

УДК 622:502.7

**В.Л. Шкуратник, А.А. Шульгин**

## **АКТИВАЦИЯ БУРОУГОЛЬНЫХ ГУМИНОВЫХ КИСЛОТ ДЛЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ И УТИЛИЗАЦИИ ТОКСИЧНЫХ ОТХОДОВ**

*Предложен метод обеззараживания токсичных отходов, включающий гидратацию и гидролиз гуминовых кислот в составе бурого угля и их перевод в растворимое и коллоидно-дисперсное состояние. Активированные гуминовые кислоты эффективны для обезвреживания и утилизации опасных отходов, при этом обеспечивается их преобразование в экологически безопасный техногенный грунт.*

*Ключевые слова: бурый уголь, гуминовая кислота, утилизация и детоксикация, отходы, гуматы, тяжелые металлы.*

**V.L. Shkuratnik, A.A. Shulgin**  
**RESEARCHING THE METHOD OF  
ACTIVATING BROWN COAL'S HUMIC  
ACIDS FOR THE PURPOSE OF  
DETOXIFYING AND UTILIZING  
DANGEROUS WASTE**

*Method of Humic Acids activation includes brown coal hydration and hydrolysis under intensive mechanical treatment which allows convert native coagulated and bound Humic substances into soluble Humates and gel forming active colloidal particles. Activated Humic Acids were used for dangerous heavy metals containing waste detoxification and its conversion into environmentally friendly artificial ground.*

*Key words: brown coal's, humic acids, detoxifying, utilizing, waste, humates, heavy.*

Среди проблем комплексного и рационального использования природных ресурсов особое место занимает задача эффективного использования бурых углей. В последние годы произошло резкое падение объема добычи бурых углей вследствие их низкой конкурентоспособности как энергоносителей в тепло- и электроэнергетике. Вместе с тем, бурые угли являются уникальным природным образованием, в котором процессы трансформации органического вещества в течение мил-

лионов лет сформировали специфическое органическое вещество, а именно: гуминовые кислоты, составляющие значительную (20-30%), а в ряде случаев преобладающую его часть, достигая в окисленных в пласте бурых углях 80 – 90% [1]. По своей природе гуминовые кислоты являются высоко окисленными органическими веществами с высоким содержанием активных функциональных групп, большую часть которых представляют гидроксильные и фенольные группы.

Гуминовые кислоты являются биологически и химически активными веществами и играют исключительно важную роль в биосфере, определяя, прежде всего, ее способность к самовосстановлению и самоочищению, а также устойчивость к интенсивному антропогенному воздействию [2].

Гуминовые кислоты являются хотя и важнейшей, но все-таки составной частью бурого угля и потенциал гуминовых кислот может быть значительно усилен другими компонентами угля, в частности битумами. В своем исходном, природном состоянии, гуминовые кислоты находятся в биологически и химически мало активном или неактивном состоянии. Гуминовые кислоты (ГК) на-

Таблица 1

**Взаимосвязь между компонентами бурого угля, видами физико-химического воздействия, процессами, а также свойствами и состоянием целевого продукта**

Наименование компонента	Вид воздействия	Процессы	Свойства и состояние целевого продукта
Гуминовые кислоты	Гидратация и щелочной гидролиз при интенсивном механическом воздействии	Набухание и размягчение. Ионный обмен и образование гуматов. Экстракционное выделение и растворение в водной фазе. Раскрытие и активация функциональных групп. Образование геля	Дисперсно-структурный материал от вязко-текучего до пластичного состояния
Битумы	Тепловое (в т.ч. экзотермическое) и механическое воздействие.	Тепловое размягчение или плавление. Эмульгирование.	
Глинистое вещество	Гидратация	Набухание, разупрочнение, структурообразование.	

ходятся в угле в коагулированном (нерастворимом) и прочно связанном с другими компонентами состоянии. Они не образуют гелей, а их функциональные группы блокированы и практически недоступны для взаимодействий, например с катионами металлов. Задача состоит в том, чтобы перевести их в активное (реакционноспособное) состояние путем гидратации и гидролиза, при котором они переходят в растворимое или коллоидно-дисперсное состояние, а функциональные группы становятся доступными для химических взаимодействий.

Из понимания уникальности гуминовых кислот, их функций, роли и значения [2], вытекает потребность их изучения, активации и практического применения для решения актуальных задач обезвреживания и утилизации токсичных отходов на основе использования такого уникального природного источника гуминовых кислот как бурые угли [1, 3].

На основании уже имеющихся научных и практических результатов [1, 2], представляется возможным обосновать оптимальный метод направленного воздействия на гуминовые кислоты и битумы с целью их активации в составе бурого угля естественной влажности.

Сущность метода активации этих компонентов, а также глинистых минералов, представлена в табл. 1.

Известно, что битумы, будучи выделенными из состава бурого угля [6], обладают высокими вяжущими (комкующими) свойствами по отношению к дисперсным материалам и в этом качестве применяются, например, для переработки осадков сточных вод. Битумы в составе бурого угля при нормальных условиях вяжущими свойствами не обладают. Поэтому большой интерес представляет активация битумов бурого угля, понимаемая как совокупность процессов их теплового размягчения (плавления) и эмульгирования с целью максимального раскрытия потенциала их взаимодействия, как вяжущих и комкующих веществ, с дисперсными частицами токсичных отходов. Важнейшим параметром процесса активации является температура их плавления (ТП).

Выделение битумов из угля Тюльганского месторождения осуществлялось путем их экстракционного извлечения [6]. С целью определения температуры плавления выделенного битума проводились дериватографические исследования. Измерения проводились на при-

боре MOM Q-1500 в воздушной среде в диапазоне температур 20-125 °С при скорости нагрева 1,25 град/мин с использованием навески массой 500 мг, помещенной в кварцевый тигель. Использовались методы дифференциального термического анализа (ДТА), основанного на измерении разницы температур между битумом и термически инертным веществом, и термогравиметрии (ТГ), основанного на измерении динамики изменения массы.

Установлено, что угольный битум плавится в диапазоне температур 40 – 70 °С. Такой сравнительно широкий диапазон температур плавления указывает на его многокомпонентный состав. Исследования процессов термической подготовки бурого угля для активации гуминовых кислот проводили на специальном стенде с использованием механического смесителя с горизонтально расположенными "S" – образными лопастями.

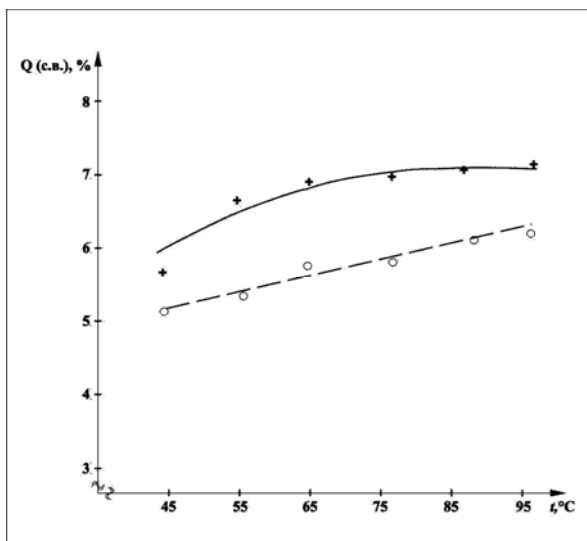
Методика первой группы экспериментов включала изучение зависимости показателей собственно экстракционного извлечения ГК в раствор от длительности воздействия, содержания и вида щелочи, а также от температуры. Установлено, что использование гидроксида натрия увеличивает содержание ГК в экстракте в 1,6-1,8 раз по сравнению с гидроксидом калия при прочих одинаковых условиях. То есть, натриевая щелочь более активна при воздействии на ГК бурого угля, что, очевидно, объясняется меньшим атомным весом натрия, более высокой подвижностью и активностью иона натрия и его большей степенью гидратации, чем иона калия. С увеличением концентрации щелочи увеличивается содержание ГК в растворе, при этом также увеличивается рН раствора и степень набухания угля и перехода его в гелеобразное состояние. Переход экстрагированных гуминовых кислот в гелеобразное состояние наблюдается при содержании последних в растворе свыше 12% и значении рН более 10,5.

Поскольку щелочная (кислотная) реакция среды является одним из показателей экологической опасности/безопасности, например промышленных отходов, постольку целесообразно ограничение этого показателя областью нейтральных или близких к нейтральным значениям. Из достигаемого в данном эксперименте диапазона значений рН, наиболее близким к нейтральному является рН 9, при котором обеспечивается сравнительно высокое содержание ГК в растворе, равное 6% при дозе щелочи 7% и отношении твердой (Т) и жидкой фазы (Ж) Т : Ж = 1 : 4.

Также были проведены исследования зависимости содержания ГК (Q(с.в.)) в растворе от температуры при концентрации щелочи 7% и отношении Т : Ж = 1 : 4 для образцов исходного и дебитумизированного угля (ДБУ). Результаты исследований представлены на рис. 1.

Установлено, что максимальное содержание ГК в растворе наблюдается при температурах, практически совпадающих с верхним пределом плавления угольных битумов, т.е. при 65-75 °С. Как видно из представленного графика, содержание ГК при увеличении температуры увеличивается в большей степени для ДБУ. При этом дебитумизация существенно снижает содержание (извлечение) ГК в растворе.

Такой эффект может быть объяснен двумя причинами. Первое, в процессе дебитумизации органический растворитель (толуол), будучи гидрофобной жидкостью, гидрофобизует часть поверхности угольных частиц и гуминовых кислот, делая их менее доступными в существующих условиях для гидролиза щелочным раствором. И, очевидно, отгонка толуола испарением, не обеспечивает полного его удаления. Это обстоятельство имеет также косвенное подтверждение, заключающееся в том, что дебитуминизированный уголь меньше набухает в щелочной среде, чем исходный уголь.



**Рис. 1. Зависимость содержания ГК в растворе (Q с.в., %) от температуры (t, °C) при T:Ж = 1:4, содержании гидроксида натрия 7% и длительности экстракции 30 мин. (сплошная линия - для исходного угля, прерывистая линия - для дебитумизированного угля)**

Второе, в процессе щелочного гидролиза исходного угля определенная часть низкомолекулярных углеводов с низкими температурами плавления взаимодействует с гидроксидом натрия с образованием устойчивых молекул, которые адсорбируются гуминовыми кислотами, существующими в форме гуматов натрия, и в комплексной форме могут существовать в составе растворов. То есть, к достаточно широкому определению гуминовых кислот можно добавить возможность вхождения в их состав низкомолекулярных углеводов битумного ряда. Косвенным подтверждением этому служат также результаты оценки устойчивости полученных экстрактов гуминовых кислот. Устойчивость определялась по образованию осадка в процессе хранения отфильтрованных через бумажный беззольный фильтр экстрактов и при их разведении деионизированной водой.

Установлено, что при хранении экстрактов из них выпадает незначительное количество липкого осадка коричневого цвета. Причем, из экстракта, полученного из исходного угля, осадка образуется больше, чем из ДБУ при тех же равных условиях. При разбавлении экстрактов деионизированной водой, в

которой исключается присутствие катионов кальция, магния, железа и т.д., могущих образовать нерастворимые соединения с ГК, наблюдается также образование осадка. При разбавлении происходит снижение

pH среды, однако оно остается щелочным и о кислотной (протонной) коагуляции части гуминовых кислот говорить не приходится.

Методика второй группы экспериментов включала изучение процесса активации гуминовых кислот без их извлечения в жидкую фазу, т.е. в составе бурого угля. Методика включает:

1) первичную гидратацию бурого угля минимальным количеством воды, достаточным для смачивания частиц угля и проникновения воды внутрь частиц по водопроводящим трещинам, порам и капиллярам;

2) гидролиз гуминовых кислот гидроксидом натрия, вносимым в предварительно гидратированную массу угля в виде сухого вещества;

3) интенсивное перемешивание, при которой все взаимодействующие фазы и компоненты образуют гомогенную массу, преимущественно вязко-пластичной или пластичной консистенции.

Установлено, что введении щелочи в гидратированную массу угля вызывает ее сильный разогрев, приводящий к интенсивному испарению воды и "осмоление", в результате чего образуются многочисленные плотные и тугопластичные отделимости от мелких до круп-

ных, которые по своим характеристикам напоминают асфальт. Основная масса материала находится в сыпучем отдельно-зернистом состоянии. В таком состоянии материал не приемлем для использования в поставленных целях и такое состояние следует считать граничным с точки зрения соотношения взаимодействующих компонент. При постоянных значениях массы угля и щелочи, состояние материала зависит от массы воды. Экспериментально установлена зависимость состояния материала от отношения массы угля и воды при постоянной массе щелочи, которая может быть представлена в следующем виде:

$$M_c(1 + Q) / 2,2 M_c < 1,$$

где:  $M_c$ , кг – масса навески угля в пересчете на воздушно-сухую массу;  $W$  – количество воды в долях от массы угля.

Если указанное отношение меньше 1, то образуется сухой, преимущественно отдельно-зернистый материал. Как видно из данного соотношения, такая ситуация имеет место при массе воды меньше чем 1,2 воздушно-сухой массы угля. При увеличении содержания воды выше этого значения наблюдается соответственно переход угля в пластичное, вязко-пластичное состояние и, наконец, в текучее состояние. Надо отметить, что переход материала в пластичное состояние приводит к резкому росту нагрузки на вращающиеся лопасти и даже к остановке процесса перемешивания.

Изучение зависимости состояния материала, а также таких характеристик, как развиваемая за счет экзотермической реакции температуры, pH водной вытяжки и содержания растворимых в материале ГК от такого легко фиксируемого параметра, как масса воды, при прочих одинаковых условиях проводилось на ранее упомянутом термостатированном механическом смесителе.

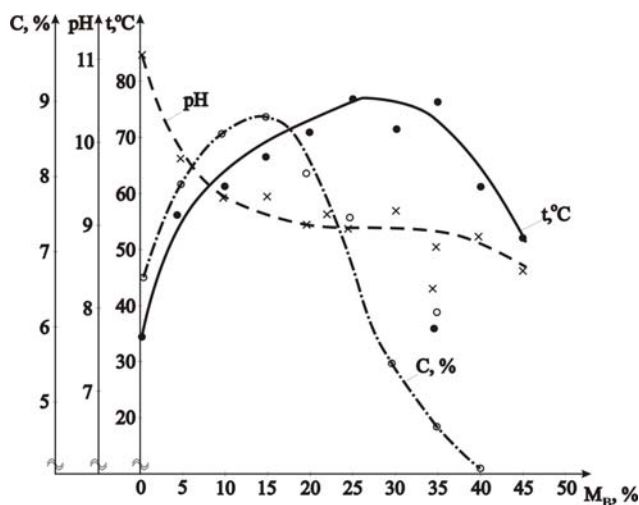
Установлено, что материал в сухом отдельно зернистом состоянии содержит частично гидратированные и гид-

ролизованнные ГК, находящиеся в нем в форме растворимых гуматов натрия. Простого смешивания с водой достаточно для получения раствора гуминовых кислот. Материал в тугопластичном, пластичном и вязко-пластичном состоянии при смешивании с водой образует гомогенную суспензию, в которой ГК находятся в растворе в виде гуматов натрия, а также в виде коллоидно-дисперсных частиц. Содержание растворимых форм ГК определялось при смешивании готового материала с водой, отфильтровывании проб суспензии на бумажном фильтре с последующим его высушиванием в термостате. Зависимости температуры раствора ( $t$ , °C) при протекании экзотермической реакции, содержания ГК в растворе при растворении материала в воде при фиксированных условиях и pH среды представлены на рис. 2.

Отмечено, что максимальная температура 75 °C экзотермической реакции достигается при количестве воды, равном 25 -35 % от массы угля, при которой уголь преимущественно находится в сухом отдельно-зернистом состоянии за счет интенсивного испарения воды. С ростом массы воды температура существенно снижается, поскольку энергии экзотермической реакции взаимодействия щелочи с водой недостаточно для разогревания обрабатываемой массы до верхнего предела плавления угольных битумов.

С целью гарантированного обеспечения верхнего температурного предела плавления битумов, гидратация образцов угля проводилась нагретой до температуры 75 °C водой в термостатированном смесителе. Количество воды при этом превышало 40% от массы угля, взятой при его естественной влажности. Такое количество воды обеспечивает перевод угля в вязко-пластичное и пластичное состояние.

Ввиду особой важности такого режима обработки, исследования проводились как на буром угле разреза



**Рис. 2. Зависимость температуры ( $t, ^\circ\text{C}$ ) экзотермической реакции, содержания гуминовых кислот (%) в растворе и pH растворов при растворении материала от массы воды (в % от массы угля с естественной влажностью)**

“Тюльганский”, так и на бурых углях разрезов “Назаровский” и “Бородинский”, значимые для данных исследований характеристики которых приведены ниже.

Установлено, что для исследуемых углей разрезов “Тюльганский”, “Назаровский” и “Бородинский” независимо от их естественной влажности, образование вязко-текучей водно-угольной смеси происходит при достижении влажности примерно 50 – 60%. При этом, понятие “вязко-текучей” смеси применимо только для непрерывно движущейся под воздействием лопастей смесителя водо-угольной массы, так как при прекращении воздействия наблюдается отделение жидкой фазы от твердой. При такой влажности частицы угля хорошо гидратированы и прослойки воды между ними обеспечивают легкое движение частиц. В момент достижения такого состояния производилась подача сухого гидроксида натрия в количестве 7% от массы угля. При введении щелочи при интенсивном перемешивании гомогенная вязко-текучая водо-угольная смесь дополнительно нагревается и превращается в материал от вязко-пластичной до пластичной консистенции с характерным черным блеском.

Установлено также, что необходимая для гидратации масса воды  $M_{в}$  может

быть найдена из эмпирической формулы

$$M_{в} = \frac{[A - W_0] M_{у}}{1 - A},$$

где  $M_{у}$ , кг – масса исходного угля с природной влажностью;  $W_0$  – диапазон изменения природной влажности угля,  $W = 0,2-0,45$  (безразмерно);  $A$  – эмпирический коэффициент, соответствующий установленной влажности (0,5–0,6).

Во всех случаях выявлена закономерность: чем выше содержание воды, тем ниже значение pH, что вызвано более полным растворением гидроксида натрия и его более глубокой реакцией с кислотными группами гуминовых кислот и битумов. Получаемый материал при температуре  $75 ^\circ\text{C}$  находится в вязко-пластичном состоянии, в формировании которого принимают участие как гуминовые кислоты, так и угольные битумы. При снижении температуры до комнатной материал переходит в пластичное состояние. В этом состоянии материал не обладает свойством подвижности (текучести) и пластичность проявляется в характерном изменении формы при механическом воздействии. При нагревании материал размягчается, а в воде растворяется. Такой материал является наиболее приемлемым для обработки и обезвреживания токсичных отходов. В таком специфическом состоянии все компоненты сохраняют свою физико-химическую активность и простого разведения с водой достаточно для раскрытия их потенциала взаимодействия с дис-

#### **Характерный состав образцов бурого угля разреза «Тюльганский»**

Содержание гуминовых кислот	72,4%;
Зольность	29,6%;
Влажность	45 %
Содержание летучих веществ	40%
Валовое содержание тяжелых металлов:	
свинец	12,8 мг/кг
мышьяк	1,9 мг/кг
Содержание подвижных форм тяжелых металлов:	
марганец	0,02 мг/кг
остальное	микроколичества
Содержание бенз(а)пирена	0,0001 мг/кг.

#### **Характерный состав образцов бурого угля разреза «Назаровский»**

Содержание гуминовых кислот	28,5%
Зольность	12,6%;
Влажность	26,8%.
Содержание летучих веществ	32%
Валовое содержание тяжелых металлов:	
свинец	0,003 мг/кг
остальное	микроколичества
Содержание подвижных форм тяжелых металлов:	
марганец	0,02 мг/кг
остальное	микроколичества
Содержание бенз(а)пирена	0,0001 мг/кг

#### **Характерный состав образцов бурого окисленного угля разреза «Бородинский»**

Содержание гуминовых кислот	75,9%;
Зольность	21,4%;
Влажность	21,8%.
Содержание летучих веществ	28,6%
Валовое содержание тяжелых металлов:	
свинец	0,006 мг/кг
мышьяк	0,0003 мг/кг
марганец	0,01 мг/кг
Содержание бенз(а)пирена	следы

персными токсичными отходами. Это в совокупности преобразовывает бурый уголь и создает новое качество активированного гумино-минерального продукта (ГМП). В данном случае понятие продукта включает целевой материал с набором необходимых физико-химических свойств.

Характеристики ГМПР приведены в табл. 2. Активированные гуминовые кислоты в составе материала, или другими словами в составе преобразованного бурого угля, представлены природно-гидратированными гуминовыми кислотами, гидролизрованными гуминовыми кислотами, преимущественно гу-

матами натрия, а также гидратированными и гидролизрованными гумино-минеральными комплексами, физически и химически связанными с эмульгированными битумами и минеральными компонентами бурого угля.

Как известно [1, 2], химическая активность ГК по отношению к катионам тяжелых металлов определяется количеством доступных для взаимодействия активных кислых карбоксильных и фенольных групп. Высокое содержание таких групп в составе ГМПР дает основание указать на его высокую эффективность при связывании катионов тяжелых металлов, являющихся главными

Таблица 2

**Характеристики ГМПР**

№ п.п.	Наименование показателя	Ед. изм.	Характеристика или значение	Примечание
1.	Внешний вид		Пластичный материал черного цвета	
2.	Влажность	%	55	ГОСТ
3.	Общее содержание гуминовых кислот	%, на орг. массу	70,6	Определяется "исчерпывающей" экстракцией гидроксидом натрия. ГОСТ 9517-76.
4.	Содержание растворимых гуминовых кислот	%, от общего содержания гуминовых кислот	71,4%	Определяется по разности между массой до и после растворения при отношении "ГМПР: вода" = 1 : 100
5.	Содержание битумов	%, на сухую массу	10,8	Определяется экстракцией толуолом [8]
6.	pH	%	7,5	1% раствор
7.	Зольность	%	36,7	
8.	Общее содержание активных кислых групп, в том числе:	мг х экв 100 гр	680	
	фенольных гидроксидов	Мг-экв 100 гр	260	
	карбоксильных групп	Мг-экв 100 гр	420	
	Содержание тяжелых металлов: Свинец Мышьяк Остальные металлы Бензапирен	мг/кг	11,1 1,7 Микроколичества Следы	

токсичными компонентами промышленных дисперсных отходов.

Рассматриваемые в настоящей работе токсичные отходы представлены солевыми шлаками вторичной металлургии алюминия (САШ) песчаных, илистых и коллоидных фракций. Токсичность таких отходов определяется, прежде всего, высоким содержанием подвижных форм тяжелых металлов и эффективность их обезвреживания определяется эффективностью связывания этих металлов, т.е. переводом их в иммобилизованное или другими словами говоря в нерастворимое состояние. Находясь в химически связанном состоянии,

тяжелые металлы не обладают токсичностью, так же как не доступны вымыванию или диффузии в окружающую природную среду. Следует однако отметить, что дисперсный состав таких шлаков предопределяет склонность к пылению. Пыль, в которой тяжелые металлы химически обезврежены, может оказывать негативное воздействие на людей через органы дыхания. Предотвращение пыления целесообразно за счет физико-механического связывания высокодисперсных фракций шлака и перевода их в недоступное для пыления состояние.

Исследование процессов обезвреживания солевых алюминиевых шлаков



Таблица 3

**Содержание водорастворимых форм тяжелых металлов (мг/кг)  
и процент снижения их содержания для образца  
с отношением ГМГР : САШ = 1 : 4**

Наименование металла	Исходный САШ	ГМГР:САШ= 1 : 8	ГМГР:САШ= 1 : 4	% снижения для ГМГР:САШ =1:4
Марганец	5,82	2,58	1,79	69%
Цинк	37,93	4,83	2,17	94%
Стронций	44,5	31,5	3,3	93%
Медь	27,36	3,46	2,68	90%
Свинец	19,40	4,40	2,88	85%
Кадмий	2,69	0,68	0,40	85%
Никель	29,3	12,1	6,7	77%
Хром	58,50	14,85	8,50	85%
Кобальт	26,8	10,5	2,2	92%
Ванадий	9,52	2,37	0,95	90%
Мышьяк	5,69	1,30	0,64	89%
Олово	15,4	5,1	2,5	84%
Сурьма	4,80	1,15	0,45	91%
Селен	2,70	0,75	0,30	89%
Железо	127,50	18,75	87,00	32%

(САШ) проводились для двух значений отношений ГМГР:САШ, равных соответственно 1 : 8 и 1 : 4. Исходный ГМГР подавался в смеситель, куда заливалась вода и производилось его перемешивание до образования гомогенной вязко-текучей суспензии черного цвета. Исходный шлак загружался в уже приготовленную суспензию и производилось его перемешивание до образования гомогенной массы от вязко-пластичной до пластичной консистенции. Приготовленный материал выгружался из смесителя, после чего отбирали представительные пробы для определения содержания мобильных (растворимых) форм тяжелых металлов стандартными методами. В качестве контроля использовались образцы шлака смешанные с водой для предотвращения их пыления. Результаты представлены в табл. 3.

Как следует из данной таблицы, наиболее эффективно связывание тяжелых металлов происходит при отношении ГМГР : САШ = 1 : 4. То есть,

при дозе ГМГР равной 25% от массы САШ наблюдается эффективное химическое связывание тяжелых металлов и мышьяка. Эффективность изменяется в интервале от 32% для железа до 93% у стронция.

По совокупности признаков, включающих эффективность протекания процессов детоксикации солевых алюминиевых шлаков, интенсивности выделения типичных для них газов (аммиака, хлористого водорода, ацетилена и др.) и их сорбции компонентами ГМГР, а также комплексу приемлемых физико-механических свойств целевого продукта, сделан вывод об оптимальном количестве воды, равном 0,4 от массы ГМГР, приводящем к формированию целевого продукта от вязко-пластичной до пластичной консистенции.

Установлено, что обработка солевых алюминиевых шлаков меняет их качество. Оценки показали, что целевой продукт по своим свойствам приближается к природным грунтам. Такой продукт даже при высушивании не пылит, а при

смешивании с водой сохраняет свои основные механические свойства. То есть, из отходов производства шлаки преобразуются в целевой товарный продукт, а именно: техногенный грунт.

В соответствии с ГОСТ 25100-95. "Грунты. Классификация" образующийся в процессе обезвреживания шлаков продукт относится к классу - техногенных грунтов, группе - связных грунтов, подгруппе - антропогенных насыпных образований, типу - отходов производственной деятельности, виду – шламов и может быть использован в технических целях.

#### *Выводы*

Метод активации гуминовых кислот бурого угля включает: гидратацию бурого угля естественной влажности в механическом смесителе, что обеспечивает смачивание частиц угля и проникновение воды внутрь частиц по водопроводящим трещинам, порам и капиллярам; воздействие гидроксида натрия при обеспечении условий равномерного протекания экзотермической реакции, при которой происходит нагрев частиц гидратированного бурого угля, что соответственно приводит к размяг-

чению и плавлению битумов, при этом щелочь растворяет гуминовые кислоты и переводит их в частично растворимую форму и частично в ионно-дисперсную и дисперсную фазы; интенсивное механическое воздействие, при котором все взаимодействующие фазы и компоненты образуют гомогенную массу, преимущественно вязко-пластичной или пластичной консистенции. Это в совокупности обеспечивает преобразование бурого угля в активированный гумино-минеральный продукт/реагент (ГМПР). В таком специфическом состоянии все компоненты сохраняют свою физико-химическую активность и простого разведения с водой достаточно для раскрытия потенциала их взаимодействия с дисперсными токсичными отходами. Обезвреживание токсичных отходов на примере солевых алюминиевых шлаков происходит за счет химического связывания тяжелых металлов, при этом происходит физико-механическое связывание дисперсных частиц, что в совокупности придает обработанному материалу качество техногенного грунта, пригодного для использования в технических целях.

#### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. *Кухаренко Т.А.* Окисленные в пластах бурые и каменные угли. – М.: Недра, 1972, 214 с.

2. *Орлов Д.С.* Свойства и функции гуминовых кислот. Гуминовые вещества в биосфере. М., "Наука", 1993, стр.16-27.

3. *Шульгин А.А.* Обоснование актуальности использования бурых и окисленных в пласте каменных углей в качестве источника получения гуминового концентрата". Сборник магистерских работ. Москва, МГТУ, 2005 г. Выпуск № 5.

4. *Шульгин А.А.* Использование гуминовых кислот для обезвреживания твердых бытовых отходов". Сборник магистерских работ. Москва, МГТУ 2006 г. Выпуск № 6., стр. 242-250.

5. *Получение и использование восков и сопутствующих продуктов из бурых углей и торфа.* Минск, Наука и техника, 1974, 128 с.

6. *Тайц Е.М., Андреева И.А.* Методы анализа и испытания углей. М.: Недра, 1983, стр.102-104. **ГИАБ**

#### **Коротко об авторах**

*Шкуратник В.Л.* – профессор, доктор технических наук, зав. кафедрой ФТКП, Московский государственный горный университет, [ftkp@mail.ru](mailto:ftkp@mail.ru)

*Шульгин А.А.* – аспирант кафедры ФТКП, Московский государственный горный университет, [ftkp@mail.ru](mailto:ftkp@mail.ru)