

УДК 622.013

*О.Г. Бурдзиева, Е.В. Шевченко*

## **ЭКОЛОГО–ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ ОТХОДОВ ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Проведен анализ влияния отходов горного производства на окружающую среду, определены направления утилизации хвостохранилищ.*

*Ключевые слова: хвосты, обогащение, штабель, эффективность, экология, экономика, переработка, хранение, затраты, утилизация.*

---

**В** связи с растущим антропогенным воздействием охрана окружающей среды давно превратилась в глобальную проблему. Это обусловлено демографическим взрывом, ускоряющейся урбанизацией, развитием горных разработок, загрязнением окружающей среды отходами, чрезмерной нагрузкой на земли и т.п.

Вклад в загрязнение окружающей среды вносит и горнодобывающая промышленность, доля которой в загрязнении среды достигает 20 % от общего количества.

В условиях гористого рельефа проблема еще более обостряется из-за ограниченности и замкнутости пространства. Обеспечение безопасной деятельности горных предприятий в условиях высокогорья, в зоне близкого расположения снегов является сложной научной и технической задачей. Факторы, влияющие на состояние окружающей среды, в условиях высокогорья носят приоритетный характер из-за особых признаков ландшафтного, территориального и географического плана.

При добыче руд загрязнение и разрушение окружающей среды достигает значительных масштабов, а в условиях высокогорных месторождений Северного Кавказа (Садонское, Тырныаузское,

Урупское), проблема обостряется расчлененностью высокогорного рельефа и естественной изоляцией.

При разработке металлических месторождений содержание извлекаемых металлов не превышает первые проценты, поэтому добыча металла сопровождается выходом до 99% отходов.

Из многочисленных месторождений Северного Кавказа с 1968 г. разрабатываются месторождения меди Урупской группы (Ставропольский край). В Садонском рудном районе (Северная Осетия) свинец начали добывать уже 180 лет назад. Полвека добываются вольфрам и молибден из руд Тырныаузского месторождения (Кабардино-Балкария), более 30 лет добывались радиоактивные руды месторождения Быкогорское.

Практически на всех месторождениях применяли технологии с открытым выработанным пространством или с обрушением. Объекты добычи и переработки руд связаны между собой и сборной артерией – р. Ардоном.

Неиспользуемые и складированные на поверхности геоматериалы подвергаются активному природному выщелачиванию атмосферными осадками с извлечением в раствор более 20 только учитываемых ингредиентов, в т.ч. тяжелых металлов. Происходит деградация садо-

вых культур, например, в с. Дзинцар на реке Ардон (Осетия) и с. Былым на реке Баксан (Кабардино-Балкария), расположенных рядом с хвостохранилищами обогатительных фабрик.

Рост объемов добычи и снижение содержания металлов в рудах - основные закономерности развития сырьевой базы горной промышленности. Складирование и хранение хвостов требует затрат, изъятия из оборота сельскохозяйственных угодий, загрязняет атмосферу, поверхностные и подземные воды. В то же время хвосты содержат значительное количество металлов и редких элементов, извлечение которых традиционными методами пока еще экономически не рентабельно.

В процессе обогащения руд образуются хвосты, которые транспортируются и укладываются в хранилища.

Хвосты представляют собой измельченную горную массу, по гранулометрическому составу близкую к мелкозернистым пылеватым пескам. В сухом состоянии они раздуваются ветром, образуя облака пыли, создавая крайне неблагоприятные условия для экосистем. Разносу горной массы и образованию песчаных бурь способствуют дующие в течение 2-3 дней ветры, скорости которых достигают 25-28 м/с.

Хвосты обогащения и металлургии - сырье с низким содержанием полезных компонентов и высоким содержанием примесей, избыточно измельченное, окисленное и труднообогатимое.

Академик В.А. Чантурия отмечает, что техногенное месторождение - хвостохранилище - необходимо формировать при соблюдении условий минимального гидрогеологического взаимодействия с окружающими геологическими структурами. По истечении срока эксплуатации должны быть приняты

меры к его рекультивации и возвращению земли в пользование.

Техногенное минеральное сырье не может эффективно перерабатываться с помощью традиционных технологий из-за существенного изменения физических и физико-химических свойств составляющих компонентов вследствие окисления, выщелачивания и вторичного осаждения при хранении.

Выщелачивание токсичных элементов из хвостов продолжается 100-150 лет, окисление пирита с генерацией свободной серной кислоты, стимулирующей выщелачивание - 200 лет. Окисление сульфидных минералов в лежалых хвостах происходит в тонком слое от 5 до 80 мм, далее на поверхности присутствуют адсорбированные продукты окисления - гидроксиды металлов и осажденные коллоидные частицы гидроксидов металлов, образующие слой толщиной 1-5 мкм и тонкие минеральные частицы микронных размеров.

С ростом добычи полезных ископаемых в 20 веке количество отходов стало расти быстрее, чем выход продукции, т.к. одновременно уменьшалось содержание полезных компонентов в рудах, увеличивалась зольность углей, усложнялись условия разработки месторождений и увеличивался выход отвальных и вскрышных пород. Общее количество добываемого в мире минерального сырья оценивается приблизительно в 100 млрд т в год и растет с периодом удвоения в 10-12 лет.

Проблема отходов горного производства рассматривается в различных аспектах. С экологической точки зрения наибольшую тревогу вызывают отвалы отходов. Под породные отвалы отводится примерно 0,1 га площади земли на каждые 1000 т сырья, и они занимают сотни млн. гектаров, чаще всего неудобной, а в ряде случаев вполне плодород-

ной земли. Природа уже не справляется с возрастающим количеством отходов горного производства, что приводит к необратимому загрязнению экосистем среды обитания. На всех стадиях существования отходов они влияют на окружающую среду, если не утилизируются.

Происходящие в отвалах физико-химические процессы, нарушая природный минерально-химический баланс, оказывают влияние на количество углекислого газа, разрушают озоновый слой с активизацией солнечной радиации; активизируют температурную инверсию и т.п.

Научные и технологические исследования по вовлечению в переработку бедного окисленного сырья техногенных месторождений, а также сырья с измененными физико-химическими свойствами связаны с созданием новых нетрадиционных технологий с использованием комбинации обогатительных и гидрометаллургических приемов.

При переработке лежалых хвостов обогащения основные трудности связаны с окислением рудных минералов и значительной долей тонкодисперсных частиц шламов. Высокое содержание тонких фракций в хвостах, необходимость измельчения для раскрытия сростков вызывают существенные трудности при последующем обогащении ввиду низкой эффективности флотационного метода для разделения тонких частиц.

В результате глубокого окисления сульфидных минералов их поверхность в щелочной среде покрывается гидрофильными гидроксидами металлов, а единственное гидрофобное вещество, которое может образоваться в процессе окисления – элементная сера, окисляется до сульфидных ионов и переходит в раствор.

При переработке хвостов обогащения основные трудности связаны с окислением рудных минералов и значительной долей тонкодисперсных частиц шламов. Высокое содержание тонких фракций в хвостах, необходимость измельчения для раскрытия сростков вызывают существенные трудности при последующем обогащении ввиду низкой эффективности флотационного метода для разделения тонких частиц.

Реки являются коллекторами техногенных ингредиентов, распределяя их не только в пределах горных территорий, но и равнинных территорий. Так, река Ардон на участке Садонского месторождения получает около 3 млн. м<sup>3</sup>/год стоков, в которых растворено 700 мг/дм<sup>3</sup> или около 2000 т минеральных веществ. В том числе 11 т при 383 ПДК (предельно допустимой концентрации) цинка, 1,2 т при 37 ПДК меди, 80 т при 355 ПДК нитратов, 2 т при 14 ПДК свинца. Хвосты складываются на участках уширения ущелий рядом с горными реками и вымываются водными потоками.

С позиций охраны среды и использования производственных фондов на действующих предприятиях, особенно на предприятиях, добывающих балансовые запасы и имеющих резервные мощности, важнейшим направлением считают вовлечение в эксплуатацию отвалов и хвостохранилищ твердых отходов горного цикла.

Уменьшение объема мелкой фракции хвостов обогатительной фабрики может быть преодолено путем применения сортировки (обогащения в тяжелых суспензиях, фотонейронного метода и т.д.). Эти геоматериалы пригодны для целей строительства в виде камня, щебня, песка и т.д. Наиболее измельченные фракции отходов могут быть в качестве закладочного материала направлены в выработанное пространство. Для повышения прочности за-

кладки практикуется добавка крупной фракции отсортированной породы.

Так, в республике Северная Осетия - Алания накоплено 7,5 млн. т промышленных отходов 1-4 классов опасности, из которых 7,2 млн т - это отходы заводов "Электроцинк", "Победит", Унальского и Фиагдонского хвостохранилищ Мизурской и Фиагдонской обогатительных фабрик на территории около 250 га земель.

Наиболее известен в этом отношении один из старейших рудников России - Садонский, эксплуатирующий более 160 лет полиметаллическое месторождение, первое упоминание о котором относятся к IV в. до н. э.

Промышленная эксплуатация как свинцово-серебряного месторождения начата в 1863 г. Работы велись с ручной разработкой руды и оставлением в пустотах отходов сортировки. К концу прошлого столетия свинцовые руды верхних частей месторождения были отработаны, а в пустотах накоплены цинковые руды, потому что цинк из них еще не извлекали.

В экологическом состоянии региона существенную роль играет хвостохранилище, слив которого попадает в р. Ардон. Ложем его являются галечники р. Ардон. Правый борт отделен от русла реки бетонной дамбой, укрепленной с низовой стороны железобетонной подпорной стеной. Левый близко подходит к автодороге.

По гребню дамбы проложен пульпопровод с ответвлением трубопроводов для слива пульпы в хвостохранилище. В чаше хвостохранилища устроено водосборное сооружение шахтного типа с отводящим трубопроводом, по которому в р. Ардон осуществляется сброс осветленной части, поступившей в хвостохранилище пульпы.

Концентрация свинца в р. Ардон ниже хвостохранилища в 2 раза выше, чем до хвостохранилища и впадения р. Уналдон, а содержание в сливе хвостохранилища в 2 раз выше, чем в устье р. Уналдон. Вынос

тяжелых металлов со сливом хвостохранилища в осенний период составляет, кг/с.: свинца – 0,187, кадмия – 0,008, цинка - 0,27.

Существенным фактором, определяющим загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (Pb, Zn, Cu, Cd), является дефляция поверхности хвостохранилища. В целях предотвращения дефляции используется принудительное орошение. С низового бьефа дамбы у водосборного колодца установлены насосы, подающие осветленную в хвостохранилище воду на пылеподавление намывного пляжа в верхнем бьефе. При интенсивном орошении значительная часть хвостов находится под зеркалом воды, что затрудняет доступ кислорода в глубокие слои и замедляет процессы окисления сульфидов.

Однако, как правило, покрыто водой только около 50% поверхности хвостохранилища. В зимний период полив не производится, и в малоснежные годы ветровая эрозия с поверхности хвостохранилища достаточно интенсивна, так как район характеризуется сильными ветрами вдоль ущелья.

Опробование поверхности сухой части хвостохранилища выявило следующие средние концентрации металлов ( в %\* 10<sup>-3</sup>): 40 – Cu, 235 – Zn, 193 – Pb, 2,1 – Ni, 2,8 – Co, 16 – Cr, 4 – V, 0,5 – Mo, 0,4 – Ag, 190 – Mn, 28 – As, 1,3 – Sn, 2,3 – Bi, 168 – Ti, 14 – Zr, 46 – P, 1,2 – B, 0,6 – Cd.

По результатам дисперсионного анализа хвостов большая часть свинца приурочена к самой мелкой фракции (<0,006 мм), для цинка характерно распределение по 4-м мелким фракциям (< 0,044 мм).

По результатам спектрального анализа почв района Унальского хвостохранилища выявлено наличие высоких концентраций свинца, цинка, меди и серебра, обнаружены пробы с аномальными содержаниями кадмия, олова, висму-

та, ртути и мышьяка, превышающими минимально аномальные концентрации для почв. Аномалии в почвах характеризуются комплексностью состава: основной вклад в загрязнение помимо Zn и Pb вносят:  $Ag > Cu > Cd > Bi > As$ .

Объем утилизации отходов минерального производства не превышает первых процентов от объемов выдаваемых на земную поверхность. Основным препятствием для утилизации является то обстоятельство, что при обогащительном и металлургическом переделах возможности технологий не позволяют извлекать полезные компоненты, которые попадают в хвосты.

Объемы отвалов хвостов достигают миллионов м<sup>3</sup>, металлургические заводы расположены в пределах городов, отвалы активно участвуют в формировании микроклимата таких городов, как Норильск, Магнитогорск, Усть-Каменогорск, Владикавказ и др., но не могут быть утилизированы без разработки технологий извлечения ряда компонентов.

Инженерными мероприятиями качество изделий из малоактивных отходов производства несколько улучшают. Доменные шлаки используются в качестве эквивалента цемента при соответствующей подготовке и без нее. В технологии приготовления строительных изделий реализуют идею обеспечивать прочность при ухудшении качества исходных компонентов.

Особую трудность представляют хвосты гидрометаллургической переработки из-за создания твердой оболочки зерен. В хвостах гидрометаллургических заводов твердая фаза состоит из частиц с модулем крупности 0,022-0,078, содержанием глинистых и пылевых частиц - 39,2-36,8%, в т.ч. глинистых - 6,6-6,1% насыпной плотностью хвостов - 1,5-1,6 т/м<sup>3</sup>; удельной поверхностью до 3600 см<sup>2</sup>/кг и естествен-

ной влажностью - 18-26%, т.е. мелкодисперсных.

Несмотря на дисперсность, хвосты содержат пылевидных частиц меньше, чем суглинки. В хвостах преобладает кремнезем (49,5-66,3%). Другие окислы (CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, FeO), содержащиеся в хвостах в количестве от 1 до 10% не влияют на прочность бетонов. Жидкая фаза содержит до 17 г/л сульфат-иона SO<sub>4</sub><sup>-</sup>, поэтому при затворении хвостов ГМЗ со шлаком, в котором содержится до 50% CaO, образуется гипс, ускоряющий твердение бетона.

Многочисленными исследованиями по утилизации хвостов горного производства доказана возможность их рентабельной переработки с производством товарной продукции.

Хранение хвостов без последующей утилизации требует повышенных затрат на защиту от выветривания, окисления, вымывания, а также связанных с изъятием земель из сельскохозяйственного оборота.

Для обоснования экономической целесообразности переработки и утилизации хвостов обогащения и других отходов необходимо оценить не только современные достижения науки и техники, достигнутые в этом направлении, но и учитывать направления дальнейшего совершенствования техники и технологии добычи и переработки руд.

В условиях рынка решение задач повышения эффективности разработки рудных месторождений, в том числе задач заключительного цикла - утилизации извлеченных на поверхность геоматериалов должно осуществляться на основе оптимизированного критерия эффективности и единой эколого-экономической модели.

Анализом установлено, что наиболее перспективны геотехнологические способы обогащения. Однако одно только

выщелачивание не отвечает требованиям современности, т.к. для этого необходимо продолжительное время. Следует оценить возможности технологий, сочетающих возможности комбинирования химической активации в электрохимических установках и механической активации в дезинтеграторах.

Роль хвостохранилищ в деградации окружающей среды определяется в ходе многолетнего эколого-геохимического картирования территории с опробованием почв, вод и донных отложений водотоков и мониторинговых исследований с опробованием почв, растительности, поверхностных вод, сухой части поверхности хвостохранилища и пылевых выбросов.

При исследовании загрязненности гидросферы дифференцируется влияние водных потоков по территории месторождений и стоков Унальского хвостохранилища. При исследовании загрязненности атмосферы изучаются дефляционные процессы с поверхности хвостохранилища и техногенная запыленность территории. При исследовании загрязненности литосферы литохимическими съемками устанавливается ареал рассеяния загрязняющих частиц хвостов, выносимых за пределы хвостохра-

нилища растворами природного выщелачивания.

Для определения возможности минимизации влияния хвостохранилищ на окружающую среду исследуется возможность утилизации хвостов методами традиционной и новой технологии с извлечением металлов выщелачиванием. Для этого исследуются физико-механические свойства хвостов, их вяжущие свойства и параметры технологической активации хвостов как альтернатива процессам природного выщелачивания.

Определение эколого-экономических аспектов утилизации хвостов включает разделы: оценка сырьевой базы для промышленной утилизации хвостов, формулируется механизм поражения окружающей среды в случае хранения хвостов, определяется критерий эффективности утилизации хвостов и величина предотвращенного ущерба окружающей среде в случае реализации рекомендаций диссертации.

Результаты комплексных исследований закладываются в основу экономико-технологических закономерностей управления процессом переработки и утилизации хвостов на стадиях валового потребления, дифференцируемого по фракционному составу и активированного в аппаратах. **ТИАБ**

### **Коротко об авторах**

*Бурдзиева О.Г.* – Центр геофизических исследований РАН, аспирант, [zaal@mail.ru](mailto:zaal@mail.ru).

*Шевченко Е.В.* – Южно-Российский государственный университет экономики и сервиса, канд.эконом. наук, Шахты.