

DOI: 10.26730/1999-4125-2021-3-48-57

УДК 662.741.3.022.001.5

РЕФЛЕКТОГРАММНЫЙ АНАЛИЗ УГЛЕЙ И ШИХТ КУЗНЕЦКОГО БАСЕЙНА

REFLECTOGRAM ANALYSIS OF COAL AND CHARGE OF THE KUZNETSK BASIN

Заостровский Анатолий Николаевич¹,
канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, e-mail: catalys01@rambler.ru
Anatoly N. Zaostrovsky¹, C. Sc., Leading Researcher, Associate Professor
Исмагилов Зинфер Ришатович^{1,2}
академик РАН, заведующий кафедрой, e-mail: Zinfer1@mail.ru
Zinfer R. Ismagilov^{1,2}
Academician of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department

¹Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН,
650000, Россия, г. Кемерово, Советский пр., 18

¹Federal Research Center of Coal and Coal Chemistry SB RAS, 650000, Kemerovo, 18, pr. Sovietyky,
Russian Federation

²Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, 650000, Россия,
г. Кемерово, ул. Весенняя, 28

²T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennyaya St, Kemerovo, 650000, Russian
Federation

Аннотация:

Выполнен петрографический анализ углей и шихт в рефлектограммном режиме. Показано, что рефлектограммы являются эффективным средством контроля качества углей, поставляемых на коксование. Изменение формы рефлектограммы позволяет прогнозировать возможные изменения в производственном процессе при применении различных шихт.

Рефлектограммный анализ углей для коксования в сочетании с петрографическими показателями и с учетом петрографической неоднородности кузнецких углей позволяет наиболее точно определять их свойства при составлении угольных шихт, т.е. способствует выбору направления шихтования, что обеспечивает рациональное использование угольных концентратов. Это особенно важно, когда концентраты представлены углями нескольких марок или типов, имеющих близкие между собой показатели качества, но с различными спекающими свойствами.

Ключевые слова: каменный уголь, петрографический анализ угля, показатель отражения витринита, рефлектограмма, шихта, спекаемость, коксуемость угля

Информация о статье: поступило в редакцию 20.04.2021

Abstract:

Petrographic analysis of coal and charge was carried out in reflectogram mode. It is shown that reflectograms are an effective means of quality control of coals supplied for coking. Changing the shape of the reflectogram allows you to predict possible changes in the production process when using various charges.

Reflectogram analysis of coals for coking in combination with petrographic indicators and with the consideration of the petrographic heterogeneity of Kuznetsk coals makes it possible to determine most accurately their properties when compiling coal charges and this contributes to the choice of the direction of blending, thus ensuring the rational use of coal concentrates. This is especially important when the concentrates are represented by several grades or types of coals that have similar quality indicators, but with different sintering properties.

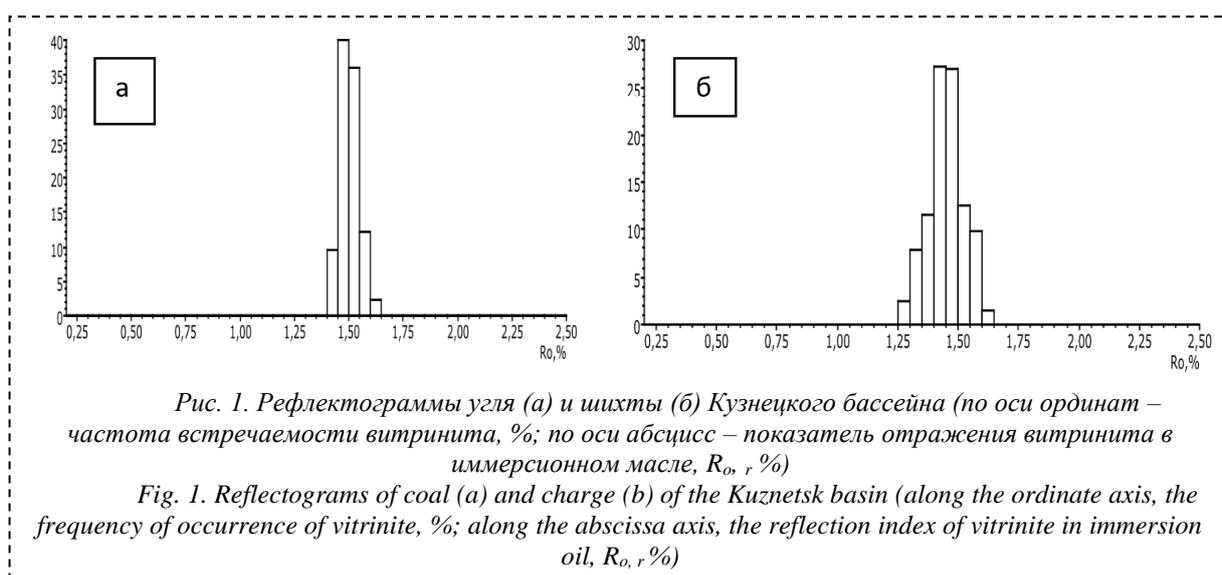
Keywords: coal, petrographic coal analysis, vitrinite reflection index, reflectogram, charge, sintering ability, coking ability of coal

Article info: received April 20, 2021

Введение

Для количественного определения соотношения марок или типов углей, поступающих на коксование, используют метод рефлектограммного анализа. Обычные методы контроля качества концентрата с определением показателей V^{daf} и Y , а впоследствии $R_{o,r}$ и $\sum OK$ не объясняли причин ухудшения коксуемости. При этом число марок углей в товарных концентратах некоторых обогатительных фабрик, поступающих на коксование, может достигать десяти, а число типов углей – порядка пятнадцати. Это относится к углям Кузнецкого бассейна.

Шихты для слоевого процесса коксования обычно имеют узкие пределы значений основных классификационных параметров (толщины пластического слоя и выхода летучих веществ). Марочный состав при этом изменяется в более широких пределах, но он не всегда отражает действительный состав углей. Это обусловлено тем, что в ряде случаев под одной маркой на коксохимические заводы поставляют **смесь углей шахтопластов**, имеющих различный марочный состав. Например, концентрат углей марки К2 Кузнецкого бассейна представляет весьма сложную смесь углей различных марок и технологических групп и эту смесь возможно установить только рефлектограммным анализом.



Наряду с индексом отощения и коэффициентом коксуемости шихты для коксования могут быть охарактеризованы по петрографическому составу, рефлектограммам витринита, которые несут важную информацию отражательной способности. По рефлектограммам и петрографическому составу можно:

- рассчитать параметры коксуемости шихты, если известны состав и содержание входящих в нее отдельных углей;
- установить однородность состава шихты по тракту технологической схемы коксохимического производства;
- выявить постоянство или идентичность шахтопластов, входящих в состав шихты в различные периоды работы производства или состав различных партий поступающих углей.

На основании расчета параметров коксуемости шихты – индекса отощения и коэффициента коксуемости – можно оптимизировать ее состав или анализировать причины отклонений в прочности кокса на действующем предприятии. При наличии автоматизированных петрографических комплексов типа SIAMS 620 представляется возможность оперативного контроля и достижения постоянства качества кокса.

Рефлектограммный режим предназначен для набора необходимого числа полей витринита, на которых замеряется отражательная способность. Этот режим включается в случае, если при сканировании аншлифа число полей с замеренной отражательной способностью оказалось меньше замеренного. Изучение образца представляет собой накопление данных по нескольким сотням участков и нанесение показателей на диаграмму. Рефлектограммный анализ является единственно эффективным средством контроля качества углей, поставляемых на коксование.

Изменение формы рефлектограммы позволяет сразу же выявлять и прогнозировать возможные изменения в производственном процессе при дальнейшем применении той или иной шихты. Классические лабораторные методы не позволяют осуществлять подобный контроль.

Рефлектограмма (рис. 1, а) угля марки КС (коксовый слабоспекающийся, $R_{o,r} = 1,4 \%$) показывает, что образец однородный, т.е. все точки группируются вокруг определенного значения отражательной способности витринита. Более точно можно сказать, что уголь, отобранный из пласта, всегда является очень однородным, в противном случае рефлектограмма принимает форму более или менее растянутую. Рефлектограмма (рис. 1, б) соответствует смеси (шихте), состоящей из двух углей (КС, коксовый слабоспекающийся и ОС, отощенный спекающийся, $R_{o,r} = 1,5 \%$) с отражательными способностями соответственно 1,4 и 1,5%, смешанных в соотношении приблизительно 60:40. Отсутствие разрывов между основными пиками рефлектограммы свидетельствует о петрографической однородности углей, что обеспечивает хорошую спекаемость и дает наиболее прочный кокс [1, 2].

Ресурсы коксующихся углей, используемых для коксования, показывают, что основная часть товарной отгрузки обогатительных фабрик и шахт представлена смесью углей разных марок или смесью различных типов углей, отличающихся по спекаемости, коксуемости, выходу химических продуктов коксования, усадке и др. В связи с этим проблема оценки и контроля качества смесей углей, поступающих на коксование, представляется весьма актуальной и имеет прикладной характер.

Цель работы – выполнить петрографический анализ углей и шихт в рефлектограммном режиме, позволяющем прогнозировать спекаемость и коксуемость в производственном процессе.

Экспериментальная часть

Объектом исследования были избраны каменные угли коксующихся марок Кузнецкого бассейна: ОС (отощенный спекающийся), КО (коксовый отощенный), Г (газовый), Ж (жирный). Угли относятся к балахонской серии, в которой содержание витринита колеблется в интервале 43-93%, а количество фюзенизированных компонентов (ΣOK) в пределах 7-51%.

Подготовка аналитических проб и технический анализ исследованных углей был выполнен по стандартным методикам. Исследуемые образцы углей малозольные (для выполнения петрографического анализа приготавливаются аншлиф-брикеты, где требуются угли с зольностью $\leq 10 \%$, а также для коксования рекомендуется использовать угли с зольностью $\leq 10 \%$).

Исследование проводилось по единому стандартному методу с использованием автоматизированного анализатора (SIAMS 620) и компьютерных программ к нему аналогично [3-7]. Анализатор предназначен для измерения показателя отражения витринита каменных углей $R_{o,r}(\%)$ и автоматического построения рефлектограммы распределения его значений.

Основными параметрами, по которым проводилось изучение проб углей, явились технический анализ, пластометрические показатели (таблица 1) и петрографические характеристики (таблица 2).

В гумусовых углях основные петрографические компоненты – это компоненты группы витринита, которые на определенной стадии метаморфизма являются носителями спекаемости углей. Наоборот, компоненты группы фюзинита являются отощающими примесями, что представляет естественную шихту из спекающихся и неспекающихся компонентов. Толщина пластического слоя, определенная для средней пластовой пробы, не позволяет судить о свойствах отдельных компонентов этой сложной естественной смеси из-за отсутствия аддитивности.

Выход летучих веществ из компонентов группы витринита в одном и том же угле меньше выхода летучих из спор, кутикулы, смоляных телец, но больше, чем из вещества компонентов группы фюзинита. Поэтому выход летучих из средней пластовой пробы угля сложного петрографического состава будет отражать особенности естественной смеси компонентов, но не каждого из компонентов в отдельности, в связи с этим определение стадии метаморфизма по выходу летучих средней пластовой пробы не всегда является достаточно точным. Так, например, уголь, находящийся на стадии метаморфизма жирных углей при большом содержании

Таблица 1. Технический анализ и пластометрические показатели углей
 Table 1. Technical analysis and plastometric indicators of coal

| Обогащительная фабрика, поставщик | Марка | Технический анализ, % | | | Пластометрические показатели, мм | |
|-------------------------------------|-------|-----------------------|-------|-----------|----------------------------------|-----|
| | | W^a | A^d | V^{daf} | X | Y |
| Участок коксовый. Первый внутренний | ОС | 2,0 | 3,6 | 18,1 | 35 | 5 |
| ш. Первомайская | КО | 0,3 | 6,3 | 24,1 | 31 | 13 |
| ш. Полысаевская, пласт Бреевский | Г | 3,0 | 4,4 | 42,2 | 43 | 12 |
| ш. Чертинская-Коксовая | Ж | 1,4 | 7,4 | 37,7 | 53 | 30 |

Таблица 2. Петрографические характеристики углей
 Table 2. Petrographic characteristics of coal

| Шахта | Марка | Отражательная способность и петрографический состав угольных концентратов, % | | | | |
|-------------------------------------|-------|--|-------|-------|----|-------------|
| | | $R_{o,r}$ | V_t | S_v | I | ΣOK |
| Участок коксовый. Первый внутренний | ОС | 1,4 | 43 | 17 | 40 | 51 |
| ш. Первомайская | КО | 1,2 | 69 | 7 | 24 | 29 |
| ш. Полысаевская, пласт Бреевский | Г | 0,7 | 93 | 1 | 6 | 7 |
| ш. Чертинская-Коксовая | Ж | 0,9 | 88 | 1 | 11 | 12 |

Примечание: $R_{o,r}$ – показатель отражения витринита (в иммерсионном масле, случайной ориентации); V_t – витринит; S_v – семивитринит; I – инертинит; ΣOK – сумма отошающих компонентов.

компонентов группы фюзинита, равном 35%, даст выход летучих веществ меньше, чем уголь, находящийся на той же стадии метаморфизма и обладающий компонентами группы витринита такой же спекаемости, но содержащий очень мало компонентов группы фюзена, например, 5%.

При определении петрографического состава углей принято характеризовать его по содержанию микрокомпонентов (мацералов), как элементарных составляющих углей. При количественном петрографическом анализе мацералы углей объединяются в группы, где в основу разделения положены как их генетические, так и химико-технологические свойства (таблица 2).

Витринит (рис. 2) является основным углеобразующим компонентом большинства углей. Он образуется из листовых и древесных тканей: корней, стволов, коры и листьев, состоящих из лигнина и целлюлозы. В группе витринита выделено три мацерала: коллинит (рис. 2, 3), телинит (рис. 2, 4, 5) и инертинит, липтинит (рис. 2, 3).

Под микроскопом в витрините наблюдаются трещины отдельности, обусловленные частично уменьшением объема, частично нарушениями тектонического характера. Под влиянием тектонического давления витринит также может стать очень трещиноватым.

Коллинит – образует основную цементирующую массу для обломков всех других мацералов и связанных с ними минералов. Коллинит является бесструктурным компонентом витринита. В структурном витрините ячейки часто заполнены коллинитом, а стенки их состоят из телинита. В углях не встречаются витреновые слои, состоящие из чистого, истинного коллинита.

Телинит – это витринизированные фрагменты, как правило, сохранившие клеточную структуру растительного вещества различной степени сохранности. В углях низкой степени метаморфизма под микроскопом можно наблюдать ячеистую или сотовую структуру, унаследованную от исходного растительного материала.

Витринит и, в частности, телинит обычно образуются из стволов, ветвей, пней, корней и листьев деревьев. Таким образом, если тип ткани легко распознается, можно использовать дополнительные отличительные термины, например, лепидофито-витринит, кордаитовитринит.

Мацералы группы инертинита находятся на втором после витринита месте по распространенности и имеют разное растительное происхождение, но их объединяет сходство оптических и технологических свойств. Эти мацералы в технологических процессах более

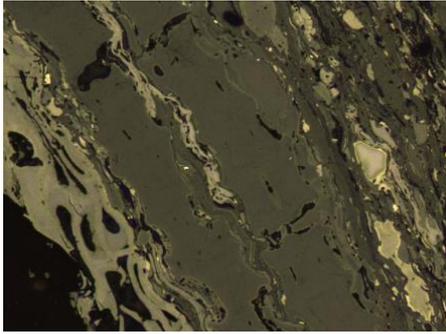


Рис. 2. Марка Д, разрез Заречный;
Коллинит с линзами телинита,
инертинита и липтинита
Fig. 2. Mark D, section Zarechny; Collinitis
with lenses of telinitis, inertinitis and liptinitis

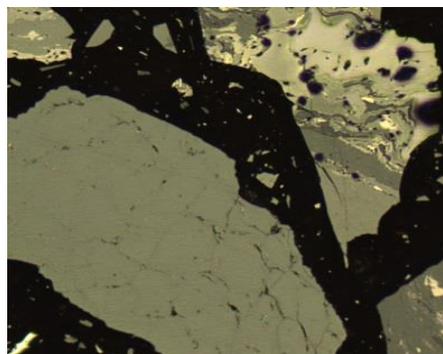


рис. 3. Шихта; Тонкое переслаивание
коллинита с липтинитом, инертинитом и
семивитринитом
Fig. 3. The charge; Fine intercalation of
collinitis with liptinitis, inertinitis and
semivitrinitis

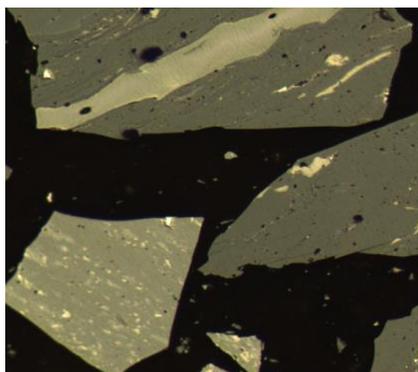


Рис. 4. Смесь ш. Чертинская-Коксовая,
«Ж» (60 %) и ш. Первомайская, «КО»
(40 %); Телинит в контакте с
инертинитом
Fig. 4. Mix of Zh (60%) from Chertinskaya-
Koksovaya mine and "KO"
(40%) from Pervomayskaya mine; Telinitite in
contact with inertinitite

соответствует действительности.

инертны, чем мацералы групп витринита и липтинита. Группа инертинита включает мацералы: семифюзинит, макринит, микринит, фюзинит, склеротинит и инертодетринит (рис. 2, 3). Форма и степень сохранности клеточной структуры различны и зависят от постседиментационной истории инертинитовых мацералов [8-15].

Результаты и обсуждение

Изучение образца представляет собой накопление данных по нескольким сотням участков и нанесение показателей на диаграмму аналогично диаграммам, представленным на рис. 6-9, на которых представлены образцы углей индивидуальных марок. При наличии двух или трех отчетливых пиков следует полагать присутствие в образце двух или трех основных компонентов, содержание которых в % выражается отношением площадей пиков.

Более точно можно сказать, что:

1) уголь, отобранный из пласта (рис. 6-9), всегда является очень однородным. Об этом свидетельствует узкий диапазон отражательной способности витринита. Типичное отклонение, характеризующее дисперсию, составляет обычно около 0,05;

2) уголь, отобранный после обогащения, обычно состоит из смеси нескольких пластов. Он не может быть также гомогенным, как уголь, отобранный из пласта. Все же его можно рассматривать как гомогенный, если среднее отклонение не превышает 0,15;

3) рефлектограмма на рис. 10 соответствует смеси двух углей, близких по свойствам, состоящей в основном из двух углей с отражательными способностями соответственно $R_o = 0,88 \%$ и $R_o = 1,18 \%$ (с выходом летучих веществ на органическую массу 37,7 % и 24,1 %), смешанные в соотношении приблизительно 60 : 40;

4) рефлектограмма рис. 11 соответствует смеси, состоящей из двух компонентов с отчетливо различимыми отражательными способностями $R_o = 0,68 \%$ и $R_o = 1,43 \%$ (с выходом летучих веществ на органическую массу 42,2 % и 18,1 %), смешанных в соотношении приблизительно 60:40. Однако если не рассматривать рефлектограммный анализ, а оценивать образец только по отражательной способности витринита, которая для этой смеси определена как $R_o = 0,75 \%$, то этот образец можно классифицировать маркой ГЖ, что не

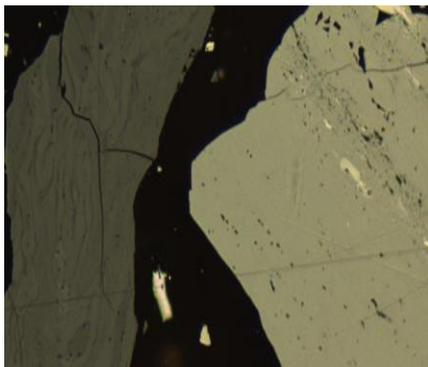


Рис. 5. Смесь ш. Полысаевская, «Г» (60 %) и уч. Коксовый, Телинит
Fig. 5. A mixture of "G" (60 %) from Polysaevskaya mine and "OS" (40 %) from Koksovy; Telinitis

5) рефлектограмма на рис. 12 соответствует смеси (шихта) углей с выходами летучих веществ в пределах от 19,8 % до 37,4 %. Наибольшая часть компонентов по выходам летучих веществ располагается в пределах 19,8-24,1 %. Но ни один из компонентов не является заметно преобладающим.

На рис. 13 представлена рефлектограммы угольной шихты. Заштрихованные нежелательные «окна» на рефлектограмме указывают на незначительную петрографическую неоднородность шихты, которая оказывает влияние на спекаемость и качество получаемого кокса. Устранение нежелательных «окон» достигается введением в состав шихты углей со значением отражательной способности витринита в диапазоне «окон».

Приведенных примеров достаточно для того, чтобы иллюстрировать те данные, которые могут быть получены с помощью рефлектограммного анализа. Следует уточнить, что обычно достаточно 500 точек для составления информативной рефлектограммы. Можно даже ограничиться 200 точками для углей, отобранных из пласта, потому что можно предположить, что он является весьма однородным.

Исследования, проведенные в настоящей работе, выполнялись на автоматизированном петрографическом комплексе SIAMS 620, который позволяет производить на каждом аншлиф-брикете число замеров от 1500 до 4000 [16-21].

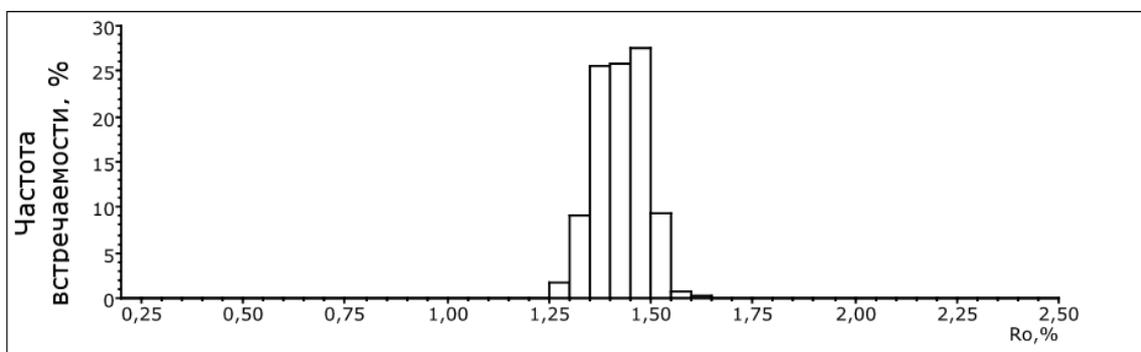


Рис. 6. Участок коксовый. Первый внутренний. Марка ОС
Fig. 6. The Koksovyi section. The first is internal. OS grade

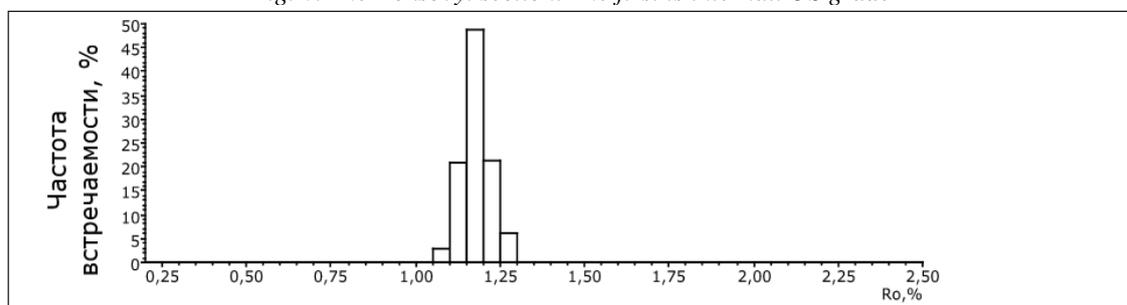


Рис. 7. Ш. Первомайская, марка КО
Fig. 7. Pervomayskaya mine, grade КО

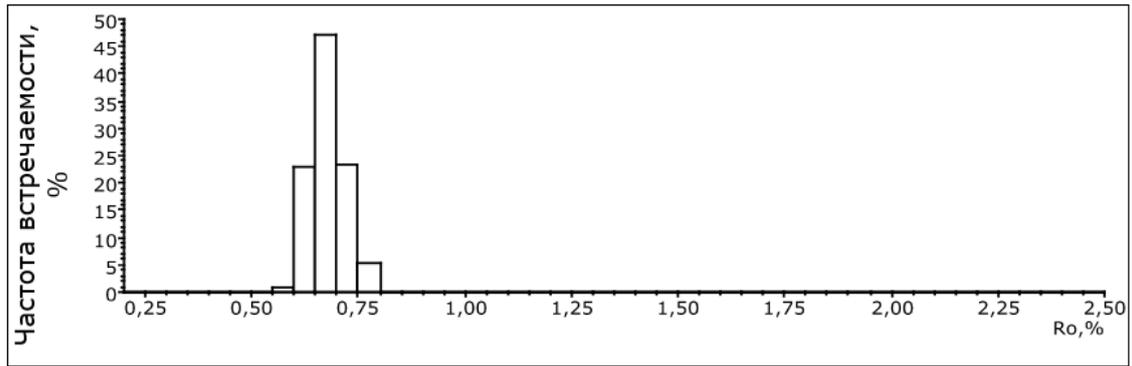


Рис. 8. Уголь, отобранный из пласта; ш. Польшаевская, марка Г, пласт «Бреевский»
 Fig. 8. Coal taken from the seam; mine Polysaevskaya, grade G, seam "Breevsky"

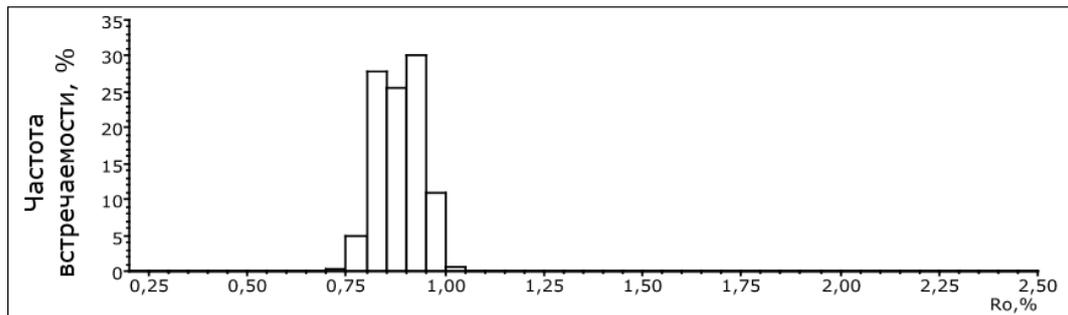


Рис. 9. Ш. Чертинская-Коксовая, пласт 4, марка Ж
 Fig. 9. Mine Chertinskaya-Koksovaya, seam 4, grade Zh

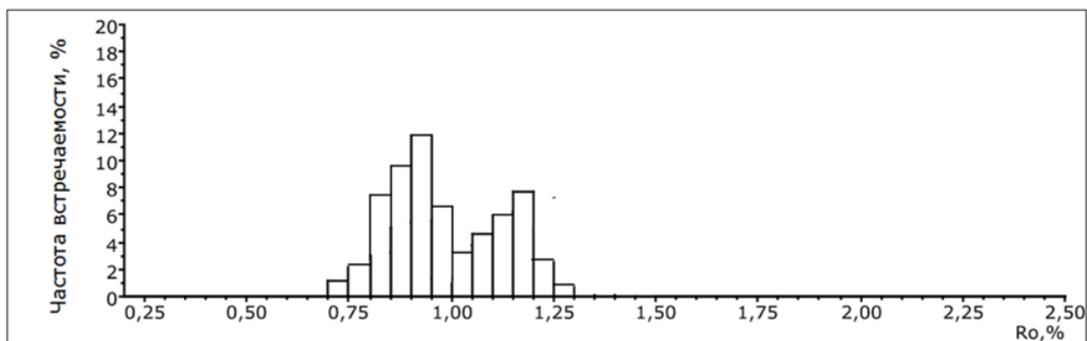


Рис. 10. Смесь двух углей, близких по своим свойствам;
 ш. Чертинская-Коксовая, марка Ж (60%) и ш. Первомайская, марка КО (40%)
 Fig. 10. A mixture of two coals, similar in their properties;
 Mine Chertinskaya – Koksovaya, grade Zh (60%) and Mine Pervomayskaya, grade KO (40%)

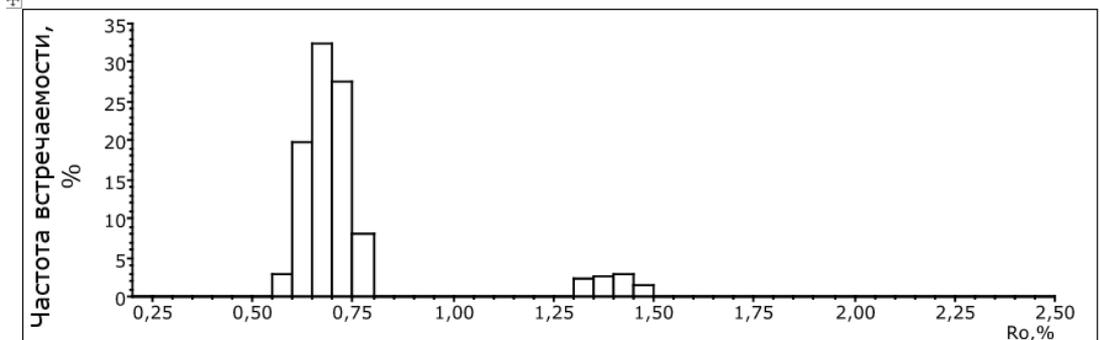


Рис. 11. Смесь из двух углей, легко различимых по своим свойствам; ш. Польшаевская, марка Г, пласт Бреевский (60 %) и участок Коксовый, марка ОС (40 %)
 Fig. 11. A mixture of two coals, easily distinguishable by their properties; Mine Polysaevskaya, grade G, seam Breevsky (60%) and the Koksovy section, OS grade (40%)

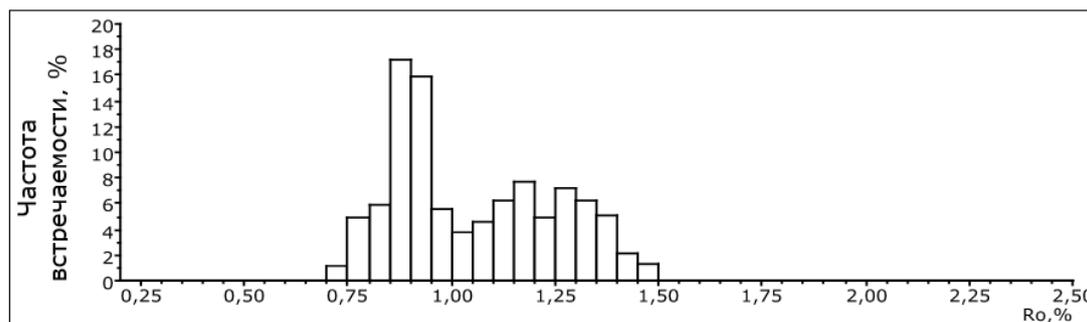


Рис. 12. Смесь из нескольких углей, которые практически невозможно различить; состав шихты: Ж+ГЖ-15%; Ж-10%; Ж+КС-10%; К-25%; К+КЖ-20%; КС-20%
Fig. 12. A mixture of several coals, which are almost impossible to distinguish; charge composition: Zh + GZh-15%; Zh-10%; Zh + KS-10%; K-25%; K + KZh-20%; KS-20%

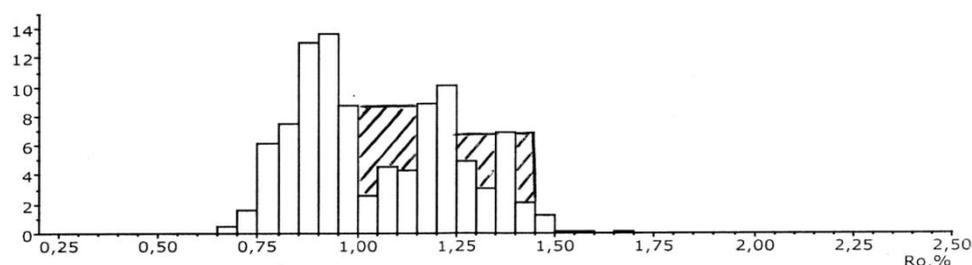


Рис. 13. Рефлектограмма шихты («Ж+ГЖ»; «Ж»; «Ж+КС»; «К»; «К+КЖ»; «КС», (заштрихованы нежелательные «окна» на рефлектограмме)
Fig. 13. Charge reflectogram ("Zh + GZh"; "Zh"; "Zh + KS"; "K"; "K + KZh"; "KS", (unwanted "windows" on the reflectogram are shaded)

Заключение

Проведено экспериментальное исследование углей и шихт Кузнецкого бассейна методом рефлектограммного анализа, который дает оценку степени однородности коксующихся углей и расчет состава шихт для коксования.

Основные результаты заключаются в следующем:

- исследована марочная структура по данным петрографического анализа и степени метаморфизма углей;
- показана возможность применения рефлектограммного анализа углей для дифференцирования однородных углей и их смесей.

Показано, что рефлектограммный анализ выявляет сложные по составу концентраты углеобогатительных фабрик и рядовых углей, отличающихся друг от друга большим разнообразием свойств и их колебаниями. Установлено, что для получения петрографически однородной шихты необходимо подбирать угли с близкими друг к другу показателями отражения витринита, что позволит избежать наличие «окон» в рефлектограмме шихты и обеспечит наилучшую спекаемость и коксуемость.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИУХМ ФИЦ УУХ СО РАН по проекту № АААА-А17117041910147-2.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрология палеозойских углей СССР (VIII Международный конгресс по стратиграфии и геологии карбона) / Отв. редактор И.В. Еремин // М.: Недра, 1975. 215 с.

2. Ископаемые угли Сибири и методы их изучения / Отв. редактор И.Н. Звонарев // Изд. «Наука». Сиб. отд-ние, Новосибирск, 1971. С. 275.
3. Федорова, Н.И. Химико-технологические свойства каменных углей Кузбасса / Н.И. Федорова, А.Н. Заостровский, З.Р. Исмагилов // Вестник КузГТУ, 2015. № 5. С. 121-125.
4. Заостровский, А.Н. Петрографический анализ углей Печорского бассейна / А.Н. Заостровский, Н.В. Журавлева, Р.Р. Потоккина, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов // Химия в интересах устойчивого развития. 23 (2015), с. 131-134.
5. Заостровский, А.Н. Петрографический состав коксовых углей Кузнецкого бассейна / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, З.Р. Исмагилов З.Р. // Химия в интересах устойчивого развития. 24 (2016), с. 363-367.
6. Заостровский, А.Н. Оценка коксуемости углей по показателям петрографического состава / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Н.И. Федорова, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Химия уст. разв. 2018. Т. 26, № 6. С. 589-595.
7. Заостровский, А.Н. Петрографическая характеристика газовых углей Кузбасса / А.Н. Заостровский, Н.А. Грабовая, Е.С. Михайлова, З.Р. Исмагилов // Кокс и химия. 2017. № 11. С. 25-30.
8. Травин, А.Б. Атлас верхнепалеозойских углей Кузнецкого бассейна / А.Б. Травин, Э.М. Сендерзон, В.П. Шорин, Т.А. Громова, Е.Е. Иванькова, К.С. Пермина, Е.М. Попова, В.Ф. Шугуров, Т.С. Юсупов // Под ред. И.Н. Звонарева. Новосибирск: Наука. 1966. 368 с.
9. Еремин, И.В. Петрография и физические свойства углей / И.В. Еремин, В.В. Лебедев, Д.А. Цикарев // М., Недра. 1980. 263 с.
10. Еремин, И.В. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса / И.В. Еремин, А.С. Арцер, Т.М. Броневец // Кемерово: Притомское, 2001. – 399 с.
11. Жемчужников, Ю.А. Основы петрологии углей / Ю.А. Жемчужников, А.И. Гинзбург // М., Изд. АН СССР. 1960. 400 с.
12. Штах, Э. Петрология углей / Э. Штах, М.-Т. Маковски, М. Тейхмюллер, Г. Тейлор, Д. Чандра, Р. Тейхмюллер / Пер. с англ. Глушнева С.В., Дубровского В.В., Хасиной А.И. // М., «Мир». 1978. 554 с.
13. Тайц, Е.М. Методы анализа и испытания углей / Е.М. Тайц, И.А. Андреева // М., Недра, 1983. 301 с.
14. Августевич, И.В. Стандартные методы испытания углей. Классификация углей // М: НТК «Трек», 2008. 367 с.
15. Петрографический кодекс России // С.-Петербург, Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. 160 с.
16. Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кн. 1. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 177 с.
17. Арцер, А.С. Угли Кузбасса: происхождение, качество, использование / А.С. Арцер, С.И. Протасов // Кн. 2. Кемерово: Изд. Кузбасс. гос. техн. ун-та, 1999. 168 с.
18. Лялюк В.П., Учитель А.Д., Ляхова И.А. и др. Качество подготовки шихты для коксования // Кокс и химия. 2011. № 8. С. 2-19.
19. Станкевич А. С., Круглов В.Н., Ворсина Д.В., Золотухин Ю.А. Модель оптимизации показателей качества кокса на основе химико-петрографических параметров углей и нелинейного программирования// Кокс и химия. 2010. № 7. С. 21-29.
20. Попова Н.К., Степанов Ю.В. Еще раз об оптимизации состава угольной шихты // Кокс и химия. 2013. № 5. С. 10-12.
21. Штарк П.В., Степанов Ю.В., Попова Н.К., Ворсина Д.В. Об оценке оптимальности состава угольной шихты// Кокс и химия. 2007. № 3. С 2-6.

REFERENCES

1. Petrologiya paleozoyskikh ugley SSSR (VIII Mezhdunarodnyy kongress po stratigrafii i geologii karbona) / Отв. редактор I.V. Yeremin // М.: Nedra, 1975. 215 s.
2. Iskopayemye ugli Sibiri i metody ikh izucheniya / Отв. редактор I.N. Zvonarev // Изд. «Наука». Sib. отд-ние, Новосибирск, 1971. С. 275.
3. Fedorova, N.I. Khimiko-tekhnologicheskiye svoystva kamennykh ugley Kuzbassa / N.I. Fedorova, A.N. Zaostrovskiy, Z.R. Ismagilov // Vestnik KuzGTU, 2015. № 5. S. 121-125.
4. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy analiz ugley Pechorskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.V. Zhuravleva, R.R. Potokina, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 23 (2015), s. 131-134.
5. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskiy sostav koksovykh ugley Kuznetskogo basseyna / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Z.R. Ismagilov Z.R. // Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya. 24 (2016), s. 363-367.
6. Zaostrovskiy, A.N. Otsenka koksuемости ugley po pokazatelyam petrograficheskogo sostava / A.N.

- Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, N.I. Fedorova, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Khimiya ust. razv.* 2018. T. 26, № 6. S. 589-595.
7. Zaostrovskiy, A.N. Petrograficheskaya kharakteristika gazovykh ugley Kuzbassa / A.N. Zaostrovskiy, N.A. Grabovaya, Ye.S. Mikhaylova, Z.R. Ismagilov // *Koks i khimiya.* 2017. № 11. S. 25-30.
8. Travin, A.B. Atlas verkhnepaleozoyskikh ugley Kuznetskogo basseyna / A.B. Travin, E.M. Senderzon, V.P. Shorin, T.A. Gromova, Ye.Ye. Ivan'kova, K.S. Permina, Ye.M. Popova, V.F. Shugurov, T.S. Yusupov // Pod red. I.N. Zvonareva. Novosibirsk: Nauka. 1966. 368 s.
9. Yeremin, I.V. Petrografiya i fizicheskiye svoystva ugley / I.V. Yeremin, V.V. Lebedev, D.A. Tsikarev // M., Nedra. 1980. 263 s.
10. Yeremin, I.V. Petrologiya i khimiko-tekhnologicheskiye parametry ugley Kuzbassa / I.V. Yeremin, A.S. Artser, T.M. Bronovets // Kemerovo: Pritomskoye, 2001. – 399 s.
11. Zhemchuzhnikov, YU.A. Osnovy petrologii ugley / YU.A. Zhemchuzhnikov, A.I. Ginzburg // M., Izd. AN SSSR. 1960. 400 s.
12. Shtakh, E. Petrologiya ugley / E. Shtakh, M.-T. Makovski, M. Teykhmyuller, G. Teylor, D. Chandra, R. Teykhmyuller / Per. s angl. Glushneva S.V., Dubrovskogo V.V., Khasinoy A.I. // M., «Mir». 1978. 554 s.
13. Tayts, Ye.M. Metody analiza i ispytaniya ugley / Ye.M. Tayts, I.A. Andreyeva // M., Nedra, 1983. 301 s.
14. Avgushevich, I.V. Standartnyye metody ispytaniya ugley. Klassifikatsiya ugley // M: NTK «Trek», 2008. 367 s.
15. Petrograficheskiy kodeks Rossii // S.-Peterburg, Izd-vo VSEGEI, 2009. 160 s.
16. Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 1. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 177 s.
17. Artser, A.S. Ugli Kuzbassa: proiskhozhdeniye, kachestvo, ispol'zovaniye / A.S. Artser, S.I. Protasov // Kn. 2. Kemerovo: Izd. Kuzbass. gos. tekhn. un-ta, 1999. 168 s.
18. Lyalyuk V.P., Uchitel' A.D., Lyakhova I.A. i dr. Kachestvo podgotovki shikhty dlya koksovaniya // *Koks i khimiya.* 2011. № 8. S. 2-19.
19. Stankevich A. S., Kruglov V.N., Vorsina D.V., Zolotukhin YU.A. Model' optimizatsii pokazateley kachestva koksa na osnove khimiko–petrograficheskikh parametrov ugley i nelineynogo programmirovaniya // *Koks i khimiya.* 2010. № 7. S. 21-29.
20. Popova N.K., Stepanov YU.V. Yeshecho raz ob optimizatsii sostava ugol'noy shikhty // *Koks i khimiya.* 2013. № 5. S. 10-12.
21. Shtark P.V., Stepanov YU.V., Popova N.K., Vorsina D.V. Ob otsenke optimal'nosti sostava ugol'noy shikhty // *Koks i khimiya.* 2007. № 3. S 2-6.

Библиографическое описание статьи

Заостровский А.Н., Исмагилов З.Р. Рефлектограммный анализ углей и шихт Кузнецкого бассейна // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2021. – № 3 (145). – С. 48-57.

Reference to article

Zaostrovsky A.N., Ismagilov Z.R. Reflectogram analysis of coal and charge of the Kuznetsk basin. Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2021, no.3 (145), pp. 48-57.