

**БЛАГОРОДНЫЕ МЕТАЛЛЫ В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ
ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫХ ТЭЦ**

А.А. Черепанов

Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г.Хабаровск

Поступила в редакцию 19 декабря 2005 г.

Приведены методика и результаты изучения распределения и форм нахождения золота и платины в золошлаковых отходах ТЭЦ Хабаровского и Приморского краев. Содержание золота и платиноидов достигает 2 г/т и более при средних 0.8–1.5 г/т. Зола бурых углей Павловского, Хурмулинского и ряда других месторождений отличаются повышенным содержанием платиноидов. Рассматриваются причины расхождений аналитического определения содержаний драгметаллов оцененных в углистых и углеродистых породах. Накопление благородных металлов в углях обусловлено в основном сорбцией их на углеродсодержащее вещество. Наличие благородных металлов и их количество в золошлаковых отходах зависит от их содержания в сжигаемых углях, а в последних – от металлогенических особенностей района нахождения месторождения. Выявленные золото и платина представляют промышленный интерес, но требуют разработки особой технологии их извлечения.

Ключевые слова: золошлаковые отходы, золоотвалы, бурые угли, золото, платина, ТЭЦ, Хабаровский и Приморский края.

ВВЕДЕНИЕ

В процессе деятельности предприятий электроэнергетики образуется много золошлаковых отходов (ЗШО). Годовое поступление золы в золоотвалы составляет по Приморскому краю от 2.5 до 3.0 млн т в год, Хабаровскому – до 1.0 млн т. Только в пределах г. Хабаровска в золоотвалах хранится более 16 млн т золы, а в пределах Российской Федерации – более 1.5 млрд т [25]. Использование таких отходов в хозяйственных целях пока ограничено, в том числе и в связи с их токсичностью. В них содержится значительное количество опасных элементов. Отвалы постоянно пылят, подвижные формы элементов активно вымываются осадками, загрязняя воздух, воды и почвы. Утилизация таких отходов – одна из наиболее актуальных проблем.

В то же время, ЗШО могут служить источником ряда металлов и других элементов [9, 10, 14, 29–32]. Сжигаемые угли, являясь природными сорбентами, содержат примеси многих ценных элементов, включая редкие земли и драгметаллы. При сжигании их содержание в золе возрастает в 5–6 раз и может представлять промышленный интерес [24, 26]. Особый интерес представляют бурые угли, содержащие широкий комплекс компонентов, иногда в повышенных количествах [10, 11, 21, 31].

Утилизацией ЗШО занимаются многие. Известно более 300 технологий их переработки и использования [25], но они в основной своей массе посвящены использованию золы в строительстве и производстве строительных материалов, не затрагивая при этом извлечения из них как токсичных и вредных компонентов, так и полезных и ценных. Извлечение последних без изучения их содержания и форм нахождения невозможно. Золото и металлы платиновой группы (МПГ) ЗШО представляют наибольший промышленный интерес и позволят по-новому произвести оценку промышленной значимости и возможности комплексного использования золошлаковых отходов ТЭЦ с извлечением ценных компонентов.

**ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ И МЕТОДОВ
ИССЛЕДОВАНИЯ**

С целью изучения особенностей нахождения благородных металлов в ЗШО и сжигаемых углях относительно более детально были опробованы захороненные и заполняемые золоотвалы ТЭЦ г. Хабаровска и Биробиджана, с меньшей детальностью и единичными пробами охарактеризованы ЗШО ТЭЦ Приморского края и других регионов.

При полевом изучении ЗШО производилось опробование золоотвалов и сжигаемых на ТЭЦ уг-

лей, опробование золы в системах транспортировки от печей (котлов) до золоотвалов с анализом технологии сжигания и транспортировки. Опробование самих золоотвалов осуществлялось путем проходки в доступных местах по редкой сети закопуш и шурфов с отбором в них проб бороздовым или валовым способом.

Все рядовые пробы после стандартной пробоподготовки подвергались спектральному полуколичественному анализу и атомно-абсорбционному анализу на Au и Pt. В связи с невоспроизводимостью результатов анализа в каждой пробе из отдельных навесок выполнялось 2–3 определения Au и Pt, по которым подсчитывалось среднее содержание в пробе.

Групповые пробы, которые составлялись из остатков рядовых проб, разделялись на три части (навески). Одна часть подвергалась спектральному, атомно-абсорбционному и химическому силикатному анализам, другая использовалась как малая технологическая проба с определением в ней полезных компонентов с помощью лабораторно-технологических исследований, третья промывалась на лотке или перерабатывалась на лабораторном концентраторе. Тяжелая фракция ее подвергалась минералогическому анализу. Последний использовался как для изучения состава ЗШО, так и изучения получаемых концентратов, определения выхода благородных металлов и других продуктов обогащения. Диагностика минералов платиновой группы (МППГ), самородных минералов и сплавов осуществлялась с помощью микронного анализа в Институте вулканологии (г. Петропавловск-Камчатский). Отдельные пробы изучались на наличие МППГ в г. Новосибирске в ОИГТМ (аналитик Н. Толстых). С целью контроля определения содержания благородных металлов групповые пробы, часть рядовых проб и продуктов технологического передела были подвергнуты пробирному анализу. Технологические исследования проводились на малых (до 10–20 кг) и больших (до 18 т) пробах. Для извлечения драгметаллов и разделения ЗШО на составляющие были использованы концентраторы фирм “Русский Клондайк”, “Итомак”, “Knelson”, “Говерла”, разработанные для извлечения тонкого золота.

Основная часть технологических и лабораторно-аналитических исследований выполнена в ДВИМС МПР РФ [2, 26] и завершена в ИТиГ ДВО РАН. Отдельные пробы и концентраты перерабатывались на металл по оригинальной технологии НПП “ГЕОТЕП” (Москва). Эта технология основана на сочетании в едином процессе плазменно-дуговой плавки и электролиза. Технология не имеет аналогов в мире. Нет по ней публикаций, на которые можно

сделать ссылки. Но, автор, работая с разработчиками технологии по изучению золошлаковых отходов, имел возможность воспользоваться их результатами.

В г. Хабаровске опробованы золоотвалы ТЭЦ-1 и ТЭЦ-3. На золоотвалах проходились шурфы и закопуши по сети 100×200 м и 100×100 м (в зависимости от размеров), которые опробовались бороздовым и задириковым способом. Это рядовые пробы весом от 3–5 до 15–16 кг, из которых в последующем составлялись групповые.

ТЭЦ-1 введена в строй в 1954 г., потребляет в год 2.0–2.2 млн т угля. Она проектировалась на использование углей Райчихинского месторождения. В последующем на ТЭЦ стали поступать угли с Харанорского, Ургальского и других месторождений. Она имеет три золоотвала, два из них законсервированные, один – заполняемый.

Золоотвал № 1, площадью 1200×200 м, глубиной 8–10 м, заполнялся в 1954–1986 гг. До 1979 г. использовались угли Райчихинского месторождения, в последующем – Харанорского, Нерюнгринского, Гусино-Озерского и, в небольшом количестве, Павловского (Приморье) и Дарханского (Монголия). Золоотвал охарактеризован 39 рядовыми и 9 групповыми пробами.

Золоотвал № 2, размером 450×1200 м, глубиной 8–10 м, заполнялся в 1987–1996 гг. В этот период на ТЭЦ поступали угли не менее чем из 10 месторождений, но преобладали угли Харанорского, Гусино-Озерского и Павловского месторождений. Золоотвал охарактеризован 31 рядовой пробой, 8 групповыми и одной технологической пробой весом 16 т.

Золоотвал № 3, размером 800×400 м, размещен в естественном углублении. Мощность ЗШО достигает местами 20 и более м. Заполняется с 1995 г. Сжигались угли с различных месторождений при преобладании углей Харанорского, Гусино-Озерского, Ургальского и Азейского месторождений. Охарактеризован 61 рядовой пробой, тремя укрупненными пробами весом 50 кг, 350 кг и 12 т. Кроме ЗШО на золоотвале опробованы оборотная вода, используемая для транспортировки ЗШО, и пена с поверхности пруда осветления, состоящая в основном из алюмосиликатных полых микросфер. На самой ТЭЦ были опробованы золы, шлаки и пульпа с ЗШО непосредственно возле котлов, сжигаемые на момент опробования угли, отложения в трубах гидротранспортировки ЗШО.

ТЭЦ-3 использует в основном угли Нерюнгринского месторождения. В последние годы стали использовать угли Ургальского месторождения и иногда угли из Китая с месторождений провинции Хэйлуньцзян. Золоотвал № 1 опробован в 1998–2000 гг.,

заполнялся в то время. Его размеры – 500×800 м, максимальная глубина – 35–40 м, при средней 18–25 м. Охарактеризован 67 рядовыми пробами, 15 групповыми и двумя малыми технологическими пробами весом 50 и 150 кг. На самой ТЭЦ опробованы оборотные воды, трубные отложения, разновидности ЗШО, транспортирующая пульпа, сжигаемые на момент опробования угли.

На Биробиджанской ТЭЦ опробован золоотвал №1 размером 350×400 м с глубиной заполнения 8–10 м. Золоотвал охарактеризован 27 рядовыми пробами, 4 групповыми и тремя малыми технологическими пробами весом 30–50 кг. На ТЭЦ опробованы разновидности ЗШО, транспортирующая пульпа, сжигаемые на момент опробования угли и угли близрасположенного и разведываемого Ушумунского месторождения.

Кроме вышеперечисленных золоотвалов, изучены ЗШО с золоотвалов Лучегорской ГРЭС (8 проб), ТЭЦ-2 г. Владивостока (12 проб), ТЭЦ г. Артем и Партизанск (по две пробы), а также единичные пробы золы с ТЭЦ Подмосковья и Сибири.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ

На обследованных ТЭЦ сжигание углей происходит при температуре 1100–1600° С. При сгорании органической части углей образуются летучие соединения в виде дыма и пара, а негорючая минеральная часть топлива выделяется в виде твердых очаговых остатков, образуя пылевидную массу (зола), а также

кусковые шлаки. Количество твердых остатков для каменных и бурых углей колеблется от 15 до 40 %. Уголь перед сжиганием измельчается, и в него, для лучшего сгорания, часто добавляют в небольшом (0.1–2 %) количестве мазут.

При сгорании измельченного топлива мелкие и легкие частицы золы уносятся дымовыми газами и называются зола уноса. Размер частиц золы уноса колеблется от 3–5 до 100–150 мкм. Количество более крупных частиц обычно не превышает 10–15 %. Улавливается зола уноса золоуловителями. На ТЭЦ-1 г. Хабаровска и Биробиджанской ТЭЦ золоулавливание – мокрое на скруберах с трубами Вентури, на ТЭЦ-3 и ТЭЦ-2 г. Владивостока – сухое на электрофильтрах.

Более тяжелые частицы золы оседают на подтопки и сплавляются в кусковые шлаки, представляющие собой агрегированные и сплавившиеся частицы золы размером от 0,15 до 30 мм. Шлаки размельчаются и удаляются водой. Зола уноса и размельченный шлак удаляются вначале раздельно, потом смешиваются, образуя золошлаковую смесь.

В составе золошлаковой смеси, кроме золы и шлака, постоянно присутствуют частицы несгоревшего топлива (недожег), количество которого составляет 10–25 %. Количество золы уноса, в зависимости от типа котлов, вида топлива и режима его сжигания, может составлять 70–85 % от массы смеси, шлака – 10–20 %. Золошлаковая пульпа удаляется на золоотвал по трубопроводам (рис. 1).



Рис. 1. Гидротранспортировка золошлаковых отходов на золоотвал. ТЭЦ-1, г. Хабаровск.

Таблица 1. Результаты силикатного анализа групповых и рядовых проб ЗШО.

№ п.п	№ пробы	Место отбора	Характеристика материала	Содержание, %												
				SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	SO ₃	P ₂ O ₅	Ппп	Сумма
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	1-гр	ТЭЦ-3 з/от	ЗШО кр.зерн.	60.19	0.65	18.19	8.05	0.10	1.20	3.30	0.40	1.02	0.08	0.34	6.69	100.29
2	2-гр	- « -	ЗШО т/зерн	51.44	0.90	21.15	5.14	0.07	1.36	2.94	0.39	1.38	0.10	0.34	14.64	99.85
3	3-гр	- « -	- « -	56.67	0.87	20.51	5.89	0.08	1.60	3.05	0.39	1.25	0.09	0.31	9.09	99.80
4	4-гр	- « -	- « -	63.16	0.76	20.65	8.48	0.10	1.85	3.79	0.27	0.72	0.21	0.37	12.58	100.03
5	5-гр	ТЭЦ-3	шлак	50.25	0.88	17.53	9.31	0.12	2.04	3.61	0.94	1.31	0.06	0.31	0.83	100.01
6	6-гр	- « -	золоунос	63.16	0.78	18.57	5.39	0.07	1.16	3.51	0.32	1.20	0.19	0.29	17.03	100.08
7	7-гр	ТЭЦ-1 з/от	ЗШО	55.83	0.74	17.69	11.98	0.20	1.90	4.31	0.38	1.22	0.22	0.20	4.99	99.66
8	8-гр	- « -	- « -	53.99	0.57	19.68	6.69	0.10	1.28	3.65	0.32	1.46	0.12	0.18	11.66	99.70
9	9-гр	- « -	- « -	56.44	0.70	19.88	7.49	0.11	1.46	4.28	0.32	1.56	0.10	0.20	7.06	99.68
10	10- гр	- « -	- « -	58.16	0.68	20.01	7.88	0.11	1.53	3.98	0.38	1.66	0.16	0.19	5.18	99.87
11	11-гр	- « -	пульпа	51.92	0.79	23.59	6.89	0.11	2.12	6.48	0.69	1.34	0.13	0.21	5.79	100.06
12	12-гр	- « -	зола +шлак	49.75	0.24	14.49	23.16	0.35	1.46	5.22	0.19	1.10	0.59	0.20	3.16	99.91
13	13-гр	- « -	ЗШО	59.33	0.75	18.92	7.79	0.11	1.45	3.78	0.32	1.56	0.12	0.17	5.78	100.08
14	14-гр	- « -	пена	53.20	0.81	28.09	3.89	0.05	1.45	6.83	0.18	2.10	0.19	0.20	2.82	99.87
15	15-гр	з/от № 2	ЗШО выветр.	47.40	0.76	16.27	7.17	0.14	2.04	4.90	0.35	2.05	0.24	0.28	18.81	100.38
16	16-гр	- « -	- « -	54.22	0.82	17.72	6.06	0.10	2.07	5.01	0.42	2.22	0.20	0.27	11.11	100.22
17	17-гр	з/от № 1	- « -	50.22	0.76	22.82	7.14	0.24	2.17	7.32	0.11	1.50	0.12	0.17	7.26	99.83
18	18-гр	- « -	илистый ЗШО	48.52	0.72	20.16	5.64	0.18	1.26	4.84	0.16	1.68	0.10	0.13	16.78	100.17
19	19-гр	- « -	- « -	49.91	0.69	19.11	5.14	0.14	1.40	4.28	0.27	1.90	0.11	0.17	17.10	100.22
20	173-хв	хв. флот.	хвосты флот.	52.40	0.91	19.75	6.79	0.12	2.22	6.33	н/о	н/о	0.15	0.36	7.92	96.95
21	173-00	хв. флот.	хвосты флот.	51.83	0.85	18.77	6.55	0.13	2.12	5.68	н/о	н/о	0.20	0.34	10.43	96.90
22	214-хв	ТЭЦ-1 з/о	хвосты грав.	54.62	0.64	16.24	9.38	0.22	1.81	5.71	0.68	2.24	0.19	0.30	7.72	99.75
23	216	ТЭЦ-3	Золоунос	56.89	0.91	20.47	5.53	0.09	1.29	2.98	0.62	1.23	0.09	0.31	9.67	100.08
24	217	ТЭЦ-3	Золоунос	50.87	0.69	19.08	5.53	0.09	1.13	2.94	0.34	0.69	0.09	0.33	18.19	99.97
25	173	ТЭЦ-1	ЗШО	52.56	0.84	18.95	6.62	0.12	2.04	5.33	0.60	2.19	0.16	0.34	9.85	99.60

Примечание. Сокращения: з/от – золоотвал; кр.зерн – крупнозернистый; т/зерн – тонкозернистый; хвосты флот. – хвосты флотационного обогащения; хвосты грав. – хвосты гравитационного обогащения.

Зола и шлак при гидротранспорте и на золошлакоотвале взаимодействуют с водой и углекислотой воздуха. В них происходят процессы, сходные с диагенезом и литификацией. Они быстро поддаются выветриванию и при осушении при скорости ветра 3 м/сек начинают пылить. ЗШМ – темно-серый, в разрезе слоистый, обусловленный чередованием разномерных слоев, а также осаждением белой пены, состоящей из алюмосиликатных полых микросфер. Химический состав ЗШО обследованных ТЭЦ приведен в таблице 1.

Золы ТЭЦ, использующих каменный уголь, по сравнению с золами ТЭЦ, использующими бурый уголь, отличаются значительными потерями при прокаливании (п.п.п.), повышенным содержанием SO_3 и пониженным – оксидов кремния, титана, железа, магния, натрия, шлаки – повышенным содержанием оксидов кремния, железа, магния, натрия и пониженным – оксидов серы, фосфора, п.п.п. В целом, золы высококремнистые, с достаточно высоким содержанием алюминатов.

Содержание элементов-примесей в ЗШО, по данным спектрального полуколичественного анализа рядовых и групповых проб, показано в таблице 2.

Промышленную ценность, согласно справочника [25], представляют золото и платина, по максимальным значениям приближаются к этому Yb и Li. Содержание вредных и токсичных элементов не превышает допустимых значений, хотя максимальные содержания Mn, Ni, V, Cr приближаются к “порогу” токсичности.

В составе ЗШО различаются кристаллическая, стекловидная и органическая составляющие.

Кристаллическое вещество представлено как первичными минералами минерального вещества топлива, так и новообразованиями, полученными в процессе сжигания и при гидратации и выветривании в золоотвале. Всего в кристаллической составляющей ЗШО устанавливается до 150 минералов. Преобладающие минералы – мета- и ортосиликаты, а также алюминаты, ферриты, алюмоферриты, шпинели, дендритовидные глинистые минералы, оксиды: кварц, тридимит, кристобалит, корунд, β -глинозем, оксиды кальция, магния и другие. Часто отмечаются, но в небольших количествах, рудные минералы – касситерит, вольфрамит, станнин и другие; сульфиды – пирит, пирротин, арсенопирит и другие; сульфаты, хлориды, очень редко – фториды. В результате гидрохимических процессов и выветривания в золоотвалах появляются вторичные минералы – кальцит, порландит, гидроксиды железа, цеолиты и другие.

Большой интерес представляют самородные элементы и интерметаллиды, среди которых установлены: свинец, серебро, золото, платина, алюминий, медь, ртуть, железо, никелистое железо, хромферриды, медистое золото, различные сплавы меди, никеля, хрома с кремнием и другие. Их размеры – от первых до десятков микрон. В свежих золах они несут следы термической обработки (частичное оплавление, сплавление с другими минералами и агрегатами). В старых золах происходит нередко их самоочищение.

Нахождение капельно-жидкой ртути, несмотря на высокую температуру сгорания угля, – довольно частое явление, особенно в составе тяжелой фракции продуктов обогащения. Вероятно

Таблица 2. Содержание элементов-примесей (г/т) в ЗШО ТЭЦ г. Хабаровска.

Элемент	ТЭЦ-1		ТЭЦ-3		Элемент	ТЭЦ-1		ТЭЦ-3	
	Средн.	Макс.	Средн.	Макс.		Средн.	Макс.	Средн.	Макс.
Ni	40–80	100	30	60–80	Ba	1000	2000–3000	800–1000	–
Co	2–8	60–100	3–8	10	Be	2–6	10	2–3	6
Ti	3000	6000	3000	6000	Y	10–80	100	20	40
V	60–100	200	80	100	Yb	1–8	10	1	3
Cr	80	300–2000	40–80	100–600	La	–	100	–	60
Mo	1	8	1	–	Sr	200	600–800	100	300–1000
W	–	40	–	–	Ce	–	300	–	300
Nb	8	20	10	20	Sc	10	30	8	10
Zr	100–300	400–600	400	600–800	Li	60	300	–	–
Cu	30–80	100	30	80–100	B	200	300	100	300
Pb	10–30	60–100	30–60	80	K	8000	10000–30000	6000–8000	10000
Zn	60	80–200	<0.004	0.01	Au	0.07	0.5–25.0	0.07	0.5–6.0
Sn	1	3–40	0.0001–0.0002	0.001–0.008	Pt	10–50	300–500	–	200
Ga	10–20	30	0.002	0.003					

этим объясняется ртутное заражение почв при использовании ЗШО в качестве удобрения без специальной очистки.

Стекловидное вещество – продукт незавершенных превращений при горении – составляет существенную часть зол. Оно представлено разноокрашенным, преимущественно черным стеклом с металлическим блеском, разнообразными шарообразными стекловидными, перламутроподобными микросферами (шариками) и их агрегатами. Они составляют основную массу шлаковой составляющей ЗШО. По составу это оксиды алюминия, калия, натрия и, меньше, кальция. К ним же относятся некоторые продукты термообработки глинистых минералов. Часто микросферы полые внутри и образуют пенистые образования на поверхности золоотвала и водостойных прудов (рис. 2).

Органическое вещество представлено несгоревшими частицами топлива (недожег). Преобразованное в топке органическое вещество весьма отлично от исходного и находится в виде кокса и полукочка с очень малыми гигроскопичностью и выходом летучих. Количество недожега в исследуемых ЗШО составляло 10–15 %.

Из составляющих ЗШО практический интерес представляют в золе благородные металлы, редкие и рассеянные элементы, железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, алюмосиликатные полые микросферы и инертная масса алюмосиликатного состава.

ЗОЛОТО В ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДАХ

В результате выполнения работ по опробованию и изучению вещественного состава ЗШО золото было установлено практически во всех пробах. По данным ситового анализа отмечено повышение массовой доли золота в самых тонких классах. В ряде проб содержания возрастали и в самых крупных классах (за счет сrostков).

Аналитическое определение содержания золота в золах в начальный период проводилось по стандартным методикам [6, 7], которые показывали хорошую сходимость при анализе золотоносных руд, но при контроле другими методами отмечалось их занижение. Содержание его в рядовых пробах колебалось от следов до 12–15 г/т при преобладающем 0.2 г/т. В то же время, данные подсчета баланса вещества при гранулометрических, минералогических и технологических исследованиях групповых и технологических проб показывали более высокие содержания Au в ЗШО, отличающиеся почти на порядок от результатов анализа проб (табл. 3). Пробирный анализ подтвердил занижение содержания золота в ЗШО и концентратах.

После проведения опытных работ и анализа результатов была установлена причина занижения содержания золота в ЗШО. На результаты влияли степень измельчения (истирания) материала пробы, вероятное наличие в составе ЗШО сложных металлоорганических соединений, углерода в составе несгоревшего угля и продуктов его метаморфизма при

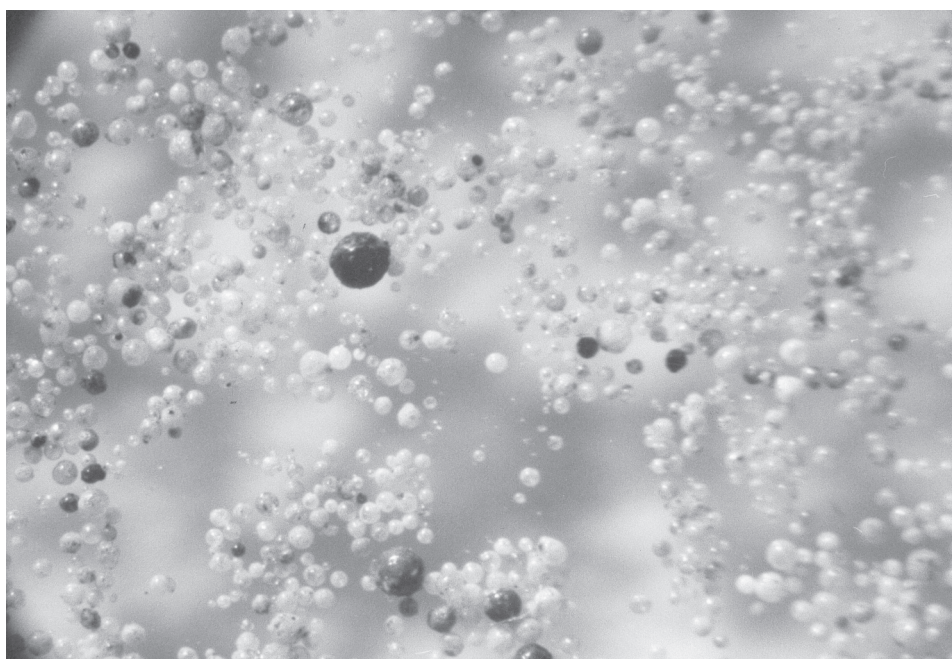


Рис. 2. Алюмосиликатные полые микросферы из золы ТЭЦ-1. Ув.× 28.

Таблица 3. Содержание Au (г/т) в изученных золоотвалах [2].

Золоотвал	По результатам анализа рядовых проб			По данным анализа групповых и технологических проб		
	от	до	среднее	от	до	среднее
ТЭЦ-1К	Сл.	1.3	0.095	0.32	1.84	0.92
ТЭЦ-1А	Сл.	0.3	0.06	0.25	2.99	1.15
ТЭЦ-1И	Сл.	1.0	0.13	0.13	5.54	1.1
ТЭЦ-3	Сл.	1.2	0.118	0.2	1.4	0.56
Бир. ТЭЦ	0.13	0.65	0.118	1.0	2.13	1.88

сжигании (кокс, полукокс, графит), возможное затирание золотин при истирании, а главное – повышенная сорбционная емкость золота самой золой и содержащимся в ней углеродом. Для устранения последнего при подготовке к анализу пробы прокаливались при температуре 800–850°C вместо рекомендуемых 600°C согласно инструкций НСАМ [6]. При недостаточном прокаливании золы пробы результаты анализа на золото будут занижены. Контрольное определение по методике НСАМ [6, 7] и нашей показало разницу в рядовых пробах почти на порядок.

Результаты плазменной металлургической переработки концентратов ЗШО и самих ЗШО по золоту были выше на 0.3–1.5 г/т (результаты совместных исследований с НПП “ГЕОТЭП”), чем при технологических исследованиях. То-есть, часть золота оставалась неизвлекаемой и неопределяемой и по нашей методике исследования.

По данным Г.М. Варшал [3], при термической и кислотной обработке проб на поверхности углеродистых частиц появляются кислородсодержащие и карбоксильные функциональные группы, обладающие высокой сорбционной емкостью к благородным металлам. Кроме того, при термообработке проб образуются летучие соединения драгметаллов в виде карбониллов и карбонилхлоридов. Общие потери благородных металлов при анализе углеродсодержащих пород могут достигать одного-двух порядков.

Способность ископаемых углей и гуминовых веществ почвы накапливать золото в количествах, превышающих кларковые, известно давно [8, 27]. Эксперименты выявили повышенную сорбционную емкость углеродистого вещества осадочных и осадочно-метаморфических пород по отношению к золоту. Осаждение золота на уголь используется в химико-аналитической практике. Кроме того, золото способно к образованию очень прочных гуматных комплексов [3, 17, 28, 30]. Также известно, что как во вмещающих породах, так и в самих углях присутствует кластогенное золото, привнесенное потоками воды в бывшие торфяники [12]. Все это обусловило возможное разнообразие форм нахождения золота в углях: россыпное, сорбированное и в виде металло-

органических соединений с гуминовыми кислотами. При сжигании часть сорбированного и связанного с гуматами золота переходит в свободное, но размеры его частиц, вероятно, остаются малыми и очень малыми; а другая часть золота остается в связанной форме. Это и обусловило расхождение между анализами рядовых проб и результатами определения баланса золота в групповых и технологических пробах.

Свободное золото в ЗШО, в основной своей массе тонкое и пылевидное, представлено зернами, реже комковидными агрегатами крупностью 5–40 мк, реже больше. Максимальные размеры золотин 0.5×1.0 мм встречены в единичных пробах в сростках с кварцем. В свежих золах количество относительно крупного, извлекаемого золота – наименьшее, а в “старых”, осушенных золоотвалах – большее. То-есть, со временем происходит укрупнение размеров золотин. В “старых” золоотвалах золотины более чистые, а в новых и, особенно, в свежей золе золотины несут следы оплавления, покрыты различными налетами, часто в сростках и сплавах с другими минералами и частицами золы. Вскрывается оно преимущественно в классе -0.071мм.

Формы золотин неправильные, причудливые, дендритовидные, пластинчатые с округлыми и неровными очертаниями, скорлуповатые, комковатые, проволочные, крючковатой, шаровидной и каплевидной формы (рис. 3, 4). Часты овальные таблички. В более крупной фракции отмечаются кристаллические формы – октаэдр в сочетании с кубом со сглаженными гранями. Часть зерен оплавлена, отмечаются и сплавленные агрегаты зерен, часты сростки с кварцем и сплавы золота с медью. Отмечены корочки тонкозернистого золота на пластинках и проволочках меди и железа. Отдельные зерна покрыты тонкими бурными и черными налетами. Цвет золота – золотисто-желтый с зеленоватым оттенком, в пылевидных выделениях оно приобретает латунно-черную окраску.

Большая часть золота связана со шлаковой составляющей. Среднее содержание Au в пробах шлака, отобранных непосредственно на ТЭЦ г. Хабаровска, составило 1.93 г/т (18 проб), а в отдельных образцах достигало 15 г/т. Содержание Au в золе уноса – 0.152 г/т (12 проб). Это совпадает с данными С.Б. Ле-

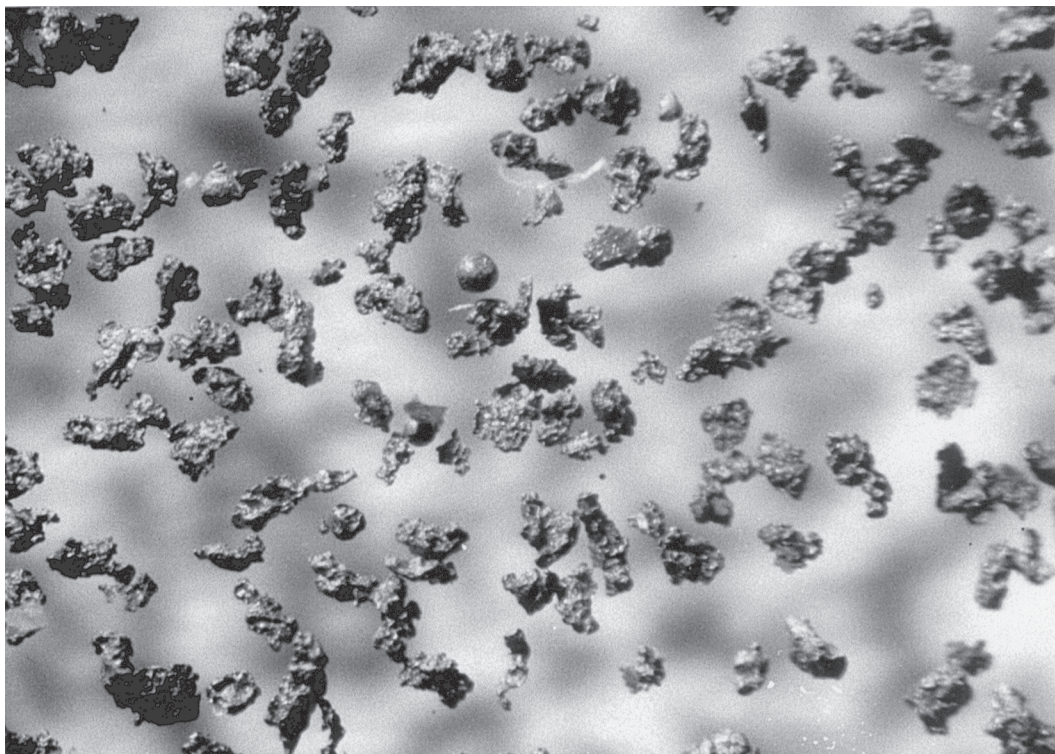


Рис. 3. Агрегаты и зерна золота из золы. Проба 250-4, золоотвал ТЭЦ-1, г. Хабаровск. Ув. $\times 28$.

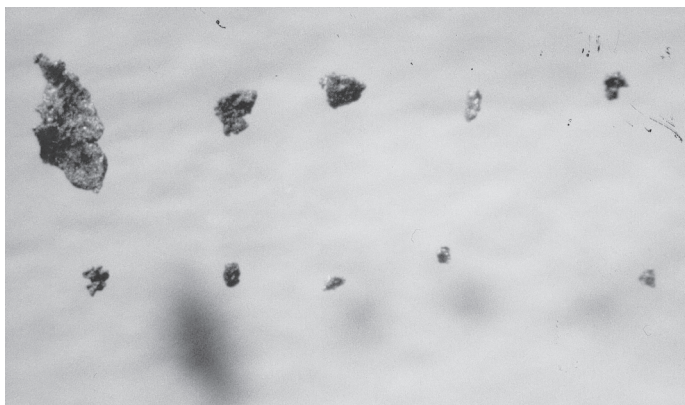


Рис. 4. Агрегаты и зерна золота из золы. Проба 250-4, золоотвал ТЭЦ-1, г. Хабаровск. Ув. $\times 28$.

онова и др. [14] для золы Рефтинской ГРЭС, указывающих, что основное золото (85%) связано со шлаком, выход которого составляет 20–25 %, а золы – 75–80 %. При гидравлической транспортировке ЗШО происходит перераспределение золота за счет сорбции его зольной составляющей.

Кроме свободного, видимого, золото отмечается в сплавах с другими металлами, чаще с медью, либо захватывается обособлениями стекла в шлаке.

ЗОЛОТО В СЖИГАЕМЫХ УГЛЯХ

На ТЭЦ г. Хабаровска поступают угли с месторождений Дальнего Востока, Сибири, Якутии, Мон-

голии, Китая. Опробование сжигаемых углей нами проведено частично. В основном анализировались дубликаты лабораторных и повагонных проб. Пробы угля сжигались в лабораторных условиях, и в их золе определялось содержание Au (табл. 4). Как видно из таблицы, практически зола всех углей в том или ином количестве содержит Au. При пересчете на уголь содержание следует уменьшить на порядок.

Судить по этим данным о средних содержаниях по месторождениям трудно, но там, где сжигался уголь с Райчихинского, Харанорского месторождений, ЗШО содержат повышенное количество Au, а

Таблица 4. Содержание Au в золе углей, сжигаемых на ТЭЦ.

№ п/п	Месторождение	Место отбора	Кол-во проб	Содержание Au, г/т		
				min	max	среднее
1	Азейское – Иркутская обл.	ТЭЦ-1	5	<0.1	0.35	0.2
2	Харанорское – Читинская обл.	ТЭЦ-1	2	0.4	0.8	0.6
3	Китай (пр. Хэйлунцзян)	ТЭЦ-3	5	0.12	1.1	0.4
4	Нерюнгри – Якутия	ТЭЦ-3	2	0.15	0.25	0.2
5	Райчихинское – Амурская обл.	БирТЭЦ	2	0.6	1.8	1.2
6	Ушумунское – ЕАО	БирТЭЦ	2	0.37	0.57	0.47
7	Лучегорское – Приморский край	ГРЭС	2	0.3	0.6	0.45
8	Уголь древесный (береза)	ЛПХ	1			0.73

где сжигались угли месторождений Нерюнгри, Ургала – пониженное.

Кроме того, были изучены золы Хурмулинского месторождения бурых углей. ОАО “Дальгео” представило 24 пробы золы бурых углей, одну пробу бурых углей с обильным количеством сульфидов и 30-килограммовую пробу золы для технологических исследований.

По данным спектрального анализа, в золе углей кроме порообразующих элементов в виде примесей присутствуют в количестве (0.001–0.01 %) × n – Cr, Ni, Co, V, Pb, Zn, Sn, Ga, Be, Zr, Y и спорадически в незначительном количестве – Mo, W, Nb, Yb, La, Sc, Li. Пробы отдельных пластов и самая мелкая фракция угля оказались наиболее минерализованными.

Содержание Au по пробам колебалось от <0.1 до 7.25 г/т, составляя в среднем 0.78 г/т. Золото, по данным анализов, преобладало больше в чистых разностях углей, менее – в минерализованных. Отмечена прямая корреляция Au с Cu, Pb, Y, обратная – с Ca, Si, Al, Ni, Co, Ti, V, Cr, Zr, Na, Ba.

Из материала частных проб была составлена общая проба золы весом 11.4 кг, на которой были проведены сравнительные технологические испытания по извлечению золота в товарные продукты. Технологические исследования сопровождались расчетом баланса золота. Массовая доля золота в пробах колебалась от 0.94 до 2.54 г/т и составила в среднем 1.53 г/т (по 4 пробам).

Выделено золото дендритовидной, комковидной, чешуйчатой, изометричной и пластинчатой формы. Часть зерен несет следы хорошей окатанности, другие – неокатанные, причем крупные зерна – хорошо окатанные, мелкие – нет. Максимальные размеры золотин – 1.0×0.5 мм, преобладают пылевидные, менее 0.05 мм. Поверхность золотин мелкоямчатая, реже гладкая. Кроме золота при минералогическом анализе золы и продуктов обогащения были выделены зерна платины.

С целью определения роли сульфидов в содержании благородных металлов в бурых углях Хурмулинского месторождения была изучена проба углей с обильной вкрапленностью сульфидов, отобранная в карьере (пласт V, блок 97). Сульфиды полуокисленные и окисленные, в виде прожилков, цемента брекчий, неправильной формы скоплений и прожилков мощностью до 1–3 см. Уголь бурый, большая часть его представлена не полностью углефицированными древесными разновидностями.

По данным минералогического анализа, сульфиды в основном представлены марказитом, по которому развивается мельниковит. При сжигании (озолении) марказит большей частью переходит в пирротин. Древесные остатки в бурых углях пропитаны лимонитом. Содержание золота в разновидностях сульфидосодержащих углей составило от <0.1 до 0.3 г/т (три пробы). Самые низкие содержания показали пробы с наибольшим количеством сульфидов. В то же время, при минералогическом анализе озоленных проб визуально были выделены по 1–3 зерна золота и платины. Золото комковидное, игольчатое, дендритовидное, реже изометрическое. Размеры выделенных золотин – от 0.05 до 0.5 мм.

Приведенные выше данные показывают наличие золота в том или ином количестве практически во всех пробах угля разных месторождений. Но золото в углях тонкодисперсное, преимущественно не кластогенное, а хемогенное и сорбционное, трудноизвлекаемое гравитационными методами.

Исследованиями И.В. Китаева и М.А. Михайлова [8] доказано, что концентрация Au в углях слабо зависит от общего количества минеральных компонентов в углях. Золота больше в малозольных углях. Оно поступало в виде растворов, и накопление его связано с аутигенным минералообразованием, химической и физической сорбцией органическим веществом. Наиболее низкие содержания характерны для угольных месторождений Сихотэ-Алиня и Южного Приморья. В месторождениях Монголо-Охотской складчатой области и Буреинского масси-

ва содержания Au в углях в 2–3 раза выше. То есть количество золота в углях зависит от металлогенических особенностей региона. Последнее подтверждается данными С.И. Арбузова [1], В.В. Крапивенцевой [11], и В.М. Кузьминых и А.П. Сорокина [12].

В.В. Крапивенцева [11], изучавшая металлоносность углей Приамурья путем спектрального анализа зол углей, указывает на высокую золотоносность бурых углей Ушумунского месторождения (ЕАО). Среднее содержание Au в золе по данным анализа 270 проб, составило 8 г/т. В пробах других месторождений золото вообще не обнаружено.

В.М. Кузьминых и А.П. Сорокин [12] приводят более высокие содержания Au в кайнозойских бурых углях Зейско-Буреинского бассейна. По их данным, средние содержания золота в углях по месторождениям составили: Сергеевское – 17 г/т; Свободненское – 15 г/т; Огоджинское – 30 г/т; Райчихинское – 53 г/т. Это связано с тем, что в пределах угленосного бассейна в кайнозое процессы миграции и накопления золота были парагенетически связаны с торфообразованием в долинах водотоков, дренирующих золоторудные объекты. В дальнейшем, в процессе углеобразования и уплотнения органического вещества, происходила концентрация этого металла. Они отмечают, что золото в углях пробырным анализом практически не улавливается, так как при их сжигании оно полностью улетучивается с продуктами горения. Приведенные высокие содержания требуют проверки другими методами анализа.

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАТИНЫ

В период проведения исследований надежных методов анализа МПГ в шлаках и золах не было [3, 13]. В ДВИМС в этот период для определения содержаний золота и МПГ использовался экстракционно-атомно-абсорбционный метод с использованием атомно-абсорбционного спектрометра PERKIN ELMER 107. Получаемые результаты по Pt в десятки г/т для рядовых проб ЗШО вызывали сомнения в их достоверности. Проверка результатов анализов в других лабораториях (ВостСибНИИГиМС, ГЕОХИ, ОИГТМ) дала удовлетворительную сходимости по Au и полное отсутствие сходимости по Pt. Контрольный анализ наших проб в лабораториях ГЕОХИ (Москва) и ОИГТМ (Новосибирск) показал содержание Pt менее 1 г/т, Pd – менее 0.2 г/т. Содержание Pt по нашим данным в этих же пробах – 30–80 г/т. Контрольное определение Au и МПГ производилось также в лаборатории XRAL (США, штат Невада), где также было подтверждено содержание Au, а по Pt были получены разные и неравнозначные значения. Последнее обусловлено сложностью определения платиноидов в присутствии углерода [3, 13].

Но платина в исследуемых ЗШО есть. В основу исследований были приняты результаты минералогических исследований рядовых и технологических проб. При минералогическом анализе зол и продуктов обогащения выделялись зерна, похожие на платиноиды. Их проверка с помощью микрозондового анализа, выполненного в Институте вулканологии (г. Петропавловск-Камчатский), показала, что из 105 проб, содержащих 1–3 зерна, треть оказалась платиной и платиноидами. Две трети зерен оказались сплавами Fe-Cr-Mn, C-Fe-Ni, Cu-Zn-Sn-Fe-Si, Fe-Mn состава. Внешне они очень похожи на платиноиды, и отличить их под микроскопом было затруднительно, особенно в золах и углях (рис. 5).

Среди зерен платиноидов по результатам анализа выделены: платина железистая, содержащая 85–95 % Pt, 9–12 % Fe и незначительные примеси Cu, реже Ni и Si; платина железистая с иридием (Pt – 75–90 %; Ir – 1–1.5 %; Cu до 1 %; Fe – 9–12 % и примесь Rh и Ru); осмий платино-иридий (Os – 80–90 %; Pt – 0.5–15 %; Ir – 10–12 % с примесью Fe – до 0.5 %); иридий железо-платино-осмистый (Ir – 50 %; Pt – 15–25 %; Fe – 1–3 %; Os – 20–25 %). В незначительном количестве (до 0.6 %) спорадически отмечается примесь Rh и Ru (0.2–1.0 %). Pd при этом не регистрировался, но отмечалось его присутствие. В последующем диагностику платиноидов и сомнительных зерен делали с помощью спектрального анализа, который показывал Pt при анализе зерен платиновых минералов в виде “основа” или “есть”.

Достоверные зерна платиноидов были выявлены в пробах и продуктах обогащения золы бурых углей месторождения Хурмули и в золоотвалах, на которые поступала зола бурых углей, главным образом с месторождений Дальнего Востока. На двух золоотвалах ТЭЦ-1, где процент золы дальневосточных месторождений большой, при промывке проб лотком были намыты весовые значения платины. Зерна платиноидов имели изометричную, каплевидную, комковидную и удлиненно-пластинчатую окатанную форму, серебристо-белый цвет и размеры 0.2–0.5 мм.

В пробе золы бурых углей месторождения Хурмули, по данным Лаборатории XRAL (США), было определено содержание Pd – 10–11 мг/т, Pt – 40–70 мг/т. В пробах, направленных на анализ в ОГТМ (г. Новосибирск), спорадически отмечены содержания Pt от 20 до 100 мг/т, Pd – 30–90 мг/т; в ГЕОХИ (Москва) во всех десяти пробах золы содержание Pt менее 1 г/т, Pd – менее 0.2 г/т; в ВостСибНИИГиМСе (г. Иркутск) – в трех пробах из двадцати содержание Pt 0.01–0.02 г/т. Методики аналитического определения платиноидов в каждом подразделении разные.

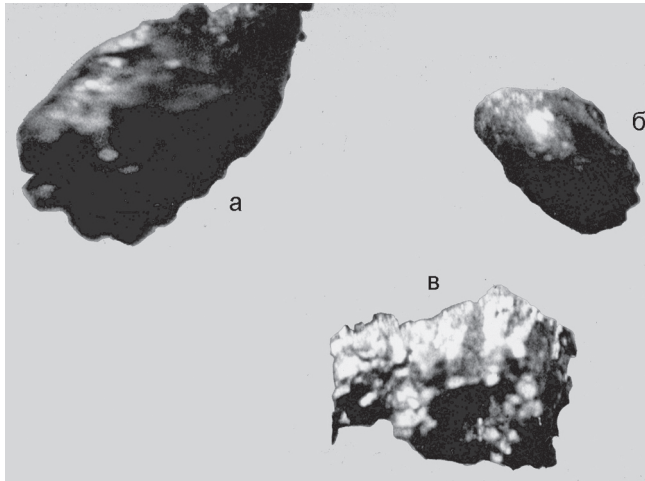


Рис. 5. Формы и размеры зерен платины (а,б) и сплавов металлов (в) из золы ТЭЦ-1, г. Хабаровск. Ув. $\times 28$.

При обогащении ЗШО находящиеся в них платиноиды переходят в концентрат, накапливаясь как в магнитной, так и в немагнитной фракциях. Так, при анализе концентратов проб 173 и 209 с ТЭЦ-1 аналитиком Шокиной Л.Н. установлено содержание Pt + Pd от 2 до 7.5 г/т. Причем повышенные содержания характерны для магнитной фракции. Анализ платины выполнен с фотометрическим определением по классической методике, с удалением мешающих элементов. Произведенная металлотермическая плавка концентрата золы позволила выделить в сплав сопутствующих металлов до 80 % золота и 70 % платины [4].

На ТЭЦ-1 при испытании центробежного концентратора ЦКЛ-8 (ОАО «Русский Клондайк») для извлечения благородных металлов из ЗШО содержание платиноидов в электромагнитной фракции продуктов обогащения составило 190 г/т, а в магнитной – 90–100 г/т. Питание концентратора осуществлялось посредством отбора части потока из трубопровода золошлакоудаления.

Приведенные данные по содержанию платиноидов в концентрате вполне сопоставимы с содержанием их в золе, если учесть степень концентрации.

Нахождение платиноидов в золах ТЭЦ подтверждается нашими находками зерен платины в углях месторождений Хурмули и Бикинского (Лучегорск), а также находками самородной платины сотрудника ИГЕМ РАН [19, 20, 22] и другими [18].

В.В. Середин [19] на Павловском месторождении бурых углей (Приморье) обнаружил платину в нижней части пласта I, в 60–80 см от его нижнего контакта, в пласте IV и фрагментах слабо углефицированной ископаемой древесины, залегающей в песках, перекрывающих пласт IV. Коренных источников

платины в окрестностях месторождения нет. Платиновые минералы были обнаружены с помощью сканирующего электронного микроскопа. Размеры зерен – 2–5 мкм, форма неправильная. По составу выделены самородная платина, куперит и изоферроплатина. Позднее [20] он приводит сведения о содержании в золе углефицированной древесины золота – от 80 до 3000 мг/т при среднем 746.8; Pt – от 500 до 815.3 мг/т при среднем 707.7 мг/т; Pd – от 155 до 866.7 мг/т при среднем 407.7 мг/т.

На двух золоотвалах ТЭЦ-1 г. Хабаровска, где использовались угли Павловского месторождения, при промывке проб ЗШО лотком были намывты весовые значения платины, а в концентрате первой промывки были определены пробирным методом с атомно-абсорбционным анализом получаемого королька содержания Au – 126 г/т, Pt – 80 г/т и Pd – 28 г/т.

Появившиеся в последние годы новые методы анализа и определения содержаний драгметаллов в упорных рудах (методы ISM и ICP AES, пирометаллургический с помощью плазмотрона и др.) позволили выявить реальные содержания драгметаллов в золошлаковых отходах. Так, в золе ТЭЦ-2 г. Владивостока ранее были установлены средние содержания золота – 0.8 г/т, платины >0.1 г/т. Применив пирометаллургический метод, посредством термической ионизации элементов были получены многократно усредненные результаты: Au – 1.5 г/т; Pt – 2.5 г/т.

По данным подобных исследований по золам с других месторождений установлено, что платина в промышленно значимых количествах присутствует в золе многих месторождений бурого угля. Повышенные (до 2.5 г/т) содержания Pt установлены в золе бурых углей Подмосквовного и Канско-Ачинского бассейнов (наши данные).

В.В. Середин [22] считает, что платиновая минерализация в ископаемой древесине и углях формировалась после их захоронения, под воздействием низкотемпературных минерализованных растворов, поступавших в бассейн угленакопления. Источник Pt и Au – нижнекембрийские углеродистые сланцы, содержащие повышенные концентрации золота. Он же обращает внимание на минералого-геохимическое сходство минерализации в углях и ископаемой древесине с таковой в углеродистых толщах Ю. Китая.

Интересна находка очень мелких зерен золота и платины в золе березы из окрестностей г. Хабаровска, сделанная автором и подтвержденная микронзондовым анализом. Были использованы 4 пробы золы (одна проба золы березового угля из Вяземского леспромхоза и три пробы золы берез с дачи в окрестностях г. Хабаровска). Из них была

составлена объединенная проба, которая была подвергнута гравитационному обогащению. При визуальном просмотре концентрата под бинокляром были выявлены очень тонкие, пылевидные зерна золота, массовая доля которого в золе составила 0.25 г/т. Кроме золота обнаружены 13 мелких зерен оловянно-белого металла, который был направлен на микронзондовый анализ в Институт вулканологии (г. Петропавловск-Камчатский). Из представленных на анализ четырех зерен три зерна оказались иридиево-железистой платиной, а одно зерно – железо-никелевым сплавом.

Последнее может указывать на биогенную природу драгметаллов в углях, а, учитывая наличие интерметаллов и самородных металлов и их сплавов в углях и золах, имеющих по геохимическим характеристикам сходство с метеоритами, возможно и космогенное происхождение минерализации.

И.А. Созинов, В.А. Чиненов и др. [16, 23, 28] считают, что платиноиды в углеродистых толщах имеют первично-осадочное происхождение и тесно связаны с органикой. При обогащении руд из черносланцевых толщ ими установлено, что наиболее высокие концентрации платиновых минералов локализируются во вторичном углеродистом веществе тектонитов, тогда как золото резко обогащает кварц стержневых жил. И в ЗШО, по нашим наблюдениям, Pt больше связана с зольной составляющей, а золото – со шлаковой.

Механизм накопления платиноидов в углеродистых толщах обусловлен сорбцией их на углеродсодержащее вещество путем химического взаимодействия с кислородсодержащими функциональными группами углеродистых частиц [16, 17, 24], что вероятно и для месторождения угля.

Оценка платиноносности углеродистых толщ месторождений угля и золошлаковых отходов затруднена из-за сложности аналитических исследований на элементы платиновой группы, слабой эффективностью обычных приемов определения платиноидов, несовершенством методик и высокой стоимостью аналитических определений [5, 13, 15]. При этом следует учитывать, что изучение рассеянных форм платиновых металлов современными методами исследований носит, скорее, качественный характер и не вошло пока в повседневную практику из-за трудоемкости и слабой воспроизводимости. Часто используется локальный (микронзондовый и др.) анализ, обеспечивающий определение концентраций в микрообъемах вещества, отмечая при этом значительный разброс содержаний элементов в разных точках. Для получения достоверных значений содержания в макрообъемах необходимо большое число определений.

Но, несмотря на трудности, вопросы платиноносности углей и зол требуют дальнейшего изучения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наличие в ЗШО благородных металлов и их количество зависит от типа сжигаемых углей, а в последних – от металлогенических особенностей района нахождения месторождения. Полученные данные по содержанию представляют промышленный интерес, а ресурсы металлов, особенно золота, в каждом золоотвале сопоставимы с таковыми среднего по запасам россыпного месторождения золота.

Золото и платина в золошлаковых отходах трудноизвлекаемы, требуют применения специальных концентраторов по их улавливанию и дополнительных операций по их вскрытию. На лабораторном уровне такая технология разработана [2] и требует промышленного испытания.

Золошлаковые отходы следует отнести к техногенному минеральному сырью, которое, в отличие от природного, со временем накапливается, а не истощается, что повышает перспективность их изучения и вовлечения в использование. Извлечение полезных компонентов и полная утилизация золошлаковых отходов за счет использования их полезных свойств и производства строительных материалов позволит высвободить занимаемые отвалами площади, понизить негативное воздействие на окружающую среду.

Автор благодарит В.В. Середина за обсуждение результатов, критические и редакционные замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арбузов С.И., Ершов В.В., Поцелуев А.А. и др. Редкие элементы в углях Кузнецкого бассейна. Кемерово, 1999. 248 с.
2. Бакулин Ю.И., Черепанов А.А. Золото и платина в золошлаковых отходах ТЭЦ г. Хабаровска // Руды и металлы. 2002. № 3. С. 60–67.
3. Варшал Г.М. и др. О концентрировании благородных металлов углеродистым веществом пород // Геохимия. 1994. № 6. С. 814–823.
4. Гостищев В.В., Ковалев А.А. Способ извлечения благородных металлов из руд и концентратов. Патент № 207840. Оpubл. 10.05.97.
5. Дистлер В.А., Митрофанов Г.Л., Немеров В.К. и др. Формы нахождения металлов платиновой группы и их генезис в золоторудном месторождении Сухой Лог (Россия) // Геология руд. месторождений. 1996. Т. 38, № 6. С. 407–484.
6. Инструкция НСАМ № 131-С. Атомно-абсорбционное определение золота в минеральном сырье разнообразного состава. М., ВИМС, 1974.
7. Инструкция НСАМ № 237-С. Экстракционно-атомно-абсорбционное определение золота с органическими сульфидами. М.: ВИМС. 1987.

8. Китаев И.В., Михайлов М.А. Геохимические закономерности распределения золота и серебра в осадочных породах и углях // Геохимия и минералогия осадочных комплексов Дальнего Востока. Владивосток, 1979. С. 57–76.
9. Клер В.Р., Волкова Г.А., Гурвич Е.М. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР // Геохимия элементов. М.: Наука, 1987. 239 с.
10. Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разведке угольных месторождений. М., 1979. 272 с.
11. Крапивенцева В.В. Металлоносность углей Приамурья // Тихоокеан. геология. 2005. Т. 24, № 1. С. 73–84.
12. Кузьминых В.М. Сорокин А.П. Миграция и накопление золота при гипергенных процессах // Вестн. ДВО РАН. 2004. № 2. С. 113–119.
13. Курский А.Н., Витоженк Г.Н., Мандругин А.В. Проблема аналитического определения металлов платиновой группы в рудах черносланцевых комплексов // Платина России. Т. 2, кн.1. 1995. М.: АО Геоинформмарк. С. 159–174.
14. Леонов С.Б., Федотов К.В., Сенченко А.Е. Промышленная добыча золота из золошлаковых отвалов тепловых электростанций // Горный журнал. 1998. № 5. С. 67–68.
15. Митрофанов Г.Л., Немеров В.К., Коробейников Н.К. и др. Платиноносность позднекембрийских углеродистых формаций Байкало-Патомского нагорья // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. М.: АО Геоинформмарк, 1994. С. 150–154.
16. Плюснина Л.П., Кузьмина Т.В. Экспериментальное изучение концентрирования платины битумоидами при (200–400° С), 1 кбар // Геохимия. 1999. № 5. С. 506–515.
17. Развозжаева Э.А., Спиридонов А.М., Вилор Н.В. и др. Тонкодисперсное золото и углерод в рудах Сухого Лога // Геология и геофизика. 1999. Т. 40, № 9. С. 1324–1330.
18. Сазонов А.М., Алгебраистов Н.К., Сотников В.И. и др. Платиноносность месторождений Средней Сибири: Обзор. М., ЗАО Геоинформмарк, 1998. 35 с.
19. Середин В.В., Поваренных М.Ю. Первая находка минералов платины в углях // Докл. РАН. 1995. Т. 342, № 6. С. 801–803.
20. Середин В.В., Магазина Л.О. Минералогия и геохимия ископаемой древесины Павловского бурогоугольного месторождения (Приморье) // Литология и полез. ископаемые. 1999. № 2. С. 156–173.
21. Середин В.В., Шпирт М.Я. Редкоземельные элементы в гуминовом веществе металлоносных углей // Литология и полез. ископаемые. 1999. № 3. С. 281–286.
22. Середин В.В. Au-PGE-минерализация на территории Павловского бурогоугольного месторождения, Приморье // Геология руд. месторождений. 2004. Т. 46, № 1. С. 43–73.
23. Созинов Н.А., Горячкин Н.И., Ермолаев Н.П. и др. Платиноиды в черных сланцах // Природа. 1997. № 8. С. 11–17.
24. Сорбция тяжелых металлов зольными уносами от сжигания угля на ТЭС // Химия твердого топлива. 1990. № 5. С. 23–27.
25. Цельковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС // Новое в российской энергетике. 2000. № 2. С. 22–31.
26. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. М.: Недра, 1996. 238 с.
27. Черепанов А.А. Золошлаковые материалы // Основные проблемы изучения и добычи минерального сырья Дальневосточного экономического района. Минерально-сырьевой комплекс ДВЭР на рубеже веков. Раздел 2.4.5. Хабаровск: Изд-во ДВИМСа, 1999. С. 120–128.
28. Чиненов В.А. Роль органического вещества в геохимии благородных металлов черносланцевых формаций // Исследования литосферы: Материалы юбил. науч. конф. инта литосферы окраинных и внутренних морей РАН. М., 1999. С. 49–50.
29. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986. 254 с.
30. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. Л.: Наука, 1978. 262 с.
31. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы-примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985. 230 с.
32. Юдович Я.Э. Грамм дороже тонны. Редкие элементы в углях. М.: Наука, 1989. 160 с.

Рекомендована к печати А.Н. Диденко

A.A. Cherepanov

Precious metals in the ash-cinder waste of Far Eastern heat-and-power stations

Methods and results of the study of the distribution and forms of occurrence of gold and platinum in the ash-cinder waste of Khabarovsk and Primorye heat-and-power stations are given. Gold and PGM concentrations are up to two and more g/t, with the average value 0.8-1,5 g/t. The ash of brown coal of the Pavlovsk and other deposits is characterized by increased PGM contents. The reasons for discrepancies in analytical determinations of precious metal concentrations in coaly and carbonateous rocks are discussed. The nature of accumulation of precious metals is mainly caused by their sorption on the carbon-bearing material. The presence of precious metals and their amount in ash-cinder waste depends on the type of burnt coal, and in the latter ones – on metallogenic peculiarities of the region where the deposit is located. Gold and platinum are of economic interest; however, specialized technology for their recovery needs to be worked out.

Key words: ash-cinder waste, ash-disposal area, brown coal, gold, platinum, heat-and-power station, Khabarovsk and Primorye Territory.