

ОБОГАТИМОСТЬ ПО СЕРЕ УГЛЕЙ ПЕТРОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ СТАРОБЕЛЬСКОЙ УГЛЕННОЙ ПЛОЩАДИ

Изучена сернистость основных угольных пластов месторождения. Приведена методика разделения углей по классам и фракциям. Проведено количественное распределение серы по классам и фракциям. Исследована зольность и сернистость углей по каждому классу и фракции. Изучена корреляционная связь сернистости и гранулометрического состава и плотности. Сделаны выводы об обогатимости углей Петровского месторождения по сере гравитационными методами.

Вивчено сірчистість основних вугільних пластів родовища. Наведено методику розподілу вугілля по класах і фракціях. Проведено кількісний розподіл сірки по класах і фракціях. Досліджено зольність і сірчистість вугілля по кожному класу і фракції. Вивчено кореляційний зв'язок сірчистості і гранулометричного складу і щільності. Зроблено висновки про збагачуваність вугілля Петровського родовища по сірці гравітаційними методами.

The sulfur content of main coal beds of deposit is studied. The technique of coal separation into classes and factions is done. A quantitative distribution of sulfur in classes and factions is conducted. The ash and sulfur content of coal for each class and faction is studied. The correlation between sulfur content and granule-metric composition and density is studied. Conclusions about the washability for sulfur of coal of Petrovsky deposits by gravity methods are done.

Введение. Сера относится к главным токсичным компонентам углей. Сернистые газы, возникающие при использовании углей в энергетике и других отраслях промышленности, сильно загрязняют атмосферу. Сернистый ангидрид раздражающе действует на дыхательные пути, слизистые оболочки. Кроме того, атмосферное окисление SO_3 приводит к образованию тумана, содержащего пары H_2SO_4 , выпадение которого приводит к хроническому поражению растений, уничтожению лесов. Во всем мире ежегодный выброс в атмосферу оксидов серы составляет более 150 млн.т. Основная часть его (от 60 % до 80 %) поступает с продуктами сгорания котлов и печей [1]. Технический прогресс сопровождается увеличением потребления топлива, что приводит к удвоению выброса токсичных элементов в атмосферу каждые 12–14 лет. Современная электростанция мощностью 2,4 млн. кВт расходует до 20 тыс. т/сут угля, в результате сжигания которого в атмосферу выбрасывается 680 т/сут оксидов серы [1].

Постановка проблемы. Уголь был и остается крупнейшим источником энергетического и технологического топлива. Поэтому изучение его сернистости и разработка мероприятий с целью снижения отрицательного воздействия соединений серы на окружающую среду является одной из важнейших задач. Требования к углям для коксования регламентируются нормативными документами, а для энергетических углей они пока не разработаны. Еще в СССР было установлено, что содержание серы в углях, при котором ее необходимо изучать как токсичный элемент, составляет 2 %. В Украине обогащение по сере производится попутно при обогащении углей по породе. Для большей части углей оно осуществляется гравитационными методами. Поэтому в настоящее время при геологоразведочных работах наибольшее практическое значение имеет оценка возможности обессеривания при обогащении этим методом.

В пределах украинской части Донецкого бассейна наиболее высокая сернистость характерна для углей Луганской области, к которой и относится объект исследования. Петровское месторождение содержит слабометаморфизованные угли с повышенным содержанием серы. Основным их направлением может быть энергетическое использование.

Содержание общей серы в углях является важным показателем, однако оно не дает представления о генезисе серы, что затрудняет решение очень многих важных в практическом отношении вопросов, в том числе и обогащения углей. Это обуславливает необходимость изучения всех видов серы в исследуемых углях и их взаимосвязи. В ископаемых углях различают следующие разновидности серы: сульфидную, органическую и сульфатную [2].

Сульфидная сера углей (S_p^d , %), часто обозначаемая как пиритная или колчеданная, присутствует в углях главным образом в составе сульфидов железа (пирита, реже – марказита). Содержание сульфидной серы в углях колеблется в очень широких пределах, превосходя в этом отношении все остальные разновидности. Минимальное содержание сульфидной серы в углях Донецкого бассейна составляет 0,02 %, максимальное – 10,9 % [2].

Термин «сера органическая» (S_o^d , %) является до настоящего времени, к сожалению, весьма растяжимым понятием. Считается, что органическая сера, как и азот, присутствует в углях в составе органических соединений.

Сера сульфатная (S_{so4}^d , %) играет наименьшую роль в балансе сернистости углей. Наиболее распространенной минеральной формой сульфатов в угольных пластах является гипс (сульфат кальция), реже и в меньших количествах отмечены сульфаты железа и магния [2].

Многочисленные данные свидетельствуют о том, что сульфатная сера играет незначительную роль в составе общей серы углей. Так по данным «Геолого-химической карты Донецкого бассейна», содержание сульфатной серы очень стабильно и, как правило, не превышает 0,1–0,2 %. Повышение концентрации сульфатной серы, обычно обнаруживаемое в зоне выветривания угольных пластов, связано с окислением сульфидных минералов. А.З. Широков первый обратил внимание на отчетливое увеличение содержания сульфатной серы в углях Донбасса в северном направлении параллельно с увеличением общей сернистости [2].

Все это позволяет заключить, что если при решении различных технологических проблем использования углей в большинстве случаев можно обоснованно пренебречь содержанием сульфатной серы, то в палеогеографических и геохимических вопросах изучение закономерностей ее распределения и концентрации может оказаться вполне целесообразным [2].

Преимущественная концентрация сульфидной (пиритной) и органической разновидностей серы вызывает необходимость акцентировать при решении вопросов обессеривания углей на них в дальнейшем основное внимание. Для многих бассейнов и месторождений установлена взаимосвязь между основными формами серы в углях. Особенно четко эта связь наблюдается в среднекарбонных углях Донецкого бассейна. С увеличением содержания общей серы повышается содержание сульфатной и органической серы. В углях с повышенной сернистостью

преобладает сульфатная форма сернистости, в малосернистых – органическая. В некоторых многосернистых углях преобладает органическая форма серы [2].

Целью выполненной работы было изучение обогатимости по сере основных промышленных пластов Петровского месторождения гравитационными методами.

Изложение основного материала. Для изучения обогатимости углей по сере было изучено 19 пластопересечений угольных пластов k_2^H , l_7 , m_3 . После детального макроскопического описания пластопересечения по каждому пласту были объединены в одну пробу. Затем каждая из этих трех проб была подвергнута исследованиям в соответствии с общепринятыми схемами [3, 4]. После обработки проб в коксовом барабане в течение 20 минут, каждая из этих проб была рассеяна на следующие классы: 6–13 мм, 3–6 мм, 1–3 мм, 1,0–0,63 мм, 0,63–0,00 мм. Угли каждого из этих классов подвергались расслоению в тяжелых жидкостях на фракции с плотностью: <1250; 1250–1300; 1300–1400; 1400–1600 и >1600 кг/м³. Разделение классов >1 мм проводилось путем отслаивания смеси угля с жидкостью в стеклянных стаканах, а классов <1 мм – в центрифуге. Все фракции подвергались техническому анализу с определением W^a , A^d , S_t^d и серы по видам.

Проведенными работами было установлено, что гранулометрический состав объединенных проб примерно одинаковый. Содержание углей класса 13–6 мм составляли 32,8–36,0 %, класса 6,0–3,0 мм – 32,1–37,6 %, класса 3–1 мм – 14,1–15,8 %, класса 1,0–0,63 мм – 5,3–5,4 % и класса <0,63 мм – 8,65–9,2 %.

Сопоставление гранулометрического состава исследованных объединенных проб и рядовых углей марки Д, добываемых из некоторых пластов свит C_2^5 , C_2^6 , C_2^7 в ряде шахт Лисичанского района, расположенного на относительно небольшом расстоянии от Петровской площади показало, что они в целом близки по содержанию изучаемых классов.

Зольность углей классов 13–6 мм, 6–3 мм и 3–1 мм в каждой объединенной пробе также примерно одинакова и составляет 13,6–15,2 %.

В *пласте* k_2^H макроскопически пиритная минерализация органического вещества почти не наблюдается. В редких случаях она присутствует в виде примазок и единичных желваков желтовато-серого цвета. В отраженном свете такие желваки представляют собой скопление фюзенизированных фрагментов, выполненных пиритом. Отмечены единичные угольные слои с эпигенетической сульфидной минерализацией по трещинам. При визуальном изучении угля *пласта* l_7 обычно наблюдается эпигенетическая пиритная минерализация. Она приурочена к эндогенным трещинам и представлена пленками, пластинками, ветвящимися прожилками, линзами. Реже наблюдаются горизонтальные слойки пирита. Практически все линзы пирита образовались в результате заполнения пиритом пор фюзена, с частичным, реже полным замещением их клеточных стенок. В сульфидной минерализации *пласта* m_3 выделяются две генерации: первичная (седиментация и диагенез) и вторичная – постдиагенетическая. Первичная представлена мелкими зернами пирита или их скоплениями, линзами, желваками вдоль поверхностей наложения по различным растительным остаткам и основной массе. Вторичная генерация наблюдается также в виде крутопадающих прожилков, примазок и налетов

по трещинам. Линзы и желваки, как правило, приурочены к прикровельной части пласта, реже к породным прослоям в пластах.

Тип сульфидной минерализации существенно влияет на изменчивость сернистости как по площади распространения пластов, так и по их мощности. Наименьшая изменчивость сернистости наблюдается в зонах, где преобладает первичная сульфидная минерализация. Наибольшая изменчивость сернистости определена для пластов, для которых установлено преимущество второго типа сульфидной минерализации.

Во всех пластах увеличение сернистости, как правило, наблюдается вблизи кровли и подошвы, а также связано с прослойками, которые находятся внутри пласта. В подошве и кровле пласта залегают аргиллиты и алевролиты, реже – углистые аргиллиты.

Сернистость угля пластов изменяется по отдельным пластопересечениям в интервале 1,0–12,1 %. Средние значения по пластам составляют (%): k_2^H – 3,6, l_7 – 4,4, m_3 – 4,7. Доля многосернистого угля возрастает вверх по разрезу, так для пласта k_2^H она составляет 49,9 % от общего количества, для пласта l_7 – 72,9 %, а для пласта m_3 – 87,0 %. Сернистый уголь соответственно занимает 42,0, 20,3 и 11 %, среднесернистый 5,0, 6,8 и 2 %, а малосернистый уголь встречается только в пласте k_2^H , где его часть составляет 3,1 %. Таким образом, можно сделать вывод, что вверх по разрезу сернистость угля закономерно увеличивается.

Сернистость классов углей пласта k_2^H составляет 3,2–3,6 %, в большинстве случаев 3,4–3,5 %. В пласте l_7 она изменяется в пределах 3,0–4,2 %, в большинстве случаев составляет 3,7–3,9 %, а в пласте m_3 соответственно 3,5–3,8 % и 3,5–3,7 %. В среднем у углей всех трех объединенных проб сернистость по классам составляет 3,3–3,9 %, в большинстве случаев – 3,3–3,6 %. Какой-либо корреляции сернистости и гранулометрического состава углей не устанавливается. Отмечается лишь несколько повышенная сернистость класса 13–6 мм, которая составляет 3,6–4,3 %, в среднем – 3,9 %. Таким образом, отделение углей любого класса от объединенных проб существенно не изменит сернистость остальной их части.

Увеличение содержания серы по отдельным пластам происходит в разных направлениях: по пласту k_2^H – с северо-востока на юго-запад площади месторождения, по пласту l_7 – с юго-запада на северо-восток, а по пласту m_3 – с юга на север.

В углях всех изучаемых пластов наблюдается преобладание в видовом составе серы пиритной над серой органической (таблица).

В результате проведенных исследований были выявлены определенные площадные закономерности изменения соотношения пиритной и органической серы. Для углей всех пластов это соотношение максимально в западной части месторождения (участки Петровские № 1, 2, 3), а в восточном направлении оно постепенно уменьшается и приближается к 1. Так, для угля пласта k_2^H участков Петровских № 1, 2, 3 пиритная сера преобладает над органической в среднем в 1,7 раза, а для участков № 4, 5, 6, 7 – в 1,2. Для пласта l_7 – это соотношение является максимальным на юго-западе месторождения, для участка № 3 (3,6), и постепенно уменьшается как в северном направлении до 1,7 раза (участки № 2,

1), так и в восточном до 1,3 (участки № 4, 5). Для пласта m_3 – характерно постепенное снижение показателя соотношения в направлении с севера на юг и юго-восток месторождения, от 3,6 (участок №1) до 1,3 (участок №5).

Таблица

Видовой состав серы основных угольных пластов Петровского месторождения Старобельской угленосной площади

Сера по видам, %	Индекс пласта		
	k_2^H	l_7	m_3
S_t^d	3,60	4,40	4,70
S_s^d	1,95	2,79	2,64
S_o^d	1,58	1,51	1,98
S_{so4}^d	0,07	0,10	0,08

Масса каждой из объединенных проб по фракциям распределяется неравномерно. Основная часть углей объединенной пробы k_2^H относится к фракциям с плотностью 1,25–1,30 г/см³ (35,4 %) и 1,30–1,35 г/см³ (30,3 %). Каждая из остальных фракций составляет 8–9 % массы пробы. В отдельных классах углей соотношение фракций имеет определенные отклонения от этого, но сумма названных выше первых двух фракций всегда преобладает.

В пробе пласта l_7 сумма фракций плотностью 1,25–1,30 г/см³ и 1,30–1,35 г/см³ составляет 78,5 %. Содержание каждой из остальных фракций составляет 3,7–7,3 %. Необходимо отметить, что фракция плотностью 1,30–1,35 г/см³ составляет около 55 %. Преобладает она почти во всех классах (53,4–70,4 %). Исключение составляет класс <0,63 мм, где она составляет 24,9 %.

В углях пласта m_3 фракция 1,30–1,35 г/см³ составляет 37,1 %. По классам ее содержание изменяется от 21,3 до 48,4 %.

Если сопоставить смесь углей всех трех пластов при равном долевом участии, то и в ней около 40,0 % составит фракция плотностью 1,30–1,35 г/см³ и около 26 % – плотностью 1,25–1,30 г/см³. Содержание каждой из остальных фракций составит 5,1–11,4 %. Примерно такое же соотношение фракций наблюдается и по классам.

По площади распространения промышленных пластов значения зольности пластовой и зольности угольных пачек по отдельным скважинам колеблются в пределах от 4,1 до 44,1 %. Средние значения для пластов следующие (%): k_2^H – 14,3 и 14,2, l_7 – 12,8 и 12,5, m_3 – 14,5 и 13,8 соответственно.

Зольность фракций, плотностью 1,4 г/см³ и менее, не превышает 10 %. При этом у основной фракции плотностью 1,3–1,35 г/см³ она чаще всего составляет 5–7 %. Зольность фракций плотностью 1,4–1,6 г/см³ чаще всего составляет 20–30 %, а у самых тяжелых фракций – 50–70 %.

Сернистость фракций всех проб закономерно возрастает с увеличением их плотности. Сернистость фракции плотностью 1,30–1,35 г/см³ в пласте k_2^H составляет 2,4–2,8 %, в пласте l_7 – 2,6–2,8 %, а в пласте m_3 – 2,8–3,3 %. В легких фракциях она снижается до 2,3–2,7 %, а в тяжелой – возрастает до 7–28 %.

Анализ выхода классов, фракций углей и их сернистости, как по каждой объединенной пробе, так и для всех проб вместе позволяет констатировать следующее. В пласте k_2^H сернистость углей постепенно увеличивается от 3,2 % в классе <0,63 мм до 3,6 % в классе 6–13 мм. Из этой закономерности выпадает класс 0,63–1,00 мм, сернистость которого составляет 3,5 %. В пласте l_7 угли классов менее 3 мм имеют сернистость примерно одинаковую (3,5–3,7 %). Сернистость класса 3–6 мм составляет 3,0 %, а класса 6–13 мм – 4,2 %. В пласте m^3 сернистость от класса <0,63 мм к классу 1–3 мм возрастает от 3,6 до 3,8 %, но затем у класса 3–6 мм уменьшается до 3,5 % и возрастает до 3,7 % в классе 6–13 мм. Примерно такая же закономерность наблюдается и в изменении средней сернистости классов проб всех пластов.

Таким образом, сернистость углей от класса к классу изменяется относительно слабо и незакономерно. Следовательно, как уже было сказано, существенно снизить сернистость углей путем отделения какого-либо класса невозможно.

Сернистость фракций закономерно возрастает с увеличением их плотности. При этом в пласте k_2^H минимальную сернистость (2,5 %) имеют фракции с плотностью <1,25 г/см³ и 1,25–1,30 г/см³. Несколько выше (2,8 %) она у фракции плотностью 1,30–1,35 г/см³. В остальных фракциях с увеличением их плотности она резко возрастает сначала до 3,9 %, затем 5,4 % и наконец – 8,5 %. Близко к этому характеру изменение сернистости фракций в пласте l_7 . Фракция с плотностью <1,25 г/см³ и 1,30–1,35 г/см³ – 2,7–2,8 %. Сернистость остальных фракций, соответственно, составляет 3,7 %, 5,9 % и 20,1 %. При этом выход фракций с плотностью менее 1,35 г/см³ в обоих пластах превышает 70 %.

В пласте m^3 общая направленность изменения сернистости фракций не изменяется, но выход фракций с плотностью менее 1,35 г/см³ составляет всего 50 %, а сернистость большинства фракций более высокая. Минимальная сернистость наблюдается у самой легкой фракции и составляет 2,7 %. Сернистость фракции с плотностью менее 1,35 г/см³ равна 2,9–3,0 %, а у остальных соответственно 3,3 %, 4,0 % и 5,4 %.

Таким образом, снижение сернистости в результате отделения фракций с высокой плотностью вполне возможно. Следует отметить, что наиболее легкая фракция, отличающаяся наиболее низкой сернистостью, содержится в незначительных количествах. Относительно небольшая часть углей представлена наиболее тяжелой и высокосернистой фракцией с плотностью 1,4–1,6 г/см³. Это свидетельствует о возможности снижения сернистости углей.

Установлено, что наилучшую обогатимость имеют угли пласта l_7 , где тяжелые и высокосернистые фракции углей содержатся в минимальных количествах, а наиболее низкую – угли пласта m_3 .

Минимальная сернистость концентратов, которые можно получить в очень небольших объемах, составляет 2,3–2,5 % (пласты k_2^H и l_7). Максимально высокий уровень обессеривания может составить 27,4–38,3 %. Выход концентрата с сернистостью 2,7–2,8 % составит 83 % из углей пласта k_2^H , 82,2 % из пласта l_7 (S_t^d – 2,7 %), а из углей пласта m_3 – всего 0,89 % (S_t^d – 2,7%). И 69,8 % из углей всех трех пластов при равном их содержании в шихте (S_t^d – 2,8 %).

Сернистость его будет на 20,4–27,7 % ниже первоначальной сернистости углей. Зольность концентрата будет около 5–6 %.

Выход концентрата с сернистостью около 3 % составит из углей пласта k_2^H – 91,9 %, l_7 – 95,4 %, m_3 – 61,1 %, а в шихте из углей трех пластов – 88,6 %. Снижение сернистости при этом соответственно составит 13,0 %, 20,9 %, 13,4 % и 16,4 %. Зольность концентрата во всех случаях не превысит 7–8 %.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что снизить сернистость углей Петровского месторождения гравитационным методом возможно лишь на 20–30 %. В отходы будут отделяться, в основном, слои и линзы, содержащие постгенетический пирит или скопления мелких зерен, как первичного, так и вторичного происхождения. Установлено, что угли разных пластов Петровского месторождения характеризуются различной степенью обогатимости по сере. Дальнейшие исследования должны быть направлены на выявление этих причин.

Список литературы

1. Сигал И. Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива/ Сигал И. Я. – Л.: «Недра», 1988. – 310 с.
2. Юровский А.З. Сера каменных углей/ Юровский А.З. – М.: Изд-во АН СССР, 1960. – 295 с.
3. Бедрань Н.Г. Обогащение углей/ Бедрань Н.Г. – М.: «Недра», 1988. – 205 с.
4. Инструкция по изучению токсичных компонентов при разведке угольных и сланцевых месторождений. – М., 1982. – 84 с.

*Рекомендовано до публікації к. геол-мін. н. Ішковим В.В.
Надійшла до редакції 20.03.2012*

УДК 622.271.32

© А.Ю. Дриженко, І.Л. Сафронов, Є.А. Гаврилов

КОНЦЕПЦІЯ ЕФЕКТИВНОГО ОСВОЄННЯ БУРОВУГІЛЬНИХ ПОКЛАДІВ У СОЛЬОВИХ ШТОКАХ

Наведені концептуальні положення комплексного освоєння корисних копалин у сольових штоках. Обґрунтовано прогнозування об'ємів виробництва вугілля і порід розкриття на перспективних родовищах. Надані методичні розрахунки основні їх техніко-економічні показники.

Приведены концептуальные положения комплексного освоения полезных ископаемых в солевых штоках. Обосновано прогнозирование объемов производства угля и пород вскрыши на перспективных карьерах. Предоставлены методические расчеты основные их технико-экономические показатели.

These conceptual integrated development of minerals in saline rod. Proved forecasting of production of coal and rocks exposed on promising deposits. Provided methodical calculations of basic technical and economic parameters.