

11. Терехов Е.Н. Особенности распределения РЗЭ в корундсодержащих и других метасоматитах периода подъема к поверхности метаморфических пород Беломорского пояса (Балтийский щит) // Геохимия. 2007. № 4. С. 411-428.
12. Фации метаморфизма // Под ред. В.С. Соболева. М.: Недра. 1970. 432 с.
13. Щербакова Т.Ф., Терехов Е.Н. Геохимическая характеристика глиноземистых плагиогнейсов: к вопросу о происхождении кианитсодержащих пород Беломорского пояса // Геохимия. 2004. № 6. С. 611-631.
14. Alexandre P., Kyser K., Thomas D., Polite P., Marlat J. Geochronology of unconformity-related uranium deposits in the Athabasca Basin, Saskatchewan, Canada and the integration in the evolution of the basin // *Miner Deposita*. 2009. 44. P.41- 59
15. Bogdanova S., Gorbatshev R., Grad M., et. all. EUROBRIDGE: new insight into the geodynamic evolution of the European Craton // *Geol. Society, London, Memoirs*. 32. P.599-625
16. Dissanayake C.B., Chandrajith R. Sri Lanka – Madagascar Gondwana Linkage: Evidence for a Pan-African Mineral Belt // *The journal of Geology*. 1999, V.107. P. 223-235.
17. Froitzheim N. Formation of the recumbent folds during synorogenic crustal extension (Austroalpine nappes, Switzerland) // *Geology*. 1992. V. 20. № 10. P. 923-926.
18. Talbot C.J. and Ghebreab W. Red Sea detachment and basement core complexes in Eritrea // *Geology*. 1997. № 7. P. 655-658.
19. Wernicke B., Axen G. On the role of isostasy in the evolution of normal fault systems // *Geology*. 1988. V. 16. № 9. P. 848-851.
20. Zeitler P., Chamberlain C. Petrogenetic and tectonic significance of young leuco-granites from the northwestern Himalaya, Pakistan // *Tectonics*. 1991. V. 10. № 4. P. 729-741.

Природные коксы в залежах максовитов (Карелия, Заонежский полуостров)

Бискэ Н.С.

Учреждение Российской академии наук Институт геологии
Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск,
e-mail: Biske@krc.karelia.ru

Коксоподобные максовиты, или природные «коксы», выявлены в залежах максовитов на контактах с магматическими телами основного состава. Максовиты [1] представляют собой пелитоморфные породы с содержанием шунгитового вещества смешанного типа (первично-осадочного и миграционного) от 10 до 45%; стратиграфически приурочены к верхней подсвите заонежской свиты людикувия нижнего протерозоя. Природные коксы наблюдаются на различных шунгитоносных горизонтах среди максовитов разного состава. В результате регионального метаморфизма зеленосланцевой фации органическое вещество (ОВ) в породах заонежской свиты было преобразовано до антрацитовой стадии углефикации, что способствовало стиранию различий между коксами и породами, не испытавшими контактового воздействия. Обзор публикаций наряду с наблюдениями автора позволил выделить характерные структурно-текстурные особенности коксоподобных максовитов: столбчатую (призматическую) отдельность, высокую пористость, а также комплекс признаков пластичного состояния органической массы (облекание минеральных зерен, флюидальность и т.п.).

Столбчатая отдельность является основным определяющим признаком каменноугольных коксов. Согласно [8], «пальчиковый уголь» представляет собой природный кокс в виде небольших гексагональных столбиков, образующийся вблизи интрузии магматических пород. Флюидальная текстура, свойственная коксоподобным максовитам, свидетельствует о прохождении ими пластического состояния. Известно [6], что часть углей обладает спекаемостью, т.е. при нагревании в интервале температур от 350 до 500°C переходит в пластическое состояние и спекается при температуре 500-600°C, образуя твердый пористый продукт полукоксы, преобразующийся в кокс при дальнейшем повышении температуры. С увеличением стадии метаморфизма угля интервал пластичности смещается в область более высоких температур. Коксование сопровождается выделением летучих продук-

тов, смолы и газа. Самое большое количество летучих и наиболее широкая зона контактового воздействия образуются в малометаморфизованных углях. Общий объем пор возрастает с повышением температуры. В природных коксах Тунгусского угольного бассейна он достигает 60% [4].

Увеличение зольности ухудшает пластические свойства углей. Однако, имеет значение не столько общее содержание минеральных примесей, сколько их размеры, форма и характер распределения. Как известно, кероген горючих сланцев при нагревании до 200-350° способен переходить в пластическое состояние с образованием пиробитума, из которого при дальнейшей термообработке формируется полукокс.

Основными факторами природного коксования принято считать высокую температуру и скорость прогрева при невысоком давлении, не препятствующем удалению продуктов деструкции [4].

Характерные особенности природных коксов рассмотрены на примере Максовского месторождения и участка «Лебещина», локализованных соответственно на шестом и втором шунгитоносных горизонтах.

Максовское месторождение представляет собой куполообразную залежь до 500 м в поперечнике при мощности до 120 м, сложенную слюдяно-кварцевыми максовитами. Содержание $C_{св}$ в рудах варьирует от 25 до 35% и более. В центральной части залежи в 2008 г. вскрыт «внутрикупольный» силл долеритов [7] с субвертикальным подводящим каналом трубчатой формы, поперечное сечение которого достигает 30 м. Мощность силла варьирует от 3,7 до 9 м (скв. 207, 208). Кровля силла пологая, слабо волнистая, местами бугристая. На протяжении более 150 м в стенках вскрышного карьера и канав над силлом обнажается зона природного кокса с характерной полигональной столбчатой отдельностью. Видимая мощность коксовой оторочки достигает 1,7 м. Столбики толщиной 0,3-5 см и длиной до 15-20 см ориентированы перпендикулярно плоскости контакта. В ксенолитах максовитов или над бугристыми участками кровли, т.е. в местах резкого изменения залегания плоскости контакта, столбики совместно плавно изгибаются или расходятся, образуя веерообразные агрегаты. Преобладающим развитием пользуются пятигранные столбики, но количество граней может изменяться от трех до семи. В верхнем экзоконтакте трещины, разделяющие столбики, открытые или заполненные антраксолитом, кварцем и слюдой с примесью сульфидов и хлорита. Зафиксированы также халькопирит, никелистый пирит, пентландит, миллерит, сфалерит, свинцовый блеск и клаусталит.

Наряду с мелкими поперечными трещинками, разбивающими отдельные столбики, присутствуют протяженные пологие трещины. Последние разделяют коксовую зону на ряды высотой от 2-10 см (в непосредственном контакте) до 0,5-1 м, которые могут различаться размерами, ориентировкой или совершенством формы столбиков. Так, в 0,4-0,6 м выше кровли силла на расстоянии около 50 м прослеживается ряд вертикальных призм размером 4×10 см. Непосредственно над кровлей обычно развиты столбики 0,5-2 см в поперечнике. По плоскостям трещин развиваются пленки углеродного вещества со штрихами на поверхности зеркал скольжения. Вблизи контакта нередко наблюдается сгущение и разрастание сети трещин вплоть до образования брекчированных пород. Прожилковая минерализация сменяется брекчиевидной, наблюдается интенсивное окварцевание максовитов. Местами долериты отделены от максовитов узкой зонкой сажистой кавернозной породы.

Контакт магмаподводящего канала с максовитами доступен визуальному наблюдению на не большом участке в стенке вскрышного карьера. Коксовая оторочка видимой мощностью около 1 м образована сноповидными агрегатами плавно изгибающихся пологозалегающих столбиков. Представление о строении коксовой оторочки под силлом и вокруг магмаподводящего канала было получено в ходе просмотра сокращенного керна разведочных скважин 207-209. Столбчатая отдельность здесь выражена нечетко, в связи с интенсивным проявлением брекчирования и постмагматических процессов. Долериты магмаподводящего канала также разбиты многочисленными трещинами и превращены в кварцевые слюдиты. Признаки контактового воздействия ощущаются в максовитах на расстоянии свыше 30 м от контакта. Над каналом, в зоне его перехода в силл, вскрытая мощность коксов составляет около 10 м. Породы здесь черные, сажистые с содержанием $C_{св}$ до 60%. Максовиты со столбчатой отдельностью чередуются с брекчированными. Длительный высокотемпературный прогрев этой области обеспечивался, вероятно, непрерывной циркуляцией рас-

плава, а также скоплением гидротермальных и летучих компонентов в голове магмоподводящего канала.

На участке «Лебещина» зона природного кокса имеет более сложное строение. В полосе протяженностью около 0,5 км и шириной до 50 м в разобренных выходах среди шунгитоносных пород наблюдаются фрагменты долеритов, различающиеся размером, формой, взаимной ориентировкой и количественным соотношением с матриксом. Шунгит-базитовая брекчия [3] образовалась при внедрении силла габбро-долеритов в слабо литифицированные, влагонасыщенные, обогащенные ОВ породы, способные к пластификации под тепловым воздействием магмы. Фрагментация основного расплава по механизму вязкого сдвига происходила при сближении его вязкости с вязкостью вмещающего протомасковита. Породы матрикса с разным составом и содержанием ОВ, вероятно, обладали разной проницаемостью, теплопроводностью и спекаемостью. Скорость и температура прогрева могли сильно различаться даже в участках, равноудаленных от силла, в связи с различной скоростью движения расплава, влиянием теплоизлучения от близлежащих крупных фрагментов базитов и т.п. Возникли участки, в которых тонкослоистые шунгитоносные алевролиты сцементированы коксоподобными максовитами или среди максовитов с четко выраженной флюидалностью присутствуют «овалы» массивных максовитов, которые приобрели пластичность, но не проявили текучести.

Максовиты со столбчатой отдельностью слагают жилы в долеритах, оторочки возле силла и вокруг его крупных фрагментов. Диаметр столбиков варьирует от 0,25 до 4 см, длина от 2 до 20 см. Нередко наиболее выражены трещины, ориентированные параллельно интрузивным контактам. В узких (до 0,4 м) оторочках возле особенно крупных фрагментов столбики размером с карандаш образуют веерообразные агрегаты, которые группируются в ряды шириной до 10 см. Иногда вблизи контакта с силлом «карандаши» располагаются радиально (перпендикулярно контактам его фрагментов), слагая овальные образования до 0,4 м в поперечнике, описанные как фумаролы [5]. В центре может присутствовать кварцевое ядро.

По содержанию углерода (15-60%) коксоподобные максовиты отличаются от природных каменноугольных коксов, зольность которых по данным работы [4] варьирует от 14% до 33%. Кроме углеродного вещества коксы месторождения Максово содержат кварц и мусковит (до 25%). По сравнению с максовитами вне зоны контактового воздействия они обогащены рутилом, титанитом и фторалпатитом. Состав минеральной основы коксов Лебещины определяется вариациями в содержании хлорита, альбита и кварца (табл.).

Флюидалная текстура коксоподобных максовитов выражается в ориентированном (иногда микроволнистом или плейчатом) расположении удлинённых пор, зерен и их скоплений, линзовидных и полосчатых обособлений, обогащенных или обедненных углеродным веществом, подчеркивается ориентировкой и распределением линзочек и струек антраксолита. Нередко, особенно в максовитах с невысоким содержанием углерода флюидалность не выражена. Например, в ококованных туфоалевролитах Лебещины наблюдается склеивание минеральных зерен углеродной массой.

Пористость в природных коксах максимально проявлена в непосредственном контакте с интрузивом. Здесь количество относительно крупных (более 0,01 мм) пор может достигать 40%. Преобладают поры неправильной формы, нередко присутствуют изометричные, линзовидные, каплевидные поры. Обнаружены поры трубчатой формы до 1,5 мм в длину, ориентированные перпендикулярно плоскости контакта. Изредка вблизи контакта наблюдаются щелевидные слегка изогнутые поры длиной до 0,6 мм. По мере удаления от контакта общая пористость и количество крупных пор заметно снижаются. В большинстве случаев поры выполнены антраксолитом и минералами гидротермального генезиса: на Максовском месторождении – кварцем, пиритом, слюдами и хлоритами, на участке «Лебещина» – преимущественно альбитом, хлоритом, микроклином и кварцем. Крупные пустоты и прожилки нередко имеют зональное

Химический состав «коксов» Лебещины

Оксиды, масс. %	Номера проб	
	1	2
SiO ₂	27,18	25,62
TiO ₂	0,34	0,29
Al ₂ O ₃	6,2	6,93
Fe ₂ O ₃	9,66	6,12
FeO	2,2	0,69
MnO	0,082	0,041
MgO	3,53	2,45
CaO	1,61	0,56
Na ₂ O	1,75	2,21
K ₂ O	0,08	0,06
H ₂ O	(1,75)	(1,04)
ппп	47,35	54,04
Σ	99,98	99,68
C	н/о	52,6

Примечание: 1 – химанализ А.Е. Ромашкина, 2 – химанализ Л.П. Галдобинной [5]; н/о – не определено.

строение. Количество антраксолита в порах и трещинах кокса уменьшается по мере удаления от контакта.

Основные морфологические типы миграционного углеродного вещества в контактовых ореолах базитов охарактеризованы ранее [2]. Следует упомянуть о характерных микроструктурах антраксолита, сходных с мозаичными структурами нефтяного кокса.

По степени совершенства молекулярной структуры коксоподобные максовиты сопоставимы с природными коксами Тунгусского бассейна. Обладая определенным сходством, изученные коксы отличаются от каменноугольных естественных коксов, благодаря различиям в условиях формирования, а также в составе, строении и физических свойствах исходных пород. Природное коксование представляет собой сложный процесс, конечные продукты которого определяются взаимодействием большого количества разнообразных геологических факторов, к которым относятся состав, размер, форма, глубина залегания и положение контактов магматического тела, температура магмы и режим остывания интрузии, литостатическое и флюидное давление, а также давление магматического расплава и т.п.

Коксоподобные максовиты заслуживают специального изучения как углеродное сырье со специфическими свойствами, запасы которого, если принять во внимание парагенетическую связь силлов базитов с шунгитоносными породами, могут оказаться довольно значительными. Кроме того, повышенная трещиноватость и пористость максовитов могли благоприятствовать образованию в них промышленных концентраций антраксолитов и, возможно, Cu-Ni оруденения.

Литература

1. Атлас текстур и структур шунгитоносных пород Онежского синклинория / Ред. М.М.Филиппов, В.А.Мележик. Петрозаводск. КНЦ РАН. 2006. 80 с.
2. Бискэ Н.С. Морфогенетические особенности миграционного углеродного вещества в термальных ореолах базитов (Карелия). Структура и разнообразие минерального мира / Мат. Международного минералог. семинара. Сыктывкар. ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2008. С.66-67.
3. Бискэ Н.С., Ромашкин А.Е., Рычанчик Д.В. Протерозойские пеперит-структуры участка Лебещина // Геол. и пол. ископаемые Карелии. Петрозаводск, КНЦ РАН. 2004. Вып. 7. С.193-199.
4. Гаврилова О.Н., Волкова Г.М., Гуревич А.Б. О природных коксах в угольных пластах Тунгусского бассейна // Литол. и пол. ископаемые. 1985. № 5. С.133-137.
5. Галдобина Л.П. Предполагаемый канал поступления углеводородных флюидов в нижнем протерозое Онежской структуры // Геол. и рудогенез докембрия Карелии. Петрозаводск. 1991. С.18-23.
6. Русьянова Н.Д. Углехимия. М.: Наука. 2003. 316 с.
7. Филиппов М.М., Бискэ Н.С., Первунина А.В. и др. Сопоставление известных и новых данных о геологическом строении Максовского месторождения шунгитоносных пород (в печати).
8. Stutzer O. *Geology of Coal*. Chicago Univ.Press. 1940. P. 299.

Минерагения докембрия севера Восточно-Европейской платформы

Богатиков О.А., Ларионова Ю.О., Носова А.А., Самсонов А.В., Шарков Е.В.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, г. Москва

Наибольший научный интерес и практическую значимость в минерагении докембрия севера Восточно-Европейской платформы (ВЕП) на сегодня имеют элементы платиновой группы, золото и алмазы.

Элементы платиновой группы (ЭПГ), особенно Pd и Pt, являются одним из важнейших типов полезных ископаемых, связанных с архейскими и палеопротерозойскими мафитами и ультрамафитами. В первую очередь они связаны с крупными расслоенными мафит-ультрамафитовыми интрузивами, происшедшими за счет расплавов кремнеземистой высоко-Mg (бонинитоподобной) серии (КВМС). Такие интрузивы с возрастом 2.5-2.3 млрд. лет широко распространены в восточной части Балтийского щита, образуя крупнейшую в мире раннепалеопротерозойскую потенциально-