная окраска наиболее

крупных иголочек серая. $n_g=1,508, n_m=1,495, n_p=1,475, n_g-n_p=0,033$. $-2V=77^\circ$. Оптически отрицательный. Оптические свойства ватоподобных и мелоподобных агрегатов одинаковы.

На основании приведенных выше свойств было установлено, что минерал близок к таумаситу.

На химический анализ была лана проба челябинскита, состоящая в основном из почковилльных ватоподобных частиц с некоторой примесью мелоподобного вещества. После растворения в HCl от пробы осталось 3,32% нерастворимого остатка в виде красноватых мелких частиц горелой порола (табл.37).

Т а б л и ц а 37
Химический состав челябинскита
(проба 0107-37)

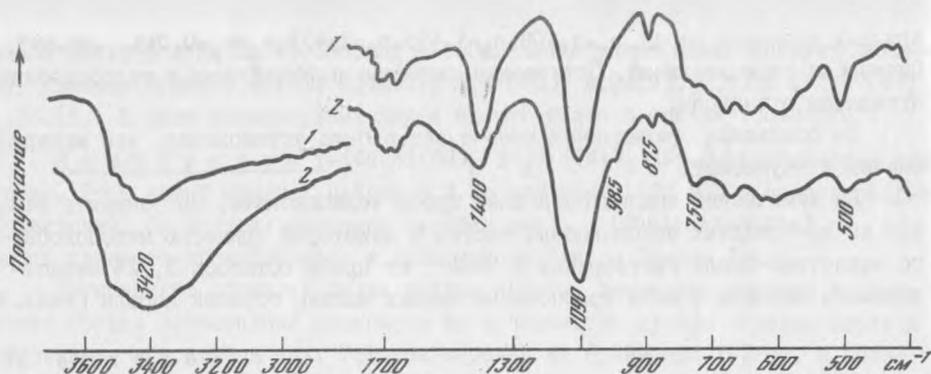
Компоненты	Мас. %	Молекулярное количество	Атомное количество катионов	Пересчет при $SiO_2 = 1,00$
SiO_2	10,00	0,16643	0,16643	1,000
Al_2O_3	1,17	-	-	-
Fe_2O_3	1,14	-	-	-
MnO	<0,05	-	-	-
MgO	1,16	0,02380	0,02380	0,173
CaO	26,06	0,46469	0,46469	2,792
SO_3	19,73	0,24643	0,24643	1,431
CO_2	4,30	0,09770	0,09770	0,537
H_2O	36,53	2,03042	4,06084	12,200
Сумма	100,14			
Нерастворимый остаток	3,32			

Аналитик Л.Ф.Баженова.

При обработке результатов анализа железо отброшено, поскольку оно попало в раствор при растворении частичек окислов железа в виде тонкой пыли. Эти частицы наблюдались в пробе под бинокляром. Отброшен также глинозем, находящийся в горелых поролах частично в виде гидроокислов алюминия. Эмпирическая формула (при $SiO_2=1,00$): $(Ca_{2,79}Mg_{0,17})_2,96Si_{1,00}H_{24,40}S_{1,48}O_{59}^{23,89}$.

По аналогии с таумаситом [73, 74, 63, 64, 55], идеальная формула челябинскита: $[Ca_3Si(OH)_6 \cdot 9H_2O] [(SO_4), (CO_3)_2]$.

Сравнение инфракрасных спектров описываемого минерала и эталонного таумасита из месторождения Кан-Сай показывает, что спектры эти, несомненно, однотипны, хотя и обладают рядом различий (рис.35). Не обсуждая особенности спектров в целом, необходимо остановиться на тех деталях, которые могут указывать на октаэдрическую координацию кремния в структуре минералов.



Р и с.35. Инфракрасные спектры таумасита месторождения Кан-Сай (1) и челябинскита (2) (проба О107-37)

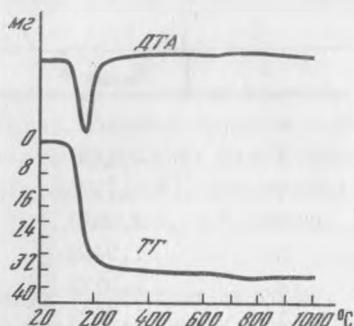
Прежде всего необходимо проанализировать полосу $375-330\text{ см}^{-1}$. По данным Х.Менке [73], эта полоса (387 см^{-1} , по [73]) обусловлена колебаниями SiO_6 -октаэдра. Однако простое сравнение приведенных спектров показывает, что интенсивность ее в пробе О107-37 уменьшается по сравнению с пробой из Кан-Сая соответственно с уменьшением интенсивности полосы 1400 см^{-1} ($\nu_3\text{CO}_2$). Таким образом, эта полоса поглощения представляет собой валентное колебание (ν_2) группировки CO_2 . Для простых карбонатов волновые числа этих колебаний равны соответственно $\nu_3 = 1450$, $\nu_2 = 830\text{ см}^{-1}$. Указываемая в этом же диапазоне полоса поглощения 935 см^{-1} , также отнесенная Х.Менке к колебаниям SiO_6 -октаэдров, в наших спектрах не обнаружена.

Получая итог, необходимо отметить, что из всех рассматривавшихся ранее полос поглощения [35, 73] лишь полосы $740-760\text{ см}^{-1}$ с известной долей вероятности можно отнести к колебаниям $\text{Si}-\text{OH}$. Это же время в спектре описываемого минерала присутствует четкая, хотя и мало интенсивная полоса поглощения 935 см^{-1} , на спектре из таумасита из Кан-Сая выраженная в виде плеча. По данным Г.В.Кухневича [53], полосе 980 см^{-1} соответствует плоское деформационное колебание OH -группы, находящейся в вершине октаэдра.

Кривые нагревания челябинскита также схожи с таковыми таумасита (рис.36). На кривой ДТА имеется глубокий эндотермический пик при 170°C , связанный с дегидратацией. В отличие от таумасита челябинскит не дает экзотермического эффекта в области 740°C [16].

Порошкограмма челябинскита (табл.38) в общем близка к порошкограмме таумасита, но резко отличается от последней дублетом наиболее сильных отражений 9,36 и 9,52 вместо отражения 9,66 таумасита, минерала гексагональной сингонии. Порошкограмма челябинскита индифферентна на основе ромбической ячейки с параметрами, вдвое большими, чем параметры ячейки таумасита. Значения параметров челябинскита, уточненные по порошкограмме: $a_0 = 19,01 \pm 0,01\text{ \AA}$, $b_0 = 20,93 \pm 0,01\text{ \AA}$, $c_0 = 22,45 \pm 0,01\text{ \AA}$. Монокристалльная

Р и с.36. Дериwатогpамма челябинскита
(проба ОЮ7-37, навеска 128 мг)



съемка не была выполнена из-за очень малой величины индивидов, пространственная группа не определена. Порошковая мелополобного челябинскита очень мало отличается от приведенной в табл.33 (меньше отражений, незначительная разница в значениях d). Объем элементарной ячейки $V = 8932,39 \text{ \AA}^3$, $z = 13$, $\rho_{\text{выч}} = 1,972 \text{ г/см}^3$.

Таблица 38

Диффрактограмма челябинскита

I	$d_{\text{изм}}, \text{ \AA}$	$d_{\text{выч}}, \text{ \AA}$	hkl
10	9,36	9,90	012
10	9,52	9,49	200
2	7,05	7,06	013
3	6,12	6,09	301
6	5,62	5,62	004
1	5,51	5,52	302
1	5,39	5,39	104
2	5,20	5,20	114
1	4,83	4,33	322
5	4,59	4,59	331
1	4,33	4,33	105; 034
3	3,79	3,79	225
5	3,533	3,525	521
5	3,421	3,428	424
2	3,279	3,278	344
4	3,190	3,183	316
2	2,941	2,942	406
7	2,724	2,728	462
2	2,663	2,663	506
5	2,605	2,608	039
4	2,571	2,575	455
3	2,502	2,509	651
3	2,360	2,372	447
2	2,289	2,292	430
3	2,197	2,200	655

Таблица 38 (продолжение)

I	$d_{изм}, \text{Å}$	$d_{выч}, \text{Å}$	hkl
6	2,162	2,163	574
2	2,145	2,145	531, 036
5	2,110	2,110	754
3	2,022	2,021	913
3	1,9408	1,9407	924, 773
4	1,9125	1,9177	723
1	1,3592	1,3593	870
3	1,3122	1,3125	308
1	1,7352	1,7853	784
2	1,7624	1,7623	907
3	1,7363	1,7375	955
4	1,6285	1,6313	3.0.10
2	1,5959	1,5971	796
3	1,5423	1,5479	992
3	1,4706	1,4704	11.0.8
1	1,4351	1,4348	6.3.11
1	1,4038	1,4037	7.4.13
1	1,3795	1,3786	6.10.10
1	1,3613	1,3614	5.9.12
1	1,3356	1,3356	3.9.10
1	1,3172	1,3172	9.7.11
2	1,2363	1,2363	7.10.11
1	1,2543	1,2547	11.10.6
2	1,2321	1,2326	4.12.12
2	1,2070	1,2070	10.3.14
2	1,1463	1,1462	3.13.10
1	1,1164	1,1163	5.14.12
1	1,1024	1,1025	3.14.10
1	1,0915	1,0920	1.12.16
1	1,0796	1,0796	9.16.5
1	1,0235	1,0236	0.14.16
1	1,0172	1,0177	2.14.16

Примечание. FeK_{α} ; $D = 114,6 \text{ мм}$; $d = 0,3 \text{ мм}$. Поправки введены по отдельному снимку с эталонным германием. Аналитик А.Ф.Бупмакин.

Таким образом, **челябинскит** - новый минеральный вид ромбической сингонии, близкий по составу и свойствам к гексагональному таумаситу. Если для таумасита характерно постоянство химического состава, то челябинскит этим не отличается. Нами встречены образцы челябинскита, очень слабо вскипающие в HCl , ИК-спектры которых свидетельствуют о малой роли в их составе группы $(CO_3)^{2-}$. С другой стороны, есть образцы, очень бурно вскипающие в HCl ; ИК-спектры их указывают на преобладание $(CO_3)^{2-}$ над $(SO_4)^{2-}$.

Образование челябинскита связано с процессами перераспределения вещества в остывающем после горения террикоме. По-видимому, оно вызвано действием влаги, углекислоты и "сернистых" газов на химически неустойчивые безвольные кальциевые силикаты горелых пород. Подобные реакции характерны для образования таумасита в контактово-метаморфических месторождениях, а также в экзотической свите Хатрурим (Израиль) [67]. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Л.Ф.Баженова, Ю.Б.Корнилов, В.Ф.Жланов, А.Ф.Бухмакин, Е.П.Щербакова.

Коркиноит (формула не установлена). Ромбическая сингония. Найден Б.В.Чесноковым (1984 г.) на отвале разреза Коркинский (дробильный участок). Название коркиноит (*korkinoite*) дано по месту нахождения. Встречен также на терриконах шахт № 47, 204 (г.Колыск). Образует радиально-лучистые агрегаты в полостях спеченных кусков горальника. Длина кристаллов достигает 2-3 мм. Форма кристаллов - уплощенные призмы с резко выраженной продольной штриховкой и с редко проявленными конечными гранями в виде ромбической пирамиды. Бесцветен и прозрачен, блеск стеклянный, черта белая. Твердость около 3, очень хрупкий. Перед паяльной трубкой не плавится, после смачивания HCl окрашивает пламя в красный цвет (Ca). В закрытой трубке выделяет волю. В HCl быстро вскипает, остается беловатый скелет кристалла, который потом медленно и полностью растворяется. Дает положительную реакцию на SO₄ с BaCl₂. Медленно разлагается в воде (за несколько часов). Двусный, положительный. Логарифмическое удлинение отрицательное (с удлинением совпадает N_p). n_g = 1,556, n_m = 1,528, n_p = 1,518, n_g - n_p = 0,038.

На основании анализа порошкограммы (табл.39) определена ромбическая сингония; пространственная группа Pmm (?). Параметры элементарной ячейки a₀ = 40,15 ± 0,06 Å, b₀ = 11,24 ± 0,05 Å (совпадает с удлинением кристалла), c₀ = 10,99 ± 0,05 Å.

По-видимому, близок к рапидкрикиту и является продуктом процессов, шедших в прогоревшем террикоме. Сопровождается рядом не диагностированных карбонатов и сульфатов. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, А.Ф.Бухмакин, В.Ф.Жланов.

Органические минералы

Кладноит - C₆H₄(CO)₂NH. Моноклинная сингония. Установлен Е.П.Щербаковой. Встречается в верхних слоях асфальтоподобных кор отвалов шахт № 42-бис и № 50, а также ЦОФ. Образует небольшие рыхлые скопления легких серебристых листочков до 2-3 мм в поперечнике. В закрытой трубке полностью возгоняется и переотлагается в виде бесцветных тонких листочков. Перед пламенем спиртовки легко плавится и горит спокойным, слабо коптящим пламенем. В воде, минеральных кислотах и в спирте не растворяется. Плотность 1,43-1,50 г/см³. Показатели преломления варьируют: n_g = 1,76-1,77, n_m ≈ 1,55, n_p ≈ 1,400, n_g - n_p ≈ 0,290. Дебаеграмма соответствует кладноиту [57, 11-924]. Главные линии: 6,46(10)(210); 5,70(4)(400);

Дифрактограмма коркиновита (проба 0107-9)

I	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	hkl	I	$d_{\text{изм}}, \text{Å}$	$d_{\text{выч}}, \text{Å}$	hkl
10	7,38	7,33	011	2	2,044	2,045	352, 304
2	5,56	5,52	120	1	2,025	2,030	315
6	4,33	4,30	512	2	1,993	1,995	652
1	4,07	4,00	721	4	1,955	1,950	244
6	3,90	3,36	222	4	1,903	1,901	153
2	3,69	3,63	103, 230	1	1,936	1,934	944
5	3,429	3,429	331	1	1,794	1,791	416
3	3,230	3,227	703	2	1,762	1,764	761
7	3,118	3,117	731	1	1,689	1,691	250
2	3,024	3,020	331	1	1,657	1,658	845
5	2,931	2,925	532	1	1,526	1,525	346
6	2,305	2,799	732	1	1,493	1,499	672
1	2,756	2,738	340	1	1,424	1,425	773
2	2,675	2,667	540	1	1,402	1,403	565
3	2,566	2,571	740	1	1,334	1,334	931
2	2,507	2,504	741	1	1,216	1,216	219
2	2,454	2,453	041	1	1,1023	1,1029	363
2	2,410	2,416	424	1	1,0340	1,0345	986
2	2,374	2,367	642	1	1,0696	1,0702	359
3	2,260	2,261	11.1.4	1	1,0231	1,0236	773
1	2,136	2,186	450	2	1,0072	1,0072	4.11.0
2	2,105	2,106	743	1	1,0050	1,0052	5.11.0
2	2,076	2,076	843				

Примечание. Камера РКУ-114,6 мм; FeK_α ; резиновый шарик, $d = 0,3$ мм.

Поправки введены по отдельному снимку с эталонным Ge.

Аналитик А. Ф. Буммакин (индексирование проведено В. Ф. Жлановым).

3,79(9)(600, 020); 3,41(5)(011); 3,30(10)(211); 3,16(6)(420); 2,43(4)(701); 2,13(4)(920). Ранее находки этого минерала были известны только на территориях Клялно (Чехословакия) [78].

Тиннункулит - $\text{Ca}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_8\text{O}_8$. Ромбическая сингония. Этот новый минерал найден Б. В. Чесноковым (1932 г.) на вершине северного террикона шахты № 44 (г. Копейск). Он находился в виде плиток до 0,4x3x4 см в рыхлой пылеватой массе горельника на дне небольшой пещерки. Температура этого грунта была около 30-35°C; снизу из горелых пород наблюдался слабый ток газов с температурой до 40°C. Плитки являются продуктом преобразования под воздействием теплых газов помета птицы пустельги (*Falco tinnunculus* L.). Название тиннункулит (*tinnunculite*) дано минералу по этому признаку.

Цвет плиток желтовато-белый, блеск матовый. Черта желтовато-белая. Излом плоско-раковистый, по землистого. Очень тонкозернистый, легко растирается в порошок. Плотность $1,73 \pm 0,01$ г/см³ (уравновешивание в растворе бромформа с ксилолом). В пламени обугливается. В закрытой трубке выделяет волю, а затем обильные черные и белый налеты. В воде и HCl заметно не растворяется; бурно вскипает при действии HNO₃. При большом увеличении в иммерсии видно, что вещество очень чистое, сложено из мелких округлых тел (до 0,01 мм и менее), состоящих из неолдновременно гаснущих пачек (блоков). Двупреломление очень высокое. Кажущийся показатель преломления частиц около 1,523.

На электронно-микроскопических снимках частицы минерала представлены прямоугольными пластинками с весьма совершенной спайностью, параллельной их уплощению. Посторонних частиц в препаратах практически нет. Морфология кристаллов следующая: уплощение параллельно {001}, пластинки удлинены по [100]. Кристаллографические формы: с {001}, а {100}, б {010} и слабо развитые {hcl}, косо срезающие уголки пластинок.

В лаборатории (ВУХИИ, г.Свердловск) выполнен химический анализ тиннункулита (проба 066-20), который показал (в мас. %): 33,20 O; 0,18 Na; 30,70 C; 29,00 N; 3,24 H; 2,25 K; 0,25 S; 1,24 зола (сумма 100,05).

K, Na, S и зола при пересчете анализа не учитывались, так как считались за механические примеси. Эмпирическая формула C_{5,2}H_{6,4}N_{4,2}O_{4,2}. Идеальная формула имеет вид C₅H₆N₄O₄. Изучение масс-спектров, ИМП- и ИК-спектров позволяет считать минерал продуктом димерной конденсации мочевоы кислоты с отщеплением низкомолекулярного фрагмента в ходе окислительного процесса. Поэтому брутто-формулу тиннункулита пишем в виде: C₁₀H₁₂N₈O₈. Молекулярная масса 372.

Дифрактограмма тиннункулита имеет следующие линии: 4,24(2)(026), 3,77(1)(400); 3,21(10)(420); 1,774(2)(322); 1,603(3)(340). Наиболее яркие отражения от поликристаллического препарата на электронограмме: 5,00(4)(024), 4,73(4)(221), 3,22(10)(420), 3,14(3)(041). Параметры ромбической ячейки: a₀ = 15,03 ± 0,01 Å, b₀ = 12,56 ± 0,01 Å, c₀ = 34,64 ± 0,10 Å. V = 6560,98 Å³, z = 13, ρ_{выч} = 1,70 г/см³. Ориентировка кристаллографических осей в индивиде: [001] - перпендикулярна уплощению и спайности, [100] - параллельна длинной стороне прямоугольной пластинки, [010] - параллельна ее короткой стороне. Авторы изучения и описания Б.В.Чесноков, Е.Г.Ковалев, П.Н.Горелов, В.А.Котляров, А.Ф.Булмакин, В.Ф.Жданов.

ЗАДАЧИ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЕЛЫХ ПОРОД ЧЕЛЯБИНСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА

Использование горелых пород бассейна в настоящее время. Горелые породы отвалов Челябинского бассейна пока не нашли постоянного рационального применения. Основная их масса идет на подсыпку временных железнодорожных путей и автомобильных дорог в угольных разрезах. Много горелых пород тратится и явно нерациональным способом - на засыпку разбитых учас-

тков местных грунтовых дорог, топких участков совхозных и колхозных берм, на нуле личных хозяйств местных жителей и т.п. Высыпанная "навалом" на дорогу, горелая порода является источником огромного количества пыли, "перемалывается" колесами и гусеницами тяжелого транспорта. Таким образом ценное вторичное сырье теряется. За 1982-1987 гг. полностью снесены несколько терриконов.

Практически нетронутыми еще остаются многие отвалы в районе г.Копейска (отвалы шахты Комсомольская, ЦОФ, шахт Полозерная, Глубокая, Северная). Горелые породы, сосрелоточенные в этих отвалах, могут быть источником длительного снабжения строительной индустрии г.Челябинска и прилегающих районов. Мы считаем, что каждый отвал горелых пород - склад ценного сырья, легкодоступный для подъезда и разработки. Отрятом лаборатории минералогии техногенеза ИГЗ составлен документ по учету ресурсов горелых пород ("Каластр отвалов горелых пород Челябинского угольного бассейна"). В нем приведены детальные сведения о каждом отвале (данные о размерах и объемах отвалов получены от п.о."Челябинскуголь"). Этот каластр является основополагающим документом для разработки конкретных мероприятий по использованию горелых пород бассейна в народном хозяйстве.

Минералогические обоснования рационального использования горелых пород. В процессе детального минералогического изучения отвалов установлено, что в результате их горения повысилась кристаллохимическая однородность отвальной массы: полностью прогоревший отвал состоит в основном только из безводных силикатов и окислов, что имеет большое значение, поскольку степень однородности больших масс сырья во многом упрощает его добычу, переработку и использование.

Определяющим компонентом в горелых массах отвалов являются обожженные куски глинистых пород (глина, аргиллит, глинистый сланец) и тонкообломочных пород, богатых глинистым веществом (алевролиты). Эти куски сложены тонко- и скрытокристаллическими агрегатами высокопрочных минералов (муллит, кордиерит, тридимит, гематит) и, будучи механически отделенными от тонких фракций горельника, представляют собой прочный и химически (и термически) устойчивый материал.

Тонкие фракции горельника (пыль, песок) обогащены минералами, обладающими вязкими свойствами. Это "цементные" силикаты: спуррит, минералы группы меллилита, анортит и др.; алюминаты Ca и Na (их присутствие отмечено рентгенографически), ферриты Ca (сребродольскит и др.), а также ангидрит, бассанит, гипс, безводные, основные и волные карбонаты Ca и Mg, известь, периклаз, портландит и брусит, гематит и другие окислы железа, стекло и шлаковые частицы. При разработке, проблении и грохочении материала горелого отвала в тонкие фракции практически полностью попадает рыхлый материал ядер "орехов" (возникших при обжиге кусков окаменелого дерева) и продуктов обжига других карбонатных пород. Этот материал - иногда практически готовая исходная смесь для получения

вяжущих (известь, периклаз, портландит, брусит, Са-силикаты, Са-сульфаты, Са- и Mg-карбонаты, ферриты и др.).

Материал спеченной горелой массы (пласты отвалного слёка) состоят из прочных и твердых пористых и микропористых кусков, сложенных безводными силикатами и окислами с примесью тонкопузыристого стекла. При проблени спека получаются остроугольные обломки с очень высокой абразивной способностью. Кроме того, пористость и прочность этого продукта определяет его как высококачественный фильтрующий материал (для загрузки фильтров водоочистки и др.).

Материал "черных блоков" обогащен углеродом по сравнению с исходной сырой массой, поступившей в отвал. Это обусловлено относительным повышением содержания углерода за счет потери воды и отложением новообразованного углерода в виде "газовой сажи", возникшей при диссоциации CO_2 карбонатов. Такой отвалный продукт - новый вид топливных добавок.

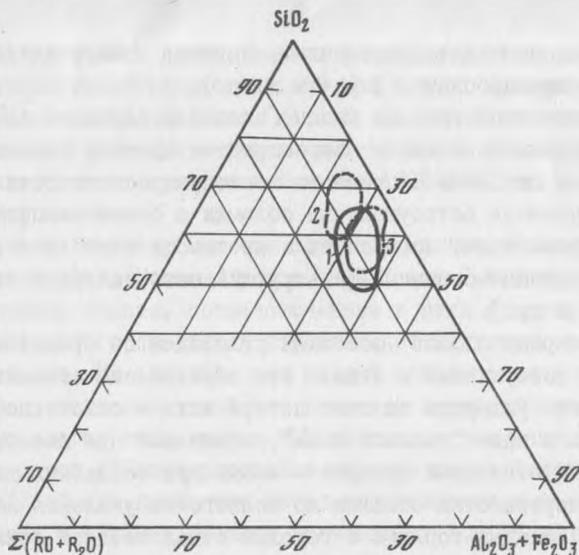
Скорейшая переработка отвалов до полного их удаления желательна и по другим причинам. Каждый горящий и горелый отвал создает локальную зону бедствия для окружающей среды. Он выделяет вредные газы (углеводороды, SO_2 , H_2S , соединения фтора и хлора), является интенсивным источником пыли (содержащей сульфаты, хлориды, фториды, углеводороды, сульфиды) и занимает полезную площадь. Скопления таких отвалов представляют серьезную помеху, распространенную на большой площади. Несомненно, отвалы наносят значительный ущерб как поверхностным, так и подземным водам.

Химический состав горельников Челябинского бассейна практически не отличается от состава горельников Донбасса и Кузбасса (рис.37). Это определено сходством петрографического состава углевмещающих пород и принципиальным сходством термических процессов, идущих в горящих отвалах угледобывающих предприятий. Поскольку в Кузбассе и Донбассе рациональное использование горелых пород отвалов начато сравнительно недавно и успешно продолжается [7, 43], отмеченное сходство составов горельников - еще один важный фактор форсирования подобных производств на Южном Урале.

Возможные направления рационального использования горелых пород бассейна. Мы предлагаем начать применение горелых пород с небольшого списка хорошо апробированных в других угольных бассейнах потребителей: заполнители бетонов (в том числе легких), дорожное строительство, фильтрующие и дешевые вяжущие материалы.

В Челябинском бассейне накоплен достаточный опыт разработки терриконов. Поэтому для получения заполнителей бетонов достаточно налапить проблнение и классификацию (рассев) поставляемого с отвала материала. С этой целью можно использовать простые временные (или передвижные) дробильно-сортировочные установки. Куски, щебень и песок из горелых пород не относятся к материалам высокой механической прочности. Поэтому их можно рекомендовать в качестве заполнителей бетонов, не идущих на изготовление несущих конструкций.

Горелые породы используются в СССР и за рубежом в подстилающих слоях автодорог и в других конструктивных слоях дорожных одежд (холодный асфальт



Р и с.37. Химический состав пород Челябинского (1), Кузнецкого (2) и Донецкого (3) бассейнов, по С.В.Ефремову

асфальтобетон и др.). Использование горелых пород в качестве минерального порошка в холодном асфальтобетоне из гравийно-песчаных смесей повышает их **физико-механические показатели**. В Румынии, США и Англии горелые породы широко используются для устройства оснований автомобильных дорог.

В нашей стране имеется острый дефицит материала загрузки фильтров для очистки воды. Песок из горелых пород по фильтрующей способности в 1,5-2 раза превосходит кварцевый песок. Применение его позволяет увеличить производительность фильтров, а при строительстве новых - получить до 40% экономии капитальных вложений [43].

Тонкие фракции горелых пород заменяют до 50% цемента в тампонажных и других растворах, прошедших апробацию на строительстве шахт. Волонепроницаемость, коррозионная стойкость, седиментационная устойчивость у таких материалов выше, чем на основе чисто цементных растворов. Применение горелых пород значительно снижает стоимость раствора [43].

Кроме того, материал из горелых пород (разные фракции крупности) можно использовать в качестве наполнителей на битумных **связках** (очень хорошее сцепление с битумом!), как красители цементов и других материалов, в качестве подшлифовки при производстве грубой керамики (кирпич, аглопорит, керамзит и др.) и как дешевое абразивное сырье (песок из отвального спека и другие фракции).

Горелые отвалы - источник уникального коллекционного материала. Как показано выше, минерализация горелых отвалов весьма разнообразна и во много - уникальна. На нетронутых разработкой отвалах можно отбирать значитель-

ное количество отложений фумарол (разнообразные сульфаты и хлориды). В экскаваторных забоях из горячей еще массы горальника возможен отбор образцов извести и других минералов, которые при более или менее длительном воздействии влаги разрушаются. Во многих отвалах широко распространены "орехи" с ангидритовой скорлупой и весьма разнообразным минеральным содержанием ядер.

Интересны горячие забои в "черных блоках". Здесь можно встретить кристаллы карбидов и моносульфидов железа, селгаит, самородное железо и многие силикаты (обычно фтористые). Необходимо подчеркнуть, что на отвалах не составляет особого труда собрать образцы почти всех, установленных нами новых минералов. Большой интерес представляет минерализованные предметы из железа, меди и других металлов. Обожженные в разной степени куски различных горных пород (от глинистых и карбонатных до туфообломочных) весьма интересны в петрографическом и петрологическом отношении. Комплекс базальтоподобных пород отвала разреза Корзинский (пробильный участок в районе главной обогатительной фабрики) позволяет изготовить обширные научные и учебные коллекции. Безусловно, на отвалах Челябинского бассейна можно организовать систематический отбор материала и для международной торговли и обмена.

ВЫВОДЫ

1. Впервые проведено комплексное исследование минерализации горелых отвалов угледобывающего комплекса Челябинского бассейна. Создан "минералогический облик" этого объекта. Решена основная задача исследования: широкое апробирование идей и методов нового раздела минералогической науки - минералогии техногенеза.

2. Выявлены и изучены генетические типы минерализации горелых отвалов - от наиболее высокотемпературных (базальтоподобные породы) до продуктов гипергенеза в условиях обычных температур поверхностных слоев грунта. Многие типы минерализации установлены впервые; представляют интерес не только для минералогии, но и для смежных наук: карбиды железа, сульфиды и полисульфиды кальция, многочисленные минералы фтора (флюорит, селлаит, норбергит, хондродит, топаз, слюды и амфиболы), аммонийсодержащие хлориды и сульфаты.

3. Обнаружено принципиально новое явление - минерализация "черных блоков", характерное для внутренних частей многих горелых отвалов. В них благодаря сильному прокаливанию без доступа воздуха сформировались уникальные минеральные ассоциации, включающие различные виды углерода, самородное железо, карбиды и моносulfиды железа, безволновые хлориды и фториды (CaCl_2 , флюорит, селлаит), иоцит, многие силикаты, в том числе святославит и пмиштейнбергит.

4. Многие явления имеют значение не только для минералогии, но и для ряда смежных наук:

1) повышение кристаллохимической однородности отвальной массы при ее обжиге (за счет "сырой" массы, состоящей из разнообразных волных и безволных силикатов, карбонатов, окислов, сульфатов, угля и углистого вещества, битумов, технического мусора и т.д. получается масса горелых пород, состоящих в основном из безволных силикатов и окислов);

2) значительный газовый высокотемпературный массоперенос Ca , Mg , Fe и других элементов (вследствие этого, например, в "черных блоках" из кусков окаменелого дерева иногда выносятся практически полностью Ca и Mg , вошедшие в состав доломита; в горелых породах из кусков окаменелого дерева выносятся большая часть Ca и осаждается по периферии куска в виде толстой ангидритовой корки);

3) образование тонкодисперсного углерода (типа газовой сажи) в "черных блоках" за счет диссоциации CO_2 , освобождавшейся при термическом разложении карбонатов;

4) четко выраженная тенденция формирования в **резко - восстановительной** среде самостоятельных минералов двухвалентного железа. Вследствие этого в таких средах образуются минералы более простого состава, чем в окислительных средах. Так в "черных блоках" возникают или минералы Fe^{2+} (фаялит, иоцит, моносulfиды железа) или практически безжелезистые силикаты и окислы (форстерит, минералы группы энстатита, фторамфибол, фторфлогопит, норбергит, хондрит, волластонит, муллит, шпинель, периклаз и др.). Минералы же красных горельников имеют гораздо более сложный состав благодаря широким изоморфным замещениям с участием Fe^{3+} (широксенy, амфиболы, слюды, минералы группы мелилита, кордиерит и др.). В "черных блоках" также довольно четко проявлена тенденция образования самостоятельных минералов **Mg** и **Ca**.

5. Собран обширный материал по минерализации металлических предметов в горелых отвалах и на поверхности. Изучение **его далеко** не закончено. Этими исследованиями положено начало весьма актуальному научному направлению - минерализации металлов в земной коре (естественно, сюда входит и исследование продуктов "обычной" коррозии металлов).

6. Установлен ряд новых минеральных видов (30 видов, включая не полностью изученные, см. табл. 7). Ряд минералов - ольгит, котунит, антарктицит, синджарит, известь, **портландит**, липингит, иосикаваит, ростит, коктаит, ларнит, эссенеит, кладноит - найден впервые в СССР. Ольгит найден впервые в земных породах. На Урале впервые найдены макроскопические выделения когенита, лавренсит, молизит, ферропериклаз, иоцит, магнезиоферрит, псевдобрукит, несквегонит, гидробазальюминит, масканьит, морит, ромбоклаз, лангбейнит, калькокианит, полерофанит, варвикит, феррифаялит, спуррит, норбергит, индиалит, осумилит, санидин, лейцит. Таким образом, в Минералогию Урала вписаны 66 минералов, новых для этого региона.

7. Установлен главный минералогический тип загрязнения территории Челябинского угольного бассейна и прилегающих к нему районов - сульфатное. В более широком аспекте его можно характеризовать как углеводородно-фторидно-хлоридно-сульфатное. Это должно стать минералогическим обоснованием для борьбы за экологическую чистоту территории. В частности, при разработке отвалов необходимо изолировать (захоронять) верхний слой грунта мощностью не менее 50 см с вершинной и хребтовой частей отвалов (максимально насыщен сульфатами, хлоридами, и **углеводородами**).

Даны рекомендации по рациональному использованию горелых пород в народном хозяйстве.

Таким образом, система горелых отвалов Челябинского бассейна, достаточно подробно охарактеризованная минералогически, может стать важным модельным объектом. На нем можно с высокой эффективностью проводить специальные минералогические исследования. Началом таких работ мы считаем наши исследования новых минеральных видов и детальное изучение кордиеритов, предпринятое в последнее время (работы Э.В. Лотовой, ИГиГ СО АН СССР).

Многие минеральные ассоциации горелых отвалов нами изучены только предварительно. В первую очередь это касается особо тонкодисперсных про-

дуктов как в горелых породах, так и в "черных блоках". В первую очередь требуется детальное изучение морфологии, структуры и состава тонкодисперсного углерода в "черных блоках". Большой интерес представляет состав тонкодисперсных масс ядер "орехов" и продуктов обжига других карбонатных пород. Практически остался не изученным минеральный состав асфальтоподобных кор, продуктов минерализации некоторых металлов (алюминий, бронза и др.) и неметаллов (стекло, фарфор, асбестоцементные изделия, бетон и др.). Большие возможности представляются на горелых отвалах и геохимическим исследованиям, в частности, изучению состава газов в разных частях отвалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бокий Г.Б., Врублевская З.В., Гинзбург И.В. Особенности структуры феррифаялита и их связь с условиями образования // Минералогическая кристаллография и ее применение в практике геолого-разведочных работ. Киев: Наук.думка, 1986. С.167-170.
2. Буровзрывные работы, погрузка, крепление, рудничный транспорт, вентиляция и водоотлив / Н.И.Куличихин, Ш.Б.Багдасаров, А.О.Верчеба, Н.В.Тихонов. М.: Недра, 1964. 456 с.
3. Запасы углей стран мира // Н.Г.Железнова, Ю.Я.Кузнецов, А.К.Матвеев, В.Ф.Череповский. М.: Недра, 1983. 167 с.
4. Карякин Л.И. Ольдгамит // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1972. Вып.2, № 29. С.35-37.
5. Каталог углей СССР, склонных к самовозгоранию / Н.Н.Линденану, В.М.Маевская, Е.С.Вахрушева и др. М.: Недра, 1982. 416 с.
6. Кашавцев В.Е., Гаттенбергер Ю.П., Люшин С.Ф. Предупреждение солеобразования при добыче нефти. М.: Недра, 1985. 215 с.
7. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. М.: Стройиздат, 1966. 207 с.
8. Кольцов К.С., Попов В.Г. Самовозгорание твердых веществ и материалов и его профилактика. М.: Химия, 1978. 160 с.
9. Косолапова Т.Я. Карбиды. М.: Металлургия, 1968. 299 с.
10. Костарев И.И. О составе горелых пород террикоников Коркинского бурогоугольного месторождения // Геология и полезные ископаемые Урала. Свердловск: Свердл. горн. ин-т, 1960. С.167-170.
11. Кравцов А.И. Основы геологии горючих ископаемых. М.: Высш.шк., 1982. 424 с.
12. Краткий справочник горного инженера угольной шахты / Н.М.Алябьев, А.С.Бурчаков, Ю.Ф.Васючков и др. М.: Недра, 1982. 454 с.
13. Крешков А.П. Основы аналитической химии. М.: Госхимиздат, 1961. 635 с.
14. Меркулов В.А. Охрана природы на угольных шахтах. М.: Недра, 1981. 183 с.
15. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза) / Б.В.Чесноков, Л.Ф.Баженова, Е.П.Щербаков и др.: Препр. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987. 70 с.
16. Минералы: Справочник / Под ред. Ф.В.Чухрова. М.: Наука. Т.1. 1960. 617 с.; Т.2, Вып.1. 1963. 296 с.; Вып.2. 1965. 342 с.; Вып.3. 1967. 676 с.; Т.3, Вып.1. 1972. 883 с.; Вып.2. 1981. 614 с.; Вып.3. 1981. 398 с.

17. Мирзоян Г.Г. Находка ольдгамита в изверженных породах // Докл. АН Арм.ССР. 1972. Т.54, № 5. С.254-257.
18. Маркин Л.И. Рентгеноструктурный контроль машиностроительных материалов: (справочник). М.: Машиностроение, 1979. 134 с.
19. Миرونнов К.В. Справочник геолога-угольщика. М.: Недра, 1982. 311 с.
20. Михеев В.И. Рентгенографический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 868 с.
21. Набоко С.И., Главатских С.Ф. Постэруптивный метасоматоз и рудообразование. М.: Наука, 1983. 165 с.
22. Накамото К. Инфракрасные спектры неорганических и координационных соединений. М.: Мир, 1966. 460 с.
23. Нарита К. Кристаллическая структура неметаллических включений в стали. М.: Металлургия, 1969. 191 с.
24. Новиков В.П., Супрычев В.В. Условия современного минералообразования в процессе подземного горения углей на Фан-Ягнобском месторождении // Минералы Таджикистана. 1986. № 7. С. 91-104.
25. Особенности химизма негорелых и горелых пород отвалов Челябинского угольного бассейна / В.В.Чесноков, Г.М.Горбунов, Г.И.Кизилев, С.В.Ефремов // Материалы к топоминералогии Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. С.94-99.
26. Первая находка ферропериклаза в магнезиальных скарнах юго-западного обрамления Анабарской синеклизы / Д.А.Варламов, В.К.Гаранин, Е.В.Карева и др. // Минералогия кимберлитов и родственных им пород. М.: Изд-во МГУ, 1986. С.111-120.
27. Пономарев А.И. Методы химического анализа силикатных и карбонатных горных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 414 с.
28. Свойства неорганических соединений: Справочник / А.И.Ефимов, Л.П.Белорукова, И.В.Василькова, В.П.Чечев. Л.: Химия, 1983. 389 с.
29. Семенов М.Г., Равикович А.И. Иван Иванович Редикорцев - первооткрыватель Челябинского каменноугольного бассейна // Очерки по истории геологических знаний. М.: Изд-во АН СССР, 1961. С.126-147.
30. Сребродольский Б.И. Минеральные ассоциации самородной серы в угленосных толщах // Минерал. сб. Львов. ун-та. 1973. Вып.3, № 27. С.287-296.
31. Сребродольский Б.И. О находке миллозевичита в СССР // Докл. АН СССР. 1974. Т.214, № 2. С.429-430.
32. Сребродольский Б.И. Лаузенит. Первая находка в СССР // Там же. Т.219, № 2. С.441-442.
33. Сребродольский Б.И. О сернокислом разложении угленосных пород на самовозгорающихся терриконах Донбасса // Литология и полезн. ископаемые. 1974. № 6. С.137-139.
34. Сребродольский Б.И. О редком сульфате масканыте // Докл. АН СССР. 1986. Т.291, № 1. С.207-208.
35. Столповская В.Н., Рябов В.В. Инфракрасный спектр таумасита // Геохимия. 1974. № 9. С.1383-1388.
36. Сустанов С.Г. Аммонийсодержащие минералы из отвалов Копейского месторождения бурых углей // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С.53-64.
37. Термический анализ минералов и горных пород / В.П.Иванова, Б.К.Касатов, Т.Н.Красавина и др. Л.: Наука, 1974. 399 с.
38. Титов Н.Г. Физико-химическая характеристика углей Челябинского месторождения // Челябинские угли. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1935. С.45-52.

39. Торопов Н.А. Химия цементов. М.: Промстройиздат, 1956. 119 с.
40. Трегер В.Е. Таблицы для оптического определения порообразующих минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1958. 185 с.
41. Уильямс У.Дж. Определение анионов. М.: Химия, 1982. 650 с.
42. Ферсман А.Е. Геохимия. Л.: ОНГИ, 1934. Т.2. 354 с.
43. Физико-химические основы и экологические проблемы использования отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых: Тез. докл. Всесоюз. совещ., 22-24 сент. 1980 г. М.: Ин-т горючих ископаемых Минуглепрома СССР, 1980. 133 с.
44. Химический энциклопедический словарь / Под ред. И.Л.Куняца. М.: Сов.энциклопедия, 1983. 791 с.
45. Челябинская область в десятой пятилетке 1976-1980: Стат.сб. Челябинск: Южно-Урал. кн. изд-во, 1981. 121 с.
46. Чесноков Б.В. Измерение кристаллов при помощи столика Е.С.Федорова и бинокулярной лупы // Геология и полезные ископаемые. Свердловск: Свердл. горн. ин-т, 1960. С.165-166.
47. Чесноков Б.В. Относительный возраст минеральных индивидов и агрегатов. М.: Недра, 1974. 105 с.
48. Чесноков Б.В. Минерализация черных и цветных металлов в отвалах угледобывающих предприятий Челябинского бассейна // Тез. докл. IУ годичной конф. "Геология и минерально-сырьевые ресурсы Западно-Сибирской плиты и ее складчатого обрамления". Тюмень: ЗапСибНИГНИ, 1983. С.20-22.
49. Чесноков Б.В. Актуальные проблемы минералогии техногенеза на Урале // Материалы по минералогии месторождений Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1984. С.59-62.
50. Чесноков Б.В., Баженова Л.Ф. Сребродольскит $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ - новый минерал // Зап.ВМО Отд.геол., 1985. Ч.114, Вып.2. С.195-198.
51. Чесноков Б.В., Баженова Л.Ф., Бушмакин А.Ф. Флюорэллестадит $[\text{Ca}_{10}(\text{SO}_4)(\text{SiO}_4)]_6\text{F}_2$ - новый минерал // Там же. 1987. Ч.116, вып.6. С.743-746.
52. Чесноков Б.В., Поляков В.О., Бушмакин А.Ф. Баженовит $\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{OH}_2\text{O}$ - новый минерал // Там же. С.737-743.
53. Юхневич Г.В. Инфракрасная спектроскопия воды. М.: Наука, 1973. 207 с.
54. Юшкин Н.П. На путях к общей теории минералогии // Там же 1986. Ч.115, вып.4. С.512-514.
55. A further refinement of the crystal structure of thaumassite, $\text{Ca}_3\text{Si}(\text{OH})_6\text{CO}_3\text{SO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ / H. Effenberger, A. Kirfel, G. Will, E. Zobertž // Neues Jb. Miner. Monatsh. 1983. H. 2. S. 60-68.
56. Arnold R.G. Pyrrhotite phase relations below $304 \pm 6^\circ\text{C}$ of < 1 atm. total pressure // Econ. Geol. 1969. Vol. 64, N 1. P. 405-419.
57. ASTM. Diffraction data cards and alphabetical and grouped numerical index of X-ray diffraction data. Philadelphia: Intern. Cent. for diffraction data, 1946-1969.
58. Bertaut E.F., Blum P., Sagnieres A. Structure du ferrite bicalcique et de la brownmillerite // Acta crystallogr. 1959. Vol. 12, N 1/6. P. 149-159.
59. Canterford J.N., Tsambourakis G., Lambert B. Some observations on the properties of dypingite,

$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$, and related minerals // *Miner. Mag.* 1984. Vol. 48, N 3. P. 437-442.

60. Chinner G.A., Dixon P.D. Irish osumilite // *Ibid.* 1973. Vol. 39, N 302. P. 189-192.

61. Cosca M.A., Peacor D.R. Chemistry and structure of esseneite ($CaFe^{3+}AlSiO_6$), a new pyroxene produced by pyrometamorphism // *Amer. Miner.* 1987. Vol. 72, N 1/2. P. 148-156.

62. Davis G.L., Tuttle O.F. Two new crystalline phases of the anorthite composition, $CaO Al_2O_3 2SiO_2$ // *Amer. J. Sci. A.* 1952. Vol. 250, N 1. P. 107.

63. Edge R.A., Taylor H.F. Crystal structure of thaumasite, a mineral containing $Si(OH)_6^{2-}$ groups // *Nature.* 1969. Vol. 224, N 5217. P. 363-364.

64. Edge R.A., Taylor H.F. Crystal structure of thaumasite, $Ca_3Si(OH)_6 12H_2O(SO_4)(CO_3)$ // *Acta crystallogr.* 1971. Vol. 27, N 3. P. 594-601.

65. Finkelman R.B., Mrose M.E. Downeyite, the first verified natural occurrence of SeO_2 // *Amer. Miner.* 1977. Vol. 62, N 3/4. P. 82.

66. Foit F.F., Hooper R.L., Rosenberg Ph.E. An unusual pyroxene, melilite, and iron oxide mineral assemblage in a coal-fire buchite from Buffalo, Wyoming // *Ibid.* 1987. Vol. 72, N 1/2. P. 137-147.

67. Gross S. The mineralogy of the Hatrurim Formation, Israel // *Geol. Surv. Israel Bull.* 1977. N 70. P. 1-80.

68. Hutton O. Coquimbite from Nevis, West Indies // *Miner. Mag.* 1970. Vol. 37, N 292. P. 939-941.

69. Hydroxyllestadite, a new apatite mineral from Chichibu Mine, Saitama prefecture, Japan / K.Harada, K.Nagashima, K.Nakao, A.Kato // *Amer. Miner.* 1971. Vol. 56, N 9/10. P. 1507-1518.

70. Lindqvist I. The structure of $(NH_4)_2 FeCl_5 H_2O$ // *Ark. kemi, miner. och geol. A.* 1947. Bd. 24, N 1. S. 1-11.

71. Lut z H.D., Kostik L., Lochman D. Zur Kenntnis der Calciumpolysulfide, Röntgenographische und IR-spektroskopische Untersuchungen an Buchners Kristallen // *Ztschr. anorg. und allg. Chem.* 1969. Bd. 365, H. 5/6. S. 288-293.

72. Mineralogy associated with burning anthracite deposits of eastern Pennsylvania / D.M.Lapham, J.H.Barnes, W.F.Downey, R.B.Finkelman // *Pa. Geol. Surv. Miner. Resour. Rep.* 1980. N 78. P. 1-82.

73. Moënke H. Ein weiteres Mineral mit Silizium in 6-er Koordination: Thumasit // *Naturwissenschaften.* 1964. Bd. 51, N 10. S. 239.

74. Moënke H. Mineralspectren II: Atlas. B.: Akad.-Verl., 1966. 400 S.

75. Okada A., Shimada M. Crystallographic study of clif-tonite: a new internal structure found in the inclusion of the Campo del Cielo meteorite // *J. Jap. Assoc. Miner. Petrol. and Econ. Geol.* 1972. Vol. 67, N 2. P. 45-49.

76. Raad G. Dypingite, a new Hydrrous basic carbonate of magnesium from Norway // *Amer. Miner.* 1970. Vol. 55, N 9/10. P. 1457-1465.

77. Rei-Lin Thien, Truman W. Epsomite and Hexahydrate from an underground storage area, Atchison, Kansas // *Bull. State Geol. Surv. Kans.* 1970. N 199. P. 3-7.

78. Rost R. The minerals formed on burning heaps in the coal basin of Kladno // *Bull. Intern. Acad. Sci. Boheme.* 1937. N 11. P. 1-7.

79. Rouse R.C., Dunn P.J. A contribution to the crystal chemistry of ellestadite and the silicate apatites // Amer. Miner. 1982. Vol. 67, N 1/2. P. 90-96.

80. Schwarzenbach G., Fischer A. Die Acidität der Sulfate und die Zusammensetzung wässriger Polysulfidlösungen // Helv. chim. acta. 1960. Vol. 43, N 5. S. 1363-1390.

81. Smith D.K. Crystallographic changes with the substitution of aluminium for iron in dicalcium ferrite // Acta crystallogr. 1962. Vol. 15, N 11. P. 1146-1152.

82. Smith W.L., Lambert J.E. Crystal data for ammoniojarosite, $\text{NH}_4\text{Fe}_3(\text{OH})_6(\text{SO}_4)_2$ // J. Appl. crystallogr. 1973. Vol. 6, N 6. P. 490-491.

83. Stoiber R.E., Rose W.I. Fumarole incrustations at active Central American volcanoes // Geochim. et cosmochim. acta. 1974. Vol. 38, N 4. P. 495-516.

84. Suzuki J., Ito M. A new magnesium carbonate hydrate mineral, $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, from Joshikawa, Aichi prefecture, Japan // J. Jap. Assoc. Miner. Petrol. and Econ. Geol. 1973. Vol. 68, N 2. P. 353-361.

85. Un nouveau sulfate hydrate d'Aluminium: la khademite de Sa-ghand (Iran) / P. Barriand, J.P. Berthelon, F. Cesbron, M. Sadrzadeh // C.r. Acad. sci. D. 1973. Vol. 277, N 16. P. 1585-1588.

86. Van Tassel R. Minéraux artificiels ou de neoformation à Plombières et Selaigneau, Belgique // Bull. Soc. belg. géol. 1979. Vol. 88, N 3/4. P. 273-279.

Содержание

Предисловие	3
Введение	6
Горение отвалов и строение горелого отвала	11
Общие сведения о горении отвалов	11
Горение отвалов Челябинского угольного бассейна	12
Строение горелого террикона	13
Типы минерализации горелых отвалов	17
Минерализация горелых пород	17
Минерализация полностью переплавленных пород	24
Минерализация "черных блоков"	27
Продукты тления "черных блоков"	29
Минерализация фумарол	30
Продукты выветривания материала отвалов	35
Минерализация металлических предметов в отвальной массе и на поверхности отвалов	36
Распределение минералов по типам минерализации	38
Характеристика минералов	43
Самородные элементы	44
Карбиды железа	46
Сульфиды	51
Галогениды	62
Окислы и гидроксиды	76
Карбонаты	94
Сульфаты	95
Фосфаты, вольфраматы, бораты	112
Силикаты	113
Органические минералы	137
Задачи рационального использования горелых пород Челябинского угольного бассейна	139
Выводы	144
Литература	147

Научное издание

ЧЕШОКОВ Борис Валентинович,
ЩЕРБАКОВА Елена Павловна
МИНЕРАЛОГИЯ ГОРЕЛЫХ ОТВАЛОВ ЧЕЛЯБИНСКОГО
УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА
(опыт минералогии техногенеза)

Утверждено к печати Ильменским государственным
заповедником УрО АН СССР

Художник М.Э. Зельцер
Художественный редактор И.В. Монастырская
Технический редактор Н.В. Вишневская

ИБ № 46962

Подписано к печати 18.12.90
Формат 60x90/16. Бумага офсетная № 1. Печать офсетная
Усл.печ.л. 9,5. Усл.кр.-отт. 9,9. Уч.-изд.л. 11,0
Тираж 600 экз. Тип.зак. 826. Цена 2р.20к.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Наука"
117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград В-34, 9-я линия, 12

2 р. 20 к.

