

Б. В. Чесноков

ОПЫТ МИНЕРАЛОГИИ ТЕХНОГЕНЕЗА — 15 ЛЕТ НА ГОРЕЛЫХ ОТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ, РАЗРЕЗОВ И ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК ЮЖНОГО УРАЛА

B. V. Chesnokov

EXPERIENCE OF TECHNOGENOUS MINERALOGY — 15 YEARS ON BURNT DUMPS OF COAL MINES, SECTIONS AND THE CONCENTRATING MILL IN THE SOUTH URALS

215 minerals have been established in burnt dumps of the Chelyabinsk coal basin. There are 48 new mineral species and 9 new mineral varieties among them. The description of some new phenomena of minerogenesis has been given. The new classification of minerals and the concept of the modern mineralogy have been offered.

Наши исследования минералогии горелых отвалов в основном выполнялись в Челябинском угольном бассейне [16]. Работы были начаты летом 1982 г. Летом 1984 г. изучались отвалы разрезов Южно-Уральского бурогоугольного бассейна (Кумертау, Тюльган). Ряд сотрудников нашего коллектива посетил другие угольные районы Урала (Егоршинский, Кизеловский), а также Сахалинский, Кузнецкий и Донецкий бассейны. История развития исследований, перечень участников и библиография приведены в [9, 12, 16]. Данная статья — попытка рассмотрения вклада 15-летних исследований в «Систему минералогии».

I. МИНЕРАЛООБРАЗОВАНИЕ В ГОРЯЩИХ ОТВАЛАХ

1. Общие сведения об отвалах

Горящие и прогоревшие отвалы Челябинского бассейна представлены терриконами и хребтовидными отвалами. Терриконы отсыпались возле действующих шахт, а хребтовидные отвалы, в основном, около обогатительных фабрик. Терриконы (рис. 1) достигают высоты 70 м и объема порядка 1 млн м³.

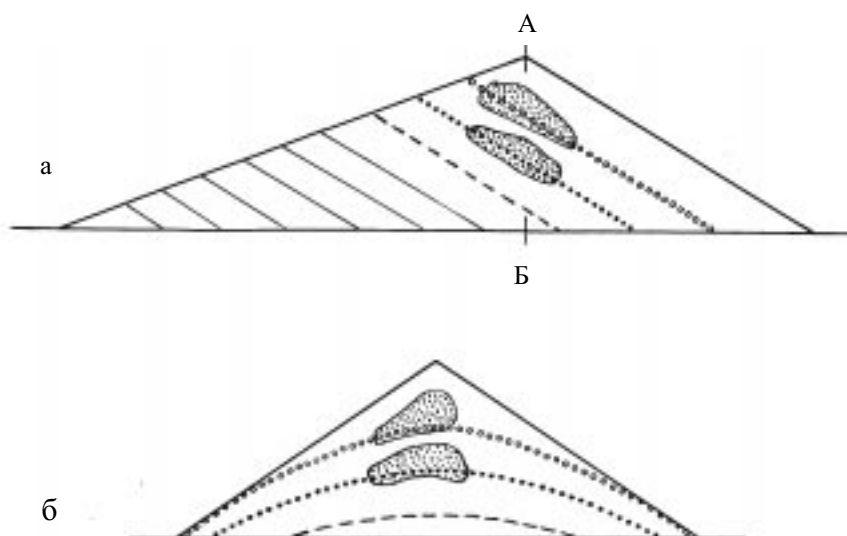


Рис. 1. Схема строения террикона в разрезах.

а — вертикальный разрез через хребет и вершину, б — вертикальный разрез по А-Б. Выделены три маркирующих слоя. Пунктиром показаны черные блоки

Хребтовидные отвалы при той же высоте имеют больший объем. В составе исходной (не горевшей) массы отвалов преобладают обломки глинистых пород и алевролитов. Обычной примесью являются куски окаменелого дерева (доломит, анкерит) и сидеритов, а также куски каменного угля, угольной мелочи и технического мусора (обломки дерева, куски рельсов, труб, проводов, пластмасса, стекло и др.). Уже в процессе отсыпки в отвалах возникают спонтанные очаги горения, горение отвалов продолжается десятки лет. Например, террикон шахты Подозерная (№ 50) в Копейске не отсыпается с 1970 г., но некоторые его участки довольно активно тлеют и в настоящее время (1997 г.).

Наиболее интенсивно горят слои грубообломочного строения, обогащенные углем. В таких местах многократно наблюдались следы плавления отвальной массы. Особенно интенсивно горел большой отвал разреза Коркинский (возле обогатительной фабрики). Сейчас этот отвал полностью разработан на балласт железнодорожных путей разреза. Местами в нем возникали значительные объемы расплава, затекавшего в трещины усадки отвальной массы, где образовывались дайкоподобные тела «базальтов» мощностью до 0,5—1 м [16]. Значительно затруднялось горение слоев, обогащенных глинистым материалом (слабая их аэрация). Глинистые слои иногда служили экранами, под которыми скапливались взрывоопасные газы [16].

Интенсивно горевшие слои представлены спекшимися буро-красными массами отвального спека. Обычные горелые породы (горельники) состоят из неспекшихся обломков и значительного количества мелочи и пыли. Цвет их варьирует от кирпично-красного до розоватого.

При сильном обжиге глинистые породы переходят в твердые микрокристаллические кордиеритовые породы, содержащие переменные количества муллита, тридимита, кристобалита, гематита (обуславливает красную окраску пород), шпинели и др. Куски карбонатных пород (окаменелое дерево, сидериты) разлагаются, из доломитов выносятся значительное количество Са. Вокруг измененного куска возникает ангидритовая или силикатная корка («скорлупа»), ядро и эта корка представляют своеобразный «орех» (до 30 см и более в поперечнике) [16].

В местах выхода горячих газов (в основном, хребтовая и вершинная части отвала) отлагаются гематит, разнообразные безводные и водные сульфаты, хлориды, сера и битуминозные вещества. Это так называемые отвальные фумаролы [16]. В их газах весной 1987 г. А. И. Обжировым (ДВНЦ АН СССР) были обнаружены различные углеводороды: CH_4 , C_2H_6 , C_2H_4 , C_3H_8 , C_3H_6 , iC_4H_{10} , nC_4H_{10} , C_5H_{12} , C_5H_{10} . Главными составными частями газов были N_2 и O_2 (разбавление воздухом), CO_2 , H_2 и CO . Сернистые газы и хлористые соединения не определялись. Но качественно их присутствие определяется почти всегда.

Отвалы Челябинского бассейна — весьма благоприятный объект для изучения, поскольку многие из них находятся или находились в стадиях экскаваторной разработки (на дорожное строительство и для других нужд). Поэтому мы могли наблюдать горелые (и еще горящие) отвалы в любых их частях — от вершины до подошвы (см. рис. 1).

2. Особенности горения отвалов

Во время отсыпки наиболее интенсивно горит материал на лобовой части отвала. Нами этот процесс в ярком проявлении наблюдался летом 1982 г. на одном из отвалов Центральной обогатительной фабрики в Копейске. Лобовая, интенсивно горящая, часть этого отсыпаемого отвала соприкасалась со склоном соседнего, потухшего, отвала. Находясь на этом склоне, можно было приблизиться к горячей массе на минимальное безопасное расстояние, около 1 м. С этой позиции при помощи прута арматурного железа вскрывались наружные, горящие слои. На глубине 5—10 см начинался слой спекшегося раскаленного (оранжево-красное свечение) материала, образовавшегося за последние несколько суток. После остывания куски спека выглядели так же, как и спекшиеся слои в экскаваторных забоях на горелых отвалах. Горение лобовой части сопровождалось выделением голубоватого дыма и газов с характерным битуминозным запахом горящего угля. В ночное время на лобовой поверхности отвала наблюдалось свечение раскаленных масс. Пламенного горения газов не отмечалось.

Часто горят и самосвальные кучи, по разным причинам оказавшиеся на обочинах местных дорог. Они состоят из такой же отвальной массы, что и отвалы. Когда кучи примыкают друг к другу, можно определить скорость распространения «пожара» по их цепочке. В летнее время она равна 0,7 м/сут. Горение куч менее интенсивно, чем отвалов. Но и здесь обломки пород обжигаются до кирпично-красного цвета, нередко и спекаются друг с другом.

Общая картина горения отвала станет более понятной после «опыта с лучинкой» — примера горения простой лучинки, т. е. тонкого отщипа сухой древесины, подожженной от горящей спички. Сама спичка для опыта не подходит, поскольку ее древесина обработана специальным образом.

Лучинка горит спокойным пламенем. Это горят газы, выделяющиеся при термическом разложении древесины (пламенное горение). За распространяющимся по лучинке пламенем остается светящийся стерженек. Это горит (тлеет) уголь — второй продукт термического разложения древесины (ее углефикации). Со стороны сгоревшего конца лучинки стерженек довольно быстро сгорает (гаснет); на месте его остается чрезвычайно легкий пористый несветящийся остаток «пепельного» цвета — это пепел, зола, негорючий минеральный остаток. Чтобы убедиться в том, что светящийся стерженек является углем, достаточно его погасить, например, стряхнув в чашечку с водой. Это черный древесный уголь, который горит без пламени, т. е. тлеет. При тлении более крупных масс древесного угля образуется заметное количество окиси углерода CO, горящей над тлеющей массой голубоватым пламенем.

Таким образом, горение сопровождается углефикацией части горючего материала в зоне, где высокая температура соседствует с недостатком кислорода. Образующийся при этом уголь может сгореть (протлеть), как в нашем опыте, а может в том или ином количестве сохраниться, если подток кислорода был ограничен.

Подобное наблюдается и при горении отвалов. Во время горения лобовой части отвала (см. выше) извлекались куски пород из-под активно горящего слоя. Они были раскалены, но не обожжены, были «закопченными». Такие же куски находились и под горящими слоями в самосвальных кучах. В потухших кучах встречались куски аргиллитов, одна половина которых была красная (обожженная), а другая половина — черная («углефицированная»). Кстати, такие куски — обычное явление в шлаковых отходах печного отопления и в отвалах котельных.

В масштабах горелого отвала углефицированные участки в экскаваторных забоях выглядят весьма внушительно на красном фоне горельников (см. рис. 1). Они названы нами черными блоками (black blocks) и на первых порах (лето 1982 г.) особого внимания не привлекли: невзрачные рыхлые черные массы с большим количеством «сажи», сильно пачкающие руки. На описании черных блоков остановимся более детально, поскольку это явление минерологам ранее не было известно. Детальная же характеристика горелого материала («базальты», «спёки», горельник) приведена нами ранее [16].

Прежде нужно подчеркнуть, что каменный уголь углем, по сути дела, не является. Это сложное горючее вещество, богатое летучими компонентами. А уголь (древесный, например) — практически чистый углерод. Кусочек каменного угля из Челябинского бассейна (а это угли бурые, группы БЗ) при прокаливании в закрытой трубке выделяет много летучих веществ, осаждающихся на стенках трубки в виде капель темно-бурой жидкости.

В очагах горения в отвалах каменный уголь сгорает, оставляя некоторое количество золы. А в участках, сильно прокаленных при ограниченной аэрации (в будущих черных блоках) куски угля теряют летучие и углефицируются, т.е. превращаются в «настоящий уголь». Сначала эти куски мы называли «шунгитом», а затем решили, что лучше называть их термоантрацитом по аналогии с прокаленным углем в зонах контакта угольных пластов с интрузиями траппов.

При переходе в термоантрацит кусок каменного угля уменьшается в объеме: образуется ясно выраженный зазор между его поверхностью и окружающей отвальной массой. Блеск куска меняется от смолистого до металлоидного, резко возрастает твердость. На дифрактограмме появляются заметные отражения тонкодисперсного графита. Содержание углерода доходит до 93 мас. % и выше.

Летучие, выделяющиеся при формировании черных блоков, создают особую атмосферу в отвале. Часть их сгорает внутри отвала, а часть выходит в виде газовых струй (см. ниже) к поверхности, отлагая на хребтовой и вершинной частях битуминозные асфальтоподобные коры с примесью кристалликов серы [16].

Можно сказать, что процессы, идущие при формировании черного блока — некоторый аналог процессов в коксовой батарее: в итоге сухой перегонки каменного угля образуется углеродный продукт (кокс или термоантрацит) и горючие газы.

Осаждение тонкодисперсного углерода типа газовой сажи, пропитывающего массу черного блока, по-видимому, связано с окислением метана при ограниченном доступе кислорода: $\text{CH}_4 + \text{O}_2 \rightarrow \text{C} + \text{H}_2\text{O}$. По этой схеме получают промышленную газовую сажу. Также возможен

распад окиси углерода: $2\text{CO} \rightarrow \text{C} + \text{CO}_2$ (реакция Белла). Кроме того, происходит углеродизация зерен карбонатов в обломках аргиллитов, алевролитов и других пород.

Образование «углефицированного» черного блока — неизбежное явление при горении больших масс углесодержащих пород. Но горение отвала — более сложный процесс, чем «опыт с лучинкой». Нами установлено, что в черных блоках широко развит процесс углеродизации карбонатов: за счет куска доломита, анкерита или сидерита возникает углеродная псевдоморфоза волокнистого или землистого строения. Са, Fe и Mg иногда практически полностью выносятся горячими газами и отлагаются в виде новообразований (силикатной скорлупы), окружающих псевдоморфозу. В итоге, несмотря на потерю углеродсодержащих летучих, содержание «горючего» углерода в черном блоке выше (15—20 мас. %), чем в исходной отвальной массе. Это позволило нам рекомендовать материал черных блоков в качестве отошающей топливной добавки при производстве грубой керамики (кирпич и др.).

В термически активном терриконе черные блоки горят (тлеют) по периферии, превращаясь в красноватый рыхлый горельник. Реже горение их идет интенсивно, по-видимому, с участием горючих газов, что приводит к образованию иногда черных спекшихся масс и шлаков.

Контакты между горельником и черным блоком очень резкие. Иногда граница «красное-черное» четко разделяет даже обломки менее 1 см в поперечнике.

При горении черных блоков сгорают термоантрацит, сажистый углерод, графит, карбиды, сульфиды и др. На месте обломков термоантрацита остаются чрезвычайно хрупкие и легкие пористые скелеты розоватого цвета, имеющие форму исходных кусков. После сгорания кристаллов сульфидов и карбидов железа остаются тонкозернистые гематитовые псевдоморфозы. Они являются надежным признаком того, что до обжига данный материал отвала прошел стадию черного блока.

Температура в некоторых черных блоках достигала 1200 °С и несколько выше: неоднократно отмечалось плавление кристаллов и агрегатов пирротина. Но в большинстве отвалов температура в черных блоках вряд ли была значительно выше 600—800 °С.

В высокотемпературных черных блоках аргиллиты переходят в кордиеритовые породы, карбонатные породы углеродизируются, уголь переходит в термоантрацит, куски дерева (шпалы, крепь и др.) превращаются в «крепкий и звонкий» древесный уголь. Железные предметы замещаются магнетитом, иоцитом и карбидами железа [16].

Наблюдаемые в экскаваторных забоях черные блоки — непротлевшие реликты более крупных черных отвальных масс. В тех случаях, когда экскаваторные работы велись на горящих еще терриконах (например, летом 1986 г. на отвале шахты 45 в Копейске), вскрытые черные блоки в забоях тлели. При ветреной погоде в нишах забоев была видна раскаленная масса (оранжево-красное свечение). Горение сопровождалось выделением SO_2 (горение сульфидов); дыма и битуминозного запаха не было. Материал горячего черного блока, отложенный экскаватором в виде кучи высотой около 3 м, за несколько суток протлел, превратившись в рыхлый и пыльный горельник розовато-серого цвета.

Образование углеродизированных продуктов при горении большинства материалов — результат одновременного горения массы материала. Это обусловлено как недостаточно высокой горючестью материала, так и неравномерностью аэрации. При обеспечении достаточной аэрации всех микрообъемов массы даже «слабогорючих» веществ происходит вспышка или взрыв. Примером могут служить широко известные взрывы пыли (угольной, древесной, сульфидной и многих других).

Минерализация высокотемпературных черных блоков (например, террикона шахты 45 в Копейске) чрезвычайно своеобразна. В них широко развиты графит, когенит и FeS_4 ?, самородное железо, безводные фториды, фторо- и хлоросиликаты, моносulfиды железа. В черных блоках отвала шахты 45 установлены новые минеральные виды: рорисит, аквацитит, мезогидрит, ритмит, игумновит, F-Mg-роговая обманка, хлоросидерит, святославит и дмиштейнбергит. Набор поистине «космический»!

3. Новые минеральные виды и разновидности

В горелых отвалах Челябинского бассейна установлено 215 минералов [12, 16]. Минералы не горелой массы в этот список не входят. Среди изученных минералов 48 новых минеральных видов и 9

новых минеральных разновидностей (табл.). Установлено новых для СССР и России 19 и для Урала 26 минералов [12].

4. Новые соединения, полиморфы, эфемеры

Новые соединения. Установлен ряд минералов, представляющих новые химические соединения в «Системе минералогии».

1. Сложные сульфиды

1) полисульфид-тиосульфат-гидроксид кальция, водный – $\text{CaS}_5 \cdot \text{Ca}_2\text{SO}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20 \text{H}_2\text{O}$, моноклинный (баженовит). Найден в «черных желваках», являющихся измененными ксенолитами

Таблица

Новые минеральные виды и разновидности, установленные при изучении горящих отвалов Челябинского угольного бассейна

Название	Формула	Сингония	«Сообщение»
Аквацитит	CaCl_2	ромб	7
Альбовит	$\text{Ca}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{CaCl}_2$	мон	5
Амминит	$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$	ромб	2
Афанасьеваит	$\text{Ca}_8[\text{Si}_2\text{O}_7]_2\text{Cl}_2\text{O}$	куб	5
Ацикулит	CaFe_2O_4	ромб	2
Баженовит	$\text{CaS}_5 \cdot \text{Ca}_2\text{SO}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$	мон	1
Белошарит	$3\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot \text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	ромб	5
Годовиковит	$\text{NH}_4(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{SO}_4)_2$	триг	-
Грандиферрит	CaFe_4O_7	триг	3
Демидовскит	$\text{Ca}_{18}\text{Fe}^{3+}_{15}\text{AlSi}_4\text{O}_{47}\text{Cl}_6$	куб	9
Дмиштейнбергит	$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	гекс	2
Ефремовит	$(\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2(\text{SO}_4)_3$	куб	-
Игниколорит	$\text{FeS}_2 \cdot 0.7\text{CaCO}_3 \cdot 2.8\text{H}_2\text{O}$	гекс	4
Игумновит	$\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_2\text{Cl}_4$	куб	6
Кальдекагидрит	$\text{CaAl}_2\text{O}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	гекс	7
Копейскит	$(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$	ромб	1
Коркиноит	$\text{Ca}_4(\text{SO}_4)_2(\text{CO}_3)_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	ромб	7
Красногорит	WO_3	ромб	1
Красносельскит	CoWO_4	мон	1
Кружевит	$\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{O}_{12} \cdot \text{SO}_4$	куб	6
Кутюхинит	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{CaF}_2$	мон	4
Лейкорёнит	$\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}$	тк	6
Малаховит	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg}, \text{Ca})_6(\text{Fe}^{3+}, \text{Si}, \text{Al})_6\text{O}_{20}$	тк	5
Мезогидрит	$\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	тк	6
Овчинниковит	$4\text{FeS} \cdot \text{FeO} \cdot 3\text{CaO} \cdot \text{CaCO}_3$	тетр	4
Оксиферберит	$\text{Fe}_2^{3+}(\text{WO}_6)$	ромб	-
Перковаит	$\text{Mg}_3\text{Ca}_2(\text{SO}_4)_5$	куб	4
Подногинит	$\text{Ca}_2[\text{SiO}_4]$	ромб	4
Редикорцевит	$\text{NH}_4\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	ромб	1
Ритмит	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot 3\text{CaCl}_2$	ромб	6
Рорисит	CaFCl	тетр	2
Рукавишниковит	$\text{Ca}_4[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{CaSO}_4$	ромб	5
Святославит	$\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$	ромб	2
Сребродольскит	$\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$	ромб	1
Стеклит	$\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$	триг	7
Сульфалюмит	$(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_2(\text{SO}_4)_3$	триг	1
Терриконит	$\text{NH}_4\text{Fe}^{3+}(\text{SO}_4)_2$	триг	5
Тиннункулит	$\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{N}_8\text{O}_8$	ромб	1
Торбаковаит	$\text{Ca}_4\text{Fe}_2\text{O}_6\text{Cl}_2$	тетр	4

F-Mg-гастингсит	$(K, Ca, Na)_{1-x}Ca_2(Mg, Fe^{3+}, Al)_5[Si_3AlO_{11}]F_2$	мон	3
Флюорэлластидит	$Ca_{10}[(SO_4)(SiO_4)]_6F_2$	гекс	1
F-Mg-роговая обманка	$(Na, K)_{1-x}Ca_2Mg_5[(Si, Al)_4O_{11}]_2F_2$	мон	3
Хлоросидерит	$4Fe^{2+}(OH)_2 \cdot Fe^{3+}OCl \cdot 4H_2O$	триг	9
Хлороцинкит	$ZnCl_2 \cdot 4Zn(OH)_2$	гекс	2
Челябинскит	$[Ca_3Si(OH)_6 \cdot 9H_2O][(SO_4)(CO_3)]_2$	ромб	1
Чесофиит	$Ca_9[Si_2O_7]_3 \cdot CaCl_2$	мон	6
Шелковит	$Mg_7(CO_3)_5(OH)_4 \cdot 24H_2O$	мон	7
Юниковит	$Fe^{2+}(Fe^{3+}, Al)_2Ti_3O_{10}$	ромб	11
Новые минеральные разновидности (включая чисто фтористые члены группы гумита)			
Магнезиоиоцит	$(Fe, Mg)O$	куб	2
Силикохлормайенит	$Ca_{13}Al_{14}(SiO_4)_4O_{24}Cl_4$	куб	8
Хлоргибшит	$Ca_3Al_2[SiO_4]_{3-x}Cl_{4x} (x=0.3—0.4)$	куб	6
Хлоркуспидин	$Ca_4[Si_2O_7](F, Cl)_2$	мон	7
Хлормайенит	$Ca_{13}Al_{14}(SiO_4)_{0.5}O_{32}Cl_2$	куб	8
Норбергит	$1Mg_2[SiO_4] \cdot MgF_2$	ромб	9
Хондродит	$2Mg[SiO_4] \cdot MgF_2$	мон	9
Гумит	$3Mg_2[SiO_4] \cdot MgF_2$	ромб	9
Клиногумит	$4Mg_2[SiO_4] \cdot MgF_2$	мон	9

Примечание. «Сообщения» — порядковый номер сообщений о находках новых минералов в отвалах Челябинского бассейна (публикации в Уральском минералогическом сборнике за 1993—1997 гг. и других сборниках за 1988—1997 гг.). Полный список этой литературы дан в [12].

пиритизированных сидеритов в «базальтах» отвала разреза «Коркинский». Спутники: ольдгамит, железо, пирротин, сера. До сих пор полисульфиды и тиосульфаты в минералогии не были известны; 2) сульфид-карбонат Fe и Ca, водный — $FeS_2 \cdot 0.7CaCO_3 \cdot 2.8H_2O$, гексагональный (игниколотит). Найден в «черных желваках» (см. баженовит); 3) сульфид-оксид-карбонат Fe и Ca — $4FeS \cdot FeO \cdot 3CaO \cdot CaCO_3$, тетрагональный (овчинниковит). Найден в «базальтах» отвала разреза «Коркинский» на месте сильно переработанных ксенолитов карбонатных пород. Спутники: пирротин, сребродольскит, силикаты.

2. Силикооксиды

1) $Ca_{13}Al_{14}(SiO_4)_4O_{24}Cl_4$, кубический (силикохлормайенит). Содержание $SiO_2 = 5—18$ мас. %. Образуется на границе кусков окаменелого дерева и окружающей их силикатной корки («скорлупы»). Спутники: хлормайенит, сребродольскит, флюорэлластидит;

2) $Ca_{18}Fe^{3+}_{15}AlSi_4O_{47}Cl_6$, кубический (демидовскит). $SiO_2 = 9.2$ %. Обнаружен в силикатной «скорлупе», окружающей кусок измененного окаменелого дерева. Выделения демидовскита расположены у границы «скорлупы» с сильно обожженным горельником;

3) $Ca_2(Fe^{3+}, Mg, Ca)_6(Fe^{3+}, Si, Al)_6O_{20}$, триклинный (малаховит). $SiO_2 = 8.1$ %. Встречен в «базальтах» разреза «Коркинский» на границе силикатов и сильно переработанных ксенолитов карбонатных пород. Спутники: мелилит, пироксены, магнезиоферрит;

4) $Ca_2(Fe^{3+}, Mg)_6(Al, Si)_6O_{20}$, триклинный (доррит). $SiO_2 = 11—12$ %. Встречен вместе с малаховитом.

3. Высокохлористые хлорид-силикаты

- 1) $Ca_8[Si_2O_7]_2Cl_2O$, кубический (афанасьевит)... 6.19 мас. % Cl;
- 2) $Ca_9[Si_2O_7]_3 \cdot CaCl_2$, моноклинный (чесофиит)... 7.33 —“—;
- 3) $Ca_3Al_2[SiO_4]_{3-x}Cl_{4x}$ ($x = 0.3—0.4$), кубический (хлоргибшит)... 10—12 —“—;
- 4) $Ca_2[SiO_4] \cdot CaCl_2$, моноклинный (альбовит) ... 22.72 —“—;
- 5) $Ca_3Al_2[SiO_4]_2Cl_4$, кубический (игумновит)... 28.75 —“—;
- 6) $Ca_4[SiO_4]_2 \cdot 3CaCl_2$, ромбический (ритмит)... 31.06 —“—.

Первые четыре минерала находятся в составе силикатных корок, окружающих куски обожженного окаменелого дерева. Игумновит и ритмит — характерные минералы черных блоков, обогащенных CaCl_2 (аквацитом).

4. Ферриты кальция

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

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

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

4) $\text{CaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$, кубический (суперферрит). Известны только псевдоморфозы грандиферрита и гематита по октаэдрам и зернам суперферрита;

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

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

7) $\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Mg})_6(\text{Al}, \text{Si})_6\text{O}_{20}$, триклинный (доррит). Силикооксид, как и малаховит.

5. Минерал, содержащий NH_3

$[\text{Zn}(\text{NH}_3)_2]\text{Cl}_2$, ромбический (амминит). Комплексное соединение цинка с молекулами NH_3 в качестве лиганда и цинком в качестве центрального атома: дихлородиамминцинк, диамминцинкхлорид.

Новые полиморфы. Это два аналога анортита:

1) $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, ромбический (святославит). Найден в виде мелких топазоподобных бесцветных кристаллов на стенках трещин в древесном угле из черного блока отвала шахты 45 (Копейск). В этих же трещинах присутствуют кристаллы анортита, когенита, троилита, фаялита, хондродита, титанита, графита, дмиштейнбергита и псевдоморфозы железа и графита по высокоуглеродистому карбиду железа;

2) $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$, гексагональный (дмиштейнбергит). Бесцветные и беловатые мелкие гексагональные таблички; встречен вместе со святославитом.

Находки полиморфов самого распространенного минерала, анортита, по нашему убеждению, — минералогическая находка века, наряду с открытиями плотных модификаций SiO_2 (коэсит и стишовит) и гексагональной модификации углерода (лонсдэлит).

Исчезнувшие минералы - эфемеры.

1) MgSO_4 , сингония? (безводный сульфат магния). Был широко распространен в горящих отвалах. По причине высокой гигроскопичности превращен в эпсомит и другие водные сульфаты магния. Образовывал толстые кристаллические корки вокруг скоплений пирротина, подвергавшихся обжигу при тлении черных блоков (отвал шахты 45). Кристаллизовался одновременно с мелкими кристаллами вагнерита, о чем свидетельствуют индукционные поверхности на последних. Впоследствии превращен в эпсомит. Широкое распространение эпсомита в горелых породах дает основания предполагать, что MgSO_4 был рядовым высокотемпературным продуктом в горящих отвалах;

2) $\text{FeC}_4(?)$, кубический (высокоуглеродистый карбид железа). Детально описан ранее [16]. В настоящее время представлен микрокристаллическими псевдоморфозами, состоящими из графита и железа. По общему характеру соответствует широко известному клифтониту, принимаемому за псевдоморфозы по кристаллам алмаза. Широко распространен в черных блоках совместно с когенитом, графитом, фаялитом, моносulfидами железа и др.;

3) $\text{CaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$, кубический (суперферрит). Представлен псевдоморфозами грандиферрита и гематита по октаэдрическим кристаллам. Валовый химический состав псевдоморфоз соответствует $\text{CaO} \cdot 3\text{Fe}_2\text{O}_3$. Возможно, что исходные кристаллы имели структуру шпинели. Нередок в кусках ферритов, возникших при обжиге высокожелезистых карбонатных пород.

Приведенными примерами список исчезнувших минералов не исчерпывается. Встречены псевдоморфозы ангидрита по высокотемпературному CaSO_4 (в полостях «базальтов»), подногинита по более высокотемпературной модификации $\text{Ca}_2[\text{SiO}_4]$, по кристаллам соды, моноклинной серы и др. Эти объекты изучены недостаточно детально и здесь не рассматриваются.

5. Классификационные переходы

Многие высокотемпературные минералы отвалов имеют «переходный» состав между силикатами и сульфатами, карбонатами или хлоридами. Есть также карбонат-сульфиды, хлорид-оксиды и др. Эти явления мы называем классификационными переходами.

Пневматолитовые высокотемпературные минералы из горелых отвалов во многих случаях представлены «соединениями с добавочными анионами» (F' , Cl' , O'' , SO_4'' , CO_3'' и др.), а ряд минералов представлен просто фторидами, хлоридами или сульфатами. Из 100 высокотемпературных минералов из отвалов 33 являются соединениями с добавочными анионами. Многие из них слагают существенные объемы минеральных новообразований.

Классификационные переходы в первую очередь реализуются в виде межтиповых переходов (например, кислородное и бескислородное соединения) и межклассовых переходов (тип соединения один, классы разные, см. ниже классификацию минералов). Конкретными минералами межтиповых переходов являются (см. таблицу): ритмит (хлорид—силикат), торбаковаит (хлорид—оксид), кутюхинит (фторид—силикат), игниколорит (карбонат—сульфид) и др. Межклассовые переходы: белошарит (гидроксид-сульфат), коркиноит (сульфат—карбонат), челябинскит (сульфат—карбонат—гидроксид), шелковит (гидроксид—карбонат) и др.

В качестве примеров классификационных переходов в области «обычных» минералов можно привести многие силикаты с F и Cl (топаз, скаполит, F- и Cl-амфиболы и слюды) — межтиповые переходы и многочисленные «смешанные» сульфаты, карбонаты и фосфаты — межклассовые переходы. В верхней части земной коры особенно широко представлены переходы с участием гидроксила $[\text{OH}]'$ (сульфаты, фосфаты, силикаты — амфиболы и слюды и др.).

Широкое развитие классификационных переходов в горящих отвалах обусловлено действием известной закономерности: чем выше температура минералообразования, тем сильнее сглаживаются кристаллохимические различия между атомами и их группами и тем шире реализуются возможности изоморфных замещений.

6. Газовый массоперенос в горящих отвалах

Массоперенос в горящем отвале является газовым, высокотемпературным. Достоверными подтверждениями этому служат многочисленные факты: непосредственно наблюдаемый нами рост кристаллов гематита на поверхности кусков горельника в местах выхода струй горячих газов, широко распространенные нарастания кристаллов сульфидов и карбидов на поверхность металлических предметов и обломков пород, многочисленные кристаллы анортита на стенках трещин в кусках древесного угля (здесь же встречены аналоги анортита святославит и дмиштейнбергит, а также когенит, графит, троилит, титанит, хондродит и др.).

Поскольку газовые струи могут менять свое направление, интенсивность и состав, в минерализованных участках отвалов широко развиты явления телескопирования. Примером может служить образование ольдгамита CaS за счет извести CaO при наложении сероводородных струй на ранее обожженные куски окаменелого дерева, сложенные известью и периклазом: $\text{CaO} + \text{H}_2\text{S} \rightarrow \text{CaS} + \text{H}_2\text{O}$. Такие сульфидизированные «орехи» легко определяются по их форме и по многочисленным мелким реликтовым зернам периклаза в плотных агрегатах ольдгамита, заместивших ядро «ореха».

Возможны случаи, когда потерявшие часть Cl и F куски каменного угля (превращенные в термоантрацит), попав в «новые» газовые струи, могут обогатиться хлором и фтором даже в большей степени, чем исходный уголь.

Струи горячих газов нередко кардинально изменяют (до полного уноса) ранее отложенные пневматолиты. Так, из корок когенита, отложенных на стенках трещин в кусках алевролитов, иногда выносятся весь углерод. Корка становится чисто железной, своеобразной жостью: легко отделяется от породы, гнется и куется, звенит, как жость. Углерод часто выносятся и из

псевдоморфоз железа и графита по кристаллам высокоуглеродистого карбида FeC_4 ? На месте псевдоморфозы остается губчатая масса чистого железа. В других случаях из таких псевдоморфоз полностью выносятся железо — остается пористая графитовая масса. Наблюдались и случаи полного выноса железа из кристаллов когенита: на месте их остались своеобразные коробочки со стенками из листочков графита. Отмечался полный унос когенита из сростаний его кристаллов с кристаллами осумилита. О бывшем присутствии кристаллов когенита свидетельствовали индукционные поверхности на осумилите и побурение (Fe) бесцветного осумилита вблизи этих поверхностей. Были обнаружены и реликты когенита в таких сростаниях.

Особенно ярко представлен газовый вынос компонентов при углеродизации кусков окаменелого дерева (доломит, анкерит) и сидеритовых пород. Куски окаменелого дерева превращаются в волокнистое углеродистое вещество с объемной плотностью 0.37 г/см^3 [16]. Из кусков выносятся практически весь Ca и существенная часть Mg и Fe.

7. Струйный транзитный концентрационный эффект

Отложение минералов из струй газов и жидкостей хорошо известно (фумаролы, минеральные источники, «черные курильщики» на дне океанов и др.). Но до сих пор не было примеров, когда были бы достоверно известны исходные концентрации переносимых элементов в областях питания струй. При изучении горелых и горящих отвалов такая возможность представилась, поскольку вся минералообразующая система в них наблюдалась (и опробовалась) от области питания до области рассеивания газовых струй [8, 15]. Наиболее детально это выполнено при изучении распределения Cl и F.

В областях питания газовых струй содержания Cl и F в негорелой отвальной массе составляет около 0.1 и 0.05 мас. % соответственно. При обжиге пород значительная часть Cl и F выносятся и попадает в газовые струи. В горельниках содержится около 0.01 % Cl и F. В породах черных блоков их содержание около 0.02 %.

Таким образом, в исходной отвальной массе и угле концентрации Cl и F низкие. Однако, в горелых отвалах локальные концентрации этих элементов могут быть очень высокими (проценты и десятки процентов). Так, в некоторых частях черных блоков безводный хлорид кальция аквацитит ($CaCl_2$) является цементом отвальной массы. В горельниках и черных блоках отмечались высокие концентрации флюорита (CaF_2) и селлаита (MgF_2). Более же низкие содержания Cl- и F-минералов — обычное явление в интенсивно горевших отвалах. Но и в таких случаях содержания Cl и F во много раз превышают их концентрации в исходной массе. Указанные особенности распределения Cl и F в горелых отвалах объясняется нами с позиций струйного газового массопереноса [8, 15].

При длительном прохождении газовой струи через реакционноспособный участок формируются продукты с высокими содержаниями хлора и фтора, на порядки превышающими содержания этих элементов в областях питания. Такое явление мы называем струйным транзитным концентрационным эффектом (СТКЭ) [12, 15] (рис. 2.).

Широкое проявление на горящих отвалах СТКЭ имеет и важное экологическое значение. Хлор и фтор в негорелой отвальной массе прочно связаны в силикатах, карбонатах и угле и заметной опасности для окружающей среды не представляют. Но высокий конический или хребтовидный отвал действует как

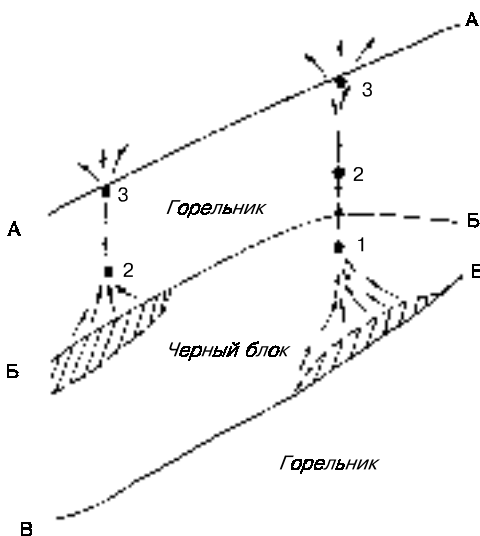


Рис. 2. Газовые струи, возникшие при горении черного блока.

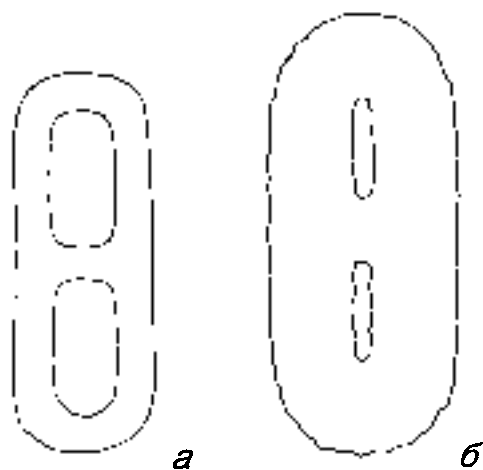
A-A — поверхность хребта террикона, B-B — верхняя граница черного блока. V-V — нижняя граница черного блока. Косая штриховка — горящие части черного блока; стрелки — газовые потоки и струи. 1, 2 — места образования высокотемпературных Cl- и F-минералов 3 — места отложения нашатыря

долговременная автономная тепловая машина, пропускающая через себя большие объемы газов [16]. Появление относительно стабильных газовых струй и СТКЭ в таких объектах неизбежно. Вследствие СТКЭ образуются локальные скопления минералов хлора и фтора, в подавляющем большинстве малоустойчивых в зоне гипергенеза (гигроскопичных и водорастворимых). Попадая с отвальной массой на дороги и другие объекты, эти скопления интенсивно заражают среду. При разработке отвалов материал хребтовой и вершинной частей, как наиболее химически опасный, следует отделять от основной массы отвала и изолировать.

8. Центробежный массоперенос при минерализации металлических предметов

Металлические предметы, попавшие в отвал, подвергаются в очагах горения интенсивной газовой коррозии. При этом очень часто они полностью минерализуются, превращаясь в те или иные оксиды.

Уже в первый полевой период летом 1982 г. мы заметили, что обгорелые в отвалах железные предметы (звенья цепи скребкового транспортера, железнодорожные костыли, куски рельсов и др.) отличаются от неизмененных аналогов большими размерами, «вздутостью» (рис. 3). Последовательность изменений размера и формы при минерализации металлических предметов схематически показана в первых наших отчетах (1983, 1985 гг.). Впоследствии эта схема повторена в [16].



При окислительном обжиге размер металлического предмета увеличивается в первую очередь за счет замещения металла оксидом. Параллельно с этим увеличивается и масса псевдоморфозы.

Рис. 3. Исходное звено скребкового транспортера (а) и метапсевдоморфоза по нему (б).

Так, звено цепи скребкового транспортера имеет массу 262 г. Расчетная масса псевдоморфозы гематита по такому звену равна 375 г. Реальная псевдоморфоза гематита по звену имеет массу 401 г [16]. Разница связана с присутствием во внешних слоях псевдоморфозы мелких обломков горелых пород.

После полной минерализации металла рост псевдоморфозы продолжается за счет переноса вещества из ее центральных частей к поверхности. При этом центральные части псевдоморфозы разрыхляются все более. Если предмет был стержнем, то при сильном и длительном обжиге псевдоморфозы по нему возникает более или менее четко выраженная труба. Это и есть явление центробежного массопереноса.

Особенно четко центробежный массоперенос наблюдался при минерализации медных проводов, помещенных в горячие фумаролы. Сначала провод покрылся коркой куприта (внутренняя зона) и тенорита (внешняя зона). Затем последовательно отлагались долерофанит, халькокианит и халькантит (последний — после извлечения пробы из фумаролы). По мере формирования внешних зон медный провод разрыхлялся до полного исчезновения. Вместо него осталась центральная цилиндрическая полость (рис. 4).

Последовательно отлагающиеся зоны отличаются все более высоким содержанием кислорода (мас.%):

Медь — Cu.....0.00	Долерофанит — $\text{Cu}_2\text{O}(\text{SO}_4)$33.45
Куприт — Cu_2O11.18	Халькокианит — $\text{Cu}(\text{SO}_4)$40.10
Тенорит — CuO20.1	Халькантит — $\text{Cu}(\text{SO}_4) \cdot 5\text{H}_2\text{O}$...57.66

Таким образом, окисленность (мас. % кислорода в продукте) вновь образующихся продуктов с ходом процесса все возрастает. Это же наблюдается и при обжиге железных предметов: внутренние зоны состоят из иоцита FeO или магнетита $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$, а внешние — из гематита Fe_2O_3 .

При сильном и длительном обжиге от исходного предмета может не сохраниться никаких следов, а

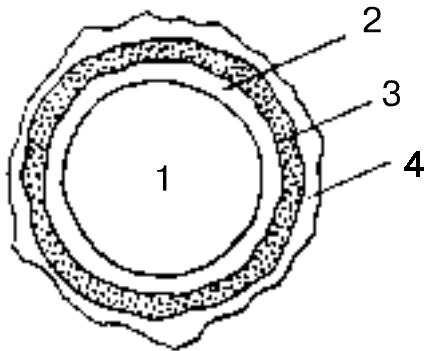


Рис. 4. Пустотелый «чехол» (метапсевдоморфоза), образовавшийся при минерализации медного провода в фумароле.
1 — полость от провода; 2 — долерофанит; 3 — халькокианит; 4 — халькантит

в окружающей породе будет более или менее ясный ореол Fe-Cu- или иной минерализации. Медные предметы в пластах спека иногда полностью исчезают, остается только более или менее ясное пятно (ореол) тенорита в виде тончайших листочков в полостях спека.

В черном блоке от кусков медного тролейного провода остается полость — точный «слепок» куска, окруженная халькопиритом или халькозином в виде цемента окружающей рыхлой массы пород.

Центробежный газовый массоперенос металлов в данных случаях, безусловно, явление очень сложное. В общем, металл «идет» навстречу кислороду (или сере) до полного рассеяния предмета. Металлическое состояние в литосфере неустойчиво вообще, как форма наивысшей концентрации одинаковых атомов в единице объема. При высокой температуре эта тенденция многократно возрастает.

В приведенных примерах минерализации металлических предметов скрыта одна из задач генетической минералогии: как проводить границу между псевдоморфозой и продуктами ее преобразования, в той или иной мере унаследовавшими форму исходного предмета. Вздувание (распухание) измененных тел происходит уже после образования полной псевдоморфозы. Данная особенность процесса не учтена А. Ф. Бушмакиным, называющим и конечные (распухшие) формы псевдоморфозами [1]. Не удивительно, что в ряду «исходный предмет — псевдоморфоза — распухшая форма» не соблюдается установленная нами ранее закономерность: с увеличением размера объектов одного рода усложняется форма и понижается симметрия [7].

В данном случае [16] звено цепи транспортера, псевдоморфоза по нему и распухшая форма — предметы разного рода. Нам кажется, что продукты дальнейшего преобразования псевдоморфоз (например, распухшие формы) можно называть метапсевдоморфозами.

Яркими примерами центробежного массопереноса являются и процессы выноса Ca, Fe и Mg из кусков окаменелого дерева при их обжиге или изменении в черных блоках с образованием «орехов» с ангидритовой или силикатной скорлупой (см. выше).

Несомненно, в различных геологических средах центробежный массоперенос проявляется не менее широко, чем в горящих отвалах. При исследовании геологических объектов в этом аспекте могут быть получены «весьма неожиданные» выводы. Выше было показано, как определенное по форме и составу тело превращается в концентрически-зональное образование типа «ореха» или вообще в «бесформенный» ореол. Мы затрудняемся дать ограничения по размерам для тел, могущих претерпевать изменения такого рода. Главное — контрастность тела по составу и форме, достаточно высокая температура и длительность ее воздействия.

Главными особенностями объектов, сформированных в условиях центробежного массопереноса, являются: 1) унаследование в той или иной степени формы исходного объекта, 2) приращение объема, 3) унаследование химического состава, 4) зональное строение.

II. РЕШЕНИЕ РЯДА ОБЩИХ ПРОБЛЕМ

1. Новая классификация минералов

Широкое развитие в горелых отвалах классификационных переходов, ранее сложившееся убеждение автора об условности классификаций, сходство свойств кислородных соединений позволили предложить новую классификацию минералов [10]. В ней все кислородные соединения объединены в тип оксидов:

Тип I. Кислородные соединения (оксиды)

Классы: Простые оксиды

Сложные оксиды: алюминаты, ферриты, манганаты, ниобаты и др. Карбонатооксиды, сульфатоксиды, силикатоксиды и др.

Тип II. Бескислородные соединения

Классы: Самородные элементы

Интерметаллиды

Карбиды, нитриды и др.

Сульфиды

Фториды, хлориды, бромиды, иодиды

Тип III. Кислородные и бескислородные органические соединения

На основе данной классификации, как нам кажется, удалось более четко обозначить ряд нижеследующих минералогических и геохимических проблем. Вообще же кислород, как главный элемент земной коры, «должен быть основанием» и при решении многих других проблем наук о Земле.

2. Закон горения больших масс углесодержащих пород.

Проблема больших пожаров в истории Земли

Ранее [16] этот закон был сформулирован нами следующим образом: «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, углистым и битуминозным веществом, техническим мусором (древесина, металлы, пластмассы и др.), то горелая масса сложена только безводными силикатами и окислами».

Теперь его формулируем так: «При полном прогорании больших масс углесодержащих пород вместо исходной массы, состоящей из водных и безводных оксидов, сульфидов, угля, битумов, технического мусора образуются в основном только безводные оксиды» [10].

Высокотемпературный (до 1200 °С и выше) окислительный процесс нивелирует кристаллохимическое разнообразие отвальной массы. Новая редакция закона отражает это более определенно, чем прежняя, основанная на традиционной классификации минералов.

Проведенные исследования горелых отвалов имеют важное значение еще в одном отношении, которое в общем виде нигде не рассматривается, хотя геологическая, минералогическая и геохимическая важность его очевидна. Имеются в виду большие пожары в истории Земли. В первую очередь речь идет о горении больших масс жидких и газообразных углеводородов (нефть, газ) и различных твердых горючих масс (угли, сланцы и др). Такие пожары могли возникнуть после «распечатывания» горючих залежей в результате крупномасштабных событий — тектонических, вулканических, импактных и других. Полученный нами материал — готовое пособие для начала исследований проблемы: «Минералогические следы больших пожаров в истории Земли».

Интересно, что многие такие следы присутствуют в загадочных высокотемпературных образованиях среди мергелей формации Natrurim в Иудейской пустыне. Здесь пятна обожженных пород многочисленны и значительны по площади [18]. Не исключено, что высокотемпературное воздействие в данном случае связано с большими пожарами — горением нефти или газа, залежи которых были «распечатаны» при тектоническом или импактном событии.

Возможно также, что широко известное ливийское стекло (Ливийская пустыня), богатое кремнеземом [4], — результат плавления пустынных песков при большом пожаре (горение нефти и

газа?). Аналогом по происхождению можно считать тенгизит — стекло, возникшее при застывании озера расплава на месте горения фонтана нефти на месторождении Тенгиз [3].

3. Геосферы, планеты, метеориты

Главным элементом литосферы Земли является кислород (около 50 мас. %). По этому признаку литосферу называют оксисферой. Такое название отражает геохимическую особенность литосферы. А главную особенность ее минералогического характера будет отражать название оксидосфера. Где проходит нижняя граница оксидосферы — вопрос дискуссионный. По крайней мере, она далека от нижней границы литосферы.

Можно предложить и минералогическое название для зоны гипергенеза литосферы. Поскольку для нее характерны гидроксиды, назовем ее гидроксидосферой.

Планеты земной группы и их спутники во внешних своих «геосферах» — тела каменные, состоящие в основном из силикатоксидов. Следовательно, Меркурий, Венера, Земля, Марс, Луна — планеты оксидного типа.

Метеориты можно разделить на типы: оксидные (каменные) и бескислородные (железные).

4. Оксидизация Земли — главное минералогическое и геохимическое последствие технической деятельности человека

В процессе оксидизации Земли кислород атмосферы и гидросферы переводится в состав оксидов: в минералы (в том числе лёд), воду и газы (CO_2 , SO_2 , оксиды азота и др.). Оксидизация Земли идет естественным путем и в результате технической деятельности человека [10].

Техническая оксидизация Земли началась с широкого применения огня и вспашки земель. В настоящее время ведущее значение приобрели:

- 1) сжигание горючих веществ и материалов. Главные оксиды CO_2 , SO_2 , H_2O , оксиды азота и разнообразные золы;
- 2) производство работ, облегчающих доступ кислорода к природным и искусственным образованиям;
- 3) производство легко окисляющихся продуктов;
- 4) внесение искусственных оксидов в природную среду;
- 5) разрушение озонового слоя Земли за счет связывания кислорода с рядом техногенных продуктов;
- 6) культивирование организмов, производящих оксиды, и другие процессы.

Ряд техногенных газообразных оксидов (CO_2 , SO_2) дают затем значительное количество твердых оксидов (карбонаты, сульфаты и др.). Сульфатизация земной коры, по Е. П. Щербаковой [17] — глобальный процесс, вызванный технической деятельностью человека.

Горение отвалов многочисленных угледобывающих предприятий — яркий пример техногенной оксидизации материала литосферы (обжиг пород) и атмосферы (выделение CO_2 , SO_2 , H_2O и других газов). Возможно, что дальнейшие исследования покажут, что не менее ярким примером естественной оксидизации Земли были упомянутые выше большие пожары.

5. Видовое состояние минералогических объектов

Количественные соотношения между числом минеральных видов M и числом минералообразующих химических элементов N в минералогических объектах (МО) до последнего времени не изучались [13]. Как будет показано ниже, эти соотношения дают новую количественную информацию о природе МО и степени их изученности.

К о э ф ф и ц и е н т К. Для минерало-геохимической характеристики МО предложен коэффициент $K = M/N$. Он показывает сколько минеральных видов в данном МО приходится на один минералообразующий химический элемент (т. е. элемент, входящий в химическую формулу минерала) [13]. При подсчетах N отдельно учитывался La, лантаноиды учитывались как $TR = 1$. Были определены K для 12 различных МО (Земля, метеориты, ряд известных минералогических провинций и месторождений). Значения K для них находятся в интервале 60.6 (Земля) и 1.8 (отдельная пегматитовая жила) [13].

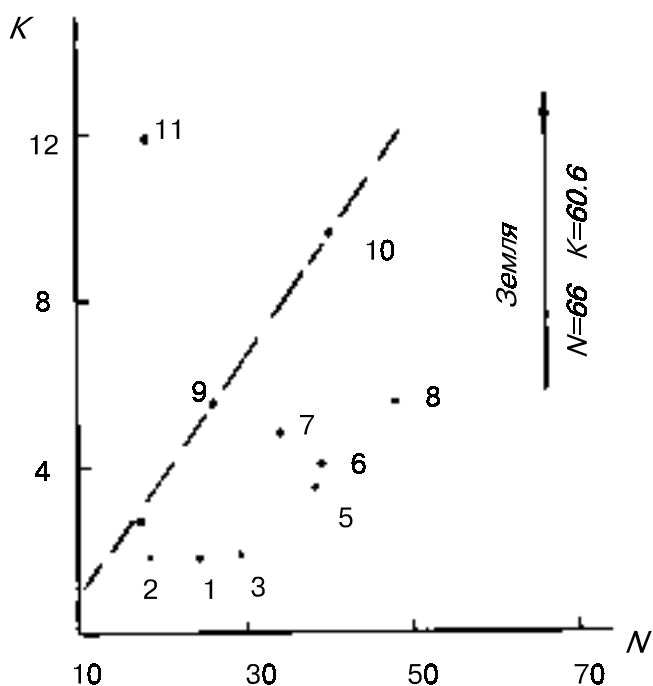


Рис. 5. Зависимость $K-N$ для ряда МО, по [13].

1 — жила «Казенница»; 2 — горелые отвалы Пенсильвании; 3 — Луна; 4 — Шубинское месторождение рутила; 5 — Березовское месторождение золота; 6 — Пайхойско-Южноновоземельская провинция; 7 — Вишневые горы; 8 — Ильменские горы; 9 — метеориты; 10 — Хибино-Ловозерский комплекс; 11 — горелые отвалы Челябинского бассейна; 12 — Земля

На рис. 5 показана зависимость $K-N$. Указанные объекты образуют две группы. Большинство из них располагается в нижней части графика, под штриховой линией. Точки Земли и горелых отвалов Челябинского бассейна вышли далеко вверх от указанной линии. Для них число минеральных видов, приходящихся на один химический элемент, гораздо выше, чем для остальных МО. Эти два МО находятся в состоянии видовой всплеска (видовой от минерального вида) (см. ниже).

Число элементов в минералах. По списку минералов (с формулами) можно определить распределение минералов по числу входящих в их формулы химических элементов ($k = 1, 2, 3$ и т. д.) (рис. 6). По этому признаку рассматриваемые МО делятся на две группы: Земля, Ильмены и горелые отвалы, метеориты и Луна. Для первых трех «земных» МО количество минералов с 1, 2 и 3 элементами в формуле относительно невелико, соответственно 20.3, 29.2 и 38.6%. А для метеоритов и Луны такие минералы очень характерны, соответственно 49.2 и 53.7%. Кроме того, количество сложных по составу минералов в «земных» МО значительно больше. Рассмотренные МО по мере усложнения химического состава минералов образуют ряд (в скобках — M и N).

- Луна (60.27)
- Метеориты (145.26)
- Горелые отвалы (215.18)
- Ильменские горы (264.48)
- Земля (4000.66)

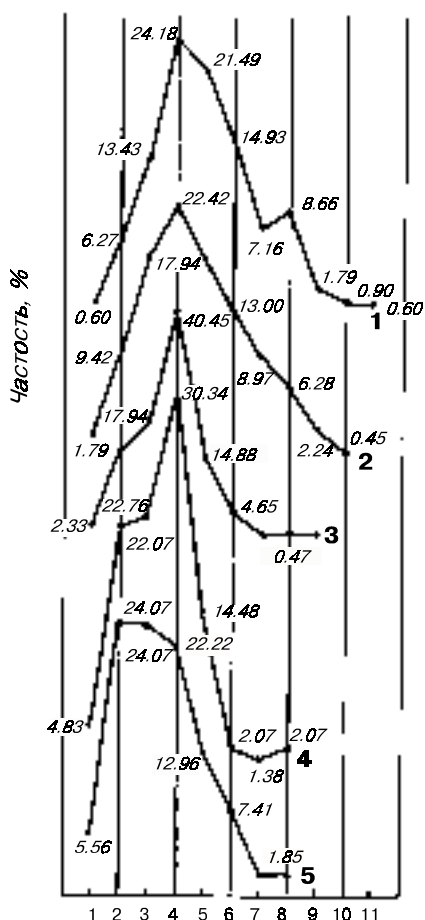


Рис. 6. Распределение минералов по числу химических элементов в их формулах (см. текст).

1 — Земля; 2 — Ильмены; 3 — отвалы; 4 — метеориты; 5 — Луна

Нужно обратить внимание на большое сходство распределений для Земли и Ильмен (см. рис. 6).

Определено также среднее число элементов, приходящихся на один минерал. По этому признаку МО образуют тот же ряд:

Луна (3.1), метеориты (3.5), горелые отвалы (3.7), Ильмены (4.5), Земля (4.7).

К существенному усложнению химического состава минералов приводят межтиповые и межклассовые переходы (см. выше). Поэтому следовало ожидать, что таких соединений на Земле будет больше, чем на Луне. Действительно, по этому признаку образуется все тот же ряд МО (в скобках — процент минералов с «переходами»): Луна (5.6), метеориты (11.7), горелые отвалы (30.2), Ильмены (42.8), Земля (49.9). «Земные» МО имеют высокий процент в основном за счет присутствия групп [ОН]- («гидроксидные переходы»). В минералах метеоритов и Луны осуществлены переходы: Si — P, Si — Cl, PO₄ — Cl, S — OH, F — OH.

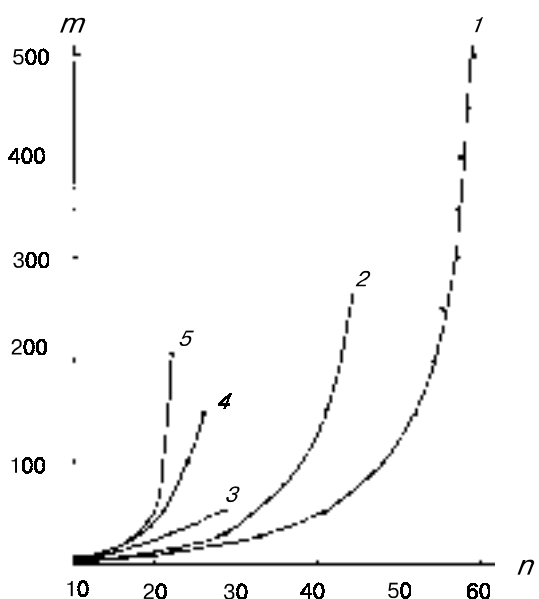
Конечно, главным отличием минеральных миров литосферы Земли и литосферы Луны является широкое развитие на Земле минералов, содержащих OH⁻ и H₂O.

В отношении процентного содержания бескислородных минералов «основной ряд» несколько нарушается: метеориты (31.0), Луна (27.8), Земля (16.1), Ильмены (8.7), горелые отвалы (7.9). Цифры для метеоритов и Луны очень близки. Среди минералов Земли широко распространены сульфиды и галоиды. А продукты в горелых отвалах сильно окислены в процессе длительного обжига.

О т н о ш е н и я m–n в МО. Ценную информацию о МО можно получить, исследуя отношения числа минералов (m) и числа минералообразующих элементов (n) в определенных выборках из общего числа M. Для этой цели алфавитные списки минералов с их формулами являются «хорошо перемешанными» массивами данных [14].

Для рассмотренных выше пяти МО составлены графики зависимости m–n (рис. 7). Эта зависимость является экспоненциальной [14]. Относительно представленных данных можно сделать следующие заключения. Во-первых, резко выделяются особенностями формы кривые для Земли и горелых отвалов. Резко выраженное их воздымание связано со значительным приростом числа минералов при незначительном приросте числа химических элементов. Это характерно для МО, находящихся в состоянии видового всплеска (см. выше). О причинах этого явления будет сказано ниже. Во-вторых, обособленное положение кривой для метеоритов заставляет предполагать наличие определенных генетических отличий этого МО от материала внешних зон Земли и Луны. В-третьих, весьма резкое воздымание кривой для Земли служит важным аргументом в пользу высказанной А. П. Хомяковым гипотезы об отсутствии естественного предела числа минеральных видов [6].

К о н с е р в а ц и я, в с п л е с к и и д е г р а д а ц и я МО. Примером МО, находящихся в состоянии видовой консервации, является Луна. Видовое изменение состава ее поверхности (и более глубоких слоев?) со временем, по-видимому, незначительно. Обусловлена такая стабильность отсутствием на Луне кислорода, воды и организмов. Постоянно происходящие импактные воздействия, по-видимому, не приводят к значительным изменениям видового состава лунного грунта.



В состоянии видовой консервации находится и вещество метеоритов, движущихся в космическом пространстве. Заметные нарушения этого состояния происходят во время движения метеоритов в атмосфере Земли, при ударе и при нахождении в земных условиях. В состоянии видовой консервации находятся и многочисленные МО, расположенные вне зоны гипергенеза Земли.

Видовой всплеск Земли, конечно, обусловлен активным воздействием кислородсодержащей атмосферы, воды и организмов

Рис. 7. Зависимость m–n для ряда МО.
1 — Земля; 2 — Ильменские горы; 3 — Луна; 4 — метеориты;
5 — горелые отвалы Челябинского бассейна

на МО в зоне гипергенеза. Приведенные выше сравнения Земли и Луны показывают, что сделали кислород, вода и организмы с «первичным» («примитивным») веществом на Земле. Однако, если бы Земля не была тектонически активной планетой, такого интенсивного видового всплеска она бы не имела. Постоянно идущие процессы эрозии («распечатывания») ранее законсервированных МО приводят к возникновению множества нестабильных соединений (эфимеров), которые в условиях длительной консервации сильно сокращаются в числе, переходя в ряд немногочисленных стабильных веществ.

Для горелых отвалов видовой всплеск вызван «распечатыванием» их экскаваторными работами (некоторый аналог тектонических и эрозионных способов «распечатывания» МО на Земле!). В забоях термически активного террикона наряду с первичными высокотемпературными эфимерами (CaCl_2 , CaO и др.) образуются короткоживущие продукты их изменения ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и др.). Состояние всплеска длится относительно недолго (дни, недели, месяцы): высокотемпературные эфимеры исчезают, а многие продукты их изменения преобразуются в более простые и устойчивые в зоне гипергенеза соединения или полностью растворяются.

Постепенно горелый отвал переходит в стадию относительной консервации, а затем и в стадию деградации. На старых, давно потухших отвалах первичные эфимеры исчезли, водорастворимых минералов почти нет, широко развиты простые гидроксиды (M значительно уменьшилось, при малом изменении N). Заметим, однако, что хотя по отношению к термически активному отвалу старый отвал находится в стадии деградации, но сам по себе он теперь будет в стадии относительной консервации. Это еще один пример условности классификаций и «текуести» границ их объектов.

Отметим, что «распечатывание» МО может происходить и вследствие событий космического характера, например, импактных. Эффект видового всплеска при этом усиливается образованием высокобарических минералов (коэсит, стишовит, лондэлеит и др.) и привнесением вещества ударяющего тела (ударника).

Конечно, внешние воздействия могут приводить и к полному уничтожению МО (плавление и испарение льда, растворение соляных масс и др.).

Н е к о т о р ы е з а д а ч и. Анализ концепции видового состояния минералогических объектов приводит к выводу о том, что большинство МО Земли изучено недостаточно, чаще всего — весьма односторонне. Рассмотрим пример широко известного и давно изучающегося МО — Ильменских гор. Выше не раз отмечалось сходство этого МО с Землей (см., например, рис. 6). Ильмены находятся в зоне гипергенеза, в составе их минералов находится большинство минералообразующих химических элементов Земли (48 из 66), а коэффициент K их равен только 5.5 [13]. Конечно же, реально минералогический мир Ильмен находится в состоянии видового всплеска. Значит, изучение его проведено односторонне. Используя схему рис. 5 можно предположить, что коэффициент K для Ильмен будет не менее 20. При $N = 48$ число M составляет не менее 960. Сейчас же известны в Ильменах «только» 264 минерала [13]. Безусловно, такой расчет можно принимать только как «проблему тенденций». Однако, совершенно ясно, что в Ильменах недостаточно изучены «обычные» (породообразующие) и гипергенные минералы, а также микроминералы во всех типах МО.

6. О концепции современной минералогии

Комиссией по новым минералам и названиям минералов Международной минералогической ассоциации (КНМ ММА) опубликован документ «Содержание понятия минерал» [2]. Комиссия считает, что «вещества, образованные при косвенном влиянии человека, не могут рассматриваться в качестве минералов» [2]. Кроме того, биогенные вещества («камни» в организмах, кристаллы в костях и зубах, в тканях растений, в раковинах и т. д.) не могут считаться минералами [2].

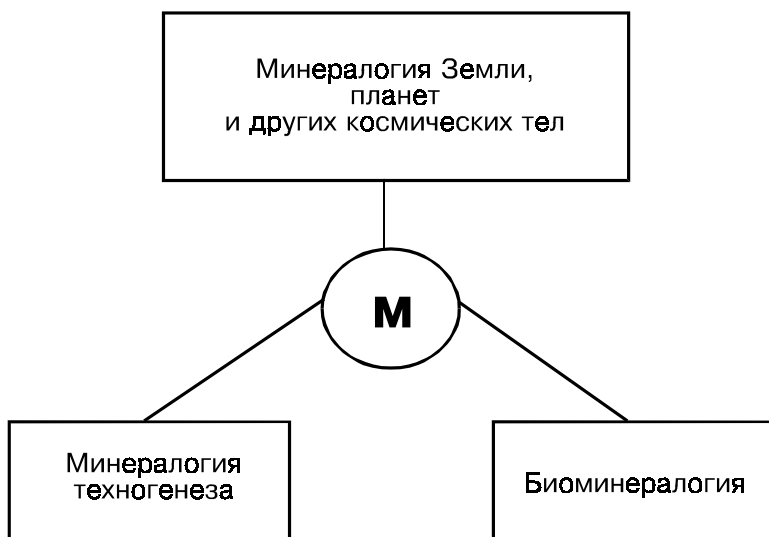


Рис. 8. Главные части современной минералогии.

В недавно опубликованной статье [11] мы попытались показать, что при современном состоянии атмосферы, гидросферы (наземной и подземной), верхних слоев литосферы Земли уже практически не могут возникнуть минералы, не несущие следов «косвенного влияния человека». Все среды современного минералообразования загрязнены техническими продуктами (включая разнообразные технические поля — сейсмические, электрические, магнитные и др.). Со временем это влияние значительно возрастает. Литосфера (совместно с гидросферой и атмосферой) неукротимо превращается в техносферу Земли.

Сложилась ситуация, когда впервые определение понятия минерал приходится принимать под давлением перечисленных выше обстоятельств. Иначе из минералогии придется изымать обширную область объектов, кстати, для этой науки традиционных (минеральные образования в отвалах шахт и карьеров, в горных выработках, в местах складирования руд, в витринах музеев, наконец).

Нами предложено следующее определение предмета современной минералогии — минерала: «Минералом называется природное кристаллическое вещество» [11]. Оно может возникнуть на Земле, на других планетах и иных космических объектах, при косвенном влиянии человека (например, в горящем отвале) и в организмах. Таким образом, современная минералогия — наука о естественном кристаллическом веществе Вселенной [1].

Ядром современной минералогии является минералогия Земли, Луны, планет, метеоритов и других космических тел. Важные части современной минералогии — минералогия техногенеза и биоминералогия (рис. 8). Мы считаем, что перспективность минералогии техногенеза в некоторой степени подтверждается и результатами проведенного исследования. Знаменательно, что проявления техногенеза начались уже и вне Земли. Они связаны с воздействием космических аппаратов (и астронавтов) на поверхностные слои Луны, а также Венеры и Марса. Возможно, в недалеком будущем осуществляются попытки изучения и минералогических последствий таких воздействий. Реальной становится и внеземная биоминералогия. В первую очередь это относится к биоминералогии человека в условиях невесомости и во время пребывания (и после него) на других космических телах.

Заключение

Выявлен и изучен цельный мир минералогического объекта, возникшего в результате технического вмешательства человека в геологическую среду. В минералогическую систематику введено 50 новых минеральных видов и разновидностей, среди них несколько типов химических соединений, ранее в «Системе минералогии» не известных. Значительное количество минералов является первыми находками для СССР, России и Урала. Установлен ряд новых явлений, роль которых в «геологическом» минералообразовании еще не оценена, но предполагается значительной.

Полученные сведения о минералах и процессах, мы надеемся, могут быть использованы при решении геологических проблем, задач керамического производства и вяжущих веществ, коррозии металлов и др. В частности, результаты наблюдений процессов минерализации металлов в высокотемпературных окислительных и восстановительных условиях могут быть полезны при

разработке технологий подземной газификации горючих полезных ископаемых. По-видимому, довольно скоро станет актуальной и определенная нами проблема больших пожаров в истории Земли.

Разработанные нами практические рекомендации [16] частично использованы при утилизации горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Они могут быть полезны и при будущем освоении новых угольных объектов, масштабы добычных работ на которых будут гораздо значительнее нынешних [5]. То же относится и к нашим рекомендациям экологического характера [16].

Наконец, отметим, что комплексное детальное изучение отдельно взятого регионального минералогического объекта позволило выделить и, хотя бы предварительно, решить ряд общих проблем, начиная с новой классификации минералов и кончая концепцией современной минералогии.

Литература

1. Бушмакин А. Ф. Изменение размеров и формы металлических предметов при их минерализации // Минералогия месторождений Урала: Тез. докл. 2-го региональн. совещ. «Минералогия Урала» Миасс: ИМин УрО РАН, 1990. С. 169—172.
2. Никель Е. Х. Содержание понятия минерал // Зап. Всер. минерал. о-ва, 1995. В. 4. С. 98—100.
3. Потапов С. С. Тенгизит — техногенное стекло // Уральск. минерал. сборн. № 3. 1994. С. 174—179.
4. Тектиты. М.: Мир, 1966. 303 с.
5. Уилсон К. Л. Уголь — мост в будущее. М.: Недра, 1985. 262 с.
6. Хомяков А. П. Новейшие минералогические открытия и пересмотр концепции ограниченности числа минеральных видов // Структура и эволюция минерального мира: Матер. к Международн. минерал. семинару. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 1997. С. 98.
7. Чесноков Б. В. Зависимость формы от размера объектов // Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. С. 112—115.
8. Чесноков Б. В. Струйное движение вещества при минералообразовании // Теория минералогии: Тез. докл. 2-го Всесоюзн. совещ. Т. 2. Сыктывкар: ИГ КомиНЦ УрО РАН, 1991. С. 42—43.
9. Чесноков Б. В. Лаборатории минералогии техногенеза — пять лет // Новые данные по минералогии эндогенных месторождений и зон техногенеза Урала. Свердловск: УрО АН СССР, 1991. С. 115—119.
10. Чесноков Б. В. Новая классификация минералов и опыт ее использования // Уральск. минерал. сборн. № 6. 1996. С. 211—217.
11. Чесноков Б. В. Современная минералогия — наука о кристаллическом веществе Вселенной // Там же. С. 218—224.
12. Чесноков Б. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение десятое — обзор результатов за 1982—1995 г.г.) // Уральск. минерал. сборн. № 7. 1997. С. 5—32.
13. Чесноков Б. В. Коэффициент К — новая характеристика минералогических объектов // Там же. С. 264—268.
14. Чесноков Б. В. Соотношение числа минералов и числа минералообразующих химических элементов в минералогических объектах // Уральск. минерал. сборн. № 8. 1997. С. 258—263.
15. Чесноков Б. В., Бушмакин А. Ф., Вилисов В. А., Крецер Ю. А., Макагонов Е. П., Нишанбаев Т. П., Рочев А. В. Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение одиннадцатое) // Там же. С. 258—263.
16. Чесноков Б. В., Щербакова Е. П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). М.: Наука, 1991. 152 с.
17. Щербакова Е. П. Сульфатизация земной коры — последствие технической деятельности человека // Уральск. минерал. сборн. № 5. Миасс: ИМин УрО РАН, 1995. С. 23—27.
18. Gross S. The mineralogy of the Natrurim Formation, Israel // Geol. Surv. Israel Bull. 1997. P. 70. P. 1—80.