

диагностике и мониторинге почв. «Актуальные проблемы экологии в сельскохозяйственном производстве». Тез.докл. молодежной научной конференции, п. Персиановский. 2006. -С. 18- 19.

8. Кенжахимов К.К., Бекболотова А.К., Исабекова В.Ш., Акматова Дж.Т. «Экологические факторы почвообразовательных процессов почв северного склона Кыргызского хребта». Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова. -2014 г. -№33. -С. 478-481.

9. Мамытов А.М. «Почвы Киргизской ССР». Фрунзе, Илим, 1974 г. – 465 с.

10. Закон Кыргызской Республики «Об охране окружающей среды» от 16.06.1999 г., Бишкек.

11. Закон Кыргызской Республики «О радиационной безопасности населения Кыргызской Республики» от 17.06.1999 г., Бишкек

12. Торгоев И.А., Алешин Ю.Г. Геоэкология и отходы горнопромышленного комплекса Кыргызстана. - Бишкек: Илим, 2009. -240 с.

13. Экологический паспорт ГМЗ ОАО КГРК г. Кара-Балта, 2010г.

УДК: 662.61; 536.46

### СПЕЦИФИКА ГОРЕНИЯ УГЛЯ КАРА-КЕЧЕ

*Богданов Алексей Сергеевич, аспирант кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина +996(555)92-31-11; 720000, Кыргызская Республика г. Бишкек, ул.Киевская, 44 E-mail: dedushka79@mail.ru*

*Токарев Андреан Валентинович, к.ф.-м.н., зав.лаборатории «Плазменных Технологий» кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина; + 996(312) 36-02-87 Кыргызская Республика 720000, г. Бишкек, ул. Киевская, 44 e-mail: tokarev\_andrean@mail.ru*

*Юданов Вячеслав Александрович, инженер лаборатории «Плазменных технологий» кафедры ФимЭ ЕТФ КРСУ им. Б.Н. Ельцина + 996(312) 36-02-87 720000, Кыргызская Республика г.Бишкек, ул. Киевская, 44*

**Аннотация:** По результатам сжигания угля Кара-Кече встречным потоком кислорода, при различных режимах его расхода, описаны возникающие и происходящие химические реакции, образование и движение гетерогенных потоков газов, а также механизмы образования паров воды в разработанной установке, содержащую газодинамический электрофильтр, с целью дальнейших расчетов по моделированию процессов очистки гетерогенных потоков газов полем коронного разряда

**Ключевые слова:** угли, горение, гумины, пары воды.

### THE BURNING SPECIFICS OF KARA-KECHE COAL

*Bogdanov Aleksei Sergeevich chair graduate student of the KRSU named after B.Elcin +996(555)92-31-11; 44, Kiev. str., Bishkek, Kyrgyz Republic, 720000, e-mail: dedushka79@mail.ru*

*Tokarev Andrean Valentinovich (PhD), of the KRSU, NTF, P&ME - chair, head of "Plasma technology" laboratory + 996(312) 36-02-87; 44, Kiev. str., Bishkek, Kyrgyz Republic, 720000 e-mail: tokarev\_andrean@mail.ru*

**Abstract:** As a result of Kara - Kechе coal burning counter flow of oxygen, at various modes of its consumption, describes emerging and ongoing chemical reactions, the formation and movement of heterogeneous gas streams , as well as the mechanisms of formation of water vapor to the gas-dynamic-electro precipitator research facility for further calculations, modeling purification of heterogeneous gas flows the field of corona discharge.

**Key words:** a coals, burning, humins, water vapor.

**Введение:** Ископаемые угли представляют собой природные полимеры, состав и структура которых меняется в зависимости от возраста угля. Высокомолекулярная структура угля состоит из ароматических, гидроароматических, гетероциклических, алифатических фрагментов и различных функциональных групп. Эти фрагменты связаны между собой разнообразными способами, в том числе посредством алифатических связей углерод-углерод, углерод-кислород, углерод-азот, углерод-сера. Для более молодых бурых углей характерно более высокое содержание гетероатомов (прежде всего кислорода) по сравнению с каменными углями, в составе которых преобладают конденсированные полиароматические фрагменты. Макромолекулы угольной структуры могут соединяться между собой с помощью электроно-донорно-акцепторных взаимодействий. Одна из возможных структур угля приведена на Рис.1. Из функциональных групп в угле обычно преобладают кислородсодержащие группы, входящие в состав фенолов, карбоновых кислот, спиртов,

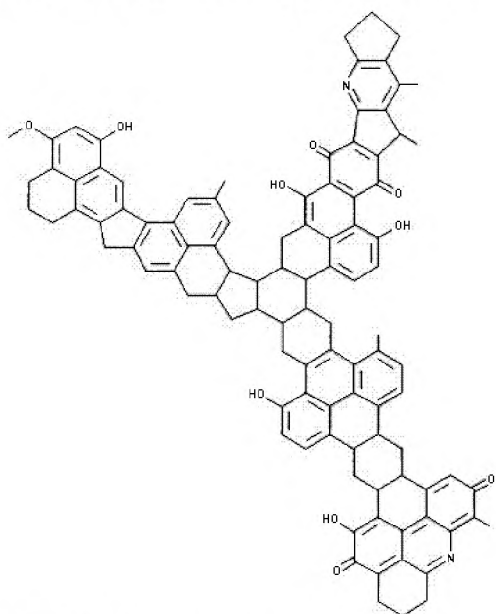


Рис.1. Участок молекулярной структуры бурого угля

эфиров и карбонильных соединений. Наряду с органической массой в ископаемом угле присутствует минеральная часть, представленная такими элементами, как кремний, алюминий, кальций, железо и другие. В целом состав ископаемых углей более сложен, чем нефти, и может существенно различаться даже в пределах одного угольного месторождения[1]. Установлено, что полезные элементы находятся в угле в составе гуминов [2] и при его сжигании наноразмерные частицы этих элементов не улавливаются промышленными электрофильтрами и выбрасываются в дымовую трубу. Результаты изучения качественного состава, технической и сопоставительной характеристик угля Кара-Кече представлены в [3,4,5] Способы сжигания и происходящие при горении процессы газо и дымовыделения, а так же механизмы образования паров воды, определяют степень извлечения частиц полезных элементов из продуктов реакции.

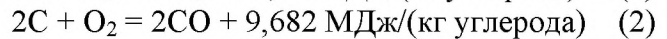
Процессы, сопутствующие горению углей описаны в [6]. Проведенные нами ранее исследования[7], указывают, что для последующего эффективного извлечения золота и платиноидов из продуктов горения наиболее целесообразным является способ вертикального послойного сжигания угля при распространении фронта горения навстречу потока кислорода в цилиндрическом реакторе. Изучение и описание протекающих химических реакций и термальных процессов при горении угля Кара-Кече, для последующих расчетов процесса электрофильтрации является задачей данного исследования и освящается предоставленном материале.

**Эксперимент:** Исследования проводились на экспериментальном стенде (Рис.2), являющимся составной частью специально разработанной установки, содержащей газодинамический электрофильтр (ГДЭ), подробно описанном в [7] Реактор изготовлен из стальной трубы диаметром 50 мм, длиной 78 см. Снаружи корпус реактора теплоизолирован асбестом и жестяным кожухом. Уголь Кара-Кече массой 1000 г, с размером частиц 2,5 - 4 мм, (1) помещался в реактор (2). Зажигание угля производилось разъемной нихромовой спиралью (4), от аккумуляторной батареи (5). Процесс сжигания проводился путем подачи кислорода с расходом 3–6 л./мин от кислородного баллона (6) через редуктор (7), ротаметр (8) и канал подачи (7), собственно в камеру сгорания. Сам процесс подробно описан ранее в[6]

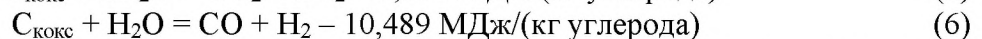
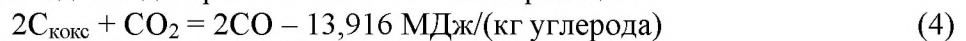


Рис.2. Общий вид экспериментальной установки ГДЭ

После зажигания угля пламя распространяется на все сечение трубы, заполненной углем. При этом летучие компоненты начинают выделяться из частичек угля и сгорают. Т.к. расход кислорода ограничен, то весь он реагирует преимущественно в следующих экзотермических реакциях



При этом, как показали измерения при помощи термопары погруженной в уголь, в зоне горения значения температуры достигали 900 °С. За счет чего загораются нижерасположенные слои угля, и фронт пламени постепенно опускается вглубь слоя угля. В то же время вышерасположенные слои угля перестают гореть, т.к. для их горения не остается кислорода. Из-за того, что эти слои уже прогрелись пламенем и через них фильтруются восходящие потоки продуктов горения ниже расположенных слоев угля, то начинаются взаимодействия с коксовым остатком. При этом происходят эндотермические химические реакции



Также в некоторых количествах образуются  $NH_3$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$ ,  $CH_4$  и более тяжелые углеводороды и смолы. В эндотермических реакциях поглощается большое количество тепла. Поэтому сразу же за фронтом горения (ФГ) температура снижается. Вместе с продуктами экзо- и эндотермических реакций должно выноситься нанозолото. Если золото входит в состав химических соединений гуминовых кислот, то основная его масса выносится с летучими компонентами и в коксовом остатке их не должно оставаться. Если это действительно так, то нет необходимости тратить кислород для полного сжигания угля, а достаточно лишь отогнать летучие компоненты, а коксовый остаток в экспериментальной установке не сжигать. Если же нанозолото остается в коксовом остатке, то следует сжигать его полностью.

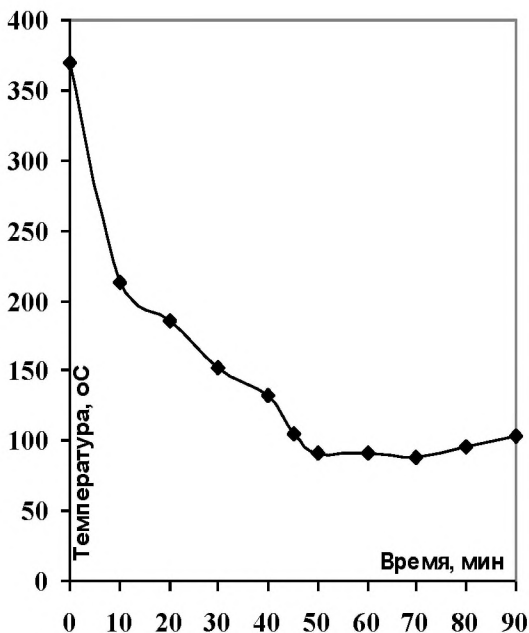
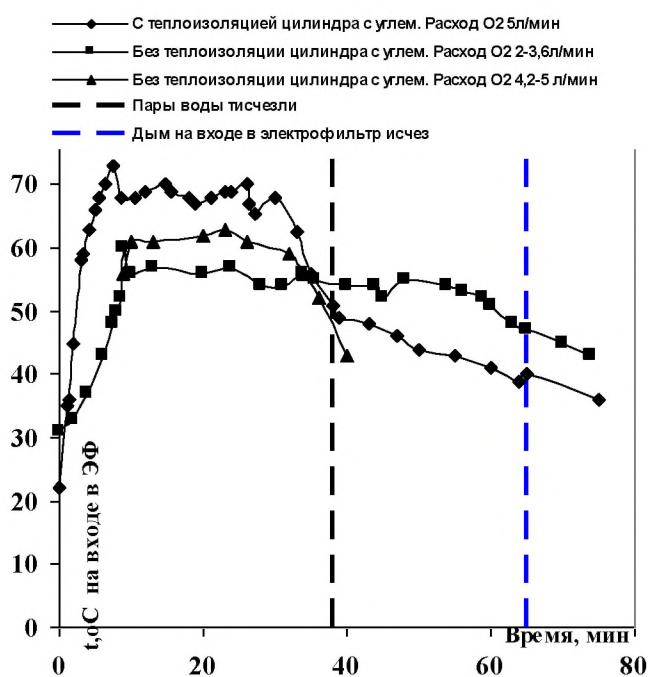


Рис.3 .Значения температуры в ходе эксперимента над поверхностью засыпанного угля до входа газов в ГДЭ



**Рис.4.** Динамика изменений температуры газов на входе в ГДЭ.

### Результаты и обсуждения:

Эксперименты показали, что при расходе кислорода 5 л/мин фронт горения (ФГ) прошел полную высоту засыпки угля (75 см) за 35 мин. при скорости ФГ-2,14 см/мин. Динамика изменения температуры над поверхностью угля показана на Рис.3. Здесь видно, что процесс горения делится на две области. Предполагается, что до 50 мин. эксперимента, выгорают преимущественно углеводороды, но по мере удаления ФГ от термопары температура отходящих газов постепенно снижается. Затем, от 50 до 90 мин процесса выгорает коксовый остаток, когда температура отходящих газов почти не меняется. Динамика изменения температуры отходящих газов на входе в

ГДЭ показана на Рис.4. Как видно из сравнения графиков наложение теплоизоляции на цилиндр с углем

увеличило температуру отходящих газов на входе в электрофильтр на 5 - 8 °С. Исчезновение паров воды на 38 минуте от начала эксперимента на выходе из электрофильтра можно объяснить тем, что основная часть углеводородов находится на дне корпуса экспериментальной установки, где происходит процесс горения. При этом осевшие углеводороды повторно испаряются либо же неразложившиеся углеводороды пиролизически разлагаются и выносятся с отходящими газами в электрофильтр. На 65 минуте эксперимента все углеводороды полностью выносятся из коксового остатка и потому перестает образовываться дым, минеральная часть угля в виде летучих компонентов выгорела или испарилась из коксового остатка с продуктами пиролиза. К этому моменту времени и температура отходящих газов также снизилась с 70 до 50 °С. Это объясняется тем, что при сгорании водорода по реакции (3) выделяется гораздо больше тепла, чем при сгорании углерода по реакциям (1) и (2). Однако некоторое количество смол могло осесть на коксовом остатке в период фильтрации отходящих газов через этот коксовый остаток, либо некоторое количества углеводородов вообще не успело пиролизически разложиться за период прохода фронта горения (ФГ). Поэтому в период выгорания коксового остатка высота его слоя постепенно уменьшается и те смолы, которые ранее на нем осели или углеводороды, которые не успели пиролизически разложиться, постепенно смещаются в сторону более высоких температур, расположенную ниже, навстречу потоку кислорода с выделением дыма, ранее проступавшего на входе в электрофильтр. Далее еще в течение последних 10 минут до полного выгорания коксового остатка, полностью освобожденного от углеводородов, процесс горения происходит бездымно. В экспериментах без теплоизоляции и с меньшим расходом кислорода вышеуказанного эффекта не наблюдалось, вероятно, за счет больших тепловых потерь и меньшей мощности горения температура во фронте горения оказывается недостаточно высокой для пиролизического разложения основной части летучих компонентов. Поэтому в период прохождения фронта горения они подвергаются пиролизу только частично, и далее на протяжении всего периода догорания коксового остатка они пиролизически разлагаются и догорают вместе с ним.

**Вывод:** Для эффективного извлечения золота и платиноидов из продуктов горения наиболее целесообразным является способ вертикального послойного сжигания угля при распространении фронта горения навстречу потоку кислорода в цилиндрическом реакторе.

Процесс электрофильтрации дымообразующих компонентов смол и попутно захватываемых ими минеральных веществ из угля в разработанной установке, содержащей ГДЭ, позволяет эффективно отделить ценные металлы, уменьшив количество балластной золы, позволяя существенно экономить химические реагенты для дальнейшего выделения золота и платиноидов.

### Список литературы

1. Б.Н. Кузнецов «Новые подходы в химической переработке ископаемых углей», Соревский образовательный журнал «Химия» №6, 1996
2. Гамов М.И., Грановская Н.В., Левченко С.В. «Металлы в углях» Изд. Южный Федеральный Университет, Ростов на дону – 2013
3. С.О. Карабаев, И.М. Локшина, И.П. Гайнуллина, З.Р. Мусабекова, Б.А. Масырова, А.В. Харченко /Техническая характеристика угля Кара-Кече //Вестник КРСУ 2010, том 10, №10; стр.158.
4. С.О. Карабаев, И.М. Локшина, И.П. Гайнуллина, З.Р. Мусабекова, Б.А. Масырова, А.В. Харченко /Выделение и анализ гуминовой кислоты из угля Кара-Кече/ /Вестник КРСУ 2010, том 10, №10; стр.161.
5. А.В. Харченко, С.О. Карабаев, В.П. Макаров, И.М. Локшина, И.П. Гайнуллина, Р.Э. Алакенова /Гуминовая кислота, гумин из угля Кара-Кече. Морфология поверхности, физико-химическая характеристика//Вестник КРСУ 2012, том 12, №5; стр.174.
6. Богданов А.С., Лелевкин В.М., Юданов В.А. /Физические процессы при кислородном сжигании угля Кара-Кече// Вестник КРСУ 2016,
7. Богданов А.С., Токарев А.В., Юданов В.А. /Метод очистки потока газов при кислородном сжигании угля// Вестник КРСУ 2016,
8. Назарова Н. Качественная характеристика углей Киргизии/Фрунзе 1970;
9. А. С. Джаманбаев Угли Киргизии и их рациональное использование/Фрунзе 1980

УОК 662.61; 536.46, 533.9

### КӨМҮРДҮ КИСЛОРОДДО КҮЙГҮЗҮҮДӨ ГАЗДАРДЫН АГЫМЫН ТАЗАЛООНУН ЫКМАСЫ

*Богданов Алексей Сергеевич, Б.Н. Ельцин атындагы КОСУнун ФимЭ ЕТФ кафедрасынын аспиранты +996(555)92-31-11; 720000, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш., Киев к. 44, e-mail: dedushka79@mail.ru*

*Токарев Андреан Валентинович, ф-м.и.к., Б.Н. Ельцин атындагы КОСУнун ФимЭ ЕТФ кафедрасынын «Плазмалык Технологиялар» лабораториясынын заведующии, + 996(312) 36-02-87 720000, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш., Киев к. 44, e-mail: tokarev\_andrean@mail.ru*

*Юданов Вячеслав Александрович, Б.Н. Ельцин атындагы КОСУнун ФимЭ ЕТФ кафедрасынын «Плазмалык Технологиялар» лабораториясынын инженери, + 996(312) 36-02-87 720000, Кыргыз Республикасы, Бишкек ш., Киев к. 44.*

**Аннотация:** газдын гетерогендик агымдарын атайын иштелип чыккан коаксиалдуу газ динамикалык электр чыпкасында тазалоонун ыкмасы сунушталган

**Негизги сөздөр:** көмүр, гетерогендик агым, газ динамикалык электр чыпкасы

### METHODS OF CLEANING OF GAS STREAMS AT BURNING OF OXYGEN IN COAL

*Bogdanov Aleksei Sergeevich chair graduate student of the KRSU named after B.Elcin +996(555)92-31-11; 44, Kiev. str., Bishkek, Kyrgyz Republic, 720000 e-mail: dedushka79@mail.ru*