

УДК 66(001.1)

## РАЗРАБОТКА ТЕОРЕТИЧЕСКИХ ОСНОВ, НОВЫХ МЕТОДОВ И ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ БУРЫХ УГЛЕЙ И ТОРФОВ

Михеев В.А., Москаленко Т.В.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Якутск, Россия (677018, ул. пр. Ленина, 43), e-mail: labkiy@mail.ru*

Кратко изложены основные результаты исследований процессов обогащения и переработки твердых горючих ископаемых, полученные в ходе научно-исследовательской деятельности коллектива лаборатории комплексного использования углей Института горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук за последние годы. Показана возможность использования воздействия разного рода физических полей и возможных реагентов на трансформацию твердых горючих ископаемых в продукты переработки топливного и не топливного направления их использования. Установлено влияние воздействий электромагнитного, ультразвукового и теплового полей при брикетировании бурых углей и торфов и при получении гуминовых веществ. Разработана эффективная технология производства гуматов при переработке бурых углей. Изготовлена и испытана опытно-промышленная установка для производства гуминовых продуктов, существенно превосходящих по своему качеству известные аналоги, высокая эффективность которых при использовании в качестве стимуляторов роста растений неоднократно подтверждена полевыми испытаниями. Установлена возможность эффективного применения энергии электромагнитного излучения сверхвысокочастотного диапазона для получения качественных порошковых буроугольных адсорбентов.

Ключевые слова: бурый уголь, брикетирование, гуминовые вещества, экстракция, ультразвук, выход гуминовых кислот, электромагнитное микроволновое излучение.

## INTENSIFICATION OF THE PROCESS OF OBTAINING HUMIC SUBSTANCES FROM BROWN COAL BY MEANS OF ULTRASONIC TREATMENT

Mikheev V.A., Moskalenko T.V.

*Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences (43 Lenin Av., Yakutsk, Russia 677018), e-mail: labkiy@mail.ru*

Summarizes the main results of research into the processes of refining and processing of solid fuels, obtained during the research activities of the laboratory complex use of coal Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences in recent years. The possibility of using different kinds of effects of physical fields and possible reagents for transformation of solid fuels in the fuel processing products and fuel directions for their use. The effective production technology of humates when processing brown coals is developed. Trial installation for production of the humic products significantly surpassing known analogs which high efficiency when using as growth factors of plants is repeatedly confirmed with field tests in the quality is made and experienced. The effect of exposure to electromagnetic, ultrasonic and thermal fields in the briquetting of brown coal and peat and humic substances in the preparation. The possibility of effective application of electromagnetic radiation microwave for quality lignite powder adsorbents.

Keywords: brown coal, briquetting, humic substances, extraction, ultrasound, yield of humic acids, thermal treatment, electromagnetic microwaves.

В настоящее время основным направлением использования угля является его сжигание для производства энергии – более 66 % мировой добычи.

Россия входит в состав крупнейших угольных держав мира и является одним из мировых лидеров по производству и торговле углем. В ее недрах сосредоточена треть мировых ресурсов и пятая часть разведанных запасов углей. Общие кондиционные ресурсы углей России превышают 4 трлн тонн, в том числе балансовые запасы промышленных категорий – около 200 млрд т. При современном уровне добычи углей (примерно 300 млн

т/год) обеспеченность угольной промышленности РФ разведанными запасами составляет более 400 лет [1].

В угледобывающей промышленности России также существует острая необходимость изменения сложившейся ресурсно-сырьевой направленности. Это предполагает как внедрение новых технологий в собственно сферу угледобычи, так и применение технологий комплексной переработки угля, производство новых продуктов с высокой добавленной стоимостью. В этом направлении важнейшей задачей является поиск путей для разработки новых и интенсификации существующих способов переработки твердого топлива, применительно к направлениям использования продуктов его глубокой переработки, как в качестве энергетического сырья, так и продуктов потребления в других областях хозяйственной деятельности.

Для решения поставленных задач необходимо проведение исследований по разработке новых эффективных процессов обогащения и глубокой переработки твердых горючих ископаемых, обеспечивающих существенное увеличение полноты извлечения и комплексного использования полезных компонентов, получение продуктов переработки сырья с высокой добавочной стоимостью. В этом направлении большой вклад внесен работами институтов ИГД СО РАН, ИГИ, ВНИТИУС, ЭНИН и др.

Одним из перспективных направлений по решению обозначенных задач является изучение воздействия разного рода физических полей на твердое углеводородное сырье, как на стадии его обработки, так и непосредственно в процессе получения продуктов переработки.

Исследования, проводимые коллективом лаборатории комплексного использования углей Института горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, направлены на изучение свойств угля, разработку новых и интенсификацию существующих способов переработки применительно и к топливным, и не топливным направлениям их использования.

Научно-исследовательские работы лаборатории сосредоточены на решение следующих задач:

- исследование состава и структуры твердых горючих ископаемых с помощью физических, физико-химических и химических методов анализа;
- изучение влияния физических полей (температурного электромагнитного, ультразвукового и др.) на органическую массу твердых горючих ископаемых;
- разработка новых методов и технологий переработки и облагораживания твердых горючих ископаемых;

– исследование влияния физических полей (температурного, электромагнитного, СВЧ и др.) и возможных реагентов на трансформацию твердых горючих ископаемых в продукты переработки.

При решении задач брикетирования запатентован на ряд новых способов получения топливных брикетов [2-4]. Изучено влияние различных типов связующих, температуры, давления брикетирования на механическую прочность получаемых брикетов, в результате чего установлены основные параметры брикетирования, обеспечивающие их высокую механическую прочность. Разработан способ получения качественного окускованного топлива, характеризующегося высокой прочностью и низким влагопоглощением с применением в качестве связующего измельченного полиэтилена.

Изучена адгезионная совместимость углей при брикетировании со связующими веществами, обладающими полярностью, и установлено, что вследствие более высокой полярности механическая прочность брикетов с добавкой древесины выше, чем с добавками торфа. Теоретически установлено, что поляризуемость увеличивается со степенью углефикации топлива, и, следовательно, электромагнитное поле имеет перспективы применения для повышения адгезионных свойств углей при брикетировании.

Впервые показано, что воздействие магнитным полем на торф при брикетировании приводит к упрочнению брикета без добавления связующего. Экспериментальными исследованиями установлено, что при проведении брикетирования без добавления связующих веществ в переменном магнитном поле, создаваемом цилиндрическим соленоидом индуктивностью 0,066 Гн, прочность торфяных брикетов повышается на 5–19 % и зависит от силы подаваемого на катушку переменного тока.

При решении задач по переработке бурых углей и торфов в гуминовые вещества получены следующие результаты. Разработана эффективная технология производства гуматов при переработке бурых углей. Изготовлена и испытана установка для производства гуминовых продуктов, существенно превосходящих по своему качеству известные аналоги, высокая эффективность которых при использовании в качестве удобрений неоднократно подтверждена полевыми испытаниями в различных регионах Якутии. Изучена возможность получения гуминовых веществ из торфа Нерюнгринского района по технологии термовыщелачивания, при этом температура обработки 120 и 150 °С и расход щелочи, соответственно, 10 и 5 моль на 1 кг (daf) торфа позволяют получить выход гуминовых кислот 42,2–56,0 %. Установлено, что гуматы из исследуемого торфа физиологически активны, причем при проращивании семян рапса прирост длины корня составил 25–35 %, прирост длины стебля – 30–38 %.

Установлена взаимосвязь между способом воздействия на бурый уголь при экстракции и структурой гуминовых веществ. Экспериментально изучено воздействие магнитного и ультразвукового поля на извлечение при экстракции гуминовых кислот из бурого угля, определены оптические характеристики полученных в различных условиях растворов и установлено изменение при этом степени конденсированности гуминовых веществ, наибольшее снижение которой достигается при ультразвуковом воздействии.

Исследованиями процесса экстрагирования бурых углей и торфа с целью их переработки в высококачественные гуминовые препараты при воздействии магнитного (постоянного и переменного) и ультразвукового полей установлено, что наибольшее влияние на увеличение выхода гуминовых веществ (уголь до 12 %, торф до 17 %) оказывает ультразвуковое воздействие за счет ускорения химических процессов и более интенсивного разрыва связей в макромолекулах гуминовых веществ [5].

Установлено, что влияние электромагнитного микроволнового излучения на органическую массу твердых горючих ископаемых приводит их к диэлектрическому нагреву за счет наличия молекул, способных изменять свою ориентацию в пространстве под действием внешнего электрического поля, где в качестве определяющего фактора эффективности воздействия выступает величина поляризуемости органической массы твердых топлив.

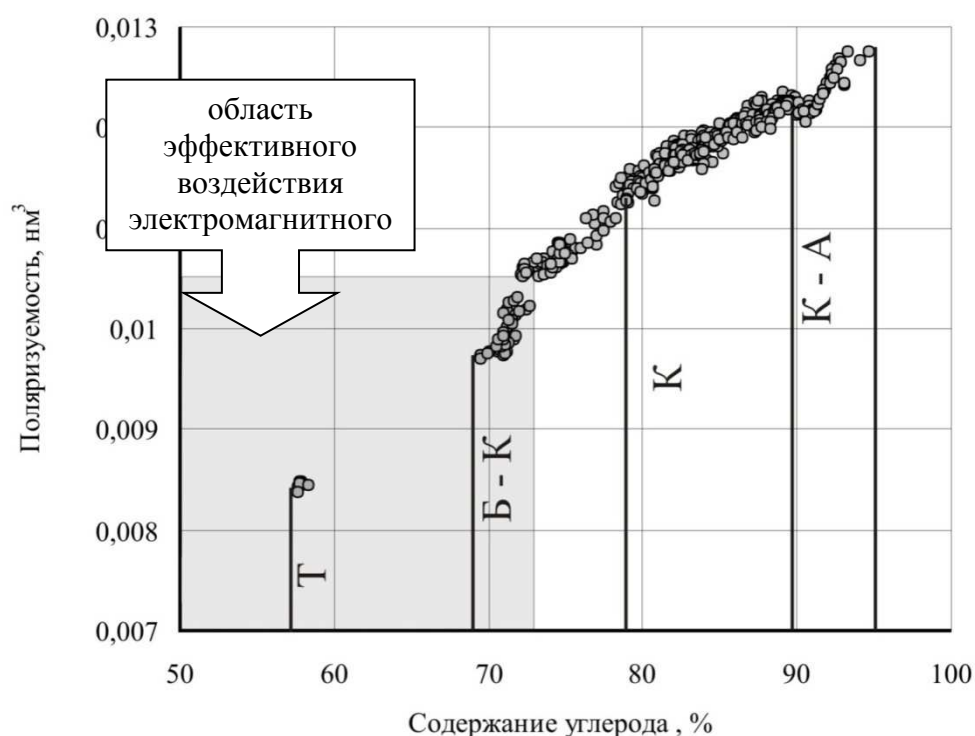
Разработана методика расчета величины поляризуемости органической массы твердого топлива. Расчет величины поляризуемости органической массы твердых топлив ряда углефикации ( $\alpha$ ) заключается в определении молярной массы ароматического ( $n_{Car}$ ) и алифатического углерода ( $n_{Cal}$ ) и водорода ( $n_{Har}$ ,  $n_{Hal}$ ) твердого топлива. По величине поляризуемости углерод-углеродных ( $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ) и углерод-водородных ( $\alpha_3$ ) связей вычисляются коэффициенты, учитывающие вклад определенного вида химической связи в поляризуемость ароматических и алифатических углеводородов. Путем умножения вычисленных коэффициентов на содержание ароматического и алифатического углерода и водорода органической массы твердого топлива и суммирования полученных результатов рассчитывается конечная величина поляризуемости органической массы твердого топлива:

$$\alpha = \frac{3}{2} \alpha_2 \cdot n_{Car} + 2\alpha_1 \cdot n_{Cal} + (\alpha_3 - \frac{\alpha_2}{2}) \cdot n_{Har} + (\alpha_3 - \frac{\alpha_1}{2}) \cdot n_{Hal} , 10^{-25} \text{ см}^3 \quad (1)$$

Результаты исследований имеют важное прикладное значение для обоснования эффективности применения электромагнитного микроволнового излучения при трансформации твердых топлив в продукты переработки.

На представительной базе качественных показателей торфа и углей основных бассейнов России произведен расчет величины поляризуемости органической массы твердых

горючих ископаемых, позволяющий провести предварительную оценку эффективности применения электромагнитного микроволнового излучения для трансформации конкретных видов твердых топлив. На рисунке 1 показано, что с увеличением содержания углерода (стадии углефикации) поляризуемость органической массы, а, следовательно, доля неполярных молекул в твердых топливах увеличивается, при этом эффективность воздействия электромагнитного микроволнового излучения уменьшается. Наиболее эффективно электромагнитное микроволновое излучение будет воздействовать на твердые топлива с низким содержанием углерода – торф и бурые угли, область эффективного воздействия характеризуется поляризуемостью органической массы менее  $0,0105 \text{ нм}^3$ .



*Рис.1. Поляризуемость органической массы твердых топлив ряда углефикации (Т – торф, Б – бурый уголь, К – каменный уголь, А – антрацит)*

Экспериментально установлено, что при воздействии электромагнитного микроволнового излучения на бурый уголь происходит изменение его структуры и свойств. Установлены зависимости воздействия электромагнитного микроволнового излучения на бурый уголь, при этом отмечены существенные изменения его влажности, зольности, выхода летучих веществ и сорбционных свойств. Наиболее значительные изменения качественных показателей происходят у бурого угля и торфа, а каменные угли, в силу своих физико-химических свойств, в наименьшей степени подвержены влиянию электромагнитного микроволнового излучения (таблица 1).

Таблица 1

Изменение показателей при воздействии электромагнитного микроволнового излучения на твердые горючие ископаемые

Твердые горючие ископаемые	Время воздействия, мин	I	A	T	W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>
Торф	0	11,4	100,0	22,4	4,8	44,4	79,2
	12	19,1	61,2	450,0	1,1	59,1	42,2
Бурый уголь	0	18,0	100,0	22,4	9,3	19,7	50,9
	22,5	34,9	71,4	315,0	0,0	24,4	36,6
Каменный уголь (марка 2СС)	0	7,6	100,0	22,4	0,6	5,7	18,9
	22,5	7,3	98,5	155,0	0,5	5,6	18,3
Каменный уголь (марка КЖ)	0	11,7	100,0	22,4	0,8	14,9	24,3
	22,5	13,4	97,6	155,0	0,4	15,0	24,2

*I* – адсорбционная активность по йоду, %; *A* – выход продукта, %; *T* – температура нагрева, °C; *A<sup>d</sup>* – зольность на сухую массу, %; *V<sup>daf</sup>* – выход летучих веществ на сухую беззольную массу, %. *W<sup>r</sup>* – рабочая влажность, %.

Впервые экспериментально установлена возможность эффективного применения энергии электромагнитного излучения СВЧ-диапазона для получения качественных порошковых буроугольных адсорбентов и определены оптимальные параметры процесса. Разработана технология переработки бурого угля в порошок активный уголь посредством применения электромагнитного излучения СВЧ-диапазона частотой 2450 МГц. Предложена технология, позволяющая увеличить выход полезного компонента по сравнению с традиционной технологией получения активного угля марки ДАК в 1,5-2,5 раза при кратном сокращении времени и энергозатрат на единицу получаемого продукта. Изготовлена лабораторная установка, подобраны технологические режимы, обеспечивающие получение активного угля высокого качества. Предложена принципиальная схема технологического комплекса по производству активного угля с использованием излучения в промышленных масштабах.

### Заключение

Выше приведенные результаты исследований процессов облагораживания и переработки твердых горючих ископаемых могут быть использованы для разработки эффективных методов и элементов геотехнологий при создании производств по переработке бурого угля и торфа, а также для понимания процессов, происходящих при воздействии различными физическими полями и реагентами на органическую массу твердого топлива.

## Список литературы

1. Российский рынок угля. Аналитический обзор. – М., 2007.
2. Патент РФ № 2316581, 10.02.2008.
3. Патент РФ № 2373261, 20.11.2009.
4. Патент РФ № 2463333, 10.10.2012.
5. Москаленко Т.В., Михеев В.А., Данилов О.С. Молекулярные изменения в гуминовых веществах при действии магнитного и ультразвукового полей // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГГУ, 2011. – №3. – С.263-266.

### Рецензенты:

Гриб Н.Н., д.т.н., профессор, заместитель директора по науке, заведующий кафедрой «Горное дело», Технический Институт (филиал) ФГАОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», г. Нерюнгри;

Матвеев А.И., д.т.н., заведующий лабораторией обогащения полезных ископаемых ИГДС СО РАН, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им. Н.В. Черского Сибирского Отделения Российской академии наук. г. Якутск.