

Б. В. Чесноков

**НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ИЗ ГОРЕЛЫХ ОТВАЛОВ ЧЕЛЯБИНСКОГО УГОЛЬНОГО
БАССЕЙНА (СООБЩЕНИЕ ДЕСЯТОЕ — ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ ЗА 1982—1996 ГГ.)**

B. V. Chesnokov

**OVERVIEW OF RESULTS ON MINERALOGICAL INVESTIGATION OF BURNT DUMPS OF
THE CHELYABINSK COAL BASIN (1982—1995)**

Detail overview of results on mineralogical investigation of burnt dumps of the coal-mining enterprises in the Chelyabinsk basin in 1982—1995 are given. Complete list of the minerals from burnt dumps (209 denominations of which 46 new mineral species) are cited. Main peculiarities of mineral-forming during burning of large mass of carbon-containing rocks are indicated. References to analogous processes in industry (cement production, coke-chemistry, etc.) are given. Capabilities of using the results to research «common» geological processes have been considered.

В предыдущих восьми сообщениях [1—8] и в монографии [9] описан ряд новых минеральных видов, новых минеральных разновидностей и минералов, новых для СССР, России, Урала и Челябинского бассейна. В настоящей статье дан общий обзор результатов проведенных исследований.

В табл. 1 дан список указанных минералов и ссылки на их публикации.

Таблица 1

Новые минералы, описание которых дано в «сообщениях» [1—8]

Минералы	1	2	Минералы	1	2
Новые минеральные виды					
Аквацитит	7	3—7	Перковаит	4	18—19
Альбовит	5	8—11	Подногинит	4	12—15
Амминит	2	6	Редикорцевит	1	10—11
Афанасьеваит	5	15—18	Ритмит	6	7—10
Ацикулит	2	7—8	Рорисит	2	5—6
Баженовит	1	8—10	Рукавишниковит	5	11—15
Безводный сульфат Mg	6	21—22	Святославит	2	8
Белошарит	5	22—26	Сребродольскит	1	12—13
Высокоуглерод. карбид Fe	1	21—22	Стеклит	7	7—10
Грандиферрит	3	131—135	Сульфалюмит	1	14—15
Дмиштейн-бергит	2	8—9	Сульфат NH ₄ и Al	1	15—16
Игниколорит	4	5—9	Сульфат NH ₄ и Mg	1	16
Игумновит	6	10—13	Сульфат NH ₄ , Mg и H ₂ O	1	16
Кальдекагидрит	7	18—21	Суперферрит	3	135—136
Копейскит	1	11—12	Терриконит	5	18—22
Коркиноит	7	10—14	Тиннункулит	1	20—21
Красногорит	1	14	Торбаковаит	4	9—12
Красносельскит	1	17—18	F-Mg-гастингсит	3	127—129
Красный сульфид Fe	1	21	Флюорэллестадит	1	16—17
Кружевит	6	3—7	F-Mg-роговая обманка	3	129—131
Кубическая PbO ₂	1	13	Хлорид Ca, безводный	1	10
Кутюхинит	4	15—18	Хлорид Fe ³⁺	1	12
Лейкорёнит	6	15—19	Хлороцинкит	2	6—7
Малаховит	5	3—8	Челябинскит	1	18—19

Минералы	1	2	Минералы	1	2
Мезогидрит	6	19—21	Чесофиит	6	13—15
Овчинниковит	4	3—5	Шелковит	7	14—18
Новые минеральные разновидности					
Магнезиоиоцит	2	9	Хлоркуспидин	7	21—23
Силикохлормайенит	8	4—12	Хлормайенит	8	4—12
Хлоргибшит	6	22—24			
Минералы, новые для СССР					
Антарктикит	2	9—10	Коктаит	1	23
Армолколит	2	11—12	Кладноит	1	24
Гиоргиозит	4	19—21	Ларнит	1	23—24
Дипингит	1	23	Портландит	1	22—23
Известь	1	22	Ростит	1	23
Иосикаваит	1	23	Синджарит	2	9
Котуннит	1	2	Эссенеит	2	10
Минералы, новые для России					
Гидрокалюмит	7	23—25	Секанинаит	5	29
Доррит	5	26—29	Эттрингит	6	25
Майенит	5	29—32			
Минералы, новые для Урала					
Варвикит	1	28	Морит	1	27—28
Вонсенит	8	12—13	Молизит	2	10
Вагнерит	6	26—28	Минерал из гр. миларита	1	29
Гидробазальюминит	1	27	Несквегонит	1	26
Гибшит	5	32—33	Норбергит	1	28—29
Долерофанит	1	27	Осумилит	2	12
Иоцит	2	11	Ольдгамит	1	25
Когенит	1	24—25	Ромбоклаз	1	27
Куспидин	5	33	Старкиит	6	29—30
Лангбейнит	1	26	Спуррит	1	28
Лейцит	1	28	Ферропериклаз	2	10—11
Лавренсит	2	10	Фатерит	6	28—29
Магнезиоферрит	1	25—26			
Масканьит	1	26—27			
Минералы, новые для бассейна					
Бассанит	6	30—32	Монтичеллит	8	17—19
Витлокит	7	26—27	Пентагидрит	6	30—31
Гидромагнезит	6	32	Сода	7	25—26
Гунтит (хантит)	4	21—24	Флюоборит	8	14—17
Кизерит	6	30			

Примечание: 1 — «сообщения», 2 — страницы.

Практически все исследования выполнены коллективами авторов — сотрудников Ильменского государственного заповедника, позднее — Института минералогии УрО РАН. Соавтором шести сообщений является В. А. Вилисов (Институт геологии и геохимии им. акад. А. Н. Заварицкого УрО РАН), которым выполнено большинство микрозондовых анализов. Ю. Л. Крецером, соавтором двух сообщений (Институт «Механобр», С.-Петербург), выполнены микрозондовые анализы флюормагнезиогастингсита, фтормагнезиальной роговой обманки, овчинниковита, игниколорита, кутюхинита и перковаита. Э. В. Лотова (Институт геологии и геофизики СО РАН) — соавтор одного сообщения. Наибольшее количество минералов рассмотрено в первом сообщении, в котором суммированы итоги работы за 5 лет. Общая характеристика минерализаций горелых отвалов бассейна дана в монографии [9].

Список минералов горелых отвалов

В табл. 2 дан список всех известных на 10. 95 г минералов горелых отвалов Челябинского бассейна. Минералы исходной (не горелой) массы отвалов в него не включены. В список включен ряд минералов, результаты изучения которых еще не опубликованы. Это кремний, силицид Al, акаганеит, йохансенит и оксиферберит, установленные А. Ф. Бушмакиным и включенные в список с его любезного согласия.

Таблица 2

Минералы горелых отвалов Челябинского угольного бассейна

Минералы	Формула, сингония	Условия нахождения			
		1	2	3	4
Тип I. Бескислородные соединения					
Класс 1. Самородные элементы					
Графит	C, гекс.		++	+++	
Кремний	Si, куб	+			
Сера	α -S, ромб.	+	+	+	+++
Железо	α -Fe, куб.		+++	++	
Медь	Cu, куб.				
Класс 2. Карбиды, силициды					
Когенит	Fe ₃ C, ромб.		+	+++	
Силицид Al	Ромб.	+			
Класс 3. Сульфиды					
Ольдгамит	CaS, куб.	+	++		
Троилит	FeS, гекс.	+	++	+++	
Пирротин	Fe _{1-x} S	+	++	+++	
Пирит	FeS ₂ , куб.			+	
Халькозин	Cu ₂ S, мон.			+	+
Ковеллин	CuS, гекс.				+
Халькопирит	CuFeS ₂ , тетр.			+	+
Галенит	PbS, куб.				+
Класс 4. Фториды					
Селлаит	MgF ₂ , тетр.	+		++	
Флюорит	CaF ₂ , куб.	+	+	+++	
Рорисит*	CaFCl, тетр.			++	
Класс 5. Хлориды					
Нашатырь	NH ₄ Cl, куб.				+++
Редикорцевит*	NH ₄ MgCl ₃ •6H ₂ O, ромб.				++
Аквацитит*	CaCl ₂ , ромб.			+++	
Синджарит	CaCl ₂ •2H ₂ O, тетр.				
Мезогидрит*	CaCl ₂ •4H ₂ O, трикл.				
Антарктикит	CaCl•6H ₂ O, триг.				
Лавренсит	FeCl ₂ , триг.				++
Молизит	FeCl ₃ , триг.				++
Без названия	FeCl ₃ •2H ₂ O				++
—” —	FeCl ₃ •2,5H ₂ O				++
—” —	FeCl ₃ •3,5H ₂ O				++
—” —	FeCl ₃ •6H ₂ O				++
Fe ³⁺ -кадвалдерит	Fe(OH) ₂ Cl•2H ₂ O, куб				+
Копейскит*	(NH ₄) ₂ FeCl ₅ •H ₂ O, ромб				++
Нантокит	CuCl, куб.				+
Атакамит	Cu ₂ (OH) ₃ Cl, ромб.				
Паратакамит	Cu ₂ (OH) ₃ Cl, триг.				
Хлороцинкит*	ZnCl ₂ •4Zn(OH) ₂ , гекс.				+
Амминит*	[Zn(NH ₃) ₂]Cl ₂ , ромб.				+
Котуннит	PbCl ₂ , ромб.	+			+

Минералы	Формула, сингония	Условия нахождения			
		1	2	3	4
Тип. II. Кислородные соединения					
Класс 1. Оксиды					
Периклаз	MgO, куб.	+++	+	++	
Ферропериклаз	(Mg,Fe)O, куб.	++	+	++	
Корунд	Al ₂ O ₃ , триг.	+			
Шпинель	MgAl ₂ O ₄ , куб.	++		+++	
Герцинит	FeAl ₂ O ₄ , куб.	++		+	
Кружевит*	Ca ₄ Al ₆ O ₁₂ •SO ₄ , куб.	+			
Хлормайенит	Ca ₁₃ Al ₁₄ (SiO ₄) _{0.5} O ₃₂ Cl ₂ , куб.	++			
Кварц	SiO ₂ , триг.				++
Тридимит	SiO ₂ , гекс.	+++		++	
α-Кристобалит	SiO ₂ , тетр.	++		++	
Известь	CaO, куб.	+++			
Торбаковаит*	Ca ₄ Fe ₂ O ₆ Cl ₂ , тетр.	+			
Рутил	TiO ₂ , тетр	+		+	
Перовскит	CaTiO ₃ , ромб		+		
Армолколит	(Mg,Fe)Ti ₂ O ₅ , ромб.			++	
Гейкилит	MgTiO ₃ , триг.	+			
Иоцит	FeO, куб.				
Магнезиоиоцит	(Fe,Mg)O, куб.	+	+	+	
Магнетит	Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂ O ₄ , куб.	+++	++	+++	
Магнезиоферрит	MgFe ³⁺ ₂ O ₄ , куб.	+++	++		
Гематит	Fe ₂ O ₃ , триг.	+++	++		++
Маггемит	γ-Fe ₂ O ₃ , куб.	+			
Сребродольскит*	Ca ₂ Fe ₂ O ₅ , ромб.	+++	++		
Ацикулит*	CaFe ₂ O ₄ , ромб.	++	++		
Грандиферрит*	CaFe ₄ O ₇ , триг.	++	++		
Псевдобрукит	Fe ³⁺ ₂ TiO ₅ , ромб.	++			
Куприт	Cu ₂ O, куб.				
Тенорит	CuO, мон.				
Красногорит*	WO ₃ , ромб.				
Глёт	PbO, тетр.				
Массикот	PbO, ромб.				
Платтнерит	PbO ₂ , тетр.				
Без названия*	PbO ₂ , куб.				
Класс 2. Гидроксиды					
Брусит	Mg(OH) ₂ , триг.				
Белошарит*	3Mg(OH) ₂ •MgSO ₄ •7H ₂ O, ромб.				
Байерит	Al(OH) ₃ , мон.				
Кальдекагидрит*	CaAl ₂ O ₄ •10H ₂ O, гекс.				
Гидрокальюмит	Ca ₂ Al(OH) ₇ •3H ₂ O, мон.				
Опал	SiO ₂ •nH ₂ O, аморф.				
Портландит	Ca(OH) ₂ , триг.				
Гётит	α-Fe ³⁺ O(OH), ромб				
Акаганеит	β-Fe ³⁺ O(OH,Cl), тетр.				
Лепидокрокит	γ-Fe ³⁺ O(OH), ромб.				
Класс 3. Силикооксиды					
Силикохлормайенит	Ca ₁₃ Al ₁₄ (SiO ₄) ₄ O ₂₄ •Cl ₄ , куб.	++			
Малаховит*	Ca ₂ (Fe ³⁺ ,Mg,Ca) ₆ (Fe ³⁺ ,Si,Al) ₆ O ₂₀ , трикл.		++		
Доррит	Ca ₂ (Mg,Fe ³⁺ ,Al,Si) ₆ O ₂₀ , трикл.		+	++	
Класс 4. Силикаты					
<i>Подкласс 1. Ортосиликаты</i>					
Форстерит	Mg ₂ [SiO ₄], ромб.	++		+++	

Минералы	Формула, сингония	Условия нахождения			
		1	2	3	4
Оливин	$(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$, ромб.		++		
Фаялит	$\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]$, ромб.			+++	
Феррифаялит	$(?_{0.49}\text{Fe}^{2+}_{0.51})_{1.00}\text{Fe}^{3+}_{1.00}[\text{SiO}_4]$, мон.	++			
Норбергит	$1\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{MgF}_2$, ромб.	+		+	
Хондродит	$2\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{MgF}_2$, мон.	+		++	
Гумит	$3\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{MgF}_2$, ромб.	+		+	
Клиногумит	$4\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{MgF}_2$, мон.	+		++	
Андалузит	$\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$, ромб.	+			
Топаз	$\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{F}_2$, ромб.	+			
Монтichelлит	$\text{CaMg}[\text{SiO}_4]$, ромб.	+			
Гранаты	ряда гроссуляр-андрадит, куб.	++			
Хлоргибшит	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{3-x} \cdot \text{Cl}_x (x=0.3-0.4)$, куб.	+++			
Игумновит*	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2\text{Cl}_4$, куб.			++	
Ларнит	$\beta\text{-Ca}_2[\text{SiO}_4]$, мон.	+			
Подногинит*	$\gamma\text{-Ca}_2[\text{SiO}_4]$, ромб.	++			
Спуррит	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{CaCO}_3$, мон.	++			
Рукавишниковит*	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{CaSO}_4$, ромб.	+			
Кутюхинит*	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{CaF}_2$, мон.	++			
Ритмит*	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot 3\text{CaCl}_2$, ромб.			++	
Альбовит*	$\text{Ca}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{CaCl}_2$, мон.	+++			
Титанит	$\text{CaTi}[\text{SiO}_4]\text{O}$, мон.	+		++	
<i>Подкласс 2. Диортосиликаты</i>					
Куспидин	$\text{Ca}_4[\text{Si}_2\text{O}_7]\text{F}_2$, мон.	+++			
Афанасьеваит*	$\text{Ca}_8[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{Cl}_2\text{O}$, куб.	++			
Чесофиит*	$\text{Ca}_9[\text{Si}_2\text{O}_7]_3 \cdot \text{CaCl}_2$, мон.	+			
Мелилит	$(\text{Ca,Al})_2(\text{Al,Mg,Fe}) \cdot (\text{Si,Al})_2\text{O}_7$, тетр.	+++	++		
<i>Подкласс 3. Кольцевые силикаты</i>					
Кордиерит	$\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{Al,Si}_5\text{O}_{18}]$, ромб.	+++	++	+++	
Индиалит	$\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{Al,Si}_5\text{O}_{18}]$, гекс.	+	+	+	
Секанинаит	$(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg})_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}]$, ромб.	++	++	++	
Осумилит	$\text{KMg}_2\text{Al}_3[(\text{Si,Al})_{12}\text{O}_{30}]$, гекс.	+		++	
<i>Подкласс 4. Цепочечные силикаты</i>					
Гиперстен	$\text{MgFe}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, ромб.		++		
Салит	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6]$, мон.		+++		
Диопсид	$\text{CaMg}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, мон.	++			
Йохансенит	$\text{CaMn}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, мон.	+			
Эссенеит	$\text{CaFe}^{3+}[\text{SiAlO}_6]$, мон.	+++			
Фассаит	$\text{Ca}(\text{Mg,Fe}^{3+}, \text{Al})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_6]$, мон.	++		+++	
Эгирин (?)	$\text{NaFe}^{3+}[\text{Si}_2\text{O}_6]$, мон.	+			
Волластонит-2М	CaSiO_3 , мон.	+++	+++	+++	
Муллит	$\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$, ромб.	+++	+	+++	
Флюормагнезиогастингсит*	$(\text{K,Ca,Na})_{1-x}\text{Ca}_2 \cdot (\text{Mg,Fe}^{3+}, \text{Al})_5[\text{Si}_3\text{AlO}_{11}]_2\text{F}_2$, мон.	+			
Фтормагнезиальная роговая обманка*	$(\text{Na,K})_{1-x}\text{Ca}_2\text{Mg}_5 \cdot [(\text{Si,Al})_4\text{O}_{11}]_2\text{F}_2$, мон.	+			
Рёнит	$\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mg, Ti})_6 \cdot (\text{Si,Al})_6\text{O}_{20}$, трикл.	+	+		
Лейкорёнит*	$\text{Ca} \cdot (\text{Mg, Fe}^{3+}, \text{Al})_6 (\text{Si,Al})_6 \text{O}_{21}$, трикл.	+	+		
<i>Подкласс 5. Слоистые силикаты</i>					
Фторфлогопит	$\text{KMg}_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]\text{F}_2$, мон.	+		++	
Биотит	$\text{K}(\text{Mg,Fe})_3[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}]\text{F}_2$, мон.	+			
<i>Подкласс 6. Каркасные силикаты</i>					
Лейцит	$\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6]$, куб.		++		

Минералы	Формула, сингония	Условия нахождения			
		1	2	3	4
Санидин	$(K,Na)[AlSi_3O_8]$, мон.			+	
Анортит	$Ca[Al_2Si_2O_8]$, трикл.	+++	+++	+++	
Святославит*	$Ca[Al_2Si_2O_8]$, ромб.			+	
Дмиштейнбергит*	$Ca[Al_2Si_2O_8]$, гекс.			+	
<i>Прочие силикаты</i>					
Челябинскит*	$[Ca_3Si(OH)_6 \cdot 9H_2O][(SO_4)(CO_3)]_2$, ромб				
Класс 5. Карбонаты					
Несквегонит	$Mg(CO_3) \cdot 3H_2O$, мон.				
Дипингит	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$, мон.				
Иосикаваит	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 8H_2O$				
Гиоргиозит	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 5H_2O$				
Гидромагнезит	$Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$, мон.				
Пироаурит	$Mg_6Fe_2(CO_3)(OH)_{16} \cdot 4H_2O$, ромб.				
Колингит	$Mg_{10}Fe_2(CO_3)(OH)_{24} \cdot 2H_2O$				
Шелковит*	$Mg_7(CO_3)_5(OH)_4 \cdot 24H_2O$, мон.				
Гунтит (хантит)	$CaMg_3(CO_3)_4$, тригон.	+			
Кальцит	$Ca(CO_3)$, тригон.				
Арагонит	$Ca(CO_3)$, ромб.				
Фатерит	$Ca(CO_3)$, гекс.				
Малахит	$Cu(CO_3) \cdot Cu(OH)_2$, мон.				
Азурит	$2Cu(CO_3) \cdot Cu(OH)_2$, мон.				
Класс 6. Сульфаты					
Стеклит*	$KAl(SO_4)_2$, триг.		+		
Терриконит*	$NH_4Fe^{3+}(SO_4)_2$, триг.	+			
Сульфалюмит*	$(Al,Fe^{3+})_2(SO_4)_3$, триг.				+++
Метабазалюминит	$Al_4(SO_4)(OH)_{10}$				+
Ростит	$Al(SO_4)(OH) \cdot 5H_2O$, ромб.				+
Гидробазалюминит	$Al_4(SO_4)(OH)_{10} \cdot 36H_2O$				+
Алуноген	$Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$, трикл.				+++
Масканьит	$(NH_4)_2(SO_4)$, ромб.				++
Годовиковит*	$(NH_4)(Al,Fe^{3+})(SO_4)_2$, гекс.				+++
Без названия	$(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$				+
Чермигит	$(NH_4)Al(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, куб.				++
Калиевые квасцы	$KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$, куб.				+
Без названия	$(NH_4)_3Fe^{3+}(SO_4)_3$				
Аммониярозит	$(NH_4)Fe^{3+}_3(SO_4)_2 \cdot (OH)_6$, триг.				++
Морит	$(NH_4)_2Fe^{2+}(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, мон.				+
Ефремовит*	$(NH_4)_2Mg_2(SO_4)_3$, куб.				++
Без названия	$(NH_4)_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$, мон.				+
Буссенготит	$(NH_4)_2Mg(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$, мон.				++
Коктаит	$(NH_4)_2Ca(SO_4)_2 \cdot H_2O$, мон.				+
Без названия	$Fe^{3+}_2(SO_4)_3$, гекс.				+
Лаузенит	$Fe^{3+}_2(SO_4)_3 \cdot 6H_2O$, мон.				++
Кокимбит	$Fe^{3+}_2(SO_4)_3 \cdot 9H_2O$, гекс.				+
Копиапит	$Fe^{2+}Fe^{3+}_4(SO_4)_2(OH)_2 \cdot 20H_2O$, трикл.				++
Ромбоклаз	$HFe^{3+}(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$, ромб.				+
Перковаит*	$Mg_3Ca_2(SO_4)_5$, куб.	+			
Коркиноит*	$Ca_4(SO_4)_2(CO_3)_2 \cdot 9H_2O$, ромб.				
Этtringит	$Ca_6Al_2(SO_4)_3(OH)_{12} \cdot 26H_2O$, гекс.				
Эпсомит	$Mg(SO_4) \cdot 7H_2O$, ромб.				
Гексагидрит	$Mg(SO_4) \cdot 6H_2O$, мон.				
Пентагидрит	$Mg(SO_4) \cdot 5H_2O$, трикл.				

Минералы	Формула, сингония	Условия нахождения			
		1	2	3	4
Старкиит	$Mg(SO_4) \cdot 4H_2O$, мон.				
Кизерит	$Mg(SO_4) \cdot H_2O$, мон.				
Пиккерингит	$MgAl_2(SO_4)_4 \cdot 22H_2O$, мон.				++
Астраханит	$Na_2Mg(SO_4)_2 \cdot 4H_2O$, мон.				+
Лангбейнит	$K_2Mg(SO_4)_3$, куб.				+
Ангидрит	$Ca(SO_4)$, ромб.	+++	++		+
Бассанит	$2Ca(SO_4) \cdot H_2O$, мон.				
Гипс	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$, мон.				
Флюорэлластадит*	$Ca_{10}[(SO_4)_3(SiO_4)_3]_6F_2$, гекс.	+++	+		
Тенардит	$Na_2(SO_4)$, ромб.				+
Халькокианит	$CuSO_4$, ромб.				
Долерофанит	$Cu_2(SO_4)O$, мон.				
Антлерит	$Cu_3(SO_4)(OH)_4$, ромб.				
Брошантит	$Cu_4(SO_4)(OH)_6$, мон.				
Халькантит	$Cu(SO_4) \cdot 5H_2O$, трикл.				
Англезит	$Pb(SO_4)$, ромб.	+			
Класс 7. Фосфаты					
Фторапатит	$Ca_{10}(PO_4)_6 \cdot F_2$, гекс.	++	++	++	
Витлокит	$Ca_3(PO_4)_2$, триг.	+			
Вагнерит	$Mg_2(PO_4)F$, мон.	+			
Класс 8. Вольфраматы					
Красносельскит*	$Co(WO_4)$, мон.				
Ферберит	$Fe(WO_4)$, мон.				
Оксиферберит*	$Fe^{3+}_2(WO_6)$, ромб.				
Класс 9. Бораты					
Флюоборит	$Mg_3(BO_3)F_3$, гекс.			+	
Варвикит	$Mg_3Ti(BO_3)_2O_2$, ромб.	+			
Вонсенит	$Fe^{2+}_2Fe^{3+}(BO_3)_2O_2$, ромб.		+		
Класс 10. Окисульфиды					
Баженовит*	$CaS_5 \cdot CaS_2O_3 \cdot 6Ca(OH)_2 \cdot 20H_2O$, мон.		++		
Игниколорит*	$FeS_2 \cdot 0.7CaCO_3 \cdot 2.8H_2O$, гекс.		++		
Овчинниковит*	$4FeS \cdot FeO \cdot 3CaO \cdot CaCO_3$, тетр.		+		
Класс 11. Органические минералы					
Тиннункулит*	$C_{10}H_{12}N_8O_8$, ромб.				
Кладноит	$C_6H_4(CO)_2NH$, мон.				+++

Примечание: Звездочкой отмечены новые минеральные виды (46 видов). Условия нахождения: 1 — горелые породы, 2 — переплавленные (базальтоподобные) породы, 3 — «черные блоки», 4 — фумаролы. Распространенность: +++ — широкая, ++ — умеренная, + — ограниченная.

Минералы в таблице приведены в порядке предлагаемой нами классификации. В пределах ее подразделений минералы в основном расположены в порядке увеличения атомного веса главных катионов. Для силикатов использовано обычное подразделение по геометрическому типу структуры. Всего изучено 209 минералов. С целью упрощения таблицы основные и водные хлориды включены в класс 5 бескислородных соединений.

Новые минеральные виды в таблице отмечены звездочкой (46 видов). К новым минеральным разновидностям относятся: магнезиоидит, хлормайенит, силикохлормайенит и хлоркуспидин.

В таблице выделены только четыре графы, соответствующие главным типам минерализации (горелые породы, переплавленные породы, «черные блоки», отвальные фумаролы). С целью облегчения нагрузки таблицы в нее не включены графы, соответствующие продуктам минерализации металлических предметов и продуктам выветривания. Приводим перечни соответствующих минералов.

Только в качестве продуктов минерализации металлических предметов, попавших в отвалы, встречены: кремний, медь, силицид Al, халькозин, ковеллин, халькопирит, галенит, нантоцит, атакамит, паратакамит, хлороцинкит, амминит, иоцит, куприт, тенорит, красногорит, глёт, массивот, платтнерит, PbO₂ (куб.), байерит, акаганеит, малахит, азурит, долерофанит, брошантит, халькокианит, халькантит, красносельскит, ферберит, оксиферберит.

Только как продукты выветривания встречены: синджарит, мезогидрит, антарктицит, атакамит, паратакамит, брусит, беложарит, байерит, кальдекагидрит, гидрокальцит, опал, портландит, гётит, акаганеит, лепидокрокит, челябинскит, несквегонит, дипингит, иосикаваит, гиоргиозит, гидромагнезит, пироаурит, колингит, шелковит, малахит, азурит, кальцит, арагонит, фатерит, коркиноит, эттрингит, эпсомит, гексагидрит, пентагидрит, старкиит, кизерит, антлерит, брошантит, халькантит, бассанит, тиннункулит.

В табл. 2. не включены исчезнувшие минералы, о бывшем существовании которых свидетельствуют псевдоморфозы и другие продукты изменения: FeC₄, куб (?) [1, 9], суперферрит CaO•3Fe₂O₃, куб. [3], Mg(SO₄) [6], сода Na₂CO₃•10H₂O, мон. [7].

Оксиды, силикооксиды и силикаты составляют 41.6 % от общего числа минералов (табл. 3). А вместе с сульфатами их будет 63.7 %. Кислородные соединения резко преобладают (81.8 %).

Таблица 3

Количественные соотношения между классами минералов в горелых отвалах

Классы	Число	%	Классы	Число	%
Самородные элементы	5	2.4	Сульфаты	46	22.1
Карбиды и силициды	2	1.0	Фосфаты	3	1.4
Сульфиды	8	3.8	Вольфраматы	3	1.4
Фториды	3	1.4	Бораты	3	1.4
Хлориды	20	9.6	Оксисульфиды	3	1.4
Оксиды	33	15.8	Органические	2	1.0
Гидроксиды	10	4.8	Всего	209	100.0
Силикооксиды	3	1.4	Бескислородные соед.	38	18.2
Силикаты	51	24.4	Кислородные соед.	171	81.8
Карбонаты	14	6.7	Всего	209	100.0

Новые химические соединения и новые полиморфы в «Системе минералогии»

При изучении состава горелых отвалов Челябинского бассейна установлен ряд минералов, представляющих новые химические соединения в минералогии:

1. Полисульфид-тиосульфат-гидроксид кальция, водный: CaS₅•CaS₂O₃•6Ca(OH)₂•20H₂O (баженовит). Образуется в «черных желваках», представляющих собою сильно измененные ксенолиты пиритизированных сидеритов в базальтоподобных породах отвала разреза «Коркинский» [1, 9]. Ассоциирует с ольдгамитом, самородным железом, пирротинном, игниколотом. До сих пор полисульфиды и тиосульфаты в минералогии не были известны.

2. Сульфид-карбонаты:

1) FeS₂•0.7CaCO₃•2.8H₂O (игниколот). Находится в «черных желваках» (см. выше) вместе с баженовитом, ольдгамитом, железом и др. [4]:

2) 4FeS•FeO•3CaO•CaCO₃ (овчинниковит). Находится в базальтоподобных породах отвала разреза «Коркинский» на месте сильно переработанных ксенолитов карбонатных пород. Ассоциирует с пирротинном, серебродольскитом и др. [4].

3. Силикооксиды:

1) Ca₁₃Al₁₄(SiO₄)₄O₂₄Cl₄ (силикохлормайенит). Образуется на границе скорлупы с ядром «орехов», возникающих при прокаливании кусков окаменелого дерева доломитового состава. Ассоциирует с хлормайенитом, серебродольскитом, флюорэллестадитом и др. [8]:

2) Ca₂(Fe³⁺,Mg,Ca)₆(Fe³⁺,Si,Al)₆O₂₀ (малаховит). Встречается в базальтоподобных породах отвала разреза «Коркинский» на границе силикатов и сильно переработанных ксенолитов карбонатных пород. Ассоциирует с мелилитом, пироксеном, магнезиоферритом и др. [5].

3) Ca₂(Fe³⁺,Mg)₆(Al,Si)₆O₂₀ (доррит). Встречается с малаховитом [5].

Выделен новый класс минералов — силикооксиды, занимающий промежуточное положение между оксидами и силикатами [8].

4. Высокохлористые хлорид-силикаты:

1) Ca₈[Si₂O₇]₂Cl₂O (афанасьевит) — 6.19 мас. % Cl;

2) Ca₉[Si₂O₇]₃•CaCl₂ (чесофиит) — 7.33 масс. % Cl;

- 3) $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_{3-x}\cdot\text{Cl}_{4x}$ ($x = 0.3-0.4$) (хлоргибшит) — 10—12 мас. % Cl;
- 4) $\text{Ca}_2[\text{SiO}_4]\cdot\text{CaCl}_2$ (альбовит) — 22.72 мас. % Cl;
- 5) $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2\cdot\text{Cl}_4$ (игумновит) — 28.75 мас. % Cl;
- 6) $\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2\cdot 3\text{CaCl}_2$ (ритмит) — 31.06 мас. % Cl.

Все эти минералы (за исключением игумновита и ритмита) являются породообразующими минералами силикатных корок «орехов», образовавшихся при обжиге кусков окаменелого дерева. Ритмит и игумновит — характерные минералы «черных блоков», обогащенных CaCl_2 [5, 6].

5. Ферриты кальция:

1) $2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (сребродольскит). Обычно находится в «орехах», возникших при обжиге кусков окаменелого дерева. Широко распространен. Ассоциируется с ангидритом, периклазом, известью и др. [1, 9];

2) $\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (ацикулит). Чаще всего встречается на границе скорлупы и ядра «орехов» а также и в самой, ангидритовой скорлупе [2];

3) $\text{CaO}\cdot 2\text{Fe}_2\text{O}_3$ (грандиферрит). Важная составная часть ферритовых кусков, возникших при обжиге высокожелезистых карбонатных пород [3];

4) $\text{CaO}\cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$ (суперферрит). Известны только псевдоморфозы грандиферрита и гематита по октаэдрическому кристаллам и зернам суперферрита [3];

5) $3\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2$ (торбаковаит). Встречен в ядре «ореха» в виде мелких пластинок коричнево-красного цвета [4].

6) $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Ca})_6(\text{Fe}^{3+}, \text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}$ (малаховит). Относится к силикооксидам, но может и рассматриваться как сложный алюмосиликоферрит кальция [5].

7) $\text{Ca}(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg})_6(\text{Al}, \text{Si})_6\text{O}_{20}$ (доррит). Силикооксид, как и малаховит [5].

Характерно, что ферриты явно наследуют особенности состава окружающей среды: в измененных кусках карбонатных пород в них входит Ca и Fe, а в силикатной массе к ним добавляются Al и Si.

6. Амминит — первый минерал, содержащий молекулы NH_3 . Его формула — $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$. Это комплексное соединение цинка с молекулами NH_3 в качестве лиганда и цинком в качестве центрального атома: дихлородиаммин цинк, диаммин цинк хлорид [2].

Наиболее важным минералогическим открытием явилась находка двух полиморфов $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$ — аналогов анортита. Ромбический святославит и гексагональный дмиштейнбергит найдены в «черном блоке» горелого террикона шахты 45 в г. Копейске [2]. На стенках трещин в древесном угле (углефицированная шпала) они находились с кристаллами анортита, когенита, троилита, фаялита, хондродита, титанита, графита и псевдоморфозами графита и железа по высокоуглеродистому карбиду. Известно, что основной плагиоклаз (анортит) — главный минерал земной коры, многих метеоритов и лунных пород. Найдена ромбического и гексагонального его полиморфов, по нашему убеждению, — минералогическая находка века, наряду с открытиями плотных полиморфов SiO_2 (коэзит и стишовит) и гексагональной модификации углерода (лондэлеит).

Особенности горения больших масс углесодержащих пород

Изученные горящие отвалы в основном представлены терриконами — коническими отвалами высотой до 60—70 м и объемом до 1 млн м^3 . Как правило, они отсыпались на территории действующих шахт. В настоящее время терриконы не отсыпаются, а порода идет в плоские отвалы, которые удобнее рекультивировать и которые горят гораздо реже. На территории бассейна имеется ряд хребтовидных отвалов, объем которых более 1 млн м^3 . Это отвалы отходов обогатительных фабрик. Поскольку в них больше мелкообломочного материала, чем в терриконах, процессы горения таких отвальных масс идут менее интенсивно. Терриконы и другие отвалы обычно горят десятки лет. Следует подчеркнуть, что очаги в массах отвальных углесодержащих пород возникают спонтанно, следовательно, процесс этот естественный, геологический [9]. Горящий отвал — «тепловая машина» с высокой степенью автономности. Источник энергии находится внутри ее и в течение процесса не возобновляется. Главная связь этой «машины» с окружающей средой — засос воздуха и выпуск газообразных продуктов, отток тепла, распространение пыли, дымов, грязи с временными водными потоками, обрушение глыб, камней и т. д. Минералообразование в горящем отвале идет в весьма широком интервале температур — от «нормальных» до 1200 °C и выше — и в основном при низком (близком к нормальному) давлении.

Горящий террикон по ряду общих признаков сходен с горящим костром. В обоих случаях имеет место коническая симметрия массо- и теплопереноса, обусловленная «работой» практически изометричного источника тепла в газовой среде в поле тяжести планеты. Горизонтальное

перемещение окружающих отвал воздушных масс (ветры), естественно, искажает коническую симметрию движения газов в отвале и вблизи его поверхности [9]. Для продвижения газов к поверхности отвала наиболее удобны крупнообломочные слои, а слои, богатые глинистым материалом, практически непроницаемы и иногда служат «крышей», под которой образуются взрывоопасные массы газов. Массы «черных блоков» также обладают малой газопроницаемостью, поскольку состоят обычно из мелкообломочного материала.

В горящем отвале очень часто очаги горения разобщены и периоды максимальной активности их не совпадают. Можно выделить такие виды горения:

1) открытое горение (горение поверхностных слоев), обычно наблюдается во время отсыпки отвала на фронтальной его части. В ночное время в таких местах хорошо видны раскаленные участки отвала;

2) горение хорошо аэрируемых близповерхностных частей отвальной массы;

3) глубинное горение (тление) «черных блоков» — частей отвала, прокаленных без доступа воздуха и обогащенных углеродом типа газовой сажи, графитом, сульфидами и карбидами железа;

4) горение газов внутри отвала (см. ниже);

5) открытое (с пламенем) горение асфальтоподобных кор на поверхности вершинной части отвала (наблюдается редко).

При горении сырой отвальной массы топливом служат обломки угля и угольная мелочь, углистый и битуминозный материал аргиллитов и других пород, сульфиды железа (пирит) и горючий технический мусор (древесина, пластмассы и т. д.). Главными газообразными продуктами горения таких материалов являются: CO_2 , H_2O , более сложные газы, в том числе углеводороды, SO_2 и др. Близ очагов такого горения чувствуется «битуминозный» запах газов.

При тлении черных блоков горят куски и частицы термоантрацита (уголь, превращенный при формировании «черного блока» в шунгитоподобное вещество без летучих компонентов), тонкодисперсный углерод, графит, карбиды и сульфиды железа, углефицированный технический мусор и др. Главными газами при этом являются: CO_2 , CO , SO_2 . Если раскаленная масса «черного блока» вскрывается в забое экскаватором, то на открытом воздухе она интенсивно тлеет (без пламени) без выделения дыма и газов с характерным «битуминозным» запахом. Вблизи тлеющей массы ощущается сильный запах SO_2 . Безусловно, в этом и в первом случае среди выделяющихся газов имеются и более сложные компоненты, содержащие Cl , F , C , S и N .

Наблюдения стенок экскаваторных забоев на разных стадиях разработки терриконов позволили установить, что в глубинах отвалов происходит интенсивное горение газов, нередко вызывающее полное плавление отвальной массы. Горячие газы, выделяющиеся при формировании «черных блоков», по-видимому, во многом аналогичны газам, выделяющимся при коксовании каменного угля. Мы считаем, что формирующийся «черный блок» и камера коксовой батареи сходны во многих отношениях. Поскольку «черные блоки» формируются в наиболее мелкообломочных частях отвала, трудно доступных для проникновения внешнего воздуха, движение газов сквозь них гораздо медленнее, чем через пласты обычного горельника (см. выше). Вследствие этого в «черном блоке» возникает избыточное давление газов и выход их может быть не только «снизу вверх», но даже и «сверху вниз» в зависимости от существования более проницаемых путей. Нередко наблюдались сильно прокаленные участки «черных блоков» в их нижних, приконтактных с горельником (не сильно обожженным) частях. По-видимому, здесь горели газы, выделяющиеся из «черного блока» по схеме «сверху вниз».

Струи газов при воспламенении могут гореть длительное время. Многократно наблюдались субвертикальные каналы диаметром до 20—30 см и более с оплавленными и гематитизированными стенками. В наиболее интенсивно горевшем отвале разреза «Коркинский» (дробильный участок в районе обогатительной фабрики) расплава формировалось настолько много, что он, затекая в трещины усадки отвальной массы, формировал дайки «долеритов» мощностью до 0.5 м и более. Горение газов внутри отвала — важный тип горения в больших массах углесодержащих пород.

Массоперенос в горящем отвале в основном осуществляется газовыми струями. Хотя путь отдельных газовых струй сложен, в целом перенос вещества идет «снизу вверх»: перемещение вещества «сверху вниз» ограничено. Это стекание расплава вниз по газовым жерлам (далеко не во всех отвалах наблюдается) и затекание сульфатной пасты — вещества fumarольных отложений — во время сильных дождей в более глубокие слои отвала. Как правило, обычные дождевые и снеговые воды проникают вглубь отвала в незначительной степени, испаряясь уже на небольших глубинах от поверхности. Следует также упомянуть гравитационное перемещение отвальной массы при обвалах, оползнях и т. п. В ряде случаев это ведет к важным минералогическим последствиям (см. выше о формировании даек «долеритов» в трещинах усадки отвала). Наблюдались зеркала скольжения в отвальной массе протяженностью более 20 м и шириной на высоту экскаваторного

забоя (около 6 м) (отвал ш. 47, Копейск). Очевидно, такое зеркало скольжения возникло еще в негорелой массе, обогащенной глинистым материалом.

Постоянное движение вещества «снизу вверх» и последовательное развитие горения «черных блоков» на все более глубоких горизонтах отвала обуславливают широкое развитие явлений телескопирования, т. е. наложения одних минеральных ассоциаций на другие. Довольно часто встречаются куски обожженных карбонатных пород, известь которых замещена мелкозернистыми агрегатами ольдгамита. Они возникли в два приема: 1) обычный обжиг с образованием извести и периклаза; 2) появление в данном месте газовой струи из «черного блока», содержащей H_2S и приведшей к реакциям такого типа: $CaO + H_2S = CaS$ (ольдгамит) + H_2O или $2CaO + H_2S + CO_2 = CaS + CaCO_3$ (кальцит) + H_2O . Периклаз обычно находится в виде реликтовых зерен в ольдгамитовом агрегате. Если исходный карбонат содержал железо — вместе с ольдгамитом в таких кусках находится игниколит (или овчинниковит).

Струя горячих газов активно воздействует на материал отвала не только термически, но и химически. Площадь ее поперечного сечения во много раз меньше, чем площадь сбора, т.е. площадь участка «черного блока», с которой собран газ в данную струю. Поэтому скорость движения газа в струе во много раз больше, чем вблизи газовыделяющей массы. Когда на пути струи оказывается реакционноспособный материал, происходит значительное его изменение (образование ольдгамита за счет извести, возникновение высокохлористых силикатов и т. д.). Такое минералообразование идет в условиях, когда в исходном газе концентрации элементов относительно невысоки. Это явление мы называем транзитным концентрационным эффектом.

Особенности минерализаций

При горении больших масс углесодержащих пород реализуется закономерность, которую мы называем кристаллохимическим законом горения углесодержащих масс. В результате обжига происходит значительное упрощение кристаллохимического состава отвальной массы, что выражается в резком уменьшении числа кристаллохимических типов соединений [9].

Если исходный (сырой) материал отвалов сложен безводными и водными силикатами, оксидами и гидроксидами, карбонатами, сульфатами, сульфидами, углистым и битуминозным веществом, техническим мусором (металлы, древесина, пластмасса и т. п.), то обожженный материал состоит только из безводных силикатов, оксидов и силикооксидов. Процесс обжига ведет также и к повышению однородности состава отвальной массы, что благоприятно в аспекте ее практического использования. В связи с изложенным следует подчеркнуть, что и среди газообразных продуктов горения отвалов оксиды решительно преобладают.

Следующая закономерность также является кристаллохимической: при наиболее высоких температурах обжига (до $1200^\circ C$ и выше) формируются соединения, переходные между обычными кристаллохимическими классами минералов: между силикатами и оксидами (силикооксиды: силикохлормайенит, малаховит и др.), между силикатами и сульфатами, фторидами, хлоридами и др. [8]. Это проявление известной закономерности — чем выше температура минералообразования, тем сильнее сглаживаются кристаллохимические различия между атомами (и их группами) и тем шире реализуются возможности изоморфных замещений.

Следующая особенность заключается в широком проявлении процессов пневматолита и специфичности его минеральных продуктов [5]. Пневматолитовые высокотемпературные минералы из горелых отвалов в большинстве случаев представляют собою соединения с добавочными анионами (F' , Cl' , SO_4'' , CO_3'' и др.) (см. табл. 2.), а ряд минералов просто представлен фторидами и хлоридами (горелые породы, «черные блоки», высокотемпературные фумаролы). Указанные анионы формируются из главных компонентов горячих газов.

Особенно специфичны и интересны минеральные ассоциации «черных блоков». Эти образования ранее не выделялись и не исследовались. В наиболее яркой форме минерализации «черных блоков» проявлены в терриконе ш. 45 (Копейск), частично разработанным экскаваторами. Здесь широко развиты когенит, множество морфологических типов графита, псевдоморфозы графита и железа по кристаллам высокоуглеродистого карбида Fe, троилит, самородное железо, хлориды и фториды Ca, разнообразные фторо- и хлоросиликаты. Характерно, что в «черном блоке» Fe^{2+} весьма ограниченно входит в состав Mg- силикатов (форстерит, минералы группы гумита, фторфлогопит, фторамфиболы и др.), а образует самостоятельные минералы (фаялит, герцинит, иоцит, троилит и др.). В участках окислительного обжига, наоборот, Fe^{3+} в значительных количествах входит изоморфно в состав силикатов (пироксены, фторамфиболы, фторфлогопит, мелилиты), а также шпинелей, майенитов, периклаза и др.

Газовый массоперенос в отвалах особенно ярко проявляется при обжиге или углеродизации кусков карбонатных пород. В первом случае из куска карбонатной породы выносится значительное количество кальция, который участвует в формировании ангидритовой (или силикатной) скорлупы вокруг измененного куска. Во втором случае из карбонатной породы выносится практически весь кальций, значительная часть магния и железа. Вокруг псевдоморфозы сажистого или волокнистого углерода по куску карбонатной породы возникают корки силикатного состава. Существенное количество железа отлагается в виде гематита в жерлах, где происходит горение газов и оплавление стенок. Кроме того, пневматолитовыми являются и все отложения отвальных фумарол.

Главными минералообразующими элементами в горелых отвалах являются: O, Si, Al, Ca, Fe, Mg, S, Cl, F. В массе силикатного материала (в основном — аргиллиты) формируются Al-содержащие ассоциации (кор-диерит, муллит, анортит, эссенеит, фассаит, фторфлогопит, фторамфиболы, гранаты и др.). В обожженных кусках карбонатных пород с примесью кварца и глинистого материала возникают безалюминиевые ассоциации многочисленных Ca-силикатов (см. табл. 2.).

При высоких температурах все карбонаты разлагаются. Продуктами их обжига являются известь, периклаз и оксиды Fe, Ca и Mg (сребродольскит, магнезиоферрит и др.). В «черных блоках» происходит углеродизация карбонатов с образованием некоторого количества ферропериклаза или магнетита. Карбонаты в отвалах вновь появляются уже при выветривании отвальной массы (кальцит, арагонит и многочисленные гидрокарбонаты магния).

Характерно, что «гидравлические» минералы отвалов, аналоги гидравлически активных частей цементного клинкера (известь, майенит и др.), гораздо более устойчивы к гидратации, чем промышленные продукты [5, 9]. Известь, например, подвергается гидратации, находясь в воде несколько часов. А на открытом воздухе ее зернистые агрегаты не претерпели заметных изменений и через 10 дней. Характерно, что в сырой атмосфере за счет извести из отвалов образуется не портландит, а тонкокристаллический кальцит. Гораздо более стоек к гидратации и отвальный майенит, чем майенит синтетический. Данные особенности — следствие ряда причин: 1) более высокая степень совершенства кристаллов минералов из отвалов (длительность кристаллизации), 2) меньшая их дисперсность и 3) наличие стабилизирующих примесей в их составе.

На первых порах нас удивляла прочность кристаллов, находящихся на стенках газовых пузырей и других полостей в переплавленных породах (муллит, пироксены, волластонит, иглы гематита и др.). Для того, чтобы их сломать, надавливая стальной иглой, требовались неожиданно большие усилия. Этот пример показывает, насколько «только что выросшие кристаллы» совершеннее аналогов из обычных геологических объектов.

Промышленные аналоги

В горящем отвале происходят процессы, для которых, по нашему мнению, можно указать промышленные аналоги.

1. Обжиг глинистых пород в отвале. Аналогом может служить керамическое производство.
2. Обжиг карбонатных пород — получение извести путем обжига известняков.
3. Обжиг глинистых карбонатных пород — получение цементного клинкера путем обжига мергелей или же известняково-глинистых смесей.
4. Плавление и вскипание отвальной массы — шлакообразование на металлургических предприятиях.
5. Минералообразование на контакте расплава с карбонатными породами (образование ферритов и силикатов Ca и Fe) — процесс агломерации железорудного сырья.
6. Процесс формирования «черных блоков» — процессы в коксовой батарее.
7. Образование самородного железа за счет железистых карбонатов — металлургическое производство с прямым восстановлением железа.
8. Образование отвальных «базальтов» — каменное литье, петруггия.
9. Минерализация металлических предметов в высокотемпературных условиях — газовая коррозия. В низкотемпературных — обычная коррозия, ржавление.
10. Гидратация и карбонатизация продуктов обжига карбонатов (известь, периклаз) — гашение извести и ее последующие преобразования.

Значение для геологии и других смежных наук

Безусловно, многие результаты проведенного исследования могут быть с пользой учтены при изучении разнообразных «обычных» геологических образований. Здесь только кратко укажем на ряд возможных приложений.

1. Наибольшие возможности представляются при изучении высокотемпературных контактных образований, особенно контактов вулканических пород с карбонатными (ксенолиты известняков и мергелей в лавах и т. п.).

2. Контакты углей и углистых пород с породами типа траппов (ситуации, близкие к ситуациям «черных блоков»).

3. Метеориты, минеральные ассоциации на других небесных телах, в частности в бескислородных (свободный кислород) атмосферах — ассоциации «черных блоков», «черных желваков» (с железом, ольдгамитом, моносulfидами железа и др.).

4. Вулканические эксгалации — отвальные фумаролы

5. Вопросы магматического минералообразования — плавление и вскипание отвалных пород.

Естественно, главное общее геологическое приложение имеют все данные о минералогическом составе горелых отвалов. Кроме того, результаты проведенного исследования могут быть использованы при решении вопросов синтеза кристаллосырья и ряда других технологий (подземная газификация угля и других горючих ископаемых, борьба с возгоранием ископаемых при добыче и др.).

О новой минералогической классификации

Установленные в процессе исследования явления межклассовых переходов (оксиды-силикаты, хлориды-силикаты и др.) заставляют задуматься об основных принципах построения классификаций минералов. Использование общепринятых классификаций иногда недостаточно ясно выявляет природу тех или иных явлений. Например, известно, что самым распространенным элементом в земной коре является кислород (около 50 мас. %). Но когда говорится о минеральном составе земной коры, то в качестве главных составляющих перечисляется ряд классов (силикаты, оксиды, карбонаты и т. д.). Не являются ли эти классы чем-то единым кроме весьма обобщающего «кислородные соединения»? На наш взгляд, ничто серьезно не мешает считать их всех оксидами.

При указанном условии становится более ясной химическая природа земной коры — это оксидная сфера, или оксидосфера планеты Земля. Она практически нацело состоит из сложных и простых оксидов (силикаты, кварц, карбонаты, сульфаты и др.). Земля, Луна, Марс, Венера, Меркурий — небесные тела, которые по крайней мере во внешних своих частях имеют оксидный состав (планеты оксидного типа). Почти нацело из оксидов сложены каменные метеориты, многие частицы космической пыли, материал некоторых комет и т. д. Зона гипергенеза Земли, обогащенная водными минералами — гидроксидосфера.

С использованием данного подхода более четко формулируется и рассмотренный выше общий закон горения углеродсодержащих масс: за счет горения сложной по кристаллохимическому составу исходной отвальной массы образуется материал, состоящий практически только из безводных оксидов. Это естественно, поскольку горение — интенсивнейший окислительный процесс. Отметим, что кроме твердых оксидов в качестве продуктов горения остаются газообразные оксиды, главными из которых являются CO_2 и H_2O . Эти газы представляют собою в основном не только продукты горения углеродистых веществ но и продукты термического разложения карбонатов и дегидратации OH - и H_2O -содержащих соединений. Если обратиться к данным табл. 1 и 3, то получается, что по числу минеральных видов в горелых отвалах оксиды (в широком смысле) составляют около 82 %. Отметим, что в этих таблицах находятся также данные и о составе «черных блоков» — непрогоревших частей отвалов, и о составе фумарольных отложений, где заметную роль играют бескислородные соединения.

Заключение

Выбор Челябинского угольного бассейна в качестве основного объекта исследований был удачным. Во-первых, горелые отвалы бассейна интенсивно разрабатываются, что позволило непосредственно наблюдать их строение в многочисленных разрезах (экскаваторных забоях) от вершины до подошвы. Часто можно было видеть горение отвалных масс («черных блоков») прямо в стенках забоев или в обрушенных массах на почве забоев. Во-вторых, состав отвальной массы в данном случае был особенно благоприятен из-за присутствия множества обломков карбонатных пород разного состава (доломитовые и анкеритовые куски окаменелого дерева, конкреции сидеритов и их обломки с разным количеством примеси глинистого материала, куски кальцитовых пород и т. п.). Значительная часть новообразований приурочена к зонам взаимодействия этих кусков (выносимых из них газами элементов) и вмещающей силикатной массой. В-третьих, объекты бассейна были легко доступны для посещения.

Обилие контактов кусков разнообразных карбонатных пород с отвальной мелочью и кусками других пород (алевролиты, песчаники, конгломераты), пестрота температурных ситуаций (интервал до 1200° и выше) и непостоянство во времени путей газовых струй обусловили большое разнообразие продуктов реакций, т. е. отвальных минералов (см. табл. 2). Подчеркнем, что в отвалах бассейна встречено значительно больше минералов, чем на Луне (время изучения объектов соизмеримо). В итоге проведенных работ выявлен цельный минеральный мир — один из интереснейших объектов минералогии техногенеза.

Проведение систематических работ подобного рода на других объектах, минерализации которых возникли «не без участия» человека, позволит освоить новую ступень познания минерального мира — минералогии техносферы.

Литература

1. *Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Щербакова Е. П., Михаль Т. А., Дерябина Т. Н.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна // Минералогия техногенеза и минерально-сырьевые комплексы Урала. Свердловск, 1988. С 5—31.

2. *Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Бушмакин А. Ф., Вилисов В. А., Лотова Э. В., Михаль Т. А., Нишанбаев Т. П., Щербакова Е. П.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение второе) // Новые данные по минералогии эндогенных месторождений и зон техногенеза Урала. Свердловск, 1991. С. 5—14.

3. *Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Вилисов В. А., Крецер Ю. Л.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение третье) // Ми-нералы и минеральное сырье Урала. Екатеринбург, 1992. С. 127—136.

4. *Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Бушмакин А. Ф., Вилисов В. А., Крецер Ю. Л., Нишанбаев Т. П.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение четвертое) // Уральский минералогический сборник № 1. Екатеринбург, 1993. С. 3—25.

5. *Чесноков Б. В., Вилисов В. А., Баженова Л. Ф., Бушмакин А. Ф., Котляров В. А.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение пятое) // Уральский минералогический сборник № 2. Екатеринбург, 1993. С. 3 — 36.

6. *Чесноков Б. В., Вилисов В. А., Бушмакин А. Ф., Котляров В. А., Белогуб Е. В.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение шестое) // Уральский минералогический сборник № 3. Миасс, 1994. С. 3 — 34.

7. *Чесноков Б. В., Баженова Л. Ф., Бушмакин А. Ф., Котляров В. А., Белогуб Е. В.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение седьмое) // Уральский минералогический сборник № 4. Миасс, 1995. С. 3 — 28.

8. *Чесноков Б. В., Бушмакин А. Ф.* Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение восьмое) // Уральский минералогический сборник № 5. Миасс, 1995. С. 3 — 22.

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