

РОЖДЕННЫЕ ПОДЗЕМНЫМ ПОЖАРОМ



Подземное горение углей характерно для многих месторождений мира. Подобные пожары, возникающие под воздействием как природных, так и антропогенных факторов, могут охватывать большую площадь и продолжаться много лет. Все они, независимо от происхождения, наносят большой экономический и экологический ущерб. Однако подземные пожары представляют немалый интерес, на взгляд геолога, ведь горящие угольные пласты являются своего рода «миниатюрными» вулканами, в газовых струях которых идет образование необычных минералов

Самым старым из известных горящих месторождений угля является Горячая гора в Австралии, где подземный пожар длится, по некоторым оценкам, уже около 6 тыс. лет! А подземное горение угля на Фан-Ягнобском месторождении в Таджикистане упоминается еще знаменитым римским писателем-энциклопедистом Плинием Старшим, жившим в первом столетии нашей эры. Затраты на тушение таких пожаров очень велики, да к тому же не всегда эффективны, так как всегда существует вероятность возникновения новых очагов горения.

Но горящие угольные пласты – не только экологическое и экономическое бедствие. Подземные пожары часто сравнивают с природной лабораторией, где в наши дни в условиях высоких температур, достигающих 1200 °C и выше, синтезируются необычные или вовсе не известные минералам химические соединения. В зависимости от близости к очагу интенсивного горения можно выделить последовательные зоны минералообразования, для которых характерны свои особые минеральные ассоциации.

Минеральные метаморфозы

Известный геолог-минералог Б. В. Чесноков, основоположник нового научного направления – минералогии техногенеза, при изучении горелых угольных отвалов Челябинского угольного бассейна выделил главные процессы «пожарного» минералообразования: возгонка угольного (органического) вещества; интенсивное абиогенное окисление с формированием оксидов; дегидратация водных минералов; обжиг и перекристаллизация; переплавление пород с образованием минералов, характерных для магматических пород (например, силикатов) (Потапов, Максимович, 2006).

Возникающие вследствие подземного горения зоны разуплотнения приводят к проседанию грунтов и образованию сети глубоких трещин, по которым из очага горения к поверхности поднимаются горячие (70–300 °C) струи газа, образующегося в результате горения, переплавления и обжига пород, сопровождаются образованием газов. Эти выделения газов очень напоминают вулканические фумаролы, почему их часто и называют *псевдофумаролами*. Примером могут служить серосодержащие газовые струи, формирующиеся в глубине отвалов и выходящие на их вершинах в виде фумарол с температурой 400–500 °C.

Мигрируя к поверхности, газы вступают во взаимодействие с обломками горных пород. В результате по краям жерл образуются специфические минеральные ассоциации – *фумарольные коры*, которые в зависимости от преобладания тех или иных соединений могут быть сульфатными, хлоридными или аммонийными. В этих минеральных сообществах встречаются виды, нигде ранее не описанные.



ФИЛЕНКО Роман Андреевич – младший научный сотрудник лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (Чита). Действительный член Читинского отделения Российского минералогического общества и Забайкальского отделения Русского географического общества. Автор и соавтор более 30 научных и ряда научно-популярных публикаций

Ключевые слова: современное минералообразование, подземные угольные пожары, термический анализ.

Key words: modern mineral formation, underground coal fires, thermal analysis.

Слева внизу – оплавленные дендритные формы выделения масканьита $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ из псевдофумарольных минеральных ассоциаций Черновского бурогоугольного месторождения.

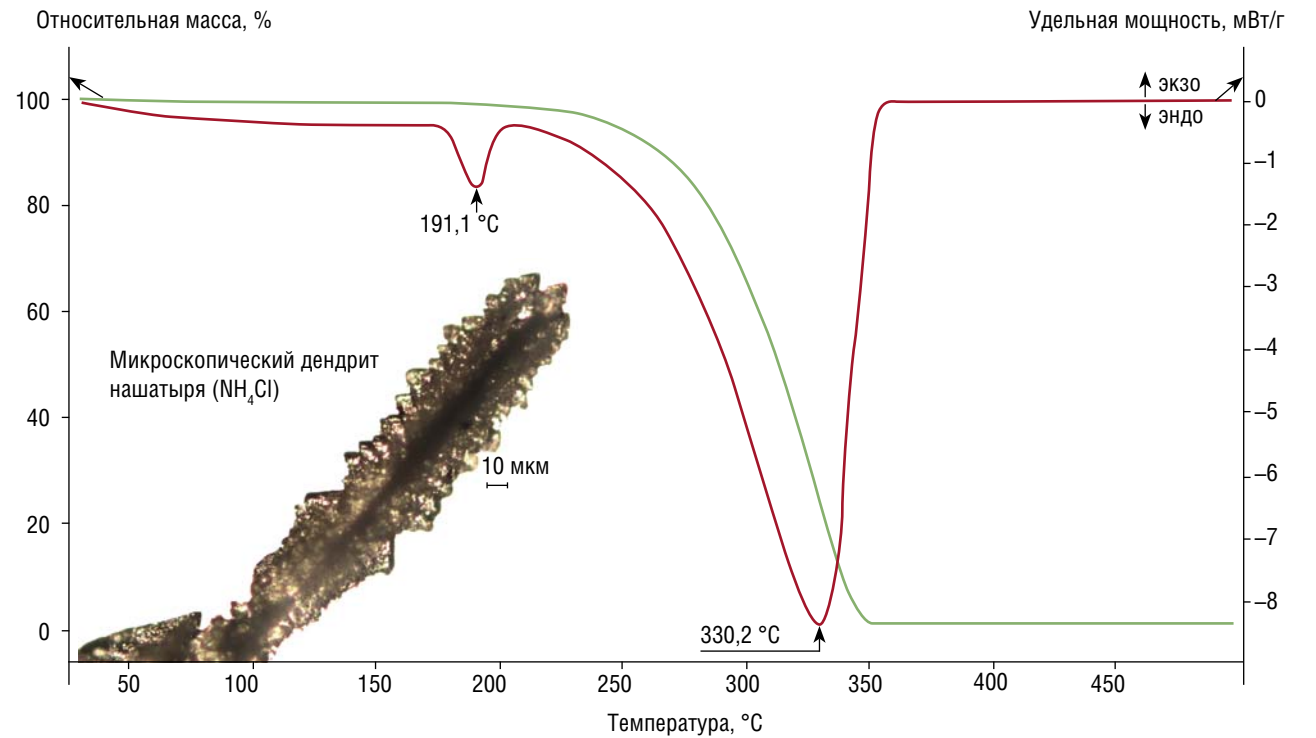
Слева вверху – измерение температуры поверхности около выхода горячих газовых струй (псевдофумарол)

© Р. А. Филенко, 2014



Обвал
и проседание
грунта
над выходом
горящего
угольного пласта

Свечение
раскаленной
породы в трещине
(1 м от дневной
поверхности)



Первый эндотермический пик около 191 °С на термограмме нашатыря показывает процесс плавления минерала; большая ступень потери массы и связанный с ней эндотермический пик при 330 °С характеризуют процесс его разложения и возгонки
Фото Н. Ташлыковой

Минералы читинских «фумарол»

Сотрудники лаборатории геохимии и рудогенеза Института природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН при участии коллег из лаборатории геофизики криогенеза с 2010 г. ведут наблюдения за подземными пожарами в районе Черновского бурогоугольного месторождения. Это месторождение, эксплуатация которого была прекращена в 1989 г., располагается на территории г. Чита – столицы Забайкальского края.

За прошедшие годы здесь были выявлены не только старые долгоживущие очаги возгорания, но и новые – в недавно заброшенных и некультивированных угольных карьерах. Установлено, что очаги этих подземных пожаров постепенно смещаются по угольным пластам со скоростью 0,5–1,0 м/год (Филенко, 2011).

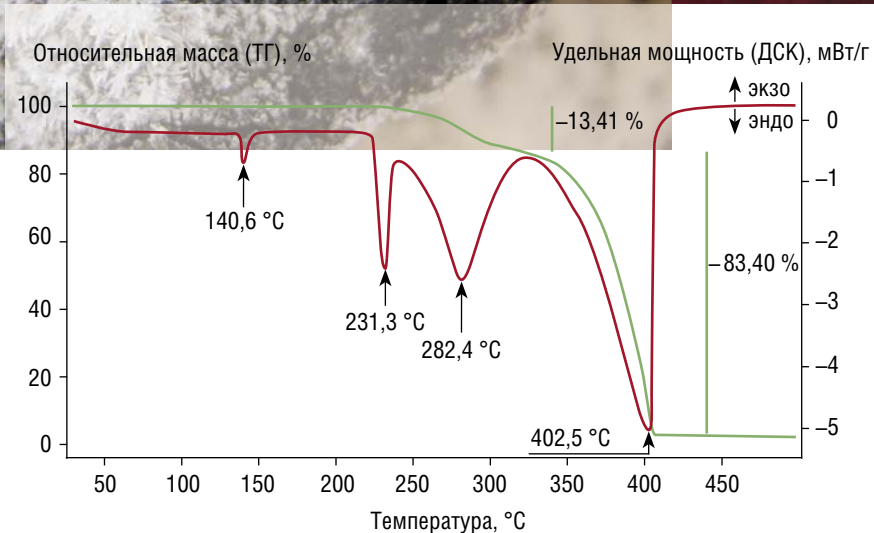
Благодаря ряду физико-химических свойств угли Черновского месторождения обладают способностью самовозгораться. Этому, в том числе, способствует и содержащийся в угле и вмещающих осадочных горных

породах тонко вкрапленный сульфид железа – пирит. Судя по данным геологических отчетов, уголь горел в одном из карьеров на восточном фланге месторождения уже во второй половине прошлого века.

Детальное изучение минералогии фумарольной зоны подземных пожаров на Черновском бурогоугольном месторождении началось в 2013 г. Для диагностики минерального состава фумарольных новообразований использовались рентгеноструктурный и термический методы анализа.

Если использовать медицинские аналогии, то первый метод исследования можно сравнить с обычным рентгеновским исследованием пациента; второй же, по сути, близок к допросу на детекторе лжи с «пытками» испытуемого. Дело в том, что суть термического анализа состоит в изучении свойств вещества и процессов, происходящих в нем при довольно жестком воздействии – нагревании по заданной программе. Идея использовать термический анализ в этом случае была подсказана книгой известного советского минералога Б. И. Сребродольского «Тайна сезонных минералов» (1989), посвященной современному минералообразованию, в том числе в зоне деятельности подземных пожаров.

В итоге термического анализа мы получаем термограммы (кривые нагревания) в виде синхронно записанных сигналов термогравиметрии (ТГ), позволяющих судить об изменении массы образца в зависимости от температуры, и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК), с помощью которых измеряется



На термограмме масканьита $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ показаны ступени потери массы и связанные с ними эндотермические пики, характеризующие процессы плавления, разложения и возгонки минерала. Красная линия – сигнал ДСК, Зеленая линия – сигнал ТГ. Вверху – игольчатые и дендритные выделения масканьита

разность тепловых потоков между образцом и эталоном. Ход этих двух кривых термограммы позволяет судить о том, что за минеральная ассоциация скрывается в той или иной пробе.

По пикам термоэффектов и ступеням потери массы образца при нагревании удалось выяснить много интересного о составе и свойствах отдельных минералов, образующихся в фумарольной зоне в разное время года. Например, по пикам плавления на термограммах серы в некоторых пробах удалось обнаружить присутствие одновременно двух полиморфных модификаций: ромбической α -серы и моноклинной β -серы (Филенко, 2012).

Очень выразительно выглядят на термограммах термоэффекты, связанные с разложением минерала и выходом из него отдельных компонентов – они всегда большие и к тому же растянуты во времени. Например, выход молекул воды в новообразованных сульфатах при температурах 100–200 °C. При этом происходит

и потеря массы, по которой можно подсчитать число таких молекул и определить минерал. Так, сульфат алюминия может содержать 12, 14 или 16 молекул воды, в зависимости от температурного режима и увлажнения в течение года. Рекордсменами же являются *алуноген*, содержащий 17 молекул, и *милошевичит* – безводный сульфат алюминия. В глубинной зоне обнаружен также безводный тройной сульфат аммония, алюминия и железа – *годовиковит*. В приповерхностных условиях он гидратируется до *чермигита*, содержащего уже 12 молекул воды.

Летом, как правило, большинство этих сульфатов растворяется и на время исчезает, а в сухой период зимой и весной они образуются вновь. В этом и есть смысл сезонности минералообразования, так схожего с процессами, идущими в живой природе.

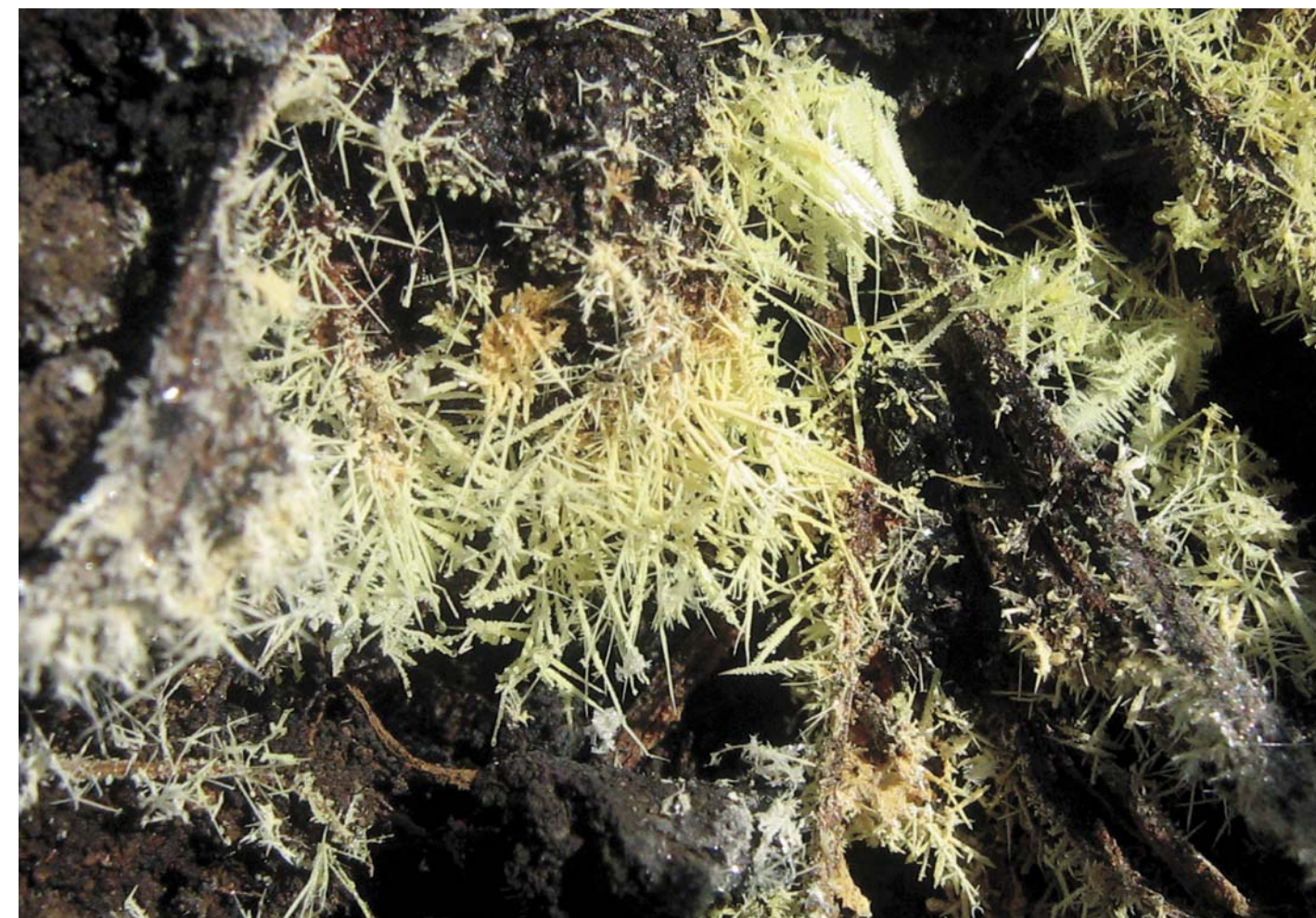
В начале 2013 г. инженер аналитического центра ИЗК СО РАН Д. С. Суворова с помощью рентгеновского анализа в одной из проб с поверхности фумарол

обнаружила настоящую минералогическую редкость – алюмофторид *розенбергит*. В мире это четвертая находка, но в России – первая. Исследование свойств редчайшего минерала еще продолжается, но уже полученные результаты говорят о его схожести с итальянским «родственником» из месторождения Цетино в Тоскане (Olmi *et al.*, 1993).

Работ по всестороннему изучению древних и современных подземных пожаров на Черновском бурогольном месторождении хватит еще не на один год и не на одну научно-исследовательскую лабораторию. Это интересный объект не только для минералогов, но и для палеонтологов, микробиологов, геохимиков и экологов, решающих как прикладные (тушение и предотвращение возгораний), так и фундаментальные (причина возгорания, современное минералообразование) проблемы.

Дендритоподобные и игольчатые выделения серы на поверхности асфальтоподобной (битуминозной) коры над тлеющим угольным пластом на западном фланге Черновского бурогольного месторождения

В публикации использованы фото автора



Литература
Потапов С. С., Максимович Н. Г. К минералогии горелых отвалов Кузельского угольного бассейна (Пермский край) // Седьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс, 2006. С. 56–67.

Сребродольский Б. И. Тайны сезонных минералов. М.: Наука, 1989. 144 с.

Филенко Р. А. Древние и современные подземные пожары на Черновском бурогольном месторождении // Молодежь и наука Забайкалья: Материалы II молодеж. науч. конф., Чита, 17–20 мая 2011 г. Чита, 2011. С. 18–22.

Работа выполнена при финансовой поддержке СНИИПРЭК СО РАН (Конкурс молодежных научных проектов – 2013)