

органических кислот для восстановления золота возможно только в присутствии щавелевой кислоты, в этом случае ионы золота (III) восстанавливаются полностью. Таким образом, применение технологии определения палладия в присутствии большого числа мешающих компонентов матрицы пробы является приемлемым.

*Выражаем искреннюю благодарность своему научному руководителю за многолетний труд и бесценный вклад в развитии науки РФ в области физической и аналитической химии д.х.н., заслуженному профессору РФ Колпаковой Н.А*

#### Литература

1. Колпакова Н.А., Горчаков Э.В., Карачаков Д.М. Определение палладия в золоторудном сырье методом инверсионной вольтамперометрии // Журнал аналитической химии. – 2009. – Т.64. – № 1. – С. 52 – 56.
2. Ascensao Trancoso M., Barros Joao S. Determination of gold in complex sulphide minerals by differential-pulse anodic stripping voltammetry after anion- exchange separation // Analyst. – 1989, V. 114. – № 9. – P. 1053 – 1056.
3. Аналитическая химия золота / Под ред. Бусев А. И., Иванов В. М. – М.: Наука, 1973 – 123 с.
4. Gorchakov E.V., Fedota N.V., Belyaev V.A., Bagamaev B.M., Perevezentseva D.O. Determination of cysteine in biology solids by electrochemical methods with gold colloidal particles // World Applied Sciences Journal. – 2014. – V. 29. – № 12. – P. 1591 – 1594.
5. Агеева Л.Д. Сорбционное концентрирование платины, палладия и золота активированным углем с последующим определением элементов рентгенофлуоресцентным методом: Дис. ... канд. хим. наук. – Томск, 2007.
6. Фотоперенос электрона и его прикладные аспекты / Под ред. Крюков А. М., Шерстюк В. П., Дилунг И. – Киев: Наукова думка, 1973. – 123 с.
7. Золотые наночастицы. Синтез. Свойства, биомедицинское применение / Под ред. Л.А. Дыкман, В.А. Богатырев, С.Ю. Щеголев, Н.Г. Хлебцов. – М.: Наука, 2008. – 318 с.

### ПОЛУЧЕНИЕ СЕРОЗОЛОБИТУМНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЗОЛЫ И ТЕХНИЧЕСКОЙ СЕРЫ

**А.Б. Доржиева, У.В. Худорожко**

*Научный руководитель доцент И.В. Фролова*

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

В настоящее время вместе с тем, что теплоэнергодетрали (ТЭЦ) России вырабатывают потребное количество энергии для страны, они также представляют ощутимую экологическую опасность для окружающей среды. Опасными являются выделения в атмосферу зольных остатков, поскольку они представляют собой мелкодисперсную пыль. Значительную часть отходов ТЭЦ составляют золошлаковые отходы. Также, помимо вредного воздействия и отходов теплоэнергодетралей, существует и проблема все возрастающего количества производимой серы по сравнению с ее потребным количеством. В настоящее время идет тенденция превышения производства серы над ее потреблением в ряде стран (Россия, Казахстан, США, Канада). Также увеличивается количество золы уноса Северной ТЭЦ, которая представляет собой экологическую опасность.

Рост интенсивности движения автотранспорта приводит к существенному увеличению износа и разрушения дорожных покрытий. Поэтому актуальным вопросом по сей день остается вопрос об использовании серы и золы в дорожном строительстве с целью улучшения дорожно-транспортного покрытия [2].

Решение двух основных проблем: поиск путей использования большого количества непотребной золы и серы, а также улучшения эксплуатационных качеств дорожных покрытий за счет изготовления битумов на основе серозолобитумных смесей.

Требования к компонентам серозолобитумных смесей. Зола – несгораемый остаток, который образуется из минеральных примесей топлива в результате его полного сгорания и имеющий зерна, размер которых меньше 0,16 мм [3, 4].

Одними из важнейших физических характеристик золошлаковых отходов являются:

- зерновой состав (определяется видом топлива);
- насыпная плотность (зависит от зернового, химического и фазового составов золы);
- истинная плотность (удельный вес);
- водонасыщение (зависит от количества частиц с различными видами пор и микропор);
- способность к морозному пучению;
- химическая активность – важное свойство, от которого зависит возможность использования золы в качестве самостоятельных вяжущих или в качестве компонента комплексных вяжущих [1].

Золошлаковые смеси должны удовлетворять требованиям, представленным в таблице 1 [5].

Также золошлаковые смеси должны быть:

- однородными по составу;
- влажность должна быть не более 12 % по массе;
- не должны иметь в своем составе свободной окиси кальция (СаО);
- количество водорастворимых соединений в не должно превышать 1 % массы;
- потери при прокаливании не должны превышать 20 % массы [5].

Серу можно применять при строительстве и ремонте автомобильных дорог:

- в асфальтобетонных смесях, заменяя часть битумного материала;

**СЕКЦИЯ 15. КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ  
МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

- в серобетонных смесях для использования в дорожных покрытиях, а также изготовления штучных изделий (различные плиты: укрепительные, тротуарные; бордюрных камней и т.д.);  
- для приготовления композиционных серосодержащих материалов, которые используются в роли вяжущего в гидроизоляционных и горячих антикоррозионных мастиках [2].

Серобитумвяжущие (СБВ) и смеси, приготовленные на их основе, обладают более высокими физико-механическими показателями, а также улучшенными реологическими свойствами, по сравнению с обычными битумами и асфальтобетонами [2].

Требования к зерновому составу серы представлены в таблице 2.

**Таблица 1**

**Требования к золошлаковым смесям**

Зерновой состав, % массы	
мельче 5 мм, не менее	100
мельче 1,25 мм, не более	88
мельче 0,315 мм, не более	75
мельче 0,071 мм	15-35
Пористость, % объема, не более	47
Коэффициент водостойкости образцов из смеси золы с битумом, не менее	0,6
Показатель битумоемкости, г на 100 см <sup>3</sup> (абсолютного объема), не более	100

**Таблица 2**

**Требования к зерновому составу серы**

Разновидность серы	Остаток, %, не более, на сите размером, мм		Прохождение через сито 200 мм, %, не менее
	0,14	0,071	
Комовая	-	-	95
Молотая класса	-	-	-
2	0,1	3,5	-
3	3,0	4,0	-

Объектами исследования в ходе работы были: сера Норильского горно-металлургического комбината и зола Северской ТЭЦ.

Элементный состав золы северской ТЭЦ, определенный методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой, включает: Be – 2,776 г/т; Sc – 14,5 г/т; V – 75,6 г/т; Cr – 157,2 г/т; Co – 16,7 г/т; Ni – 47,52 г/т; Cu – 70,76 г/т; Zn – 56,1 г/т; Ga – 15,37 г/т; Rb – 71,2 г/т; Sr – 392,7 г/т; Y – 35,3 г/т; Zr – 337,9 г/т; Nb – 23,04 г/т; Mo – 1,495 г/т; Cd – 0,4182 г/т; Sn – 2,259 г/т; Cs – 4,861 г/т; Ba – 914,6 г/т; La – 43,62 г/т; Ce – 89,87 г/т; Pr – 10,26 г/т; Nd – 38,01 г/т; Sm – 7,375 г/т; Eu – 1,377 г/т; Gd – 7,492 г/т; Tb – 0,9931 г/т; Dy – 6,273 г/т; Ho – 1,221 г/т; Er – 3,419 г/т; Tm – 0,5096 г/т; Yb – 3,778 г/т; Lu – 0,5471 г/т; Hf – 7,63 г/т; Ta – 1,786 г/т; W – 3,708 г/т; Pb – 21,79 г/т; Th – 16,74 г/т; U – 6,691 г/т.

Химический состав золы Северской ТЭЦ был определен методом рентгенофлуоресцентного анализа, данные представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

**Химический состав золы Северской ТЭЦ**

	Содержание оксидов, %											
	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> общ.	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	п.п.п.	SO <sub>3</sub>
Зола ТЭЦ	52,59	0,71	17,06	13,93	0,30	1,54	3,18	0,61	2,00	0,28	7,44	0,139

Структура и свойства технической серы соответствуют ГОСТ 127.1-93. Сера является термопластичным связующим с температурой плавления 113 °С, низкой химической активностью, достаточной механической прочностью, низкой себестоимостью и доступностью. Так же она плохо проводит электрический ток, в воде и большинстве неорганических кислот не растворяется, но хорошо растворима в сероуглероде, безводном аммиаке, анилине и других органических растворителях. Основные свойства серы приведены в таблице 4.

**Таблица 4**

**Свойства технической серы**

показатель	Температура, °С		
	20	122	150
Прочность, г/см <sup>3</sup>	2,1	1,96 – 1,99	1,6 – 1,81
Прочность при сжатии, МПа	12 – 22	-	-
Твердость по шкале Мосса	1 – 2	-	-
Вязкость, Па·с	-	0,011 – 0,012	0,0065 – 0,0070
Поверхностное натяжение, Н/м	-	-	0,055
Теплоемкость, кДж/кг	0,7	1,47	1,84

Таким образом, проведенные исследования химического и элементного состава золы Северской ТЭЦ показывают на возможность её использования в качестве сырьевого компонента для производства серозолобитумных смесей.

### Литература

1. Волокотин О.Г. Физико-технические процессы получения силикатных расплавов и материалов на их основе в низкотемпературной плазме: Дис. ... докт. техн. наук. – Томск, 2016 г. – 283 с.
2. Галдина В.Д. Серобитумные вяжущие: монография / В. Д. Галдина. – Омск: СибАДИ, 2011. – 124 с.
3. Глухова М.В. Топливо-энергетический комплекс Российской Федерации и экологическая безопасность / М.В. Глухова. – М.: Изд.-во Новый век, 2003. – 172 с.
4. Лялик Г.Н. Электроэнергетика и природа / Г.Н. Лялик. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 352 с.
5. Методические рекомендации по технологии применения в асфальтобетоне отвалных золошлаковых смесей теплоэлектростанций, Министерство транспортного строительства, Москва 1978. – 12 с.
6. Методические рекомендации по применению асфальтобетонов с добавкой серы и по технологии строительства из них дорожных покрытий, Министерство транспортного строительства, Москва 1986. – 9 с.

### ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ПЕРЕАБОТКИ ИЛЬМЕНитОВЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

К.Л. Занавескин<sup>1,2</sup>, Л.А. Черезова<sup>3</sup>, О.В. Бурмакина<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Филиал АО «Научно-исследовательский физико-химический институт им. Л.Я. Карпова», г. Москва, Россия

<sup>3</sup> ПАО «ВСМПО-АВИСМА», г. Березники, Россия

Крупнейшим мировым производителем металлического титана и изделий из него является ПАО «ВСМПО-АВИСМА». На долю этой компании приходится около 30% мирового производства титана. Процесс производства титана осуществляется по методу Кроля, в основе которого лежит восстановление тетрахлорида титана расплавленным металлическим магнием. Последующая вакуумная сепарация хлорида магния и остаточного магния позволяет получить высококачественную титановую губку.

Исходным сырьём для получения тетрахлорида титана являются ильменитовые концентраты. В табл. 1 представлен типичный химический состав ильменитового концентрата (Вольногорский горно-металлургический комбинат), который применяется на предприятии. Восстановительная плавка ильменита обеспечивает комплексность переработки ильменитового концентрата. Процесс плавки позволяет обогатить сырьё и получить титановый шлак, при этом основная масса железа выделяется в качестве товарной продукции – чугуна. Плавку проводят в рудотермических электродуговых печах переменного тока с использованием в качестве восстановителя антрацита. В процессе плавки образующиеся расплавы чугуна и титанового шлака расслаиваются из-за разности их плотностей. По окончании плавки из нижней части печи вначале осуществляют выпуск жидкого чугуна, а затем титанового шлака.

Таблица 1

Химический состав ильменитового концентрата

TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Прочие
63,60	29,10	2,10	1,90	0,95	0,94	0,25	0,49	0,19	0,48

В табл. 2 представлен типичный химический состав получаемого титанового шлака. Весь титан и часть железа входят в его состав в форме псевдобрукит - карроит кристаллической структуры типа X<sub>2</sub><sup>3+</sup>TiO<sub>5</sub> - Y<sup>2+</sup>Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, где X трехвалентный металл, такой как Ti, Al, V, Cr, и т.д., а Y двухвалентный металл, такой как Mg, Fe, или Mn. В виде отдельных фаз титановый шлак содержит кварц, крестобалит и стеклянную фазу, которая в основном состоит из оксидов кальция, калия, алюминия и кремния. Содержание диоксида титана в титановом шлаке не превышает ~85%, поскольку увеличение содержания титана повышает температуру плавления шлака, что приводит к сложностям выпуска титанового шлака из рудотермической печи. По этой причине остаточное содержание железа в шлаке составляет около 6-8% в пересчете на высший оксид.

Таблица 2

Химический состав титанового шлака

TiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	MnO	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Прочие
85,20	7,58	2,51	0,85	1,23	0,81	0,34	0,66	0,32	0,50

Таким образом, восстановительная плавка ильменита позволяет повысить содержание диоксида титана в сырьё приблизительно на 20%, а содержание примесей в нем остаётся на высоком уровне и составляет до 15%. При этом из-за высоких энергетических затрат на стадию плавки цена шлака возрастает приблизительно в 6-7 раз по сравнению со стоимостью исходного ильменитового концентрата.

Титановый шлак измельчается в шаровой мельнице и смешивается с антрацитом и хлоридом натрия.