

УДК 548.3+622.693

ПАНОВ Б.С., ПРОСКУРНЯ Ю.А. (ДонНТУ)

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ДОНБАССА

Приведены данные о новых, открытых в последние годы минералах Донбасса — цинкит, алюминит, тамаругит, леговицит и др. Описаны изученные впервые техногенные минералы, образующиеся в настоящее время на горящих терриконах угольных шахт Донбасса (пиккерингит, халькантит, алуноген, реальгар, чермигит, леговицит, тамаругит, аммонистая селитра), которые пополняют список известных минералов региона (более 230), приведены параметры кристаллических решеток, особенности их парагенезиса и генезиса, зональность отложений.

Донецкий бассейн, расположенный на юге Восточно-Европейской платформы, занимает площадь более 60 тыс. км², вытянутую субширотно на 650 км при ширине 100–150 км и является крупной геологической структурой — частью глобального пояса глубинных дислокаций и геодинамической активности земной коры — линеамента Карпинского. Мощность осадочных образований в Донбассе составляет 20–24 км, главная часть которых относится к каменноугольной системе. Осадочные образования палеозойского возраста представлены вулканогенно-осадочными отложениями девонской, терригенно-осадочными породами каменноугольной (песчаники, известняки, алевролиты, аргиллиты, угольные пласты) и пермской систем. Породы мезозоя — отложениями триаса, юры и мела (песчаники, аргиллиты, алевролиты, глины, известняки). Отложения кайнозойской системы содержат породы палеогенового (пески, алевролиты, песчаники, глины, мергели), неогенового (пески, глины) и четвертичного (суглинки, пески, глины) возраста. В состав угля и вмещающих угольные пласты пород входит большое количество неорганических компонентов в виде глинистых минералов (до 50% всех минеральных примесей), сульфидов железа — пирита и марказита (до 5%), а также доломита, сидерита, кальцита, кварца, слюды, хлоритов, фосфатов. Акцессорные минералы представлены рутилом, апатитом, турмалином, гранатом и др. (до 35 минеральных видов). На территории Донбасса распространены каменные угли всех основных марок (от длиннопламенных до тощих) и антрациты. Преобладают в Донбассе угли с высокой и средней зольностью ($A_{\tau}^d=12-18\%$). Содержание серы в среднекарбонных углях от 1,5% (малосернистые) до 3,5% и более (высокосернистые). Характерной особенностью углей является повышенное содержание ртути (0,1–0,2 мг/кг и более) и мышьяка (1–100 мг/кг и более), что объясняется условиями угленакопления, происходившего на фоне дегазации мантии по зонам глубинных разломов.

Помимо угля в Донбассе открыты месторождения неметаллических полезных ископаемых (каменная соль, доломит, мел, мергель, огнеупорная глина, мраморизованные известняки и др.), а также залежи сурьмы, ртути, свинца, цинка, меди, золота, руд железа и редких металлов. Добыча и практическое использование минеральных богатств превратили Донбасс в важнейший горнопромышленный регион Украины и России. За 200 лет промышленного освоения в Донбассе было открыто и описано большое количество минеральных видов — простых соединений, сульфидов, оксидов, силикатов, фосфатов, солей органических кислот, нитратов и др., список которых постоянно растет и пополняется новыми минеральными видами [1]. Работами кафедры полезных ископаемых и экологической геологии ДонНТУ, совместно с другими геологическими организациями Донбасса, были открыты новые прояв-

ления и месторождения самородного золота (Бобриковский участок Нагольного Кряжа, Ольховатское проявление), самородный алюминий, обнаруженный при изучении руд Никитовского ртутно-рудного поля, золото и серебро в киноваре Никитовского поля, ортит в Приазовье и др. В последние 15–20 лет были найдены новые для Донбасса минералы — цинкит, прустит, тетраэдрит с повышенным содержанием серебра, обнаруженные А.Ф.Горовым в породах террикона «Красный партизан», алюминит — найденный в зоне сочленения Донбасса и Приазовья, ставролит и др. Таким образом, в настоящее время в Донбассе известно более 230 минеральных видов.

Большое количество новых для Донбасса минералов было открыто в последние годы при изучении горящих терриконов угольных шахт. На территории Донбасса находится 1257 терриконов общим объемом 1056519,9 тыс.м³, которые занимают площадь 5526,3 га. Под действием геологических и биохимических агентов углесодержащая масса пород терриконов нередко окисляется, разогревается и самовозгорается. На горящих терриконах в настоящее время происходят уникальные процессы современного минералообразования, представляющие собой новый вид геологических процессов литосферы, вызванных производственной деятельностью человека.

Минералы, возникшие в зонах техногенеза, издавна являются объектами исследований. Минералогические справочники, монографии, учебники и журналы публикуют сведения о минералах, возникших на отвалах рудников и шахт, на стенках подземных и открытых выработок, в трубопроводах, в складах руд и концентратов, при изменении древних и современных металлических предметов. Много сульфатов, карбонатов, арсенатов, хлоридов и других минералов было впервые найдено в этих условиях.

В последние десятилетия работы по изучению техногенной минерализации шахтных терриконов получили широкое развитие во многих странах мира. Выделяются исследования, проведенные на горящих отвалах Пенсильвании (США), Остравско-Карвинского угольного бассейна (Чехия), Франции, Индии, Силезии, а также на Урале, в Челябинском бассейне (Россия), где было установлено свыше 150 техногенных минералов. Большая часть этих минералов образовалась в результате возгонки из газов, сформировавшихся в результате горения внутренней части террикона [6–10]. Этот процесс сходен с процессами формирования минералов в результате вулканической деятельности. Многие техногенные минералы имеют свои природные аналоги на вулкане Везувии (Италия), в долине 10 тысяч дымов (Аляска), гейзерах Калифорнии, действующих вулканах Центральной Америки и других.

Исследования горящих породных отвалов и образовавшихся на них техногенных минералов на территории Украины были начаты в Донбассе Е.К.Лазаренко, Б.С.Пановым и др., а затем распространились и на другие регионы страны. В 1970 г. впервые на Украине в Донецком бассейне Б.С.Пановым на терриконе шахты 7/8 им. Калинина был обнаружен минерал нашатырь, образовавшийся в результате псевдофумарольной деятельности, позже его находки были сделаны на шахте «Красный партизан» и «Центросоюз» (Луганская область), где также были установлены сера, сомолюнокит, эпсомит, масканьит, Na и K квасцы. В результате этих работ был впервые предложен механизм образования нашатыря, изучены его кристалломорфологические особенности [3].

Исследования техногенных минералов на терриконах угольных шахт Львовско-Волынского бурогоугольного бассейна были проведены Б.И.Сребродольским [5]. Здесь, на горящих терриконах шахт «Великомостовская 2», «Червоноградская 1», «Великомостовская 3» и других в окрестностях г.Червонограда им были найдены и

описаны следующие техногенные минералы: сера, нашатырь, масканьит, сомольнокит, галотрихит, лаузенит, калиевые и натриевые квасцы, алунит, эпсомит, гипс, гематит, ацетамид, миллозевичит, кварцин, одноводный сульфат Al и Fe — $(Al, Fe)_2[SO_4]_3 \cdot H_2O$, в зоне выветривания угленосных пиритсодержащих пород установлен водный сульфат Al, окисного и закисного Fe — $(Mg, Fe)(Fe, Al)_2[SO_4]_4 \cdot 18H_2O$. Такие минералы, как миллозевичит, ацетамид, лаузенит, водный железисто-алюминистый сульфат являются очень редкими минералами и на терриконах Украины больше нигде не установлены.

В последние десятилетия детальные исследования неоминерализации горящих терриконов были проведены и в Донбассе. Нами были отобраны и исследованы с помощью современных методов анализа (рентгеноструктурный анализ (рентгеновский дифрактометр ДРОН-2 — CuK_{α} -излучение), сканирующее электронное микронзондирование (электронный микроскоп-микроанализатор JSM-T300)) около 80 проб техногенных минералов. Анализы проводились в лабораториях Института геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины (г.Киев, зав.лабораторией Мельников В.С., аналитик Гречановская Е.Е.) и в лаборатории Донецкого научно-исследовательского института черных металлов (г.Донецк, аналитик Бурховецкий В.В.). В результате проведения данных исследований было выявлено 22 техногенных минерала: сера — S, нашатырь — NH_4Cl , реальгар — AsS , гематит — Fe_2O_3 , масканьит — $(NH_4)_2[SO_4]$, галотрихит — $FeAl_2[SO_4]_4 \cdot 22H_2O$, пиккерингит — $MgAl_2[SO_4]_4 \cdot 22H_2O$, тамаругит — $NaAl[SO_4]_2 \cdot 6H_2O$, алуноген — $Al_2[SO_4]_3 \cdot 17H_2O$, эпсомит — $MgSO_4 \cdot 7H_2O$, гексагидрит — $MgSO_4 \cdot 6H_2O$, мелантерит — $FeSO_4 \cdot 7H_2O$, халькантит — $CuSO_4 \cdot 5H_2O$, летовицит — $(NH_4)_3H(SO_4)_2$, сомольнокит — $FeSO_4 \cdot H_2O$, ангидрит — $CaSO_4$, гипс — $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, чермигит — $NH_4Al[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$, калиевые квасцы — $KAl[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$, натриевые квасцы — $NaAl[SO_4]_2 \cdot 12H_2O$, селитра аммониевая — $NH_4[NO_3]$, муллит — $Al_6Si_2O_{13}$ [4]. Такие минералы, как пиккерингит, алуноген, реальгар, халькантит, муллит, чермигит, аммонистая селитра ранее в Донбассе установлены не были, что значительно пополняет список новых минералов региона. Тамаругит (установленный лишь на отвалах Остравско-Карвинского угольного бассейна Чехии) и летовицит (найденный во Франции и на отвалах угольного бассейна Кладно — Чехия) в бывшем СССР диагностированы и изучены впервые [4].

Тамаругит встречен на терриконе шахты 1–7 «Ветка», где образует белые, светло-желтые корочки толщиной до 1 см. Кристаллы пластинчатого, таблитчатого облика, часто образуют параллельные сростки размерами до 20 мкм с развитыми гранями пинакоидов. Основные линии на рентгенограмме: 4,18(100)-4,20(80)-3,95(50)-3,65(60), параметры элементарной ячейки: $a_0=7,353A^\circ$, $b_0=25,225A^\circ$, $c_0=6,097A^\circ$, $\beta=95^\circ 12'$. Встречается совместно с пиккерингитом и алуногеном.

Пиккерингит установлен на терриконах шахт 1–7 «Ветка», «Глубокая», им. Газеты «Правда» и др., где образует корочки и налеты толщиной до 2–3 см, состоящие из спутанноволокнистых, игольчатых и призматических агрегатов. Цвет минерала — светло-серый, зеленовато-серый, желтовато-серый, белый. Кристаллы пиккерингита — изометричного, таблитчатого облику, иногда в виде деформированных ромбододекаэдров. Часто кристаллы сростаются гранями призм, образуя своеобразные неправильные сростки. Главные линии на рентгенограмме: 6,73(30)-4,78(100)-4,36(30)-3,75(60)-3,49(95). Параметры кристаллической решетки: $a_0=20,8A^\circ$, $b_0=24,2A^\circ$, $c_0=6,18A^\circ$. Встречается в парагенезисе с тамаругитом, галотрихитом, мелантеритом и алуногеном.

Галотрихит образует изоморфный ряд с пиккерингитом и встречается в виде корочек, налетов, натечных почковидных или игольчатых образований тонковолок-

нистого строения. Кристаллики галотрихита собраны преимущественно в маломощные прожилки, которые сложены обычно параллельноволокнистыми агрегатами. Цвет агрегатов галотрихита от белого до желтоватого и желто-зеленого. Основные линии на рентгенограмме: 9,7(60)-4,85(100)-3,49(70)-3,03(60)-2,857(60), параметры элементарной ячейки: $a_0=20,8-20,5\text{Å}$, $b_0=24,2-24,3\text{Å}$, $c_0=6,18\text{Å}$, $\beta=96^\circ34'-100^\circ06'$. Встречается в парагенезисе с пиккерингитом и алуногеном.

Халькантит выявлен на терриконах ш/у им. газеты «Правда». Представлен в виде порошковатых налетов, корочек и землистых агрегатов с радиальноволокнистым строением светло-голубого, зеленовато-голубого, синего цвета. Встречаются кристаллы короткопризматического, пластинчатого и таблитчатого облика. Главные линии на рентгенограммах халькантита: 5,45(8) — 4,70(10) — 3,97(9) — 3,69(9) — 3,29(7), параметры элементарной ячейки: $a_0=6,12\text{Å}$, $b_0=10,69\text{Å}$, $c_0=5,96\text{Å}$, $\alpha=97^\circ35'$, $\beta=107^\circ10'$, $\gamma=77^\circ33'$. Образуется вместе с мелантеритом при окислении медьсодержащих сульфидов.

Летовицит — образует не очень плотные корочки толщиной 2–3 мм грязно-белого цвета, иногда с желтоватыми или розоватыми оттенками. Облик кристаллов таблитчатый или пластинчатый. Основные линии на рентгенограмме: 4,966(28)–3,774(100)–3,388(42)–2,933(20). Встречается в парагенезисе с масканьитом, нашатырем, чермигитом.

Аммонистая селитра установлена только в Донбассе в продуктах горения террикона шахты «Красный партизан». Образует тонкозернистые рыхлые скопления белого цвета вместе с нашатырем и масканьитом. Основные линии на рентгенограмме аммонистой селитры: 4,91(50)–3,09(100)–2,67(80)–2,25(80), параметры элементарной ячейки — $a_0=5,76\text{Å}$, $c_0=16\text{Å}$.

Реальгар представлен красновато-оранжевыми землистыми и коркообразными налетами, обладающими резким запахом. Кристаллы реальгара короткостолбчатого, призматического облика, укорочены или вытянуты по вертикальной оси. Параметры элементарной ячейки: $a_0=9,29\text{Å}$, $b_0=13,53\text{Å}$, $c_0=6,57\text{Å}$, $\beta=106^\circ33'$. Считается типичным минералом вулканических возгонов, но наши исследования показывают, что он также может иметь и другое происхождение, будучи продуктом псевдофумарольной деятельности горящих угольных отвалов. Встречается в парагенезисе с серой и нашатырем.

Алуноген образует налеты, тонкие скорлупоподобные или хлопьевидные корки, мелкочешуйчатые агрегаты белого, светло-серого, зеленовато-желтого цвета вблизи очагов горения пород. Если алуноген насыщен сернистым ангидритом, то на открытом воздухе он быстро превращается в полужидкую сернокислотную пасту, что наблюдалось на терриконе шахты 1–7 «Ветка». Основные линии на рентгенограмме алуногена: 9,21(70)–4,49(100)–3,95(70)–3,66(40), параметры элементарной ячейки: $\alpha=89^\circ58'$, $\beta=97^\circ26'$, $\gamma=91^\circ52'$. Встречается в парагенезисе с чермигитом, тамаругитом, пиккерингитом, галлотрихитом.

Чермигит образует столбчатые и волокнистые кристаллы размером 1–2 мм в длину и 0,1–0,2 мм в ширину, которые собраны в натечные корки, небольшие сталактиты, пушистые налеты, которые покрывают поверхность отвалов. Минерал бесцветный или сероватый. Параметры элементарной ячейки — $a=12,23\text{Å}$. Встречается в парагенезисе с алуногеном, пиккерингитом, галотрихитом, сомольнокитом.

Муллит найден в Донбассе в виде единичных зерен в продуктах горения терриконов угольных шахт. Облик индивидов шестоватый, призматический, игольчатый, образует бледно-желтые кристаллы длиной до 2 мм, которые иногда собраны

в радиальные пучки. Параметры элементарной ячейки: $a_0=7,55\text{Å}$, $b_0=7,68\text{Å}$, $c_0=2,88\text{Å}$. Встречается в ассоциации с гематитом.

В результате проведенных исследований было установлено, что минералы образуются в различных температурных диапазонах (20–1000°C), при различных значениях кислотности среды, их образование зависит от состава исходящих газов и химического состава вмещающих пород. Часть минералов образуется в результате сублимации из газов (температура образования минералов этой группы — 90–300°C) — нашатырь, сера, реальгар, масканьит, аммонистая селитра, летовицит; другая, наиболее многочисленная группа минералов — в результате гипергенного изменения пород под воздействием серной кислоты ($t=20\text{--}90^\circ\text{C}$) — пиккерингит, алуноген, квасцы, гипс и другие сульфаты. В результате высокотемпературного изменения пород ($t=450\text{--}1000^\circ\text{C}$) образуются гематит, муллит, кристобаллит, шпинель и другие минералы [4].

По температуре образования и комплексу минеральных видов нами выделено несколько зон минералообразования. Серно-нашатырная зона характеризуется высокими температурами минералообразования и небольшим набором минералов — продуктов возгона: серой, нашатырем, масканьитом, иногда аммонистой селитрой и реальгаром (до 300°C). По мере уменьшения температуры газы изменяют свой состав. В них увеличивается количество менее подвижных и тяжелых углеводородов, сернистых конденсатов и продуктов взаимодействия последних с вмещающими породами. Сульфатно-нашатырная зона характеризуется повышенной температурой газовых струй (90–150°C). Образуются нашатырь, летовицит, аммонистая селитра. Затем идет сульфатно-серноокислотная зона (60–90°C) — происходит интенсивное образование серной кислоты и ее взаимодействие с вмещающими породами, которое заканчивается формированием ангидрита, алуногена, пиккерингита, тамаругита, мелантерита и других сульфатов. Квасцовая зона объединяет небольшие группы низкотемпературных (40–60°C) источников. В этой зоне образуются гипс, чермигит, калиевые и натриевые квасцы. Таким образом, в краевых зонах минералообразование происходит в результате процессов замещения, а в центральной части — в результате прямого возгона [2, 5].

Кроме этого, комплексы минеральных образований во многом зависят от теплового состояния отвала. Как показывают наши наблюдения, на действующих отвалах, характеризующихся в настоящее время интенсивными процессами горения и псевдофумарольной деятельностью, образуются, в основном, такие минералы как сера, нашатырь, частично масканьит. На недействующих терриконах или отдельных, практически прогоревших их частях, где не наблюдаются поверхностные очаги горения, происходит образование минералов, связанное с воздействием на породы терриконов серной кислоты. Комплекс образующихся в этих условиях минералов другой — это пиккерингит, тамаругит, алуноген, квасцы, мелантерит и другие водные сульфаты.

Комплекс техногенных минералов на одном и том же терриконе со временем существенно меняется. Нами такое изменение было прослежено на примере отвала шахты им. газеты «Правда». В 1997 году исследования данного отвала показали наличие на его поверхности многочисленных очагов горения с выделяющимися из них газами. Трещины и отверстия с выделяющимися псевдофумаролами были заполнены плотными корочками, щетками и друзами нашатыря толщиной в несколько сантиметров. Кристаллы нашатыря — крупные (до 1 см), правильной формы, белого цвета. На небольшой глубине встречены корочки серы ярко-желтого цвета. За последующий год на поверхности отвала произошли существенные изменения. Нашатырь был растворен и вымыт атмосферными осадками и на поверхности отвала об-

наружен не был. Очагов горения на поверхности также не наблюдалось, хотя породы были теплыми, что, вероятно, свидетельствует о смещении горения вглубь отвала. На склонах отвалов и на месте бывших очагов наблюдались тонкие корочки масканьита и летовицита, что свидетельствует о смене газового состава фумарол. Кроме масканьита наблюдались рыхлые скопления пиккерингита, что говорит о проходящих здесь процессах сернокислотного разложения пород.

Таким образом, проведенные исследования показали, что в настоящее время на породных отвалах Донбасса происходят современные геологические процессы, обусловленные деятельностью человека, которые приводят к образованию новых минеральных видов. Опыт детального изучения этих минералов показывает, что неоминерализация отвалов угольных шахт весьма разнообразна, и список новых минералов Донбасса может быть продолжен. Исследования новообразованных минералов важны с точки зрения минералогии и кристаллографии, для реконструкции процессов, происходящих внутри отвалов, приводящих к образованию и исчезновению минеральных видов и их парагенетических ассоциаций. Подобные исследования также являются вкладом в новое направление науки – экологическую минералогия. Проведенные исследования позволили установить повышенную экологическую опасность горящих породных отвалов и новообразованных минералов и наметить направления дальнейших исследований по вопросам охраны окружающей среды, связанных с негативным влиянием отходов угледобывающей промышленности.

Библиографический список

1. Лазаренко Е.К., Панов Б.С., Павлишин В.И. Минералогия Донецкого бассейна: В 2 т. / Наук.думка. — Киев, 1975. — Т.1 — 221 с., — Т.2. — 509 с.
2. Неоминерализация горящих угольных отвалов Донбасса / Б.С.Панов, Ю.А.Проскурня, В.С.Мельников, Е.Е.Гречановская // Минерал. журнал, 2000. — Т. 22. — № 4. — С. 37–46.
3. Панов Б.С. Дорфман М.Д., Смолянинова Н.Н. О нашатыре из Донецкого бассейна // Новые данные о минералах СССР. — М.: Наука, 1974. — Вып. 23. — С. 220–223.
4. Проскурня Ю.А. Мінералогія відвалів вугільних шахт Донбасу (на прикладі Донецько-Макіївського промислового району). Автореф. дис. канд. геолог. наук: 04.00.20 / ДонНТУ, Донецк, 2000. — 19 с.
5. Сребродольский Б.И. Тайны сезонных минералов. — М.: Наука, 1989. — 144 с.
6. Чесноков Б.В. Щербакова Е.П. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна (опыт минералогии техногенеза). — М.: Наука, 1991. — 152 с.
7. Limacher D. A propos de la formation de mineraux secondaires lors de la combustion des charbons // Societe Geologique du Nord, Annales. — 1963. — V. 83. — Part 4. — P. 287–288.
8. Mineralogy associated with burning anthracite deposits of eastern Pennsylvania / D.M. Lapham, J.H. Barnes, W.F. Downey, R.B. Finkelman // Pa. Geol. Surv. Miner. Resour. Rep. — 1980. — №78. — P. 1–82.
9. Rost R. The minerals formed on burning heaps in the coal basin of Kladno // Bull. Intern. Acad. Sci.Boheme. — 1937. — №11. — P. 1–7.
10. Stalmachova' B., Maty'sek D. Sukcese rostlin a pedogeneticke' procesy na odvalovy'ch substra'tech Ostravsko-Karvinske'ho reviru // Proc. Conf. Environment and mineral processing , VSB, Ostrava, in press. — 1992.

© Панов Б.С., Проскурня Ю.А., 2001