

УДК 550.8.05 + 622.693

Канд.геол.-мин.наук МЕЛЬНИКОВ В.С., инж. ГРЕЧАНОВСКАЯ Е.Е. (ИГМР НАН Украины, г.Киев)

МИНЕРАЛОГЕНЕЗИС В ГОРЯЩИХ УГОЛЬНЫХ ОТВАЛАХ: ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ НЕОМИНЕРАЛОГИИ

Современное минералообразование в горных отвалах — это результат сложных физико-химических процессов, инициированных рудодобывающей деятельностью человечества. Наиболее негативное проявление этих процессов мы наблюдаем в горящих угольных отвалах — терриконах. Причины, вызывающие горение отвальной породы, хорошо известны. Комплекс минералов, образующих породу, сформировался много миллионов лет назад и, до извлечения на поверхность, находился в состоянии термодинамического равновесия. Это равновесие было нарушено перемещением породы в среду богатую кислородом. Углистое вещество в этих условиях относительно устойчиво, но неустойчивыми минералами оказываются сульфиды железа — пирит и марказит. При участии тионовых бактерий процесс окисления пирита происходит чрезвычайно интенсивно. Поскольку реакция окисления пирита сильно экзотермична [1], это приводит к самоускорению процесса, в который вовлекается ассоциирующее с пиритом органическое вещество. При самовозгорании большой массы породы террикон превращается в открытый химический реактор, выбрасывающий в окружающую среду значительные объемы вредного вещества в виде газообразных и твердых продуктов реакций.

В горящей угольсодержащей породе происходит большое число химических реакций (окисления, дегидратации, пиролиза, синтеза), продукты которых могут или оставаться на месте или перемещаться в виде газов (растворов) в трещинном пространстве отвалов. В зависимости от летучести газообразные продукты могут быть или отложены в холодных участках (на термальном барьере) или вынесены в атмосферу. В состав исходной породы входят глинистые водосодержащие минералы — монтмориллонит, каолинит, гидрослюда, хлорит. При высокой температуре дегидратация этих минералов обеспечивает поступление в газовую фазу большого объема пара воды. Эксгалиция продуктов горения и термического разложения минералов образуют «псевдофумаролы». Аналогия с вулканическими эксгалициями не только в фазовом составе неоминерализации, но также в высокой температуре газов. Перемещаясь от очагов горения к холодной поверхности террикона, водосодержащие кислотные газы конденсируются в жидкость с низким значением pH. Высокая температура породы способствует интенсивному извлечению щелочных и частично щелочноземельных элементов. Выщелоченные породы (обогащенные SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) подвергаются воздействию высокой температуры (800–1000°C) и перекристаллизуются в новые фазы — муллит, кристобалит, кордиерит (индиалит), маггемит (термальный метаморфизм Гольдшмидта). Новообразованные минералы — это, главным образом, безводные силикаты и окислы. Характерно образование высокотемпературных полиморфов (кристобалит, индиалит, маггемит). Газообразные продукты реакций горения, перемещаясь в холодные зоны, испытывают ряд превращений. Некоторые компоненты газа вступают в химические реакции друг с другом образуя новые, но менее летучие соединения (кислоты, нашатырь, сера). Более инертные компоненты (CO_2 , N_2) уходят в атмосферу. Чрезвычайно важной особенностью газов горения, содержащих водяной пар, является их высокая транспортная способ-

ность. Перенос Al, Mg, аммония газообразной фазой является одним из ведущих факторов минералогенезиса в горящих угольных отвалах. Однако, иногда трудно определить, какие минералы относятся к продуктам фумарольных возгонов, а какие кристаллизовались *in situ* из растворов. Как исключение могут быть только нашатырь и сера, которые считаются типичными представителями вулканических сублиматов.

Сложность минералогенезиса в отвальной угольсодержащей породе обуславливается множественностью факторов, влияющих на этот процесс. К ним следует отнести: а) минеральный состав породы, количество сульфидов железа и органического вещества; б) масса породы и ее проницаемость; в) температурные градиенты и их изменение во времени; г) количество атмосферных осадков и др. Процесс горения развивается стадийно и каждой стадии присущ определенный комплекс продуктов реакций, но лишь некоторые могут оказаться стабильными фазами, то есть неоминералами. Кристаллохимия неоминералов отражает не только геохимические особенности исходной породы и термодинамические параметры процесса, но также те изменения, которые они испытывают в процессе охлаждения (гидратация, регидратация, полиморфные превращения). Уникальная способность органического вещества к их хемосорбции имеет следствием поступление в газообразные продукты горения широкого спектра вредных элементов (ртуть, мышьяк, свинец, цинк, бериллий и др.). Хотя большая часть из них будет выброшена в атмосферу, но в виде микропримесей они могут быть зафиксированы в кристаллической структуре неоминералов. Таким образом, изоморфные примеси в продуктах минералогенезиса угольных терриконов можно использовать в качестве индикатора уровня экологической опасности продуктов термического преобразования горной породы в условиях земной поверхности.

Неоминералы горных угольных отвалов.

Число новообразованных минералов, образующихся в процессах окисления пород, содержащих дисульфиды железа и органическое вещество, лимитируется минеральным составом породы и химией процесса горения. Продукты трансформации горных пород в горящих терриконах могут быть разделены на несколько генетических типов. 1. Минералы — продукты термального метаморфизма, образовавшиеся *in situ* в условиях а) низкой и б) высокой фугитивности кислорода. В пространстве террикона они локализуются в зонах пиролиза и горения соответственно. 2. Минералы псевдофумарол. 3. Минералы термальных растворов. Граница между вторым и третьим типом условная, так как продукты выщелачивания могут переноситься в газовой фазе. Следующий перечень характеризует минералогию, главным образом, угольных отвалов Донбасса [2] и Челябинского угольного бассейна [3–6]. В этот список внесены также минералы, генезис которых связан с окислением пиритовых и магнетитовых сланцев, но не включены минеральные фазы, образовавшиеся по предметам техногенного происхождения (железная и медная проволока, кабель и пр.).

Аналоги самородных элементов.

Сера (моноклинная и ромбическая), графит, железо.

Карбиды.

Когенит (Fe_3C).

Сульфиды.

Троилит (FeS), пирротин (Fe_{1-x}S), пирит (FeS_2), ольдгамит (CaS), баженовит ($\text{CaS}_5 \cdot \text{CaS}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Галогениды.

Нашатырь (NH_4Cl), селлаит (MgFe_2), флюорит (CaF_2), рорисит (CaFCl), хлорид кальция (CaCl_2), лавренсит (FeCl_2), молизит (FeCl_3), редикорцевит

$(\text{NH}_4\text{MgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, копейскит $(\text{NH}_4)_2\text{FeCl}_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$, феррикадваладерит $(\text{Fe}^{3+}(\text{OH})_2\text{Cl} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, гидраты хлоридов железа и кальция.

Оксиды.

Периклаз (MgO) , ферропериклаз (Mg,FeO) , известь (CaO) , вюстит (FeO) , корунд (Al_2O_3) , гематит $(\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3)$, маггемит $(\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3)$, кварц (SiO_2) , тридимит (SiO_2) , кристобалит (SiO_2) , перовскит (CaTiO_3) , сребродольскит $(\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5)$, псевдобрукит $(\text{Fe}_2\text{TiO}_5)$, армололит $(\text{Mg,FeTi}_2\text{O}_5)$, шпинель $(\text{MgAl}_2\text{O}_4)$, герцинит $(\text{FeAl}_2\text{O}_4)$, магнезиоферрит $(\text{MgFe}_2\text{O}_4)$, магнетит $(\text{FeFe}_2\text{O}_4)$, ацикулит $(\text{CaFe}_2\text{O}_4)$

Гидроокиси.

Гетит $(\alpha\text{-FeOOH})$, лепидокрокит $(\gamma\text{-FeOOH})$, брусит $(\text{Mg}(\text{OH})_2)$, портландит $(\text{Ca}(\text{OH})_2)$.

Силикаты.

Форстерит $(\text{Mg}_2[\text{SiO}_4])$, оливин $(\text{Mg,Fe})_2[\text{SiO}_4]$, фаялит $(\text{Fe}_2[\text{SiO}_4])$, норбергит $(\text{Mg}_2[\text{SiO}_4] \cdot \text{Mg}(\text{F,OH})_2)$, хондродит $(2\text{Mg}_2[\text{SiO}_4]_2 \cdot \text{Mg}(\text{F,OH})_2)$, энстатит $(\text{Mg}_2[\text{Si}_2\text{O}_6])$, гиперстен $(\text{Mg,Fe})_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, эссенеит $(\text{CaFe}^{3+}[\text{SiAlO}_6])$, кордиерит $(\text{Mg}_2\text{Al}_3[\text{AlSi}_5\text{O}_{18}])$, андалузит $(\text{Al}_2[\text{O/SiO}_4])$, муллит $(\text{Al}_9\text{Si}_3\text{O}_{19}(\text{OH,F}))$, топаз $(\text{Al}_2[\text{SiO}_4](\text{F,OH})_2)$, моноклинный пироксен $(\text{Ca}(\text{Mg,Fe})[\text{Si}_2\text{O}_6])$, андрадит $(\text{Ca}_3\text{Fe}_2[\text{SiO}_4]_3)$, титанит $(\text{Ca,Ti}[\text{SiO}_4](\text{OH,F,O}))$, ларнит $(\beta\text{-Ca}_2[\text{SiO}_4])$, волластонит $(\beta\text{-Ca}_3[\text{Si}_3\text{O}_9])$, анортит $(\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8])$, святославит (ромб. $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), дмиштейнбергит (гекс. $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$), сперрит $(\text{Ca}_5[\text{CO}_3/[\text{SiO}_4]_2])$, гиrolит $(\text{Ca}_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}] \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, таумасит (=челябинскит) $(\text{Ca}_3[\text{Si}(\text{OH})_6][\text{SO}_4][\text{CO}_3] \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, мелилит $((\text{Ca,Na})_2(\text{Al,Mg})[(\text{Si,Al})_2\text{O}_7])$, роговая обманка $((\text{Na,K})\text{Ca}_2(\text{Mg,Fe,Al})_5[(\text{Si,Al})_8\text{O}_{22}](\text{OH,F})_2)$, санидин $((\text{K,Na})[\text{AlSi}_3\text{O}_8])$, лейцит $(\text{K}[\text{AlSi}_2\text{O}_6])$, осумилит $((\text{K,Na})(\text{Fe}^{2+},\text{Mg})_2(\text{Al,Fe}^{3+})_3[(\text{Si,Al})_{12}\text{O}_{30}] \cdot \text{H}_2\text{O})$, флогопит-биотит $(\text{K}(\text{Mg,Fe})_2[\text{AlSi}_3\text{O}_{10}](\text{OH/F})_2)$.

Бораты.

Варвикит $((\text{Mg,Al,Fe,Ti})_2[\text{AlBO}_3])$

Фосфаты

Фтор-апатит $(\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3\text{F})$

Сульфаты.

Простые соли.

Масканьит $(\text{NH}_4)_2[\text{SO}_4]$, тенордит $(\text{Na}_2[\text{SO}_4])$, гексагидрит $(\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, эпсомит $(\text{Mg}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O})$, алуноген $(\text{Al}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O})$, ангидрит $(\text{Ca}[\text{SO}_4])$, гипс $(\text{Ca}[\text{SO}_4] \cdot 2\text{H}_2\text{O})$, сомольнокит $(\text{Fe}[\text{SO}_4] \cdot \text{H}_2\text{O})$, мелантерит $(\text{Fe}[\text{SO}_4] \cdot 7\text{H}_2\text{O})$, лаузенит $(\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, кокимбит $(\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O})$, англезит $(\text{Pb}[\text{SO}_4])$.

Основные соли.

Метабазоалюминит $(\text{Al}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_{10})$, ростит $(\text{Al}[\text{SO}_4](\text{OH}) \cdot 5\text{H}_2\text{O})$, гидробазаалюминит $(\text{Al}_4[\text{SO}_4](\text{OH})_{10} \cdot 36\text{H}_2\text{O})$.

Двойные соли.

Летовицит $((\text{NH}_4)_3\text{H}[\text{SO}_4]_2)$, чермигит $(\text{NH}_4\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, годовикит $(\text{NH}_4(\text{Al,Fe})[\text{SO}_4]_2)$, ефремовит $((\text{NH}_4)_2\text{Mg}_2[\text{SO}_4]_3)$, буссенготит $((\text{NH}_4)_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, коктаит $((\text{NH}_4)_2\text{Ca}[\text{SO}_4]_2 \cdot \text{H}_2\text{O})$, морит $((\text{NH}_4)_2\text{Fe}^{2+}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, Na-квасцы $(\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, тамаругит $(\text{NaAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O})$, K-квасцы $(\text{KAl}[\text{SO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O})$, астраханит $(\text{Na}_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, лангбейнит $(\text{K}_2\text{Mg}_2[\text{SO}_4]_3)$, пиккерингит $(\text{MgAl}_2[\text{SO}_4]_2 \cdot 22\text{H}_2\text{O})$, ромбоклаз $(\text{HFe}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, галотрихит $(\text{FeAl}_2[\text{SO}_4]_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O})$, ремерит $(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_2^{3+}[\text{SO}_4]_4 \cdot 14\text{H}_2\text{O})$.

Двойные основные соли.

Аммониярозит $(\text{NH}_4)\text{Fe}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6$, алунит $(\text{KAl}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6)$, ярозит $(\text{KFe}_3[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_6)$, копиапит $(\text{Fe}^{2+}\text{Fe}_4^{3+}[\text{SO}_4]_2(\text{OH})_2 \cdot 20\text{H}_2\text{O})$.

Карбонаты.

Кальцит (CaCO_3) , арагонит (CaCO_3) , несквегонит $(\text{MgCO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O})$, дипингит $(\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O})$, иосикаваит $(\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O})$, пироаурит $(\text{Mg}_6\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{16} \cdot 4\text{H}_2\text{O})$, колингит $(\text{Mg}_{10}\text{Fe}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_{24} \cdot 2\text{H}_2\text{O})$.

Нитраты.

Натриевая селитра (NaNO_3) .

Чесноков Б.В. и Щербакова Е.П. [5] указывают на находки следующих фаз (не получивших названия):

$\text{NH}_4\text{Al}[\text{SO}_4]_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, $(\text{NH}_4)_2\text{Mg}[\text{SO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, $\text{Fe}_2[\text{SO}_4]_3$, $\text{NH}_4\text{Fe}^{3+}[\text{SO}_4]_2$. Кроме того, ими описан сульфат-силикат состава $\text{Ca}_{10}[\text{SO}_4]_3[\text{SiO}_4]_3\text{F}_2$ со структурой апатита (флюороэлестидит).

Особенности минералогенезиса в угольных терриконах.

В горелых угольных породах установлено более 120 минеральных видов, принадлежащих к различным классам. В исходной угольсодержащей породе число пороодообразующих минеральных видов не превышает 10–15. Это вызвано особенностями минералогенезиса в горящей отвальной массе породы. Отметим наиболее важные: 1. Минералообразование в горящем терриконе происходит в широком интервале температур, фугитивности кислорода, концентрации воды. 2. Кристаллизация большинства минеральных фаз происходила в условиях открытой системы. Исключение, по-видимому, представляют те очаги переплавления и термального метаморфизма породы, в которых произошла «самоизоляция» небольших областей кристаллизации, а также области пиролиза углистой породы (черные «блоки» по [5]). 3. Кристаллизация минералов происходила в разнообразной среде — силикатный расплав, газ, водный раствор. В образовании новых минералов значительную роль играли твердофазные реакции и полиморфные превращения. 4. Многие минеральные виды относятся к продуктам гидратации солей, переносимых псевдофумаролами. Они образовались при взаимодействии с конденсированным водяным паром и атмосферными осадками.

Характер образующихся минералов и их ассоциаций зависит от многих факторов — минерального состава исходной породы, содержания в ней органического вещества и сульфидов, массы отвальной породы и ее пористости. Известно также, что в сравнительно небольшом (с геологической точки зрения) объеме отвальной породы вследствие больших градиентов фугитивности кислорода, среда минералообразования изменяется от сильно окислительной (горение) до резко восстановительной (пиролиз). Диапазон изменения фугитивности иллюстрируется минеральным рядом железа (Fe) — вюстит (FeO) — магнетит (FeFe_2O_4) — гематит (Fe_2O_3), все члены которого встречаются в пределах одного террикона, но, естественно, в разных зонах «метаморфизма». Восстановительная среда минералогенезиса поддерживается присутствием в породе органических веществ (уголь, битум). Некоторая часть элементарного углерода в виде сажи образуется в результате пиролиза углеводородов и CO_2 . Теплота для этих реакций поступает из зоны горения. В условиях крайне низкой фугитивности кислорода образуются редкие минералы, характерные для метеоритов и пород луны (самородное железо, когенит, троилит, ольдгамит, армолколит, вюстит). Градиенты температуры оказываются также значительными. Максимальная температура достигает 1200°C в участках плавления, но ближе к перифе-

рии она понижается до нескольких сотен градусов [5]. Многие неоминералы из класса оксидов и силикатов представлены высокотемпературными полиморфами и разновидностями (кристаболит, тридимит, маггемит, муллит, индиалит, мелилит). Для горящих терриконов характерны интенсивные эксгаляции, причем, источником газов служит отвальная порода. При высокой температуре водосодержащие минералы подвергаются дегидратации, а органическое вещество и сульфиды термическому разложению. В глубину террикона доступ атмосферного кислорода ограничен. При повышении температуры здесь формируется зона пиролиза остатков каменного угля. В этом процессе, подобном коксованию, образуются восстановительные газы, среди которых преобладает H_2 и CH_4 . Перемещаясь в область, обогащенную кислородом, они окисляются в зоне горения. Выделившаяся теплота обеспечивает высокую температуру для поддержки пиролиза и термального преобразования породы.

Среди продуктов горения присутствуют оксиды серы — основной агрессивный компонент «фумарольных» газов. Вследствие неоднородного распределения температуры в терриконе, некоторая часть «коксового» газа проходит через породу, не окисляясь. Среди них аммиак — важный солеобразующий компонент. Около тридцати минералов можно отнести к псевдофумарольной деятельности. Многие из них встречаются в вулканических фумаролах. По-видимому, это обусловлено присутствием в составе газов оксидов серы и углерода, хлора, аммония, сероводорода, которые являются ведущими компонентами вулканических газов. С псевдофумаролами связано отложение не только характерных для них минералов (сера и нашатырь), но также хлоридов и гидроксидов Fe, Mg, Ca и большей части сульфатов. Вода (атмосферная и дегидратации) растворяет значительную часть продуктов газовых эксгаляций, образуя солевые растворы. Химический состав образовавшихся гидротермальных минералов показывает, что они кристаллизовались при значительных колебаниях значений Eh и pH. После конденсации водяного пара в воде растворяется значительная часть кислых газов (SO_3 , HCl, H_2S , NO_2 , CO_2) и аммиак. При взаимодействии кислых растворов с породой из нее интенсивно выщелачиваются Al, Fe, Mg, Na и K. Эти элементы — главные видообразующие катионы большинства сульфатов и хлоридов. Особое положение в этом процессе занимает ион аммония. Он образуется при растворении в воде аммиака, большая часть которого генерируется в зоне пиролиза. Кристаллизация таких минералов как нашатырь, масканьит, летовицит не только не зависит от присутствия в растворе металлов, но может совершаться непосредственно из газовой фазы. Половина сульфатов из перечисленного списка — это двойные соли с участием NH_4 . Предполагается, что высокая летучесть обеспечивает их перенос в газовой фазе псевдофумарол. Однако, нахождение в составе продуктов конденсации псевдофумарол сульфатов, не содержащих аммония, указывает на определяющую роль в газовом транспорте физико-химических особенностей самой газовой фазы, прежде всего, наличие водяного пара. Присутствие среди водорастворимых минералов большого числа кристаллогидратов указывает на образование на определенной стадии минералогенезиса водного раствора. Несомненно, что растворение в воде кислых газов будет поддерживать низкие значения pH. На это указывает кристаллизация алюминита и кислых солей — летовицита и ромбоклаза. Интересно, что в составе продуктов кислотного выщелачивания не обнаружен алунит. Надо полагать, что он замещается при высокой кислотности раствора смесью квасцов и алуногена. В то же время, большое число сульфатов представлено основными солями, не устойчивыми в кислых растворах. Можно предположить, что экстремальные значения pH быстро нивелировались при взаимодействии с породами и, в результате, преобладали растворы с небольшими отклонениями от нейтральности. Среди сульфатов железа

встречаются соли Fe^{3+} , поэтому можно говорить о высоком окислительном потенциале постфумарольных растворов, по крайней мере, на каком-то этапе минералогенезиса.

Характер продуктов термального метаморфизма зависит от минерального состава угленосной породы. Воздействие высокой температуры ($\sim 1200^\circ\text{C}$) вызывает разрушение первичных минералов (каолинита, слюд, хлоритов и др.) и образование новых высокотемпературных фаз. Некоторые из них не содержат железа и одинаково устойчивы в зоне пиролиза и горения (муллит, кордиерит, анортит, шпинель). Другие — зависят от уровня окислительного потенциала и поэтому приурочены к определенной зоне (гематит, вюстит, магнетит, магнезиоферрит, герцинит). Присутствие в породе карбонатов вызывает образование редких минералов, характерных для скарнов (β -ларнит, β -волластонит, андрадит, мелилит, сидерит, периклаз и др.). Образование минеральных ассоциаций в подобных «скарноидах» обусловлено, прежде всего, высокой активностью CaO , образовавшейся при дегидратации карбонатов. Открытость минералообразующей системы, которую представляет большая часть объема террикона, предопределяет временное сосуществование термодинамически «несовместимых» минералов в близко расположенных участках отвальной породы. Возможно, что быстрому достижению равновесия препятствует отсутствие воды и фазообразование осуществляется в существенно сухой системе.

Значение процессов минералогенезиса.

Условия минералогенезиса в угольных отвалах соответствуют разнообразным генетическим ситуациям, наблюдаемым на геологических объектах. Среди продуктов трансформации углеродсодержащих пород мы находим минералы или их аналоги, характерные для эффузивных пород, пород контактного метаморфизма, вулканических фумарол и сольфатар, зоны окисления сульфидных месторождений. В зоне «пиролиза» образуются редкие минералы, устойчивые в условиях космоса (метеориты и лунные породы). Изучение неоминералогии терриконов значительно расширяет список минеральных фаз, устойчивых в условиях земной поверхности. С другой стороны, сходство вулканических фумарол и псевдофумарол терриконов создает стимул для поиска в горных отвалах минеральных фаз, известных как продукты вулканизма. Угольный террикон можно рассматривать как «полигон», на котором в небольшом масштабе и за короткий промежуток времени «моделируются» (воспроизводятся) важные минералообразующие процессы. Изучение неоминералогии терриконов предоставляет ценную информацию о минералогенезисе в условиях экстремальных значений параметров кристаллообразующей среды T , pH , Eh , fO_2 . Процессы минералогенезиса в терриконе можно хронометрировать и получить, таким образом, объективные данные о скорости роста минералов. Такие измерения очень актуальны, так как существующие представления о скорости кристаллообразования в природных системах весьма противоречивы. Результаты исследования продуктов псевдофумарол существенно расширяет наши представления о процессе переноса вещества в газовой фазе. Эти знания могут быть использованы при построении генетических моделей пневматолитового рудогенеза.

Минералогенезис в терриконах имеет непосредственное отношение к экологическим проблемам. Горящий террикон — это мощный генератор вредных веществ, поступающих в атмосферу и почву. Токсические вещества могут находиться в разной форме: а) эксгаляций, содержащих NH_3 , HCl , CO , CS_2 , SO_2 , Hg , As , Br ; б) солей с примесями токсичных элементов (P , As , NH_3); в) аэрозолей с HgS , AsS , NH_4 , Cl_2 . Некоторые минералы могут содержать в структуре вредные элементы в качестве изоморфной примеси. Например, очень «опасны» такие изоморфные замещения: $\text{Mg} — \text{Zn}$, $\text{K} — \text{Pb}$, $\text{S} — \text{As}$, $\text{Fe}^{3+} — \text{Cr}^{3+}$. В сульфатах возможно замещение тетраэдров $[\text{SO}_4]$ на равно-

зарядные тетраэдры [PO₃OH]. Экологическая опасность террикона во многом зависит от того, на какой стадии преобразования отвальной породы он находится. Поэтому, необходим мониторинг процессов минералогенезиса в горящих терриконах с привлечением современных методов геохимии, минералогии и термобарогеохимии.

Возможности практического использования горелых пород полностью не исследованы. Диапазон их применения может быть значительно расширен, если применять новейшие методы сепарации полезных минералов. Отметим, что породы претерпевшие термальней метаморфизм, содержат неоминералы, которые традиционно относятся к огнеупорам (муллит, кордиерит, шпинель, анортит, форстерит).

Библиографический список

1. **Панов Б.С.** Некоторые вопросы экологической минералогии Донецкого бассейна // Мин. Журнал, 1993. — 15. — №6. — С. 43–50.
2. **Панов Б.С., Проскурня Ю.А., Мельников В.С., Гречановская Е.Е.** Неоминерализация горящих угольных отвалов Донбасса // Мин. Журнал, 2000. — 22. — №4. — С. 37–46.
3. **Суставов С.Г.** Аммонийсодержащие минералы из отвалов Копейского месторождения бурых углей. — В кн: Минералы месторождений Южного и среднего Урала. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. — С. 59–65.
4. **Чесноков Б.В., Михаль Т.А., Дерябина Т.М.** Типы техногенной минерализации отвалов Челябинского угольного бассейна. - В кн.: Минералы месторождений Южного и Среднего Урала. — Свердловск: УНЦ АН СССР, 1985. — С. 47–59.
5. **Чесноков Б.В., Щербакова Е.П.** Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Опыт минералогии техногенеза. — М.: Наука, 1991. — С. 151.
6. **Чесноков Б.В., Баженова Л.Ф., Бушмакин А.Ф. и др.** Новые минералы из горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (сообщение второе) // Новые данные по минералогии эндогенных месторождений и зон техногенеза Урала, АН СССР, Уральское отделение, 1991. — С. 5–14.

© Мельников В.С., Гречановская Е.Е., 2004

УДК 551.3.051:504/551.435.842/843:549.79)(477-25)

Канд. геол.-мін. наук ШЕХУНОВА С.Б., інж. СЕЛІВАЧОВА У.М. (ІГН НАН України, м. Київ)

КАРБОНАТНІ НОВОУТВОРЕННЯ ДРЕНАЖНИХ ШТОЛЬНЕВИХ СИСТЕМ ПАРКУ ВІЧНОЇ СЛАВИ В М.КИЄВІ

Природні та штучні порожнини поширені в геологічному середовищі урбанізованих територій; зокрема, дренажні штольневі системи (ДШС) глибокого закладання, створені в дніпровських схилах на території Києва, стали невід'ємним елементом геологічного середовища міста — його центральної історичної частини. В межах схилів, що прилягають до парку Вічної Слави, пройдено підземні гірничі виробки, серед яких найдоступнішими для систематичних спостережень є — дренажні штольневі системи №№ 16, 27, 27-bis та випуск Голованя. Зазначені виробки у їх сучасному вигляді були споруджені (або реконструйовані) у ХХ ст. з метою стабілізації екзогенних (ерозійно-гравітаційних) процесів, які обумовлювали розвиток значного морфологічного елементу — Панкратіївського (Спаського) яру, на схилах якого з 1895 р. існував Аносівський (Комендантський) сквер, а з 1957 р. — Парк Вічної Слави [2]. Штучно створені порожнини стали своєрідними техногенно-геологічними системами, які є середовищем, де відбуваються геологічні процеси та явища.

Вплив ДШС та інших підземних споруд на перебіг природних процесів на схилах Дніпра на території Києва розглядався в роботах М.Г.Демчишина,