

# ТЕХНОГЕННЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ

А. Б. МАКАРОВ

Уральская государственная горно-геологическая академия, Екатеринбург

## THE STUDIES OF TECHNOGENIC DEPOSITS

А. В. MAKAROV

*The technogenic deposits are an accumulation of raw materials produced as result of industrial activity of the humanity. Features of structure and composition of these deposits as well as some approaches to the investigation, assessment and commercial utilization of the deposits located at the Ural region are described.*

*Техногенные месторождения – скопления минерального сырья, созданные человечеством в результате промышленной деятельности. На примере Уральского региона показаны особенности их строения и состава, подходы к исследованию, оценке и возможностям использования.*

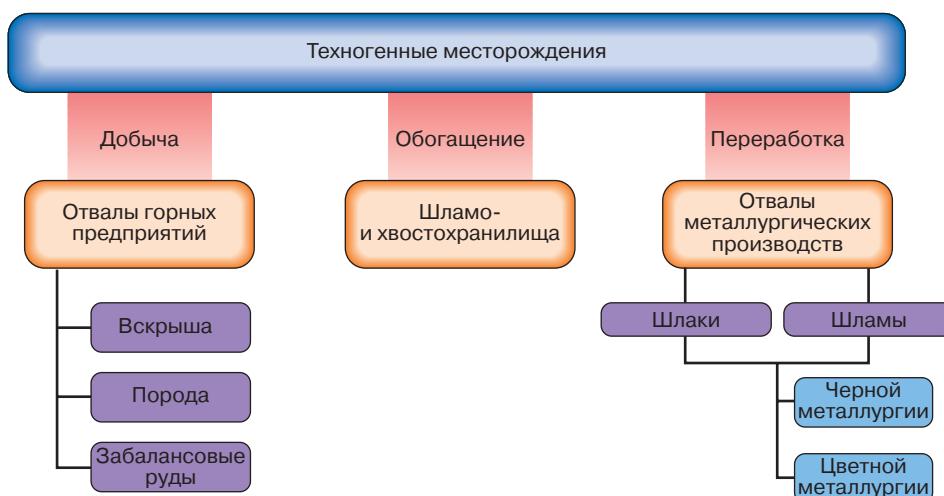
Появившиеся в последние десятилетия техногенные месторождения являются результатом интенсивного развития горнодобывающей и перерабатывающей промышленности. Техногенные месторождения – это скопления минеральных веществ на поверхности Земли или в горных выработках, представляющие собой отходы горного, обогатительного, металлургического и других производств и пригодные по количеству и качеству для промышленного использования [4], которое становится возможным по мере развития технологии его переработки и изменения экономических условий.

## ОБРАЗОВАНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

Для последних десятилетий характерен гигантский рост потребления энергетических и минеральных ресурсов: угля, нефти, газа, рудных и нерудных полезных ископаемых. При этом создается масса отходов, что существенно сказывается на экологическом состоянии отдельных регионов. Кроме того, эти отходы могут быть использованы в будущем, а частью и в настоящее время как дополнительный источник минерального сырья, то есть техногенных месторождений. Суммарное содержание полезных компонентов, которые накапливаются в техногенных месторождениях за 20–30 лет, составляетимо, а иногда и превышает их количество в ежегодно добываемых рудах.

Особенностями техногенных месторождений являются: 1) расположение в промышленно развитых районах; 2) месторождения находятся на поверхности, и материал в них преимущественно раздроблен; 3) количество искусственных минеральных форм, которые образуются в техногенных месторождениях, превышает 30 000, что значительно превосходит число известных в настоящее время природных минералов, составляющее около 3300 [6].

Классификация техногенных месторождений построена на ряде признаков, важнейшим из которых является процесс их образования (рис. 1).



**Рис. 1.** Схема подразделения техногенных месторождений

Горное производство оставляет после себя отвалы, сложенные раздробленными породами, вмешавшими руды, убогими рудами, которые экономически невыгодно перерабатывать, а также продуктами переработки промышленных руд – отходами обогащения.

В эту группу техногенных месторождений входят терриконы угольных шахт и разрезов; отвалы рудников и карьеров сульфидных руд цветных металлов; отвалы рудников и карьеров оксидных и силикатных руд черных и легирующих металлов; шламо- и хвостохранилища горнообогатительных фабрик (отходы обогащения руд специалисты называют хвостами).

Сложное строение имеют техногенные месторождения, представленные отвалами энергетического и металлургического производства, которые состоят из шлаков, шламов, пылей, зол, металлов и их сплавов, используемых в металлургии оgneупорных материалов.

Как природные месторождения полезных ископаемых, техногенные месторождения имеют определенную структуру распределения полезных компонентов, зоны вторичного обогащения, окисления, но в отличие от них обычно характеризуются низкими содержаниями полезных компонентов.

## СОСТАВ ПОЛЕЗНЫХ КОМПОНЕНТОВ И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Во многих рудных районах, особенно в Уральском регионе, достаточно широко распространены техногенные месторождения, представленные раздробленными горными породами и убогими рудами. Отвальные массы используют для строительных целей, закладки выработанного пространства в подземных выработках,

рекультивации. Однако достаточно часто в подобные отвалы попадают и полезные компоненты, которые во время разработки не представляли промышленного интереса, например барит при переработке полиметаллических руд на Салаире. Во многих случаях для переработки техногенного сырья требуются иные технологии, чем для природных руд, чаще всего новые способы, основанные на последних достижениях науки и техники.

Техногенные месторождения подвергаются интенсивному влиянию поверхностных (экзогенных) геологических факторов. Как следствие этого на угледобывающих предприятиях происходит, например, самовозгорание шахтных терриконов – конусообразных отвалов высотой до 60–80 м. Их хребтовидная часть относительно пологая ( $\sim 18^\circ$ ), по ней к вершине подвозят пустую породу. Лобовая часть терриконов, вдоль которой породы ссыпаются вниз, крутая ( $\sim 34^\circ$ ). При горении терриконов редко возникает пламя, обычно они просто тлеют. Наиболее интенсивно горение происходит в лобовой части, куда непрерывно поступает свежий материал. Здесь в ветреную погоду очаги тления раздуваются, температура в них доходит до  $1000^\circ$  и выше, и куски пород спекаются в пласти.

После окончания отсыпки терриконы тлеют до 10 лет и более, о чём свидетельствуют выходы горячих газов в их хребтовой части. На большинстве терриконов Челябинского угольного бассейна интенсивное горение уже прекратилось, и они разрабатываются для нужд местного дорожного строительства.

Более перспективными по содержанию и запасам полезных компонентов по сравнению с месторождениями-отвалами горнодобывающих предприятий являются хвосты обогащения руд черных и цветных метал-

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

лов [1, 5]. Хвосты – это отходы обогащения полезных ископаемых, в которых содержание ценного компонента естественно ниже, чем в исходном сырье, поскольку в них преобладают частицы пустой породы. Твердая фаза хвостовой пульпы представлена смесью минеральных частиц разного размера – от 3 мм до долей микрона. Состав частиц и их плотность зависят от минерального состава пород, вмещающих полезное ископаемое. В настоящее время на Урале работают 10 обогатительных фабрик, которые перерабатывают медные и медно-цинковые руды. При производстве медных, цинковых и пиритных концентратов образуется ежегодно 5–7 млн т хвостов, в которых содержится 0,3–0,4% цинка, 0,2–0,3% меди, 20–35% серы, более 35% железа. Значительную площадь (260 га) занимает, например, Черемшанско шламохранилище Высокогорского ГОКа, в котором сосредоточено около 40 млн т отходов обогащения железных руд.

Отходы обогащения более удобны для утилизации, чем отвалы, поскольку они, во-первых, более однородны, а во-вторых, представляют собой уже дробленый, иногда фракционированный материал. Наиболее перспективны для использования в строительстве отходы, образующиеся при сухих способах обогащения – хвосты сухой магнитной сепарации, сухой гравитации.

Хвосты сухой магнитной сепарации отличаются повышенной крупностью (20–70 мм) и пониженным содержанием металлов. После предварительной подготовки (рассева) они полностью используются в качестве щебня. Хвосты мокрой магнитной сепарации являются мелкодисперсными отходами, за год на горнообогатительных комбинатах России их накапливается более 150 млн т. Например, на шламохранилище Качканарского горнообогатительного комбината на Среднем Урале уже скопилось более 900 млн т отходов основного производства – добычи и обогащения титаномагнетитов. Они содержат много ценных металлов, в том числе скандия, галлия, стронция, титана. При этом количество скандия в отходах превышает 100 000 т – это составляет более 60% мировых запасов этого металла.

Несколько не уступают по набору и количеству ценных компонентов хвостохранилища обогатительных фабрик, перерабатывающих руды цветных металлов (табл. 1).

По общим запасам хвостохранилища уральских предприятий существенно превосходят многие месторождения [6]. Вовлечение их в разработку облегчается тем, что при этом не нужны вскрышные и буровзрывные работы. Раздробленный материал подготовлен для извлечения металлов современными методами, в частности выщелачиванием кислотами.

Таблица 1. Характеристика хвостохранилищ обогатительных фабрик, перерабатывающих руды цветных металлов [6]

Фабрика	Запасы хвостов, млн т	Запасы и содержание в хвостах, тыс. т		
		медь	цинк	серы
Туринская	13,3	12,2 0,09		136,8 1,0
Красноуральская	26,0	96,5 0,37	183,2 0,70	5080 19,5
Пышминская	4,6	3,7 0,08		138 3,0
Кировоградская	29,6	51,2 0,18	70,9 0,25	2219 7,6
Среднеуральская	32,0	83,4 0,26	136,1 0,42	11 418 35,7
Карабашская	9,1	23,1 0,25	29,7 0,33	3064 33,6
Гайская	47,0	152,3 0,32	155,1 0,33	7977 17,0
Сибайская	18,4	27,7 0,15	93,1 0,51	6478 35,2
Бурибаевская	5,4	25,7 0,48	10,0 0,18	1488 26,1
Учалинская	24,0	85,6 0,36	142,4 0,59	7982 32,9
Итого или среднее	208,8	770,1 0,37	620,5 0,39	45 811 21,9

Запасы металлов в отходах металлургического производства, преимущественно в шлаках, также значительны. Шлак представляет собой затвердевший металлургический расплав, который покрывал поверхность жидкого металла. Формируется шлак при плавлении пустой породы, флюсов и т.д. Он является ценным вторичным сырьем и широко применяется в строительстве. Гранулированные шлаки используют для получения шлакопортландцемента, в качестве заполнителя для бетонов, в дорожном строительстве; из шлаковых расплавов вырабатывают минеральную вату, шлаковую пемзу, шлаковое литье.

Разработка техногенных месторождений, представленных отвалами металлургического производства, связана с определенными трудностями из-за сложности состава шлаков и часто значительной неоднородностью отвалов, особенно тех, которые накапливаются при электрометаллургическом производстве ферросплавов.

## НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Объемы отходов крупнейших уральских предприятий черной металлургии выражаются в следующих цифрах: Нижне-Тагильский металлургический комбинат: шлаков доменных — 30 000 тыс. т, сталеплавильных — 20 500 тыс. т; металлургический завод им. А.К. Серова: шлаков мартеновских — 4229 тыс. т; Магнитогорский металлургический комбинат: шлаков доменных — 160 650 тыс. т; Челябинский металлургический комбинат: шлаков металлургических — 2578 тыс. т [1].

Вторая группа подобных техногенных месторождений представляет собой скопления шлаков цветной металлургии, которые поступают в отвалы после предварительной грануляции или в горячем состоянии. Конвертерный медеплавильный шлак содержит до 70% FeO при относительно небольших количествах кремнезема. Его минеральную основу составляет минерал фаялит ( $2\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ ), а второстепенные минералы представлены цинкосодержащим магнетитом, купритом ( $\text{Cu}_2\text{O}$ ), теноритом ( $\text{CuO}$ ), сульфидами меди и железа. В небольшом количестве в шлаках присутствуют также стекло и металлическая медь.

Среди медеплавильных комбинатов Урала наиболее крупными промышленными отходами, образующими техногенные месторождения, обладают Карабашский медеплавильный завод, Красноуральский медеплавильный комбинат, Среднеуральский медеплавильный завод (СУМЗ). В ходе переработки шламоотвала СУМЗа из конвертерных шлаков получают медно-цинковый концентрат, содержащий золото и серебро, а также магнетитсодержащий песок, пригодный для производства цемента.

Особое место занимают золоотвалы тепловых электростанций. Золы — твердый остаток, образующийся при сгорании топлива (углей, горючих сланцев, торфа), состоит из тонкодисперсного порошка, так называемой золы-уноса и шлака — сплавленного кускового материала. Ежегодный выход золы по электростанциям АО “Свердловэнерго” составляет 6,7 млн т.

Шлаки используют в строительстве, зола-унос в основном складируется в мокрых золоотвалах и лишь частично используется в цементной промышленности в качестве сырья и добавок, при производстве строительной керамики, асфальтобетона, обжигового и безобжигового гравия.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ И ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Методика исследования техногенных месторождений в значительной мере отличается от изучения природных объектов [2, 3]. Это обусловлено, с одной стороны, компактным размещением техногенных месторождений непосредственно в зоне промышленных предпри-

ятий, с другой стороны — необходимостью исследования их часто необычного и сложного минерального состава.

Проведение комплексных исследований включает в себя несколько последовательных этапов, первым и наиболее важным из которых являются оценочные работы. Они состоят из опробования материала откосов и поверхности отвалов, а также керна скважин колонкового бурения. На втором этапе выполняют аналитические и минералогические исследования с целью изучения состава техногенного месторождения. В последние годы для этих целей все более широко используют ядерно-физические методы анализа, которые можно применять для веществ любого агрегатного состояния (твердого, жидкого, газообразного) и которые наиболее эффективны для определения тяжелых и радиоактивных металлов.

Третий этап завершается обработкой полученной информации, составлением геологической карты и разрезов, оценкой концентраций полезных компонентов и прогнозной оценкой запасов. С целью представления данных о техногенных месторождениях для их последующей переработки в настоящее время формируется база данных техногенных месторождений Урала [3]. Для оценки прогнозных ресурсов полезных компонентов используют все имеющиеся аналитические данные, прогнозные ресурсы при этом характеризуются в первую очередь объемом отвала и содержанием полезного компонента. Так, для техногенного месторождения — отвала Челябинского электрометаллургического комбината, площадь которого 38 га, средняя мощность, определенная по пробуренным скважинам, 22,55 м, плотность материала  $2,50 \text{ t/m}^3$ , при среднем содержании марганца 0,0305 г/т прогнозные ресурсы марганца составят 653 386 т. Однако при неоднородном его распределении необходимо в первую очередь отрабатывать участки с высокими его концентрациями.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Техногенные месторождения представляют собой новый источник минерального сырья, образованный в результате промышленного производства. Подобные месторождения часто обладают необычным минеральным составом и могут служить крупным потенциальным источником разнообразных полезных компонентов, в частности редкоземельных и благородных металлов. В настоящее время идет их детальное изучение с применением современных аналитических методов и созданием информационно-аналитической базы данных.

# НАУКИ О ЗЕМЛЕ

## ЛИТЕРАТУРА

1. Коняев В.П., Крючкова Л.А., Туманова Е.С. Техногенное минеральное сырье России и направление его использования // Инф. сб. М., 1994. Вып. 1. 42 с.
2. Талалаев А.Г., Глушкова Т.А., Макаров А.Б. и др. // Рос. геофиз. журн. 1998. № 9/10. С. 65–74.
3. Талалаев А.Г., Макаров А.Б., Зобнин Б.Б. // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 11/12. С. 20–36.
4. Трубецкой К.Н., Уманец В.Н., Никитин Н.Б. // Комплекс. использ. минер. сырья. 1987. № 12. С. 18–23.
5. Чайников В.В., Крючкова Л.А. Практика использования техногенных ресурсов черной и цветной металлургии в России и за рубежом. М., 1994. 30 с.

6. Чантурия В.А., Корюкин Б.М. // Проблемы геотехнологии и недроведения: (Мельниковские чтения): Докл. междунар. конф. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. Т. 3. С. 26–34.

*Рецензент статьи* В.С. Попов

\* \* \*

Анатолий Борисович Макаров, кандидат геолого-минералогических наук, доцент кафедры общей и исторической геологии Уральской государственной горно-геологической академии (Екатеринбург). Область научных интересов – геология рудных месторождений, геоэкология. Автор около 130 научных работ и учебных пособий.