© Г.Л. Куклина, 2014

УДК 662.642

Г.Л. Куклина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕХАНОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УГЛЕЙ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ КАК СЫРЬЯ ДЛЯ ПОЛУКОКСОВАНИЯ

Приведены результаты полукоксования орогенных углей Восточного Забайкалья и их интерпретации с учетом генезиса угольных месторождений региона в условиях непрерывного проявления тектонических процессов.

Ключевые слова: угли, Восточное Забайкалье, полукоксование, механохимические процессы.

Введение

В связи с введением Единой классификации (ЕК-88 [1]) уточнен марочный состав ископаемых углей (далее – «углей») Восточного Забайкалья (Забайкальский край) и выполнена их оценка как сырья многоцелевого назначения по рекомендациям в ЕК-88 [2], показавшая перспективность угольной базы края (>4 млрд т разведанных запасов углей) как сырья для полукоксования (SK). В настоящее время в крае открытым способом добывается ~15 млн т/год углей, поступающих на ТЭЦ и в коммунальный сектор. Качество углей большей части запасов изучено >40 лет назад при создании сырьевой базы ТЭКа с оценкой выходов продуктов SK на небольших выборках проб. Ввиду этого проведено более глубокое исследование качества углей региона как сырья для процесса SK, изучены критерии оценки пригодности углей него и рынок сбыта продуктов SK.

Анализ состояния вопроса полукоксования углей в России показал, что она значительно отстает от многих стран (Германии, Китая и др.) в переработке углей процессом SK и из-за недостаточного внимания к нему в СССР, и из-за реформ в стране, приведших к закрытию ряда заводов SK углей (в т.ч. черемховских) [3, 4]. В стране ощутим дефицит в продуктах глубокой переработки углей: специальных сортов кокса и полукокса как восстановителей, адсорбентов и др. [4, 5]. Между тем, отечественными учеными предложены эффективные решения осуществления процесса SK углей: создана научная база для производства из углей марок Б, Д, Г и СС специальных углеродистых восстановителей [5, 6], показана эффективность применения полукоксов как дешевых адсорбентов [7], на его базе разработана безотходная технология и создана установка для ее реализации с получением комплекса ценных продуктов (газового бензина, мазута, брикетов, газа) [8].

Для получения смолы SK (T_{sk}) обычно используют витринитовые угли с $T_{sk}^{daf} \geq 10–12\%$ (на сухое состояние топлива) [9, 10], но, если полукокс обладает ценными свойствами, то процесс SK может быть выгоден при $T_{sk}^{r} \geq 6\%$ (рабочее топливо) с влажностью $W_{tr} \leq 10$, что соответствует $T_{sk}^{daf} \geq 8\%$ (на сухое беззольное состояние) при зольности $A^{d} \leq 10\%$ [11]. Минеральные примеси в углях существенно влияют на процесс SK, например, добавки пирита (1–2% от исходного угля) >выход T_{sk} на 12–30% [12]. Результаты процесса SK зависят от его параметров, но ключевой

фактор, влияющий на его эффективность, – природные свойства исходного сырья [9].

Основные требования к энергоносителям и карбюризаторам (кусковый кокс и его мелочь, полукокс, каменный и древесный уголь, антрацит, нефтепродукты, природный газ),%: сера общая $S_t^d < 0.5$, $A^d < 7–8$, SiO_2 в золе < 60%, $V^{daf} < 20$ [3]; требования к углеродсодержащим компонентам при получении карбидов (коксы, полукоксы, угли Т и А): по [3] – $W_t^r < 6.5$, $A^d < 6.5$, $S_t^d < 1.5$, $P^d < 0.05$, по [11] – $A^d < 9.4$, $V^d < 6.0$, $W_t^r < 8.0$, $S_t^d < 0.8$, $C^d = 80–89$.

Основа экономики Забайкалья – горнорудная и сельскохозяйственная отрасли. На их предприятиях могут найти применение полукокс и смола SK и продукты их переработки: в горнорудном секторе – флотореагенты, мазут, связующие (в окомковании руд); в сельском хозяйстве – гербициды, антисептики, витамины; полукоксы могут использоваться как адсорбенты, экологически чистое бездымное топливо, энергоносители на предприятиях металлургии (их создание предусмотрено программами развития экономики края [13]). Уместно отметить, что прекращение поставок мазута из смолы SK черемховских углей как технологического топлива на Петровск-Забайкальский металлургический завод (градообразующее предприятие) стало одной из главных причин его остановки.

Процесс SK – это и способ изучения химической природы углей: в отличие от смолы коксования, в смоле SK в большей мере сохраняется структура фрагментов органической массы углей (ОМУ) [9]. Угольные формации Восточного Забайкалья образовались в своеобразных условиях орогенеза [14] из-за уникальности тектонического развития этого участка земной коры – его непрерывности от архея до настоящего времени [15]. Для них при небольших размерах (18–150 км^2) и запасах углей (обычно < 500 млн т) характерны расположение в разобщенных эрозионно-тектонических впадинах в зонах глубинных долгоживущих (обновляемых) разломов, тектоническая полигенность и нарушенность, блоковое строение, изменчивость качества углей, высокая проницаемость вмещающих пород: их кластогенез обеспечивает, с одной стороны, поступление в угольные пласты корово-мантийных флюидов, с другой, – их дегазацию [10]. При отмеченных общих признаках месторождения отличаются строением и качеством углей из-за дифферинцированности проявления процессов тектогенеза по интенсивности, площади и времени [16], поэтому каждое из них может рассматриваться как самостоятельный угленосный район со своими индивидуальными чертами [17].

Установлено, что процессы тектогенеза приводят к нарушенности макроструктуры отдельных слоев пластов и преобразованию на молекулярном уровне ОМУ под действием давления, горных ударов, дополнительного тепла [18]. В углях из зон геодинамических явлений (ГДЯ) отмечены изменения их свойств: оптических свойств мацералов (в т.ч. > отражательной способности витринита R_o), плотности, переориентация мицелл в структуре углей, а так же переход ОМУ в метастабильное состояние, которое впоследствии ведет к протеканию в пластах механохимических реакций: при тектонических процессах, формирующих геологическую нарушенность; из-за факторов регионального метаморфизма (Т°, давления); при горных работах (техногенные ГДЯ – ТГДЯ). Уголь из тектонически нарушенных пластов может при малейших воздействиях (в т.ч. при выемке из пласта) распадаться в пыль

или на мелкие линзовидные кусочки с зеркально пришлифованными поверхностями из-за деполимеризации мультимеров на п-меры меньшей размерности (ди-, три- и т.д). Изучение углей из зон выбросов при ТГДЯ и в экспериментах с вибровоздействиями на угли показано, что механохимические реакции протекают с выделением газообразных продуктов (CO_2, H_2, метана и др.) из-за разрушения алифатических фрагментов макромолекул (с менее прочными химическими связями, чем в ароматических кластерах), что фиксируется < выходов летучих веществ (V^{adf}) [93, 18].

Установлено влияние процессов тектогенеза на состав и свойства углей месторождений Восточного Забайкалья: у углей одного и того же пласта из зон внутрипластовых подвижек (Апсатское месторождение) и из приразломных участков пластов (Зашуланское месторождение, рис. 1), витриниты по структуре весьма неоднородны – для их отражательной способности (R_o) стандартные отклонения $\sigma \geq 0.10$, что по ГОСТ 30313–95 соответствует смеси углей разных пластов; в бурых углях (2Б-3Б) Харанорского и Уртуйского месторождений установлены мацералы с деформированными клеточными пространствами; крупные куски углей Олонь-Шибирского месторождения после выемки из пласта самопроизвольно могут распадаться на мелкие линзовидные кусочки с зеркальными поверхностями. Выявлена взаимосвязь этих особенностей вещественного состава углей с их технологическими свойствами: различная коксуемость у апсатских углей, принадлежащие к одной подгруппе, из-за неоднородности витринита; практически весь недожог при сжигании харанорских и уртуйских углей на ТЭЦ происходит из-за деформированных мацералов [2].

С учетом наличия обширной угольной базы, возможных потребителей продуктов SK, а также особенностей генезиса углей Восточного Забайкалья – второго по значимости минерального сырья в его недрах [13] изучение состава и свойств их продуктов SK орогенных углей региона представляет как практический, так и научный интерес.

Методика исследования

Основа методики исследования – системный подход, который обеспечивается, во-первых, изучением состава и свойств углей шести разрабатываемых месторождений (их суммарные запасы – >70% запасов углей в крае) и продуктов их полукоксования, во-вторых, характеристикой качества углей и продуктов SK широким комплексом взаимосвязанных петрографических и химико-технологических параметров. Объекты изучения: угли бурые (2Б) Харанорского, Тарбагатайского и Татауровского месторождений и каменные Олонь-Шибирского (Д), Зашуланского (1Г) и Апсатского (СС) месторождений с участков добычи. Для всех этих месторождений типичны малоамплитудные подвижки; Харанорское, Тарбагатайское, Зашуланское и Апсатское месторождения имеют блоковое строение: в их пределах по крупным разломам угольные пласты смещены и по разрезу, и по

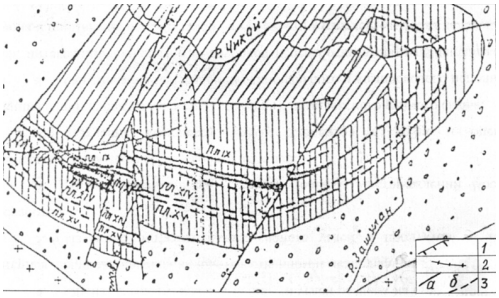

Рис. 1. Схематическая геологическая карта [14] Зашуланского месторождения

1 – тектонические нарушения; 2 – границы участка Центральный; 3 – угольные пласты: а – установленные; б – предполагаемые

Рис. 2. Схема расположения добычных участков на Олонь-Шибирском месторождении

горизонтали (рис. 1). Добыча углей на месторождениях, кроме Харанорского, ведется в полосе выходов пластов под наносы.

Харанорские угли (добыча ≥ 5 млн т / год) отобраны участков №№ 1, 3 и 6, расположенных в блоках, разделенных разломами, причем блок с участком № 3 расположен между двумя разломами и приподнят относительно блоков с участками № 1 и № 6; пласт Новый-1 мощностью 35–50 м, отрабатываемый 2–3 уступами, опробован 5–10 пластопересечениями на каждом уступе. На Олонь-Шибирском месторождении пласт 18 мощностью 15–20 м, отрабатываемый одним уступом (добыча ≥ 3 млн т /год) на двух участках (№ 1 – на крыле мульды, № 2 – в ее замыкании, ограниченном разломом), опробован по 3–4 пластопересечениям на каждом (рис. 2). На остальных месторождениях работы ведутся на одном участке одним уступом, где отобраны пробы по 2–6 пластопересечениям от пластов: В5 и В7 (крутопадающих) – на Апсатском, Х1а – на Зашуланском, Тигнинского – на Тарбагатайском, III – на Татауровском.

По стандартным методикам изучены основные параметры качества углей и продуктов SK, полученных по ГОСТ 3168–86; групповой состава смол SK охарактеризован по методике Стадникова [9]. Методами дериватографии исследованы: кинетика процесса термодеструкции с непрерывным измерением убыли массы и скорости ее убыли; характеристические температуры процессов термической деструкции и максимального смоловыделения; потери (убыли) и максимальные скорости изменения массы в различных температурных интервалах; реакционная способность полукоксов. Для углей Харанорского и Олонь-Шибирского месторождений также изучены динамика выделения газов, их состав и количественный выход методом газовой хроматографии. Степень окисления углей оценена комплексом методов: петрографическим ($ОК_П$) по ГОСТ 8930–94, дополненным дифференциацией содержаний окисленных зерен витринита (V_t) по степени изменения на слабо и сильно окисленные, и химическим по общему выходу гуминовых кислот ($НА_t^{daf}$) по ГОСТ 9517–94.

Для оценки восстановленности углей апробирован способ Института горючих ископаемых (ИГИ), основанный на комплексе петрографических (R_o, ∑ОК – содержание отощающих компонентов) и технологических параметров с дифференциацией последних внутри генетического ряда углей: для бурых и каменных с $R_o < 0.64\%$ – V^{daf}, для каменных с $R_o = 0.64 \div 1.99\%$ – У (толщина пластического слоя), т.к. при < степени восстановленности значения также уменьшаются V^{adf} и У, характеризующие алифатические (V^{daf}, которому альтернативен $Т_{ск}^{daf}$) и ароматические (У) фрагменты макромолекул [3].

Результаты исследования

Макроскопически установлены особенности облика тарбагатайских, олонь-шибирских и апсатских углей: тарбагатайские – с визуальными признаками выветривания в виде трещин, потери блеска и прочности по

трещинам; олонь-шибирские – мелкокусковатые из-за спонтанного распада основной части крупных кусков после выемки из пласта (по наблюдениям авторов – через 3–5 часов) на линзовидные кусочки (d_{max} < 30 мм) с зеркальными поверхностями, что особенно типично для углей участка № 2 – из зоны вблизи разлома (рис. 2); апсатские – блестящие, без признаков окисления, в некоторых интервалах пластопересечений передроблены, с «зеркалами» скольжения и ококсования.

По результатам геологоразведочных работ на Апсатском месторождении неспекающиеся угли в полосе выходов на поверхность и под наносы, подобные исследованным (визуально – блестящие, без симптомов выветривания и с признаками воздействия ГДЯ), отнесли к окисленным (не маркирующимся по ЕК-88), хотя была отмечена их необычно высокая для окисленных углей теплотворная способность. Позднее, по совокупности особенностей генезиса, состава и свойств, они отнесены к марке СС (слабоспекающиеся) [2.14].

Минеральные примеси тонкодисперсны, представлены глинистыми минералами, кварцем, карбонатами, пиритом; повышенные содержания последнего типичны для тарбагатайских углей.

Основные параметры качества исследованных углей (табл. 1) близки к средним на месторождениях [14]: угли мало- и среднезольные (A^d = 6.2÷24.7%), малосернистые – $S_t^d \leq 1.0\%$, кроме тарбагатайских – у них S_t = 2.4%. По ЕК-88 они витринитовые, сложены в основном мацералами групп витринита и инертинита: мацералов группы липтинита не > 6%; содержание ∑ОК различно: тарбагатайские, зашуланские и олонь-шибирские – в основном категории 0; апсатские, харанорские и татауровские – 2 и 3 категорий.

Все бурые угли – подгруппы 2БВ, но отличаются степенью метаморфизма: у тарбагатайских R_o = 0.46÷0.48%, у харанорских R_o = 0.28÷0.34%, причем наименее зрелые (R_o = 0.28÷0.30%) с участка № 3; татауровские угли – с R_o = 0.41÷ 0.43%. Олонь-шибирские (марка Д) и зашуланские угли (марка Г) близки по степени метаморфизма (R_o в пределах 0.52÷0.60%) и петрографическому составу, но отличаются спекаемостью: у первых она отсутствует, у зашуланских У = 9÷10 мм. Апсатские марки СС угли с R_o~1% – неспекающиеся (У < 0 мм).

Гуминовые кислоты во всех каменных и бурых тарбагатайских углях не установлены – HA_t^{daf} <1%, причем у последних, как отмечено выше, при сильных визуальных признаках окисления; в харанорских и татауровских углях HA_t^{daf} = 15–25%, что типично для них [14]; при $ОК_п \leq 10÷17\%$ признаки сильного окисления имели ~1% абс. зерен угли апсатские пласта B_5 и олонь-шибирские, у тарбагайских таких зерен ~3% абс. (~15% от $ОК_п$); остальные угли содержали лишь слабоокисленные зерна при общем $ОК_п$ = 4÷10%. Анализ результатов, приведенных в [14] и в табл. 1, показал, что установленная степень окисления исследованных углей ($ОК_п \leq 10÷17\%$ при содержании сильно окисленных зерен < 3% абс.) практически не влияет на основные параметры их качества, в т.ч. на выход гуминовых кислот, а для зашуланских углей и на спекающую способность: при установленном У=9÷10 мм она оптимальна для углей месторождения.

Отсутствие гуминовые кислот в тарбагатайских углях при визуальных признаках окисления свидетельствует об аномальной их ОМУ, типичной для углей всего этого месторождения, что отмечено еще в геологических отчетах, но не нашло в них объяснения.

Таблица 1

Основные показатели качества углей Восточного Забайкалья и процесса их полукоксования

Месторождение, пласт	Показатели качества исходных углей									Групповой состав смолы, %					
	A^d, %	V^{daf}, %	S_t^d, %	R_g, %	∑ ОК, %	B*	Смола, Tsk	Полукокс, SK	Газ+потери	Свободный углерод	Фракции смолы				
											Фенолы	Кислоты	Основания	Нейтральн. соединения	Осмоливш. вещества
Харанорское, Новый 1-															
участок № 1: уступ 1	8.0	42.2	0.18	0.33	25	2	7.5	69.1	15.1	3.4	24.5	2.0	5.0	55.2	9.8
уступ 2	11.0	43.9	0.24	0.34	28	1–2	6.2	67.8	17 0	-	-	-	-	-	-
участок № 3: уступ 1	13.0	44.2	0.31	0.28	36	3	4.2	60.7	15.1	-	-	-	-	-	-
уступ 2	24.7	44.3	0.49	0.30	23	3	5.2	67.5	17.0	2.0	17.4	3.5	5.2	65.2	6.7
участок № 6: уступ 1	8.9	44.3	0.26	0.32	27	1–2	6.7	65.3	16.0	-	-	-	-	-	-
уступ 2	11.9	43.2	0.32	0.31	26	1–2	8.2	67.1	17.5	2.7	20 7	3.7	5.4	61.6	6.6
уступ 3	10.8	44.1	0.44	0.31	25	1–2	7.1	70.6	12.9	-	-	-	-	-	-
Татауровское, 3	10.3	43.1	0.32	0.42	22	2	9.6	64.2	18.2	3.6	20.2	4.5	3.3	48.1	22.0
Тарбагатайское, Тигня**	13.9	45.6	2.41	0.47	1	3	15.8	68.4	9.4	5.6	23.6	2.9	3.2	51.2	13.6
Апсатское, B_7	15.9	27.0	0.22	0.98	20	3	1.2	85.7	7.8	-	-	-	-	-	-
Зашуланское, X1[a]	6.2	42.3	0.50	0.57	7	2	13.4	68.2	14.6	3.4	25.1	3.8	4.5	55.7	8.0
Олонь-Шибирское,18 -															
участок № 1: проба 20	19.2	44.5	0.24	0.54	7	1	12.4	67.7	10.9	2.4	27.4	6.7	2.4	53.5	8.9
проба 21	13.6	44.5	0.21	0.52	6	1	13.4	69.2	10.1	2.7	29.4	5.0	9.7	48.7	5.3
проба 22	16.9	44.1	0.21	0.56	10	1	14.0	68.5	11.6	4.3	25.7	5.8	7.3	52.0	5.0
участок № 2: проба 23	13.1	42.6	0.34	0.57	3	2	11.1	68.7	11.0	3.7	36.1	4.6	1.7	43.5	10.5
проба 24	17.9	42.3	0.26	0.60	6	2	11.4	71.1	9.7	3.3	31.9	5.8	8.4	42.7	7.9
проба 25	14.2	43.4	0.27	0.58	4	2	11.5	69.4	10.7	3.4	32.7	4.3	4.5	49.3	6.5
проба 26	15.9	43.0	0.34	0.59	6	2	11.8	71.4	9.9	2.7	31.7	5.1	7.0	48.7	4.7
Черемховское /7/	6.0–18.0	45.6	-	0.50	5	1	15.7	70.1	-	-	21.0	2.3	1.4	64.1	11.3
Ирша-Бородинское /23/		47.0	0.27	0.36	9	2	9.7	66.6	14.9	-	24.6	2.8	6.4	57.2	9.0

* Степень восстановленности (В) по /3 /: 1 – сильная; 2 – средняя; 3 – слабая ** Тигня - Тигнинский

В настоящее время это можно убедительно обосновать очень интенсивным проявлением процессов тектогенеза [18], о чем свидетельствует блоковое строение месторождения и широкое развитие в его пределах разрывной тектоники с разломами, выходящими на поверхность [14].

По классификации ИГИ слабо восстановлены апсатские и тарбагатайские угли, татауровские и зашуланские – средне восстановленные (рис. 3); восстановленность харанорских и олонь-шибирских углей изменяется в зависимости от структурно-тектонических особенностей участков ииих локализации (табл. 1). Так, харанорские угли в приподнятом блоке между двумя разломами на участке № 3 – менее восстановленны, чем угли на участках № 1 и № 6 в опущенных блоках, что согласуется с вероятностью большего воздействия ГДЯ на участок № 3 и на ОМУ в его пределах при двухстороннего сжатия и более благоприятным режиме отвода из пласта в приподнятом блоке продуктов механохимических реакций, которые в условиях релаксации протекают более активно [18]. Олонь-шибирские угли участка № 1 (тектонически спокойное крыло мульды) – сильно восстановленные, участка № 2 (в замыкании мульды и вблизи разлома, т.е. в зоне интенсивного проявления ГДЯ и преобразования ОМУ) – средне восстановленные (рис. 2, 3).

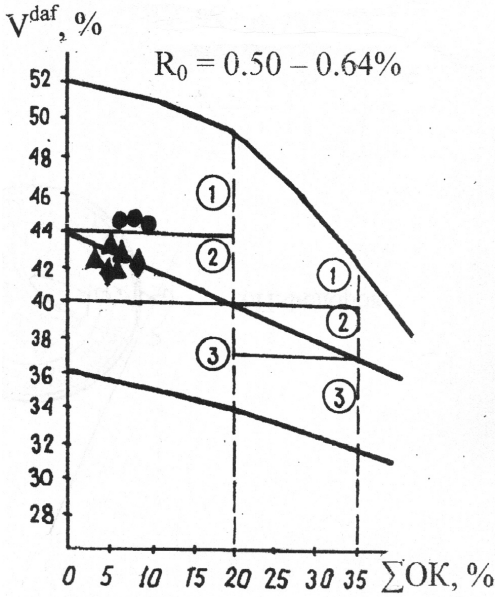

Рис. 3. Восстановленность олонь-шибирских и зашуланских углей

● – *олонь-шибирские угли на участке № 1*
▲ – *олонь-шибирские угли на участке № 2*
♦ – *зашуланские угли*

Области расположения углей по восстановленности /3/:

1 – сильно восстановленные,
2 – средне восстановленные,
3 – слабо восстановленные.

Таблица 2

Выход продуктов полукоксования из углей /9/

Продукты полукоксования	Выход, % (масс) на сухое вещество*		
	Бурые угли		Каменные угли
	Землистые	Плотные (2Б-3Б)	
Первичная смола	10–16	6–14	2–16
Полукокс**	55–62	71–76	73–91
Пирогенетическая влага	7–9	3–13	1–8
Первичный газ	18–21	6–20	6–10

* Температура начала термодеструкции, °С: бурых углей – 160÷200, каменных – 200÷320.
** Состав полукоксов, % (масс) на сухое беззольное состояние (daf): выход летучих веществ V^{daf} = 9÷22.5; C^{daf} =84÷92; H^{daf} = 2.65÷4.40 /9/.

Таблица 3

Характеристики процесса термического разложения углей Восточного Забайкалья

Месторождение, пласт	**Ro, %**	**∑ОК, %**	**В**	**Характеристические температуры термодеструкции, °С**			**Убыль массы, Ра,% в интервале температур, °С**					**Максимальная скорость разложения, мг/мин**
				Сушки	**Смоловыделения**		**20–200**	**200–550**	**550–850**	**200–850**	**20–850**	
					Начала	**Максимального**						
Харанорское, Новый 1:												
участок № 1	0.34	27	1–2	73	160	400	10.5	26.3	18.8	45.0	55.0	1.0
участок № 3	0.27	30	3	70	150	400	13.3	23.5	19.5	43.2	56.9	0.8
участок № 6	0.31	26	1–2	70	160	400	11.4	27.2	20.5	49.0	59.4	1.0
Татауровское, 3	0.42	22	2	70	265	410	16.4	22.9	24.4	47.3	63.7	1.0
Тарбагатайское, Тигн.	0.47	1	3	70	140	420	5.0	22.0	18.0	40.0	45.0	1.8
Апсатское, В7	0.98	20	3	60	315	475	4.0	13.4	21.6	35.3	40.0	0.4
Зашуланское, Х1[a]	0.57	5	2	70	240	420	8.6	22.2	21.2	43.4	43.4	1.5
Олонь-Шибирское, 18:												
участок № 1	0.54	8	1	70	265	410	4.4	23.0	14.7	37.6	42.1	1.4
участок № 2	0.58	5	2	80	280	420	4.3	21.8	11.5	34.7	37.2	1.5

Таблица 4

Характеристика полукоксов лабораторного полукоксования углей

Месторождение, пласт	Технический анализ		Элементный анализ, % (daf)				Рекционная способность						
	A^d,%	V^{daf}, %	C	H	N	O+S	Характеристические температуры горения, °C*				< массы, %, в интервале T, °C		Max скорость горения**
							$T_н$	T_{max}	$T_{плечо}$	$T_к$	20–200	200–500	
Харанорское, Новый 1													
участок № 1	13.6	18.0	80.4	3.36	1.15	15.12	230	370	470	510	5.0	81.7	2.4
участок № 3	24.8	18.6	78.5	3.41	1.49	16.52	220	385	490	530	3.4	73.5	2.3
участок № 6	14.5	17.3	82.0	3.43	1.15	13.53	217	377	476	527	4.0	78.1	2.4
Тарбагатайское, Тигня	17.1	16.4	80.4	3.36	2.60	14.25	280	440	–	500	2.9	80.4	2.0
Татауровское, пласт III	14.1	18.6	85.6	4.56	9.75		210	350	–	490	7.8	78.7	2.8
Олонь–Шибирское													
участок № 1	20.3	16.8	86.9	4.38	2.17	7.1	287	450	–	520	1.0	76.8	2.7
участок № 2	19.5	16.1	84.9	3.79	6.62	8.43	290	455	–	526	1.0	76.7	2.3
Апсатское, пласт B_7	17.9	13.8	88.3	4.83	7.71		350	510	540	560	2.8	76.3	1.5
Зашуланское, пласт XI[a]	8.2	15.1	93.5	4.5	2.04		280	460	500	520	3.8	–	2.5
Черемховское	18.6	18.1	84.2	3.70	8.29		–	–	–	–	–		–

* $T_н$, T_{max}, $T_{плечо}$, $T_к$ – соответственно, температуры начала горения, максимального выгораня, изотермического горения, конечная.
** мг/мин.

Результаты полукоксования отразили общие закономерности влияния типа исходных углей на процесс (табл. 2) и четко выявили природные особенности каждого из исследованных углей (табл. 1, 3, 4).

Минимальный выход смолы SK (T_{sk}^{daf} ~1%, ввиду чего ее групповой состав не изучался) из всех исследованных углей установлен у наиболее метаморфизованных и слабо восстановленных (из-за полной потери спекаемости в результате проявления ГДЯ) апсатских углей; у них же – самые высокие характеристические температуры и выход полукокса, минимальные убыль массы и скорость разложения. Самый низкий выход смолы SK из бурых углей установлен у менее метаморфизованных харанорских углй, характеризующихся повышенным содержанием ∑ОК, причем минимальный (T_{sk}^{daf} ~5%) – у слабо восстановленных углей участка № 3.

Основные параметры термодеструкции харанорских углей всех участков близки при более низкой температуре начала смоловыделения и большей убыли массы у менее метаморфизованных углей участка № 3.

Максимальный выход смолы SK (T_{sk}^{daf} >15%) из всех исследованных углей – у тарбагатайских благодаря высокому содержанию в них сульфидной серы (~1,50%) в виде пирита, что благоприятно для процесса SK [12] и компенсирует их слабую степень их восстановленности Выход смолы SK из зашуланских и олонь-шибирских углей также высокий (>10%), при этом для более восстановленных олонь-шибирских углей участка № 1 (рис. 1, 3) характерны и большие значения этого показателя – T_{sk}^{daf} =12.4–14.0% при T_{sk}^{daf} = 11.1–11.8% у менее восстановленных углей участка № 2.

У татауровских углей при T_{sk}^{daf} ~10% установлены высокая температура начала смоловыделения (на уровне каменных олонь-шибирских и зашуланских) и повышенное содержание в смоле осмолившихся веществ (табл. 1, 3), что затрудняет процесс SK (из-за забивки трубопроводов).

Большую часть смолы SK (42–65%) исследованных углей, также как у черемховских и ирша-бородинских углей (канско-ачинских), составляют нейтральные соединения (табл. 1). Наиболее высокие содержания фенольной фракция (23.6–36%), в основном обуславливающей ценность смолы SK как ароматического сырья, присущи смоле тарбагатайских, зашуланских и олонь-шибирских углей. Этот показатель стабилен у олонь-ши-

Таблица 5

Выход фенольной фракции от первичной смолы и исходных углей

Месторождение	Выход фенольной фракции, %		
	От смолы SK	Фенольной фракции	
		От смолы SK	От исходного угля
Тарбагатайское	15.6	23.6	3.72
Зашуланское	13.4	25.1	3.36
Олонь-шибирское участок 1 участок 2	 13.3 11.4	 27.6 33.1	 3.65 3.77
Черемховское [7]	15.8	21.0	3.32
Ирша-бороинское [4]	9.7	24.6	2.38

бирских углей на каждом участке при максимальном его значении (31.9–36.1%) для менее восстановленных углей участка № 2 – из приразломной зоны в замыкании мульды (рис. 2). Эти результаты и расчеты (табл. 5) показывают, особенно убедительно на примере изометаморфных олонь-шибирских углей и с близким петрографическим составом, что снижение общего выхода смолы SK и, как следствие, восстановленности у орогенных углей в тектонически активных зонах происходит из счет сокращения алифатических фрагментов макромолекул, обусловленных механохимическими реакциями в ОМУ.

Данные табл. 5 показывают сопоставимость ценности смолы SK тарбагатайских, зашуланских и олонь-шибирских углей как источника ароматических соединений со смолой черемховских углей, а также независимость выхода от исходного угля фенольной фракции в первичную смолу у разно восстановленных орогенных углей, локализованных в зонах, отличающихся структурно-тектоническими характеристиками. Низкие содержания осмолившихся веществ в смоле SK зашуланских и олонь-шибирских углей еще более повышают их технологическую ценность.

Выход фенольной фракции от смолы SK у углей татауровских и харанорских с участков 1 и 6 достаточно высокий (≥ 20%), но у харанорских углей низок выход первичной смолы, а у татауровских она менее качественная, однако их полукоксы наиболее реакционноспособны, что повышает потенциальную технологическая ценность этих углей.

Все полукоксы имели вид сыпучих продуктов, кроме зашуланского, который хорошо сплавлен. Зольность полукоксов изменяется в зависимости от зольности исходного угля; содержание в них углерода в основном, за исключением полукоксов татауровского и зашуланского, координируется со степенью метаморфизма исходных углей: татауровский полукокс имеет содержание углерода, сопоставимое с ним у полукоксов олонь-шибирских углей, а у зашуланского полукокса оно выше, чем в полукоксе апсатского самого метаморфизованного угля и соответствует предельно высокому содержанию углерода в угольных полукоксах (табл. 2). По качеству полукокс малозольных (A^d < 10%) зашуланских углей отвечает требованиям к качеству энергоносителей и карбюризаторов, является бездымным топливом.

Заключение

На основании полученной системной комплексной петролого-технологической информация о качестве бурых и каменных углей шести месторождений Восточного Забайкалья и составе и свойствах продуктов их полукоксования сделаны следующие выводы:

1. Наличие в регионе углей, различающихся составом и свойствами, создают возможности выбора их как базы для полукоксования в зависимости от целевого назначения конечных продуктов и требований потребителей, которыми могут быть, в первую очередь, предприятия горнорудной и сельскохозяйственной отраслей – ведущих в экономике края. Перспективны как сырье для получения смолы полукоксования угли Татбагатайского, Олонь-Шибирского и, особенно, Зашуланского месторождений, однако, с учетом изложенных результатов и нужд конкретных потребителей, требуется проведение более целенаправленнее\ых укрупненных исследований с оценкой химического всего потенциала углей.

2. Выявленная взаимосвязь между качеством углей и стрктурно-тектоническими особенностями зон их локализации свидетельствует о значительной

роли процессов тектогенеза в формировании состава и свойств орогенных углей в результате механохимических преобразований органической массы углей в зонах с высокой тектонической активностью, что зафиксировано снижением выходов смолы полукоксования за счет сокращения в ней алифатической составляющей при постоянном выходе ароматической составляющей в первичную смолу от исходных изометаморфных углей из различных тектонических зон.

3. Успешная апробации методики ИГИ для оценки углей по степени восстановленности на базе технологических (спекающая способность, выход летучих веществ) и углепетрографических параметров свидетельствует об эффективности ее применения для этой цели ввиду доступного и массового определения указанных параметров, оценка которых производится с разной степенью детальности на любой стадии изучения угольных месторождений. На основе взаимосвязи между степенью восстановленности углей и структурно-тектоническими характеристиками зон их залегания возможна первичная дифференциация запасов месторождений для локализации участков углей, различающихся технологическими свойствами, в том числе на недоразведанных месторождениях с использованием имеющихся банков данных.

Исследование выполнено по федеральным и региональным программам геологического изучения недр и воспроизводства минеральных ресурсов. Автор признателен сотрудникам Иркутского госуниверситета за выполнение экспериментов по полукоксованию и термической деструкции углей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *ГОСТ 25543-88*. Угли бурые, каменные и антрацит. Классификация по генетическим и технологическим параметрам. – Введ. 01.01.90. – М.: Госкомитет СССР по стандартам. 1988. 19 с.

2. *Куклина Г.Л.* Комплексная геолого-технологическая переоценка качества углей Восточного Забайкалья и перспективы их многоцелевого использования / Г.Л. Куклина [и др.] // ГИАБ. – 2004. – № 2. – С. 321–330.

3. *Еремин И.В.* Марочный состав углей и их рациональное использование. Справочник / И.В. Еремин, Т.М. Броновец. – М.: Недра, 1994. – 254 с.: ил.

4. *Артемьев В.Б.* Петрология углей и их эффективное использование / В.Б. Артемьев, И.В. Еремин, С.Г. Гагарин. – М.: Недра коммюникейшн, 2000. – 334 с.: ил.

5. *Степанов С.Г.* Энерготехнологический комплекс для переработки низкосортных углей / С.Г. Степанов, С.Р. Исламов // Перспективы развития химической переработки горючих ископаемых: сб. науч. тр. – СПб, 2006. – С. 90.

6. *Страхов В.М.* Научные и производственные аспекты получения специальных видов кокса и полукокса для электротермических производств / В.М. Страхов // Перспективы развития химической переработки горючих ископаемых: сб. науч. тр. – СПб, 2006. – С.40.

7. *Вязова Н.Г.* Адсорбционные свойства полукоксов из углей Сахалинского и Иркутского бассейнов / Н.Г. Вязова // Химия твердого топлива. – 2001. – № 2 – С. 35 – 40.

8. *Сорокин А.П.* Эффективные технологии извлечения полезных ископаемых из минерального сырья Верхнего и среднего Приамурья /А.П. Сорокин [и др.] // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. – № 3. – С. 110–120.

9. *Камнева А.И.* Теоретические основы химической технологии горючих ископаемых / А.И. Камнева, В.В. Платонов. – М.: Химия, 1990. 288 с.: ил.

10. *Скурский М.Д.* Золото-редкометалльно-нефтегазоугольные месторождения и их прогноз в Кузбассе / М.Д. Скурский. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2005. – 627 с.: ил.

11. *Фальбе Ю.* Химические вещества из углей / Ю. Фальбе. – М.: Химия, 1980. – 616 с.: ил.

12. *Комарова Т.Н.* Влияние минеральных добавок на полукоксование вознесенского угля / Т.Н. Комарова, В.А. Сараев, И.Г. Коротаев // Исследование состава и свойств углей Восточной Сибири и продук-

тов их перерботки: сб. науч. тр. – Ирутск: ИГУ, 1988. – 256 с.

13. *Чечеткин В.С.* Сырьевая база угольной промышленности Читинской области / В.С. Чечеткин [и др.] // Ресурсы Забайкалья. – 2004. – № 3. – С. 14–26.

14. *Угольная* база России. В V т. Т. IV. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири / под ред. В.Ф. Череповского. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2001. – С. 493.

15. *Скурский М.Д.* Недра Забайкалья / М.Д. Скурский. – Чита: ЧитГТУ, 1996. – 690 с.: ил.

16. *Череповский В.Ф.* Принципы классификации угольных бассейнов и месторождений орогенных областей / В.Ф. Череповский, А.Г. Портнов // Геология, методы поисков: обзорная информация (ВИЭМС). – М., 1982. – № 4 – 67 с.

17. *Геология* угольных месторождений СССР / Под ред. А.К. Матвеева. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 352 с.: ил.

18. *Гагарин С.Г.* Структурно-химические аспекты нарушенности каменных углей выбросоопасных пластов / С.Г. Гагарин, И.В. Еремин, А.Н. Лисуренко // Химия твердого топлива. – 1997. – № 3. – С. 3 – 13.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Куклина Галина Леонидовна – кандидат технических наук, научный сотрудник,
e-mail:druja@indox.ru,
Забайкальский государственный университет.

UDC 622.642

INFLUENCE OF MECHANOCHEMICAL PROCESSES ON PROCESSING BEHAVIOR OF EASTERN TRANSBAIKALIA COAL UNDER LOW-TEMPERATURE CARBONIZATION

Kuklina G.L., Candidate of Engineering Sciences, Researcher, e-mail:druja@indox.ru,
Transbaikalian State University.

The article gives results of semicoking of the orogenic coals of the Eastern Transbaikal and their interpretation with regard to genesis of coal deposits in the region under the conditions of continuous manifestation of tectonic processes.

Key words: *coals, Eastern Transbaikal, semicoking, mechano-chemical processes.*

REFERENCES

1. RF State Standard 25543-88. Lignite, Black Coal and Anthracite. Genesis and Processing-Based Ranking. Moscow: Goskomitet Rossii po standartam, 1988. 19 p.

2. Kuklina G.L. Kompleksnaja geologo-tehnologicheskaja pereocenka kachestva uglej Vostochnogo Zabajkal'ja i perspektivy ih mnogocelevogo ispol'zovanija / G.L. Kuklina [i dr.] // GIAB. – 2004. – № 2. – S. 321–330.

3. Eremin I.V., Bronovets T.M. Coal Ranks and Rational Use. Reference Manual. Moscow: Nedra, 1994. 254 p.

4. Artemiev V.B., Eremin I.V., Gagarin S.G. Coal Petrology and Efficient Use. Moscow: Nedra Communication, 2000. 334 p.

5. Stepanov S.G. Jenergotehnologicheskij kompleks dlja pererabotki nizkosortnyh uglej / S.G. Stepanov, S.R. Islamov // Perspektivy razvitija himicheskoj pererabotki gorjuchih iskopaemyh: sb. nauch. tr. – SPb, 2006. – S. 90.

6. Strahov V.M. Nauchnye i proizvodstvennye aspekty poluchenija special'nyh vidov koksa i polukoksa dlja jelektrotermicheskih proizvodstv / V.M. Strahov // Perspektivy razvitija himicheskoj pererabotki gorjuchih iskopaemyh: sb. nauch. tr. – SPb, 2006. – S.40.

7. Vyazova N.G. Adsorption Properties of the Sakhalin and Irkutsk Coal Char, Khimia tverdogo topliva—Hard Fuel Chemistry Journal, 2001, no. 2, pp. 35–40.

8. Sorokin A.P. et al. The Enabling Technology for Recovery of Valued Components from Minerals in the Upper and Mid Amur Region, Journal of Mining Science, 2009, Vol. 45, No. 3, 295–304.

9. Kamneva A.I., Platonov V.V. Theoretical Basis of Anthracite Engineering Chemistry. Moscow: Khimia, 1990. 288 p.

10. Skursky M.D. Gold-Rare Metal-Oil-and-Gas Deposits and Their Occurrence Forecast in Kuzbass. Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2005. 627 p.

11. Falbe Yu. Chemical Substances from Coal. Moscow: Khimia, 1980. 616 p.

12. Komarova T.N., Saraev V.A., Korotaev I.G. Effect of Mineral Supplements on Low-Carbonization of Voznesensky Coal. In: Analysis of Composition and Properties of Eastern Siberia Coal and Its Processing Products: Collection of Scientific Papers. Irkutsk: IGU, 1988. 256 p.

13. Chechetkin V.S. et al. Raw Material Base of the Coal Industry in the Chita Region, Resursy Zabaikalia—Transbaikalia Reserves Journal, 2004, No. 3, pp. 14–26.

14. Cherepovsky V.F. (Ed.). Coal Resource Base of Russia. Vol. IV: Coal Basins and Deposits in Eastern Siberia. Moscow: Geoinformmark, 2001. 493 p.

15. Skursky M.D. Mineral Wealth of Transbaikalia. Chita: ChitGTU, 1996. 690 p.

16. Cherepovsky V.F. Classifying Principles for Coal Basins and Occurrences in Orogenic Regions. In: Geology, Exploration Methods: Review (VIEMS), Cherepovsky V.F. and Portnov A.G. (Eds.). Moscow, 1982. pp. 4–67.

17. Matveeva A.K. Geology of Coal Deposits in USSR. Moscow: MGU, 1990. 352 p.

18. Gagarin S.G. Strukturno-himicheskie aspekty narushennosti kamennyh uglej vybrosoopasnyh plastov / S.G. Gagarin, I.V. Eremin, A.N. Lisurenko // Himija tverdogo topliva. – 1997. – № 3. – S. 3 – 13.

ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (ПРЕПРИНТ)

ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ, СДВИГОВАЯ ПРОЧНОСТЬ РАЗРУШЕННЫХ ГОРНЫХ ПОРОД И ИХ ВЛИЯНИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТВАЛОВ

Цирель Сергей Вадимович, доктор технических наук, главный научный сотрудник, e-mail: tsirel58@mail.ru,

Гапонов Юрий Сергеевич, младший научный сотрудник, e-mail: Gaponony@gmail.com,

Павлович Антон Анатольевич, кандидат технических наук, научный сотрудник, e-mail: dandy332@mail.ru,

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный».

Получены зависимости сцепления, угла внутреннего трения и угла естественного откоса разрушенных пород от размеров кусков, однородности гранулометрического состава и прочностных свойств. Показано, что нижний слой отвала, сложенный из крупных кусков, в зависимости от прочности породы и гранулометрического состава может являться и призмой упора и в относительно редких случаях однородности прочностных свойств вскрышных пород – слабым основанием отвала.

Ключевые слова: разрушенные породы, размер кусков, гранулометрический состав, сцепление, угол внутреннего трения, угол естественного откоса, отвал, прочное основание, метод конечных элементов, метод предельного равновесия.

GRAIN SIZE COMPOSITION, SHEAR STRENGTH OF DISINTEGRATED ROCKS AND ITS EFFECT ON STABILITY OF ROCK DUMPS

Tsirel S.V., Gaponov Y.S., Pavlovich A.A.

The dependencies of disintegrated rocks cohesion, disintegrated rocks internal friction angle and natural angle of slope of disintegrated rocks on lump size, uniformity of grain size and rock strength parameters are obtained. It is demonstrated that the lower bed of rock dump, formed by large lumps, depending on rock resistance and grain size composition can be a sustaining wall and in relatively rare cases of rock strength parameters uniformity of overburden rocks it can be a weak base of rock dump.

Key words: disintegrated rocks, lump size, grain size composition, cohesion, internal friction angle, natural angle of slope, rock dump, strong base, finite elements method, limit equilibrium method.