
© А.А. Юдаков, М.А. Медков, В.П. Молчанов,
О.Н. Цыбульская, А.Н. Шевцов,
Е.И. Медведев, 2009

УДК 549.59:547.496.3

*А.А. Юдаков, М.А. Медков, В.П. Молчанов,
О.Н. Цыбульская, А.Н. Шевцов, Е.И. Медведев*
**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПОПУТНОГО
ПОЛУЧЕНИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ
ИЗ ПОРОД ВСКРЫШИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ
ПАВЛОВСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ (ПРИМОРЬЕ)***

На современном этапе развития экономики России все большее внимание уделяется вопросам рационального использования природных ресурсов и охраны окружающей среды. Применительно к угольной промышленности актуальна утилизация техногенных отходов, в частности пород вскрыши угольных пластов, которые в значительной степени осложняют экологическую обстановку в районах отработки месторождений. При этом в них зачастую отмечается высокие содержания не только благородных металлов (золота, платины, серебра), но и других рудогенных элементов, например молибдена, никеля, кобальта. Это позволяет рассматривать вскрышные породы в качестве потенциального источника полезных компонентов. По основным техническим показателям (большие объемы, повышенные концентрации золота и других компонентов), они вполне отвечают требованиям, предъявляемым к твердым полезным ископаемым на современном этапе.

В настоящее время вскрышные породы в основном складировуются в виде отвалов, которые занимают значительные площади. Основными поставщиками техногенного сырья являются разрезы Кузнецкого бассейна и Восточной Сибири. Это объясняется масштабами добычи углей, а по разрезам Кузнецкого бассейна частично и относительно высоким коэффициентом вскрыши (около 10 т на тонну угля), по разрезам Восточной Сибири в среднем коэффициент вскрыши составляет 3,6 т.

*Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН и РФФИ: №№ 15-ИН-09, 09-III-A-08-446, 09-05-98545-р_восток_а, 08-05-99096-р_офи, 09-05-12060-офи_м

На Дальнем Востоке высоким коэффициентом вскрыши отличается Бикинское бурогольное месторождение, где на каждую тонну добытого угля приходится более четырех тонн пустой породы. На Павловском месторождении годовой объем вскрыши составляет 18 млн. м³, а на разрезе «Лучегорский -2», в период с января по апрель 2009 года – 7 859 тыс.м³. Сотни миллионов кубических метров вскрышных пород скопилось в отвалах за многие годы эксплуатации указанных угольных месторождений.

Основной проблемой утилизации углеродсодержащего техногенного сырья является отсутствие эффективной технологии его переработки. Работы в данной области ранее проводились, но не имели системного характера и не реализовывались в виде технологий обогащения. Главной помехой на пути разработки схемы извлечения полезных компонентов, в том числе благородных металлов, из указанного вида сырья служило присутствие глинистого и углеродистого вещества. Целью наших исследований явилось создание основ экологически и экономически приемлемых способов вовлечения в промышленный оборот пород вскрыши угольных месторождений Приморья для их комплексного освоения, в первую очередь извлечения песка и благородных металлов. Базовым объектом исследования избрано Павловское месторождение угля, которое находится в 19 км от районного центра Михайловского района Приморского края с. Михайловка (рисунок).

В геологическом строении Павловского месторождения принимают участие верхнепалеозойские гранитоиды, кайнозойские отложения, литологические отложения неогенового и четвертичного возраста. Бурые угли дислоцированы в слабосцементированных песчаниках (с аутигенными вивианитом и сидеритом) и в аргиллитах павловской свиты [1]. Угленосная пачка залегает на гравеллитах и песчаниках и перекрывается аргиллитами и алевролитами. Отложения павловской свиты лежат на палеозойских эффузивах терригенных породах, известняках, гранитоидах, и с размывом перекрываются терригенными образованиями суйфунской свиты. Последнюю слагают песчано-галечно-гравийные отложения с линзами глин общей мощностью до 240 м. Четвертичные отложения - глины, пески с галькой залегают с незначительным угловым несогласием на породах неогено-

вого возраста. Мощность их колеблется от 2-3 до 20 м, составляя в среднем 9,0 м.



Угольные разрезы юга Дальнего Востока: 1 – Нежинский; 2 – угольный разрез на месте шахты им. Артема; 3 – Раковский; 4 – Павловский; 5 – Ретиховский; 6 – Южный-1; 7 – Лучегорский; 8 – Бикинский

Предметом исследований авторов явились песчано-гравийные отложения, которые могут использоваться в качестве исходного материала для получения строительного песка, что особенно актуально в связи с развитием цементной промышленности в регионе. Обычно песчано-гравийная смесь (ПГС) вывозится в отвалы, в связи с высоким содержанием глинистых включений в количестве 8-13%. Известно, что от качества песка, применяемого в виде наполнителя, зависит

прочность многих строительных материалов. А для получения некоторых строительных изделий необходимо использовать обогащенные пески, т. е. промытые и отсортированные как по размеру зерен, так и по минералогическому составу, или прошедшие дополнительное измельчение (тонкомолотые). На качество бетона большое влияние оказывает гранулометрический состав песка и количественное содержание в нем примесей: пылевидных, илистых, глинистых и органических. Наиболее вредна в песке глина, которая обволакивает отдельные зерна и препятствует сцеплению их с цементным камнем, понижая прочность бетона. Глинистые и пылевидные примеси в песке приводят к снижению прочности и морозостойкости бетона.

В настоящее время природный песок, добываемый в Приморском крае, имеет содержание пылевидных и глинистых включений, как правило, более 7-8%. При использовании такого песка в строительстве, для обеспечения необходимой прочности бетона, приходится использовать повышенное содержание цемента. Практически все поставщики песка не обеспечивают требования ГОСТа по наличию глинистых и пылевидных включений. Поэтому повсеместно отмечается высокий спрос на промытый песок. Технологические исследования и производственный опыт ООО «Кварц» показали, что песчано-гравийную смесь Павловского месторождения в водном потоке можно отмыть до кондиций товарной продукции, отвечающей ГОСТ 8736-96 "Песок для строительных работ". На всей площади Павловского бурогоугольного месторождения породы вскрыши могут быть использованы в качестве сырья для получения высококачественного песка.

Помимо песка, в число ценных компонентов вскрышных пород Павловского месторождения входят золото и металлы платиновой группы. Полученные геохимические данные (табл. 1) свидетельствуют о резко (в 10-100 раз по отношению к фону) повышенных содержаниях БМ в осадочных породах Павловского разреза. Максимальные концентрации отмечаются в глинистых породах и песках, обогащенных гидроокислами железа. Это позволило сделать вывод о преобладании сорбированных форм БМ и, соответственно, о возможности их эффективного извлечения гидрометаллургическими методами.

Для решения проблемы утилизации пород вскрыши угольных пластов была разработана технологическая схема, предусматривающая применение гравитационных методов обогащения ПГС на начальном этапе, гидрометаллургических и фторидных

Таблица 1
Содержание благородных металлов (г/т) в рыхлых отложениях Павловского месторождения угля

№ пробы	Порода	Au	Pt	Pd	Au+Pt+Pd
1	песок	0,01	0,18	-	0,19
2	песок	0,02	0,19	-	0,21
2а	песок	0,02	0,29	-	0,31
3	песок	0,33	0,37	0,08	0,78
3а	песок	0,09	0,48	-	0,57
4а	песок	0,09	0,08	-	0,17
4б	песок	0,05	0,03	-	0,08
4в	глина	0,08	0,22	-	0,3
4г	ил	0,39	0,31	0,22	0,92
5	глина	1,5	0,2	-	1,6
6	глина	0,14	0,4	0,13	0,67
7	угл. глина	1,0	0,1	1,2	2,3

- на конечном. На первом из них, включающем получение основной товарной продукции – песка, ПГС поступает непосредственно на промывочный прибор, где размывается с применением гидромонитора. После дезинтеграции в водной среде происходит мокрый рассев ПГС на надрешетный (+25 мм) и подрешетный продукты (- 25 мм). Надрешетный продукт, не содержащий товарной продукции, направляется в отвалы. Подрешетный продукт поступает на грохот, где товарная продукция классифицируется на галечник (-25,0 +5,0 мм) и песок (- 5,0 мм). Песок по пульповоду подается на спиральный классификатор, изготовленный по патенту авторов статьи [2], в котором происходит разделение на фракции (-5,0 +3,0 мм) и (-3,0 +1,0 мм). В классификаторе эти фракции обезвоживаются и подаются на конвейер в качестве товарной продукции. Фракция (-1,0 мм) поступает в пруд-отстойник.

Произведено опробование шлихового материала из бункера классификатора, где происходит первичное накопление тяжелой фракции, илов отстойника, а также отвальных хвостов (табл. 2).

Таблица 2

Результаты опробования

Место проведения опробования	Содержание золота, мг/мЗ
Бункер классификатора	84
Отстойник	7875
Отвалы	-

В качестве исходных продуктов для последующих минералогических и технологических исследований использовался шлиховой материал из бункера и отстойника, содержащий основную массу золота. На каждом из вышеуказанных объектов отобраны несколько крупнообъемных проб, прошедших обогащение с применением гравитационных методов. Полученные концентраты посредством магнитной и электромагнитной сепарации разделялись на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции.

Магнитная фракция по химическому составу отвечает высокотитанистой разновидности магнетита. Основу электромагнитной фракции составляет ильменит. Неэлектромагнитная фракция представлена преимущественно цирконом с примесью эпидота, рутила, анатаза, граната, а также пирита, касситерита и самородного золота.

Все золотины, выделенные из неэлектромагнитной фракции, можно разделить на две группы. В одну из них, серебристую, входят окатанные зерна металла крупность до 1 мм в поперечнике и пробностью свыше 900 ‰. Вторая группа объединяет различные по составу соединения благородных металлов (Au-Cu, Au-Hg, Fe-Pt и Pt-Pd). Наиболее типичные их формы – тонкие пластинки и кристаллы, размерностью редко превышающие 100 мкм.

Извлечение золота в экспериментальном варианте осуществлялось с применением методов выщелачивания полезных компонентов растворами желтой кровяной (ферроцианида калия) соли в присутствии окислителя [3]. Преимущество использования желтой кровяной соли, по сравнению с повсеместно принятыми растворами цианида натрия, прежде всего, заключается в нетоксичности предлагаемого реагента и, следовательно, уменьшении экологической нагрузки на окружающую среду. Проведенные нами исследования показали, что при выщелачивании золотосодержащих концентратов растворами желтой кровяной соли в присутствии окислителя в щелочной среде достигаются удовлетворительные показатели извлечения золота. Из растворов выщелачивания БМ наиболее целесообразно извлекать электроосаждением на волокнистые углеродные катоды. При этом удалось регенерировать часть ферроцианида калия, что снижает его удельный расход и удешевляет процесс.

Нерастворенный в результате гидromеталлургической переработки кек, концентрирующий значительные количества циркона, используется для дополнительного извлечения золота и товарных

циркониевых продуктов. Среди известных способов переработки циркониевых концентратов предпочтение следует отдать способу фторидного вскрытия циркона. Этот способ предусматривает сухое фторирование концентрата бифторидом аммония с переводом в газовую фазу фторсиликата аммония. Результаты исследований показали, что проведение фторидной переработки техногенного продукта позволяет увеличить степень концентрации золота в 4,5 раза.

Таким образом, проведенные работы с применением комплекса методов гравитации, магнитной и электромагнитной сепарации, гидрометаллургии и фторидного вскрытия позволили разработать схему извлечения из пород вскрыши угольных пластов не только строительного песка, но и благородных металлов, с соблюдением принципов рационального природопользования и улучшения экологического состояния окружающей среды на территории эксплуатируемых угольных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Середин В.В.* Au-PGE-минерализация на территории Павловского бурого угольного месторождения, Приморье // Геология рудных месторождений. 2004. № 1. С. 40-71.
2. *Пат. РФ № 35247.* Спиральный классификатор / Шевцов А.Н., Юдаков А.А.
3. *Молчанов В.П., Медков М.А., Юдаков А.А.* Основы технологии извлечения благородных металлов из углеродсодержащих техногенных образований Дальнего Востока // Современные проблемы обогащения и глубокой комплексной переработки минерального сырья (Плаксинские чтения): Мат-лы междунар. совещания. Владивосток, 2008. С. 272-274. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Юдаков А.А. – доктор технических наук, заместитель директора по научной работе и инновациям,
Медков М.А. - доктор химических наук, заведующий лабораторией,
Цыбульская О.Н. - кандидат технических наук, ст. научный сотрудник, Институт химии ДВО РАН, г. Владивосток, E-mail: etcih@mail.ru
Молчанов В.П. – кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник,
Медведев Е.И. - младший научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН.
E-mail: Vpml@mail.ru
Шевцов А.Н. - генеральный директор ООО «Кварц».