

О ПОДВИЖНЫХ ФОРМАХ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ МЕДЕПЛАВИЛЬНЫХ ШЛАКОВ

© 2012 г. А. Л. Котельникова

Как известно, деятельность предприятий по производству меди сопровождается целым рядом негативных воздействий на окружающую среду: формированием гигантских отвалов медеплавильных шлаков (к настоящему времени накоплены десятки миллионов тонн шлака), выведением из хозяйственного оборота земель, занятых отвалами, выбросом в атмосферу SO_2 и CO_2 и загрязнением окружающих ландшафтов тяжелыми металлами и иными токсичными компонентами, входящими в состав твердых отходов медеплавильного производства.

Основными механизмами поступления загрязнений в окружающую среду является выщелачивание поллютантов из заскладированных медеплавильных шлаков атмосферными осадками, нередко содержащими жидкие кислые серосодержащие аэрозоли, а также прямое пыление, перенос и выпадение мелкодисперсного материала отходов в виде твердых аэрозолей на подстилающую поверхность.

В то же время в отвалах медеплавильных шлаков сконцентрирован значительный по своему потенциалу объем полезных компонентов, что позволяет оценивать их как удобное техногенное сырье, готовое к процессам вторичной переработки и обогащения. Для примера, в медеплавильных шлаках Среднеуральского медеплавильного завода (г. Ревда) по предварительным данным сконцентрировано около 340 тыс. т цинка, 43 тыс. т меди, 43 тыс. т свинца, 3,5 млн. т железа.

Комплексное использование медеплавильных шлаков позволит, с одной стороны, решить экологические проблемы (рекультивация и возвращение земель в хозяйственный оборот, утилизация отвалов медеплавильных шлаков), а с другой – извлечь полезные компоненты (металлы, строительные материалы и др.). Введение отходов вторичной переработки медеплавильных шлаков в биогеоценозы в качестве микроэлементной добавки может быть заключительным этапом в безотходном способе комплексной переработки медеплавильных шлаков.

Переработкой отвальных медеплавильных шлаков в качестве нетрадиционного источника меди в настоящее время занимаются некоторые предприятия цветной металлургии. На Среднеуральском медеплавильном заводе применяется технология, заключающаяся в дроблении отвального литого шлака с последующим флотационным извлечением медного концентрата. При этом в качестве отхода накапливаются тонкодисперсный материал размер-

ности 0.05 мм с малоизученными свойствами (к настоящему времени накоплено более 10 млн. т продукта переработки шлака). В результате этих операций увеличивается площадь поверхности зерен шлака, проницаемость его для воды и атмосферных газов, а также активация поверхности минералов, вследствие чего будут интенсифицироваться процессы выветривания и прямого пыления. Гипергенное преобразование отходов вторичной переработки медеплавильных шлаков ведет к изменению их минерального состава, а также мобилизации и перераспределению компонентов шлака в системе твердая фаза – водный раствор. Изучение потенциальной миграционной активности тяжелых металлов (ТМ) шлака в различных физико-химических условиях для оценки экологического риска является актуальной задачей.

Известно, что на Среднеуральском медеплавильном заводе вторичный отход переработки медеплавильных шлаков пытаются использовать для рекультивации промышленных ландшафтов. С целью уменьшения степени пыления поверхность отвалов железосодержащего промпродукта покрывают слоем почвы. Однако, такой способ утилизации промпродукта не решает проблемы загрязнения окружающей среды ТМ. Проведенные нами предварительные лабораторные эксперименты показали, что модельные почвенные растворы, талые воды и “кислотные дожди” [2–4] активно выщелачивают тяжелые металлы из данного отхода.

Для оценки подвижных форм ТМ нами были проведены эксперименты в соответствии с [1] по взаимодействию исходного и измененного под воздействием гипергенных факторов железосодержащего промпродукта (УГМК СУМЗ, г. Ревда) с водой, ацетатно-аммонийным раствором (1 М) и горячим раствором азотной кислоты (5 н).

В результате экспериментов определено содержание *водорастворимых* (ионных), *подвижных* (водорастворимых, ионообменных и непрочносорбированных соединений, доступных для питания растений) и *потенциально-подвижных* (кислоторастворимых) форм тяжелых металлов при многократном воздействии на “песок” водной среды (имитация воздействия атмосферных осадков), при воздействии модельных почвенных растворов и имитации криогенеза.

Установлено, что вода и окислительные агенты атмосферы будут повышать миграционную активность тяжелых металлов (ТМ), входящих в со-

Таблица 1. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в исходных и измененных под воздействием гипергенных факторов медеплавильных шлаках СУМЗ, мг/кг

	Mn	Fe	Cu	Zn	As	Pb
Исходный шлак						
Потенциально-подвижные	80.38	42126.48	1061.42	7699.32	57.36	168.72
Подвижные	8.2	573.22	214.52	1007.26	7.22	91.18
Водорастворимые	1.6	2.4	0.56	27.58	0.004	0.06
Шлак после I водной вытяжки						
Потенциально-подвижные	86.72	45440.88	1210.54	8480.7	59.46	194.54
Подвижные	9.12	630.44	285.72	1278.7	7.94	119.28
Водорастворимые	0.7	2.14	0.48	6.48	0.008	0.04
Шлак после II водной вытяжки						
Потенциально-подвижные	67.98	3561.3	907.14	8620.76	43.74	151.1
Подвижные	8.22	604,04	248.38	1167.54	7.92	108.92
Водорастворимые	0.58	2.1	0.46	5.88	0.006	0.04
Шлак после III водной вытяжки						
Потенциально-подвижные	68.74	35320.34	869.2	6404.22	42.28	148.6
Подвижные	8.56	653.56	227.44	1119.66	7.808	105.46
Водорастворимые	0.82	0.96	0.24	5.94	0.006	0.014
Шлак после IV водной вытяжки						
Потенциально-подвижные	46.92	23382.3	614.82	4409.88	28.9	112.98
Подвижные	9.18	882.72	247.48	1221.18	8.48	112.42
Водорастворимые	0.66	2.0	0.46	5.94	0.008	0.04
Шлак после вымораживания при -20°C в течение года						
Потенциально-подвижные	43.58	20499.5	600.38	4165.74	27.92	123.5
Подвижные	10.3	1178.16	201.66	1127.8	7.8	96.5
Водорастворимые	0.96	1.32	0.38	13.44	0.004	0.02
Шлак после выщелачивания ацетатно-аммонийным раствором (1 М) в течение года						
Потенциально-подвижные	31.28	16515.56	493.02	3340.02	19.46	100.3
Подвижные	13.26	2489.44	94.9	1203.08	15.96	88.14
Водорастворимые	19.4	2284.52	79.26	1406.54	6.06	51.92

став промпродукта, особенно Cu и Zn. Более 25% (Cu и Zn) и 10% (Mn и Fe) от валового содержания в железосодержащем промпродукте представлены *потенциально-подвижными* формами этих элементов.

Почвенные растворы будут способствовать миграционной подвижности Cu, Zn и Pb. Более 6% (Cu), 3% (Zn) и 2% (Pb) от валового их содержания в промпродукте находится в *подвижной* форме в виде водорастворимых, ионообменных и непрочносорбированных соединений, доступных для питания растений. Длительное нахождение шлака в почве в среде почвенных растворов будет приводить к снижению содержания *потенциально-подвижных* и к повышению содержания *подвижных* форм ТМ в “песке”, исключая медь, образующую устойчивую твердую фазу в этих условиях. Значительно повышается содержание *водорастворимых* форм ТМ – более 2.5% (Mn), 0.5% (Fe), 0.5% (Cu), 4% (Zn), 0.5% (As) и 1% (Pb) от валового содержания их в промпродукте, что повышает риск миграции их в природные ландшафты.

Криогенез приводит к снижению содержания *потенциально-подвижных* форм ТМ в отходе за

счет образования инертных к окислению и кислотному выщелачиванию соединений.

Таким образом, многофакторное воздействие природных агентов на медеплавильный шлак в процессе гипергенеза приводит к изменению соотношения водорастворимых, подвижных и потенциально-подвижных форм ТМ. При этом атмосферные осадки в большей степени способствуют активации “песка”, по сравнению с остальными участниками гипергенного процесса, увеличивая содержание *подвижных* форм ТМ. Длительное нахождение шлака в среде почвенных растворов значительно повышает содержание *водорастворимых* форм ТМ, что повышает риск миграции их в природные ландшафты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бачурин Б.А. Геохимическая трансформация отходов горного производства // Минералогия техногенеза-2007. Миасс: ИМин УрО РАН, 2007. С. 177–188.
2. Котельникова А. Л. Исследование подвижности загрязняющих веществ при кислотном выщелачивании хвостов переработки медеплавильных шлаков // Инженерная экология, 2006. № 1. С. 54–62.

3. *Котельникова А.Л.* Поведение основных компонентов медеплавильного шлака в криогенных условиях (по экспериментальным данным) // Ежегодник-2008. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып 156. 2009. С. 146–149.
4. *Котельникова А.Л.* О мобилизации компонентов медеплавильных шлаков почвенными растворами // Ежегодник-2009. Тр. ИГГ УрО РАН. Вып 157. 2010. С. 142–145.