УДК 552.08

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОДНОГО ПРОСЛОЯ УГЛЯ НА КАА-ХЕМСКОМ КАМЕННОУГОЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ**Янчат Н.Н., Тас-оол Л.Х.***Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН, Кызыл,
e-mail: janchat62@mail.ru*

Описана геохимическая особенность внутрипородного прослоя (партинг) угольного пласта Улуг на территории Каа-Хемского месторождения Улуг-Хемского каменноугольного бассейна. Средняя зольность пласта Улуг A^d 8,4%. По составу основных компонентов тип золы среднепластового угля железисто ($20\% \text{Fe}_2\text{O}_3$)-кальциево ($22\% \text{CaO}$)-кремнистый ($29\% \text{SiO}_2$). В сравнении с местным геохимическим фоном (вмещающие уголь породы: кровля + подошва) в золе угольного пласта повышены содержания CaO , MgO и Fe_2O_3 , соответственно в 32, 12 и 9 раз, что указывает на высокую углефилльность Ca , Mg , Fe . Углефицированный партинг пласта Улуг существенно карбонатный. Структурный, вещественный и химический состав породного слоя угля, отобранного в двух точках разреза Каа-Хемский, свидетельствует о его существенно карбонатной природе. По внешнему виду углефицированный карбонатный партинг практически неотличим от углефицированного алевролита. Очевидно, что карбонатный состав внутрипластового породного прослоя обусловлен геохимическими условиями древнего торфонакопления. Можно полагать, что водно-минеральное питание углеобразующего торфяника с обрамляющих месторождение кембрийских карбонатных толщ (Ондумские известняки) определяло не только диагенетическую карбонатную минерализацию золы углей (по кальцию, железу, магнию), но и способствовало сингенетической и эпигенетической карбонатной минерализации партинга. На электронных снимках известняк тонкозернистый, с углистым веществом; уголь катаклазирован и сцементирован, витринит переотложен в трещинах породы. В составе партинга идентифицирован минерал ларнит ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) с высоким рельефом белого цвета. Микроэлементный состав породного прослоя сформирован по типу Sr , Sb , Mn , Ba -содержащих карбонатов.

Ключевые слова: каа-хемский уголь, внутрипородный прослой угля, химический состав**ZIRCON IN ZONAL BERYLL CRYSTALS IN SHERLOVAYA MOUNTAIN (SOUTH EAST OF ZABAICHALIE)****Yanchat N.N., Tas-ool L.Kh.***Tuvian Institute for Exploration of Natural Resources of Siberian Branch of RAS,
Kyzyl, e-mail: janchat62@mail.ru*

The geochemical feature of intra-rock parting of the Ulug coal seam in the Kaa-Khem deposit territory is described. The average ash content of the Ulug coal seam is 8.4%. According to the composition of the main components, the type of ash of medium-seam coal is ferrous ($20\% \text{Fe}_2\text{O}_3$)-calcium ($22\% \text{CaO}$)-siliceous ($29\% \text{SiO}_2$). In comparison with the local geochemical background (coal-bearing rocks: roof + floor), CaO , MgO and Fe_2O_3 contents are increased in the coal bed ash by 32, 12 and 9 times that indicates a high coal content of Ca , Mg , Fe . Carbonaceous parting of the Ulug seam is substantially carbonated. The structural, material and chemical composition of the rock layer of coal that selected at two points of the Kaa-Khem coal main, is indicated to its essentially carbonate nature. In appearance carbonized parting is virtually indistinguishable from carbonized siltstone. It is obvious that the carbonate composition of the intra-formational rock partings is due to geochemical conditions of ancient peat accumulation. It can be assumed that the water-mineral nutrition of the coal-forming peat bog framing the Deposit (Ondum limestone) from the Cambrian carbonate strata was determined not only the diagenetic carbonate mineralization of coal ash (by calcium, iron, magnesium), but also contributed to the syngenetic and epigenetic carbonate mineralization of the parting. Electronic pictures show the fine-grained limestone with coaly matter; coal is catalyzed and cemented; redeposited vitrinite in the cracks of rocks. Larnite ($2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) with high relief of white color is identified in structure of parting. The microelement composition of the rock parting is formed as Sr , Sb , Mn , Ba -containing carbonates.

Keywords: Kaa-Khem coal, intra-rock parting of coal, chemical composition

Каа-Хемское каменноугольное месторождение ($S \approx 180 \text{ км}^2$) расположено в восточной части Улуг-Хемского угольного бассейна, с восточной стороны месторождение обрамляют гранитоиды таннуольского комплекса, с севера – кембрийские карбонатные толщи (Ондумские известняки) [1]. Угленосная толща представлена породами эрбекской ($J_2 \text{er}$) свиты, разделенной на верхнюю и нижнюю подсвиты. Отложения нижней ($J_2 \text{er}_1$) эрбекской подсвиты (мощность 90–160 м) сложены чередованиями из разнозернистых песчаников и гравелитов,

мелкогалечных конгломератов, алевролитов с пластами и пропластками угля и завершается выдержанным мощным угольным пластом Улуг с преобладающей мощностью 3–6 м. Верхняя ($J_2 \text{er}_2$) эрбекская подсвита (мощность ~360 м) сложена из чередующихся разнозернистых песчаников, алевролитов, редких прослоев гравелитов и угольных пластов; последние не выдержаны по мощности и площади распространения, их строение как простое, так и сложное. Нижняя граница подсвиты четкая и проводится по подошве горизонта песчаников, залега-

ющих непосредственно над угольным пластом Улуг [2, с. 325].

Целью работы явилось исследование вещественного и химического состава породного просоя (партинга) угольного пласта Улуг на разрабатываемых участках разреза «Каа-Хемский», расположенного в северной части месторождения. Изучение химического состава партинга актуально для выяснения ряда вопросов, в их числе уточнение геохимических условий торфонакопления на угленосной территории, влияние партинга на качество и технологические свойства угля, на состав выбросов углесжигания и др. Распределение породообразующих элементов в угле рассмотрено с привлечением данных из материалов Геологического фонда Тувинской ГРЭ. Впервые представлены результаты количественных масс-спектрометрических определений элементов-примесей (ЭП) в двух пробах партинга каа-хемских углей и, для сопоставления, статистические данные по их полуколичественным спектральным анализам из геологических отчетов.

Материалы и методы исследования

Опробование пород проведено в зоне залегания неокисленных углей действующего разреза Каа-Хемский в двух точках (участки «Север» и «Юг»), удаленных на расстояние 20 км. В каждой из них отобрано по одной пробе угля (среднепластовый), партинга, кровли и подошвы согласно ГОСТ 10742-71 (СТ СЭВ 752-77). Пробы породы песчаника (кровля) отобраны со слоя ($h = 5$ см), залегающего непосредственно на угольном пласте Улуг; пробы углефицированного алевролита (подошва) отобраны с приугольного слоя ($h = 10$ см), сложенного непосредственно под пластом Улуг. На северном и южном забоях мощность песчаника соответственно (30–35) и (45–50) м, угольного пласта 2 и 6 м, партинга 3 и 5 см. Линия контакта между угольным пластом и кровлей (и подошвой) резкая и четкая. Зольность проб определяли при $(815 \pm 10)^\circ\text{C}$ согласно ГОСТ 11022-95 (ИСО 1171-97).

Содержание макроэлементов в золе угля, партинге и углевмещающих породах анализировали методом рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) на приборе СРМ-25, пробоподготовку осуществляли путем сплавления с тетраборатом лития. Содержание общей серы определяли на спектрометре Bruker S4 Pioneer. Содержание элементов-примесей (микроэлементы) определено на масс-спектрометре с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS). Структурный и ве-

щественный состав пород изучен на поляризационном микроскопе ПОЛАМ Л-213М.

Содержание породообразующего элемента (макроэлемент) в партинге сравнивали с его распределением в золе среднепластового угля, вмещающих породах и породах обрамления. Усредненный состав макроэлементов в золе угля рассчитан для выборки $n = 16$ с привлечением данных геологических отчетов по химическим анализам пласта Улуг в 14 скважинах месторождения. Углефилльность элемента (в оксидной форме) определяли по коэффициенту концентрации $KK = C_i^{\text{зола}}/C_i^{\text{вм. пор.}}$, где $C_i^{\text{зола}}$ – среднее содержание оксида элемента в золе среднепластовых проб угля, $C_i^{\text{вм. пор.}}$ – среднее содержание элемента во вмещающих породах месторождения. Степень углефилльности элемента оценивали как в [3, с. 492], по группам: высокоуглефилльные ($KK > 5$), углефилльные ($KK = 2-5$), умеренно углефилльные ($KK = 1-2$), неуглефилльные ($KK < 1$).

Результаты исследования и их обсуждение

Распределение макроэлементов в угольном пласте Улуг и партинге. Содержание макроэлемента в пробах породного просоя угля, кровли и подошвы, среднее содержание элемента в золе среднепластовых проб углей каахемского месторождения и их коэффициенты концентрации приведены в табл. 1. Для оценки сравнительных накоплений породообразующих окислов с их содержанием в породах обрамления в таблицу внесены данные по химическому составу плагиогранита из [4], для Ондумских известняков использованы данные из Отчета о геолого-разведочных работ, проведенного в месторождении в 1954 г. А.Г. Китаевым (г. Свердловск).

Зольность угольного пласта Улуг. Средняя зольность пласта Улуг A^d 8.4%. По составу основных компонентов тип золы железисто($20\% \text{Fe}_2\text{O}_3$)-кальциево($22\% \text{CaO}$)-кремнистый($29\% \text{SiO}_2$). Сравнение среднего содержания макроэлемента в золе угля с его средним содержанием во вмещающих породах (кровля + подошва) показывает на большее накопление в углях (относительно местного геохимического фона) кальция, магния, железа, алюминия и фосфора (в оксидной форме): $\text{CaO}_{(32.1)} > \text{MgO}_{(12.2)} > \text{Fe}_2\text{O}_{3(8.9)} > \text{Al}_2\text{O}_{3(1.1)} > \text{P}_2\text{O}_{5(1.0)}$, в скобках нижнего индекса приведены их коэффициенты концентрации $KK = C_i^{\text{зола}}/C_i^{\text{вм. пор.}}$. На основе этих данных можно сделать вывод, что в угольном пласте Улуг каа-хемского

месторождения *высокоуглефильны* Ca, Mg, Fe, *умеренно углефильны* Al, P.

В сравнении с породами плагиигранита (обрамление) [4, с. 1587] в золе угля отмечается концентрирование оксидов кальция, железа, магния, алюминия: $\text{CaO}_{(6,6)} > \text{Fe}_2\text{O}_{3(6,4)} > \text{MgO}_{(6,2)} > \text{TiO}_{2(1,7)} > \text{Al}_2\text{O}_{3(1,1)}$.

Зольность углефицированного партинга. Зольность проб партинга с северного и южного участков угольного разреза, определенная в форме потери при прокаливании (*n.p.n.*) при температуре до 1000 °С, составила 50% и 57% соответственно. Обе пробы партинга углефицированы в пределах от 43 до 50%.

По химическому составу образец партинга на северном участке магнезово(3% MgO)-железисто(5% Fe₂O₃)-кремниесто(15% SiO₂)-кальциевый(25% CaO), на южном участке магнезово(3% MgO)-железисто(3% Fe₂O₃)-кальциевый(36% CaO).

Структурно-вещественный состав партинга. Электронные снимки породы партинга показаны на рисунке. По *вещественному составу* партинг существенно карбонатный, с прослоями углистого вещества.

На участке «Север» партинг трещиноват и деформирован, окраска в разных частях шлифа изменяется от бесцветной до жёлто-бурой, что обусловлено присутствием в составе породы окисла железа. Прерывисто-лин-

зовидные ветвящиеся образования черного углистого вещества сосредоточены в прослое размером около 6 мм (рисунок, а). Около 90% светлых кристаллов кальцита имеют размеры 0,1–0,2 мм, заметно присутствие и крупных кристаллов размером до 3–4 мм.

На участке «Южный» известняк тонкозернистый, с углистым веществом; уголь катаклазирован и сцементирован в трещинах (рисунок, б). Витринит, переотложенный в трещинах, просвечивается в шлифе (без анализатора) красным цветом (рисунок, в). В составе партинга определяется зерно минерала ларнита (2CaO·SiO₂) с высоким рельефом белого цвета (рисунок, г).

Согласно обобщенным данным геологоразведочных изысканий [2, с. 291] угольный пласт Улуг в Улуг-Хемском бассейне в подавляющем большинстве пластовпересечений (общее количество исследованных 758) характеризуется простым строением, и лишь в 80 из них (~11%) встречаются породные прослои из алевролитов, углистых алевролитов, иногда песчаников, мощностью от 10 до 60 см, которые быстро выклиниваются по мере перемещения к внутренним частям бассейна на расстояние 0,5–2 км; породные прослои пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении из высокозольного угля или углистых алевролитов имеют мощность от 5 до 40 см [2, с. 325].

Таблица 1

Содержание породообразующих оксидов в осадочных породах Каа-Хемского каменноугольного месторождения (мас., %)

Окись	Наименование осадочной породы						Обрамление		КК = $\frac{C_{\text{зола}}}{C_{\text{вм.пор.}}}$
	Партинг		Зола Улуг		Подопшва	Кровля	Известняк Ондумский	Плагиигранит [4]	
	север (n = 1)	юг (n = 1)	(n = 16)	ст. откл. s	(n = 2)	(n = 2)	(n = 7)	(n = 7)	
SiO ₂	15,4	0,3	28,8 (7,1–44,0)	11,2	54,6	72,5	6,5	69,2	0,5
Al ₂ O ₃	1,8	0,3	12,6 (6,2–19,2)	4,3	10,2	12,5	0,3	16,0	1,1
Fe ₂ O ₃	4,7	3,1	20,4 (12,0–32,0)	7,2	1,1	3,5	1,5	3,2	8,9
CaO	24,5	36,2	21,9 (11,2–38,4)	8,2	0,1	1,3	53,2	3,3	32,1
MgO	2,5	2,7	5,6 (3,1–8,2)	1,3	0,4	0,5	3,0	0,9	12,4
TiO ₂	0,3	0,01	0,5 (0,2–0,7)	0,1	1,0	0,4		0,3	0,7
MnO	0,1	0,2	0,3 (для n = 2)		0,01	0,08		0,05	6,7
Na ₂ O	0,1	0,1	1,1 (0,4–1,9)	0,4	0,1	2,4		4,4	0,9
K ₂ O	0,3	0,01	0,9 (0,6–1,3)	0,3	1,7	2,1		1,7	0,5
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,05 (для n = 2)		0,02	0,08		0,1	1,0
SO ₃	0,08	0,10	5,9 (3,2–10,6)	2,0	0,1	0,0		0,0	
п.п.п.	49,9	56,7	1,4 (0,2–6,2)	1,5	30,4	4,6	36,1	0,8	
A ^d	50,8	52,0	8,4 (3,5–13,7)	11,8	72,2

а)

б)

в)

г)

Микроснимки шлифов партинга каа-хемского угольного пласта Улуг в проходящем свете (режим обыкновенный), увеличение: а, б – 25х, ник. +; в – 100х; г – 100х, ник. +

Результаты представленных в данной работе исследований структурно-вещественно-химического состава партинга угольного пласта Улуг в двух точках разреза «Каа-Хемский» впервые свидетельствуют о его существенно карбонатной природе (по внешнему виду углефицированный карбонатный партинг практически неотличим от углефицированного алевролита). Можно предположить, что карбонатный состав внутрипластового породного прослоя является одной из геохимических особенностей, связанных с условиями древнего торфонакопления на угленосной площади. Очевидно, что водно-минеральное питание углеобразующего торфяника с обрамляющих месторождение кембрийских карбонатных толщ (Ондумские известняки) определяло не только диагенетическую карбонатную минерализацию золы углей (по кальцию,

железу, магнию), но и способствовало сингенетической и эпигенетической карбонатной минерализации партинга.

Микроэлементный состав партинга угольного пласта Улуг. В табл. 2 представлены результаты количественных анализов элементов-примесей в двух пробах партинга на масс-спектрометре, а также (для сравнения) диапазон значений по их полуколичественным содержаниям из геологических отчетов (определенные на дифракционном спектрографе ДФС-8).

По значениям кларков концентраций $KK = C_i^{\text{партинг}} / C_i^{\text{ОП}}$ (нижний индекс) можно выделить элементы, у которых содержания в партинге кратно превышают кларки в осадочных породах земной коры, к ним относятся: $Sr_{11.3} > Sb_{8.7} > Mn_{2.4} > Ba_{2.0}$. Эти четыре микроэлемента являются геохимическими спутниками карбонатных минералов [5]. На основании приведен-

ных данных можно сделать вывод, что породный прослой пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении формировался по типу Sr, Sb, Mn, Ba-содержащих карбонатов.

В существенно карбонатном партинге каа-хемских углей среднее содержание высокоуглефильного Sr (0,30 %) существенно выше (~8 раз) кларка в безугольных карбонатных породах (0,03–0,04 %).

Таблица 2
Содержание элементов-примесей в партинге пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении и Улуг-Хемском бассейне, г/т

Элемент	C _i на Каа-Хемском месторождении, (n = 2)		Среднее C _i в Улуг-Хемском бассейне, (n = ... до 16)			Элемент	C _i на Каа-Хемском месторождении, (n = 2)		Среднее C _i в Улуг-Хемском бассейне, (n = ... до 16)		
	уч. Север	уч. Юг	число проб, n	C _i	s		уч. Север	уч. Юг	число проб, n	C _i	s
Be	0,3	0,03				La	3,9	3,2	9	97 (60–150)	28
Sc	6,7	0,5	1	1		Ce	7,2	5,5			
Ti	2959	104	16	4263 (100–8000)	2087	Pr	0,8	0,6			
V	27,0	2,0	16	67 (5–120)	37	Nd	3,3	2,3			
Cr	23,0	5,4	14	71 (30–150)	35	Sm	0,6	0,4			
Mn	1108	2882	16	828 (30–5000)	1472	Eu	0,1	0,05			
Co	2,0	1,0	15	5 (1–15)	4	Gd	0,6	0,3			
Ni	<ПО	<ПО	16	12 (2–30)	9	Tb	0,1	0,04			
Cu	46,0	13,5	16	56 (10–100)	28	Dy	0,8	0,3			
Zn	23,0	15,0	16	82 (20–400)	97	Ho	0,2	0,05			
Ga	5,9	0,8	16	15 (1–30)	9	Er	0,8	0,1			
Ge	<ПО	<ПО	13	2 (1–5)	1	Tm	0,1	0,02			
Rb	15,0	<ПО				Yb	0,8	0,1			
Sr	2563	3538	11	564 (100–2000)	724	Lu	0,1	0,02			
Y	5,7	1,1	8	14 (10–20)	5	Hf	0,8	0,3			
Zr	73,0	10,4	16	112 (30–250)	69	Ta	0,6	0,02			
Nb	5,4	0,4	3	2 (1–3)	1	W	0,6	0,1			
Mo	1,0	1,1	16	2 (1–4)	1	Tl	0,01	0,1			
Ag			15	11 (0,1–50)	16	Pb	5,5	2,7	16	20 (1–80)	
Sn	1,6	0,3	16	3 (1–5)	1	Bi	0,4	0,2			
Sb	15,0	5,8				Th	2,4	0,6			
Cs	0,8	<ПО				U	2,3	0,3			
Ba	900	760	15	460 (200–3000)	713						

Примечание. В скобках показано содержание элемента в диапазоне значений «от – до»; s – стандартное отклонение; <ПО – содержание элемента ниже предела обнаружения.

Выводы

1. Впервые показано, что углефицированный партинг пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении является существенно карбонатным. По химическому составу образец партинга с участка «Север» магнево(3 %MgO)-железисто(5 %Fe₂O₃)-кремнево(15 %SiO₂)-кальциевый(25 %CaO), с участка «Юг» магнево(3 %MgO)-железисто(3 %Fe₂O₃)-кальциевый(36 %CaO).

2. Микроэлементный состав породного прослоя пласта Улуг на Каа-Хемском месторождении сформирован по типу Sr, Sb, Mn, Ba-содержащих карбонатов.

Список литературы / References

1. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алтай-Саянская Лист М-46. Кызыл. Объяснительная записка. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2008. 349 с.
State geological map of the Russian Federation. Scale 1:1 000 000 (third generation). A series Altai-Sayansk the Sheet М-46 – Kyzyl. Explanatory note. SPb.: VSEGEI cartographical factory, 2008. 349 p. (in Russian).
2. Угольная база России. Том III. Угольные бассейны и месторождения Восточной Сибири. Южная часть. М.: ООО «Геоинформцентр», 2002. 488 с.
Coal base of Russia. Volume III. Coal basins and fields of Eastern Siberia. Southern part. M.: ООО Geoinformtsentr, 2002. 488 p. (in Russian).
3. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 538 с.
Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Valuable Trace Elements in Coal. Ekaterinburg: UrO RAN, 2006. 538 p. (in Russian).
4. Руднев С.Н., Серов П.А., Киселева В.Ю. Венд-раннепалеозойский гранитоидный магматизм восточной Тувы // Геология и геофизика. 2015. Т. 56. № 9. С. 1572–1600. DOI: 10.15372/GiG20150902.
Rudnev S.N., Kiseleva V., Serov P.A. Vendian-Early Paleozoic granitoid magmatism in Eastern Tuva // Russian Geology and Geophysics. 2015. T. 56. № 9. P. 1232–1255. DOI: 10.1016/j.rgg.2015.08.002.
5. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия марганца в карбонатных конкрециях. Обзор // Вестник института геологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. 2013. № 4 (220). С. 7–14.
Yudovich Ya.E., Ketris M.P. Manganese geochemistry in carbonate nodules. A review // Bulletin of institute of geology of Komi of scientific center of the Ural office of the Russian Academy of Sciences. 2013. № 4 (220). P. 7–14 (in Russian).