ГЕОЛОГО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ТИПЫ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ*

А. Б. Макаров, А. Г. Талалай, Г. Г. Хасанова

Уральский государственный горный университет, Екатеринбург

fgg.gpr@m.ursmu.ru

Изучение техногенных месторождений определяется необходимостью их переработки как дополнительного источника минерального сырья. Для этих целей необходимо обобщение опыта исследований подобных объектов и выделение главных геолого-промышленных типов для первоочередной отработки.

Объект исследования — техногенные месторождения черных, цветных и благородных металлов Уральского региона.

Выделены возможные геолого-промышленные типы техногенных месторождений. Основанием для этого послужили данные исследований, выполненных в последние годы. Главные геолого-промышленные типы техногенных месторождений рассмотрены на примере Уральского и других регионов России. Основными из них для черных металлов являются хвостохранилища и шлаковые отвалы, для цветных металлов, значительная часть которых является комплексными (Cu, Zn, Au, Ag), — породные отвалы, шламоохранилища и шлаковые отвалы. Для благородных металлов в качестве геолого-промышленных типов выделены отвалы вмещающих пород, техногенные россыпи и хвостохранилища.

Ключевые слова: *техногенез, техногенные месторождения, геолого-промышленные типы, черные, цветные и благородные металлы.*

ABOUT GEOLOGICAL-INDUSTRIAL TYPES OF TECHNOGENIC DEPOSITS*

A. B. Makarov, A. G. Talalay, G. G. Khasanova

Ural State Mining University, Ekaterinburg

The study of technogenic deposits is determined by the need for their processing as an additional source of mineral raw materials. For these purposes, it is necessary to generalize the experience of researching similar objects and to identify the main geological-industrial types for priority work.

The object of the study is technogenic deposits of black, nonferrous and noble metals of the Urals region.

Possible geological and industrial types of technogenic deposits are identified. The basis for this was the research data carried out in recent years. The main geological-industrial types of technogenic deposits are examined by the example of the Urals and other regions of Russia. The main ones for ferrous metals are tailing dumps and slag dumps, for non-ferrous metals, a significant part of which are complex (Cu, Zn, Au, Ag) — rock dumps, sludge dumps and slag dumps. For precious metals, were chosen as geological and industrial types dumps of enclosing rocks, technogenic placers and tailings.

Keywords: *technogenesis, technogenic deposits, geological-industrial types, black, non-ferrous and noble metals.*

*Временные отраслевые методические рекомендации по оценке техногенных ресурсов предприятий цветной металлургии. М.: Цветметинформация, 1990 (см. также Оленин В. В. и др. Технико-экономическая оценка техногенных месторождений цветных металлов. ЦНИИ экономики и информации цветной металлургии. Сер. Экономика цветной металлургии. Вып. 2. М., 1990) касаются только некоторых аспектов проблемы [12].

В настоящее время действующими МР являются «Методическое руководство по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождений» (утв. ГКЗ 25.02.1994), где есть содержание термина «техногенные месторождения», соответствующие в целом приведенному нами во «Введении».

Термин «геолого-промышленные типы» приводится авторами по аналогии с природными месторождениями, для техногенных месторождений он ранее не применялся, на балансе ГКЗ пока стоит не так много подобных объектов, поэтому в тексте авторы добавляют для этих случаев «вероятные геолого-промышленные типы».

*Temporary sectoral methodological recommendations for assessment of technogenic resources of non-ferrous metallurgy enterprises. Moscow: Tsvetmetinformatsiya, 1990 (in Russian) (see also Olenin V. V. et al., Technical and Economic Assessment of Technogenic Deposits of Non-Ferrous Metals, Central Research Institute of Economics and Information of Non-Ferrous Metallurgy. Series Economics of Non-Ferrous Metallurgy, Issue 2, Moscow, 1990 (in Russian)) consider only some aspects of the problem [12].

Currently active recommendations are «Guidelines for Study and Ecological and Economic Assessment of Technogenic Deposits» (agreed 25.02.1994) (in Russian), where the content of the term «technogenic deposits», corresponding to our introduction.

The term «geological-industrial types» is given by the authors by analogy with natural deposits, it was not previously applied for technogenic deposits, there are not so many similar objects, therefore in the text the authors added «probable geological-industrial types» for these cases.

Введение

Происходящее в последнее столетие активное развитие процессов техногенеза и связанное с ним накопление техногенных минеральных образований в виде отходов горнодобывающего, металлургического, топливно-энергетического и других производств привело к формированию техногенных месторождений, под которыми понимаются техногенные минеральные образования, по количеству и качеству содержащегося техногенного сырья пригодные для экономически эффективного использования в сфере материального производства.

Решение многих, в том числе экологических, проблем горнопромышленных регионов России в значительной мере связано с освоением техногенных месторождений, которые в последние десятилетия привлекают особое внимание и как источник дополнительных резервов минерально-сырьевой базы России. Основными направлениями использования техногенного сырья в настоящее время являются производство строительных материалов, использование данного сырья в стройиндустрии без дополнительной переработки, а также получение различных металлов. Последнее направление является весьма важным, поскольку наблюдается сокращение запасов высококачественных руд, освобождаются мощности на обогатительных фабриках и металлургических заводах, и вовлечение в разработку подобных объектов позволит при меньших капитальных затратах добиться повышения эффективности производства. На это указывает имеющийся положительный как отечественный, так и зарубежный опыт (США, ЮАР, Канада и др.) [15] использования техногенного сырья в качестве минерального. В России, по данным ВИЭМС (В. Г. Боков и др., Всероссийский съезд геологов, 2000), только в техногенных образованиях цветной металлургии содержатся (тыс. т): Cu — 7790, Pb — 980, Zn — 9000 и многие другие компоненты в промышленных количествах.

В настоящее время сформирована основная правовая и методическая база, позволяющая проводить лицензирование и геологоразведочные работы на техногенных месторождениях, выполнен их кадастровый учет, существует значительное количество исследований по строению и минеральному составу этих объектов [7–9, 11]. Все это позволяет выделить геолого-промышленные типы подобных месторождений, определяющиеся их составом и преобразованиями в процессе выветривания, а также техническими параметрами, включающими способ формирования объекта, площадь, мощность, объем и т. д.

Цель работы — выделение главных геолого-промышленных типов для первоочередной отработки на основании данных исследований, выполненных в последние годы на Урале и в ряде других регионов России и СНГ [1, 2 и др.].

Геолого-промышленные типы техногенных месторождений

Черные металлы. Характеристика геолого-промышленных типов возможна на примере техногенных месторождений, сформированных предприятиями черной металлургии, освоение которых для ряда регионов России наиболее актуально. Согласно данным [6, 7], они подразделены на генетические классы месторождений, формирующихся в процессе обогащения железных руд и металлургического передела.

Первый геолого-промышленный тип техногенных месторождений железа представлен хвостохранилищами,

вмещающими значительные объемы отходов обогащения — хвостов мокрой и сухой магнитной сепарации. Примером может служить хвостохранилище Качканарского ГОК, где складировались хвосты мокрой магнитной сепарации — отходы обогащения титаномагнетитовых руд. Материал хвостов достаточно однороден, с преобладающим фракционным составом 0.5–1.5 мм, в его минеральном составе преобладает пироксен (до 90 %), реже амфибол, оливин, плагиоклаз и рудный минерал — титаномагнетит; отмечаются стабильные содержания одного из редких металлов — скандия, представляющие промышленный интерес. Второй геолого-промышленный тип включает отвалы шлаков черной металлургии, наиболее значительными из которых на Урале являются шлакоотвалы Металлургического завода им. А. К. Серова, Нижнетагильского, Магнитогорского и Челябинского металлургических комбинатов. В отвалы раздельно поступают доменные и мартеновские шлаки, которые значительно отличаются по минеральному и химическому составу: так, содержание SiO_2 в доменных шлаках Металлургического завода им. А. К. Серова составляет 42.82 мас. %, в мартеновских — 18.86 мас. %. Большая часть шлаковых отвалов разрабатывается, при этом получают металлический скрап и шлаковый щебень.

Цветные металлы. Предприятия медной отрасли цветной металлургии образуют техногенные месторождения, включающие следующие геолого-промышленные типы: 1) отвалы, связанные с добычей медных руд; 2) хвостохранилища обогатительного производства; 3) отвалы металлургического передела [7]. Распределение техногенных месторождений цветных металлов на примере Уральского региона, в пределах которого зародилась металлургия России, показано на рис. 1. *Первый тип* здесь формируется в виде отвалов вмещающих пород и некондиционных руд и рассматривается как один из дополнительных источников данного вида минерального сырья. Так, в США в результате переработки отвалов медных месторождений штата Мичиган получено 6 млн т меди [15]. В пределах Уральского региона известны как старые отвалы, так и современные, формирующиеся до настоящего времени. Образование старых отвалов связано с разработкой месторождений медистых песчаников на западном склоне Урала для Пыскорского медеплавильного завода (пущен в эксплуатацию в 1634 г.), который располагался в 14 км к северо-западу от Соликамска. У рудников скапливались отвалы медистых песчаников с сульфидным оруденением и содержанием Cu менее 2 %. В начале XX века разрабатывались отвалы Гумешевского месторождения (сырьевая база Полевского завода, построенного в 1724 г.). Для переработки отвальных руд, накопившихся за 150 лет работы рудника и содержащих в среднем 0.8 % Cu, в 1907 г. был построен гидрометаллургический завод, на котором руды перерабатывались агитационным серно-кислотным выщелачиванием. Все эти отвалы за 12 лет (1907–1919 гг.) были переработаны.

Значительное количество подобных объектов, которые сформированы предприятиями медной промышленности, находится в пределах Уральского региона (рис. 1).

Так, на территории бывшего рудника им. III Интернационала суммарный объем вскрышных и вмещающих пород на пяти площадках возле шахт превышает 800 тыс. м³. Наряду с медью и цинком здесь фиксируются высокие содержания Au — 0.5 г/т, Ag — 13.8 г/т, Pb, Hg, Mo, Cd, As. Примером техногенных месторождений это-

го типа могут служить отвалы Бурибаевского ГОКа в республике Башкортостан, сформированные при добыче медно-колчеданных руд вначале Бурибаевского, а затем Маманского и Октябрьского месторождений. Три отвала вскрышных пород Бурибаевского месторождения размещены на юго-восточном, южном и юго-западном бортах карьера. Содержание полезных компонентов в отвале составляет: Cu — 0.7 %, Zn — 0.12 %, S — 7.18 %, Au — 0.51 г/т, Ag — 4.44 г/т. По результатам исследований ГУП УКГЭ «Уралзолоторазведка» [6], в отвале № 1 содержится: Cu — 23870 т, Zn — 4092 т, Au — 1705 кг, Ag — 15343 кг.

Отвалы разработки Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения в западной части Кольс-

кого полуострова изучены С. Г. Селезевым и А. Н. Степановым [13]. Объем отвала — 6.7 млн м³ (более 12 млн т), породы в нем представлены гнейсами, гранитогнейсами, амфиболитами и в разной степени оруденелыми вмещающими породами: перидотитами, оливинитами и др. Руды в отвале представлены двумя типами — массивными (сплошными) и вкрапленными. Основными рудными минералами являются пирротин, пентландит и реже халькопирит, которые находятся в тесном парагенезисе с магнетитом. Средние содержания в рудах (%): Ni — 1.57, Cu — 1.34, Co — 0.029. Месторождение разведано канавами, шурфами и траншеями и позиционируется как новый геолого-промышленный тип техногенных месторожде-

Медная отрасль / Copper industry

- Породные отвалы / Rock dumps:
 1. Красноуральского МПК / Krasnouralsky Complex
 2. АО «Волковский рудник» / Volkovsky Rudnik
 3. Рудника им. III Интернационала / 3rd International
 4. Кировградского МПК / Kirovgradsky Complex
 5. Дегтярского РУ / Degtyarskiy ore district
 6. Учалинского ГОК / Uchalinsky MPC
 7. Сибайского м-ния / Sibayskoye deposit
 8. М-ния Бакр-Тау / Bakr-Tau deposit
 9. Гайского ГОК / Gaisky MPC
 10. М-ния Яман-Касы / Yaman-Kasy deposit

- Хвостохранилища / Tailing storages:
 11. Туринской ОФ / Turinskaya PF
 12. Красноуральской ОФ / Krasnouralskaya PF
 13. Кировградской ОФ / Kirovgradskaya PF
 14. Среднеуральской ОФ / Sredneuralskaya PF
 15. Пышминской ОФ / Pyshminskaya PF
 16. Карабашской ОФ / Karabashskaya PF
 17. Учалинской ОФ / Uchalinskaya PF
 18. Сибайской ОФ / Sibayskaya PF
 19. Бурибаевской ОФ / Buribaevskaya PF
 20. Гайской ОФ / Gaiskaya PF

- ▲ Шлаковые отвалы / Slag dumps:
 21. Красноуральского МПК / Krasnouralsky Complex
 22. Кировградского МПК / Kirovgradsky Complex
 23. Среднеуральского МЗ / Sredneuralsky Plant
 24. Карабашского МЗ / Karabashsky Plant
 25. Башкирского МСК / Bashkirsky Complex
 26. Полевского МЗ / Polevsky Plant
 27. Медногорского МСК / Mednogorsky Complex

Алюминиевая отрасль / Aluminum industry

- Отвалы СУБР / Dumps of Northern Ural bauxite mine
- ▲ Красные шламы / Red mud:
 29. Уральского АЗ / Uralsky AP
 30. Богословского АЗ / Bogoslovsky AP

Никелевая отрасль / Nickel industry

- Породные отвалы / Rock dumps:
 31. Серовского м-ния / Serovskiy deposit
 32. Липовского м-ния / Lipovskiy deposit
 33. Шлаковый отвал РНЗ / Slag dump of RNP

Рис. 1. Схема размещения основных техногенных месторождений цветной металлургии Уральского региона

Fig. 1. The layout of the main technogenic deposits of non-ferrous metallurgy in the Ural region

ний, сформированный отходами, образующимися при добыче сульфидных медно-никелевых руд. В то же время отмечается, что в результате окисления значительная часть руд отвалов теряет свои первоначальные свойства, а процесс выщелачивания сульфидов не прекращается даже в зимний период.

Техногенные месторождения этого типа в других регионах России изучены не столь детально. В Хакасии в 60-х годах закончилась эксплуатация месторождения Юлия — Медное, из его руд добывались Cu, Mo и попутно Au; с 1953 г. открытым способом обрабатывается Сорское медно-молибденовое месторождение. Территориальным балансом учитываются отвалы бедных руд Сорского ГОКа, содержащие 9019 т молибдена. В целом Сорским ГОКом сформированы три отвала с общим объемом складированной массы более 315 млн м³ [14]. Техногенные ресурсы цветных металлов в Восточном Казахстане в основном связаны с отработкой Риддер-Сокольного месторождения и сосредоточены в 11 отвалах пород, накопленных с 1946 по 1997 гг. в объеме 16 178.9 тыс. м³. Средние содержания цветных металлов в них составляют (%): Zn — 0.15 (запасы 38.34 тыс. т); Pb — 0.1 (запасы 38.9 тыс. т); Cu — 0.09 (запасы 35 тыс. т) [2, 12].

Основанием для выделения отвалов месторождений цветных металлов в отдельный геолого-промышленный тип является постановка на государственный баланс отвалов Аллареченского месторождения, оценка ресурсов и постановка на кадастровый учет ряда объектов Уральского региона и Хакасии. Первоочередными объектами исследования и последующей отработки здесь представляются отвалы бедных забалансовых руд.

Техногенные месторождения, связанные с обогащательным производством цветной металлургии, представлены хвостохранилищами обогащательных фабрик (техногенные месторождения намывного типа, по В. В. Оленину и др. [12]). В зарубежной практике (США, ЮАР, Австралия) переработке хвостов уделяется значительное внимание. Так, установки по доизвлечению меди из хвостов текущей переработки действуют на фабриках в США, Заире, Австралии, на Филиппинах [15].

В Уральском регионе обогащательное производство медной отрасли представлено в Свердловской (Турьинская, Красноуральская, Кировградская и Среднеуральская ОФ), Челябинской (Карабашская ОФ), Оренбургской (Гайская ОФ) областях и республике Башкортостан (Бурибаевская, Сибайская, Учалинская ОФ).

Красноуральская ОФ производит складирование хвостов в Сорьинском шламохранилище, введенном в эксплуатацию в 1965 г. Рудные минералы в хвостах представлены пиритом, халькопиритом, реже теннантитом, ковеллином. Согласно данным [13], запасы хвостов составляют 20.35 млн т, Cu — 71.39 тыс. т при среднем содержании 0.35 %, Zn — 125.11 тыс. т при среднем содержании 0.61 %. Хвосты содержат Au — 1.23 г/т и Ag — 16.4 г/т. На пиритном хвостохранилище Среднеуральской ОФ выполнены разведочные работы: по квадратной сети (60 × 60 м) пробурено 137 скважин [12]. По этим данным запасы хвостов составили 17.02 млн т, запасы Cu при среднем содержании 0.2 % — 57.98 тыс. т, Zn при среднем содержании 0.44 % — 74.88 тыс. т. Для хвостохранилища Бурибаевской ОФ на необводненной части также проведена разведка колонковыми скважинами по сети 50 × 50 м. Анализ распределения меди и серы показал, что наибольшие их концентрации приурочены к местам слива шламов в юго-

западной части. Объем шламов составил 3962.4 тыс. т при среднем содержании Cu — 0.54 %, Zn — 0.17 % и S — 28.18 %, содержание Au — 1.2 г/т, Ag — 10.3 г/т.

Хвостохранилища Салаирского ГОКа (Салагаевский лог, Поганный лог, Дюков лог) были изучены С. Б. Бортовой и др. [1]. Наиболее высокими содержаниями ценных компонентов обладает Дюков лог, в среднем: Pb — 0.76 %, Zn — 0.5 %, BaCO₄ — 24.6 %, Au — 0.33 г/т, Ag — 34.85 г/т, что определяется более высокими концентрациями полезных компонентов в верхних частях рудных тел, с которых начиналась разработка месторождения. На территории Восточного Казахстана известно 9 хвостохранилищ, 3 накопителя легкой фракции и один накопитель пиритного концентрата. Отходы обогащения Зырянской ОФ размещены в старом и действующем хвостохранилищах и накопителе легкой фракции и составляют свыше 120 млн т хвостов и 20 млн т легкой фракции. Содержание полезных компонентов в старом хвостохранилище (запасы хвостов — 23.76 млн т): Cu — 0/1 % (32.76 тыс. т), Pb — 0.2 % (47.52 тыс. т), Zn — 0.43 % (102.17 тыс. т), Au — 0.2 г/т (4750 кг), Ag — 5.9 г/т (140.18 т) [2].

Техногенные месторождения, связанные с металлургическим переделом в медной отрасли, формируются в виде отвалов металлургических шлаков и представляют в настоящее время особый интерес. В Уральском регионе они расположены в пределах территорий таких крупных предприятий, как Среднеуральский медеплавильный завод, Красноуральский, Карабашский медеплавильные комбинаты, Медногорский медно-серный комбинат. Известны и отвалы несуществующих ныне заводов: за время работы медеплавильных заводов в Прикамье были сформированы первые месторождения этого типа, содержащие Cu, V, Ni, Co, Au, Ag. Основные скопления таких шлаков в границах Пермского края находятся в пределах ранее существовавших заводов: Юговского, Бымовского, Бизярского, Курашамского, Ашапского, Уинского и Троицкого. Общее количество шлаков оценивается в 3000 тыс. т, запасы меди — в 40 тыс. т.

Шлаковый отвал Кировградского медеплавильного комбината исследовался неоднократно. Так, в 1982 г. трестом «Уралцветметразведка» установлено, что общие запасы шлаков составляли 15008 тыс. т при следующих содержаниях полезных компонентов (% мас.): Cu — 0.59; Zn — 2.4; Pb — 0.13; Au — 0.42 г/т; Ag — 7.8 г/т. Объем складированных шлаков на 2000 год составил 20765.5 тыс. т. В настоящее время разрабатываются отвалы литых медеплавильных шлаков Среднеуральского медеплавильного завода и Карабашского медеплавильного комбината. Шлаковый отвал Среднеуральского медеплавильного завода формируется с 1940 г. и является действующим, в составе шлаков преобладают файлит (80 %) и магнетит (10 %), содержание полезных компонентов: Cu — 0.7–0.9 %; Zn — 3–4 %; Au — 0.2–0.4 г/т; Ag — 3.4–5.0 г/т. Переработка шлаков производится на обогащательной фабрике, при этом получают медный концентрат и отходы обогащения — пески. Полученный медный концентрат с содержанием твердого вещества 50–60 % и концентрацией меди от 10 до 20 % поступает в шихтовальное отделение медеплавильного цеха, пески переработки шлаков широко используются для рекультивации нарушенных земель.

Металлургические шлаки являются наиболее интенсивно используемым в настоящее время техногенным сырьем в целях извлечения металлов. При этом часть от-

валов уже отработана, в частности отвалы гранулированных шлаков Московского медеплавильного и медэлектродного завода, которые предварительно были разведаны по сети 25×25 м. Это даёт основание для выделения шлаковых отвалов в качестве геолого-промышленного типа техногенных месторождений.

Помимо главных типов техногенных месторождений, формируемых при добыче и переработке медных руд, как второстепенные объекты для изучения и последующего получения цветных металлов в Уральском регионе рассматриваются отвалы пиритных огарков и металлоносные грунты производственных предприятий. Так, в пиритных огарках содержится до 0.6 % Cu и до 1.25 % Zn при максимальных содержаниях Au — 4–5 г/т, Ag — 30–40 г/т; разработаны технологии их комплексной переработки [9]. Во всех типах техногенных месторождений меди Уральского региона ценность помимо Cu и Zn представляют благородные металлы (рис. 2).

Что касается *никеля*, на Урале известны объекты, сформированные при добыче силикатных никелевых руд. Примером могут служить отвалы забалансовых руд отработанного Липовского месторождения, где складировано 1560 тыс. т бурожелезняковых руд с содержанием Ni 0.6–0.7 %. В забалансовых железных бобово-конгломератовых рудах Серовского рудника содержится 40.27 % Fe и 0.26 % Ni. Техногенные месторождения, связанные с металлургическим переделом, представлены отвалом Режского никелевого завода, где находятся гранулированные шлаки шахтной плавки на штейн силикатных никелевых руд (11698.4 тыс. т). Шлаки имеют преимущественно пироксеновый (диопсидовый) состав, содержание Ni — 0.12–0.15 %.

Не осваиваются в настоящее время и техногенные месторождения *алюминиевой отрасли*. Отвалы, связанные с добычей бокситов, формируются при проведении горно-подготовительных и очистительных работ на Северном Урале, где во внешних отвалах находится более 320.5 тыс. м³ вмещающих пород, в которых содержится от 5 до 25 % боксита преимущественно красной разновидности, который может быть выделен грохочением в виде мелкой фракции, состоящей из боксита (50–55 %) и известняка (40–45 %).

При металлургической переработке бокситов образуется значительное количество красных шламов, представляющих собой смесь шлаков гидрохимии и спекания бокситов, объёмы которых весьма значительны. Так, в законсервированном шлаохранилище № 1 Богословского алюминиевого завода находится около 30 млн т красных шлаков. Среднее содержание Al — 13.72 %, запасы — около 4 млн т. Помимо получения глинозема предлагаются и другие направления использования красных шлаков [4].

Благородные металлы. Техногенные месторождения благородных металлов различных типов известны как в России, так и в мире. В. А. Макаровым [8] подобные объекты подразделены на две группы: 1) литотехногенные, формирующиеся при переработке руд, песков и пород, отделённых от массива; 2) остаточные, включающие месторождения и их части, испытавшие техногенное воздействие в массиве. Главными геолого-промышленными типами техногенных месторождений благородных металлов в настоящее время являются отвалы вмещающих пород, техногенные россыпи и хвостохранилища обогатительных фабрик. Промышленная ценность техногенных россыпей обусловлена способом первичной разработки, принятыми в то время кондициями, уровнем развития техники, технологией производства работ, качеством их выполнения. По спосо-

бу первичной разработки и связанному с ним способу формирования отвалов техногенные россыпи подразделяются на следующие типы: отвалы торфов вскрыши, отвалы хвостов промывки дражной разработки и отвалы хвостов промывки гидромеханизированной разработки.

Многочисленные дражные отвалы образованы Невьянским прииском. Техногенные отложения дражной разработки представлены эфельными отвалами хвостов промывки. Эфельная и галечная фракции промышленного пласта после промывки и извлечения металла укладываются в соответствующие отвалы наклонными слоями в

Рис. 2. Распределение полезных компонентов в техногенно-минеральном сырье медной отрасли цветной металлургии: 1 — хвосты; 2 — породы отвалов; 3 — медеплавильные шлаки. Номера на диаграмме: обогатительные фабрики: 1 — Учалинская, 2 — Бурибайская, 3 — Сибайская, 4 — Гайская, 5 — Карабашская, 6 — Среднеуральская, 7 — Кировградская, 8 — Пышминская, 9 — Красноуральская, 10 — Турьинская; отвалы: 11 — рудника им. III Интернационала, 12 — Ольховского, 13 — Бурибаевского; шлаки: 14 — Кировградского МК, 15 — СУМЗ

Fig. 2. Distribution of useful components in the technogenic-mineral raw materials of the copper branch of non-ferrous metallurgy: 1 — tails; 2 — rocks of the dumps; 3 — copper smelting slags. The numbers on the diagram are as follows: Enrichment Factories: 1 — Uchalinskaya, 2 — Buribayskaya, 3 — Sibayskaya, 4 — Gaiskaya, 5 — Karabashskaya, 6 — Sredneurskaya, 7 — Kirovgradskaya, 8 — Pyshminskaya, 9 — Krasno-Uralskaya, 10 — Turinskaya; dumps: 11 — Deposit III International, 12 — Olkhovsky, 13 — Buribaevsky; slags: 14 — Kirovgrad MK, 15 — Sredneursky Copper Plant

порядке, обратном их размещению в россыпи. В галечно-эфельных фракциях в долине р. Серебрянки установлены повышенные (до 60—120 мг/м²) содержания золота.

Хвостохранилище Березовского рудника на Урале содержит более 14 млн т отвалных хвостов, в гранулометрическом составе которых преобладают тонкие классы. За счет естественного перераспределения материала в краевых частях хвостохранилища формируются сульфидные прослои (0.5—3 см) с песчаной массой при ширине таких прослоев десятки метров, к длине сотни метров. Содержание золота в таких прослоях в двух пробах — 12.6 и 20.1 г/т при среднем содержании в хвостохранилище 0.2 г/т. Содержание золота в отходах обогатительных и золотоизвлекательных фабрик Восточного Казахстана составляет от 0.1 до 2 г/т, а в техногенных россыпях — от 200 до 500 мг/м³ и выше. Основная масса золота в подобных образованиях представлена коллоидной и тонкодисперсной формами. В хвосты обогатительных фабрик поступала часть золота, связанного с сульфидными и нерудными минералами, которая под действием окислительных процессов высвобождалась и накапливалась в илистых фракциях. Наиболее высокие концентрации золота фиксируются в хвостохранилищах Ажтальской ОФ (количество накопленных хвостов — 350 тыс. т при содержании золота 1.86 г/т), Бакырчикского сульфидного завода (135 тыс. т хвостов при содержании золота 3.9 г/т) [2, 3].

Учитывая эти данные, можно полагать, что главным геолого-промышленным типом техногенных месторождений золота будут служить хвостохранилища обогатительных фабрик. Второстепенными техногенными источниками золота являются старые отвалы разработки месторождений, отвалы пиритных огарков и золотоотвалы ТЭС. Примером могут служить отвалы Березовского рудника, где содержание золота по единичным пробам составило 1.31—1.65 г/т, а также отвалы некоторых колчеданных месторождений. В поверхностных условиях такое золото переходит в свободное состояние и может извлекаться с помощью современных гравитационных методов.

Выводы

Техногенные минеральные месторождения черных, цветных и благородных металлов, сформированные в последние столетия, образуют новый вид месторождений минерального сырья, представляющий определенный резерв минерально-сырьевых ресурсов России. Подобные объекты расположены преимущественно в горнопромышленных регионах и промышленных узлах, что может способствовать их успешному освоению, учитывая при этом возможное улучшение экологической ситуации в пределах данных территорий. Проведенные ранее исследования подобных объектов сводились преимущественно к их кадастровой оценке [9] и разработке технологий переработки техногенного сырья, в настоящее время возможно выделение ведущих геолого-промышленных типов подобных месторождений, где в числе главных выделяются отвалы горно-рудных предприятий и хвостохранилища, и второстепенных, содержащих цветные и благородные металлы — техногенные минеральные образования различных отраслей промышленности. Большая часть таких месторождений является комплексными, содержащими целый ряд полезных компонентов, что необходимо учитывать как при их оценке, проведении необходимых для их освоения геолого-разведочных работ, так и последующей разработке.

Литература

1. Бортникова С. Б., Айрияну А. А., Колонин Г. Р. и др. Геохимия и минералогия техногенных месторождений Салаирского ГОКа // Геохимия. 1996. № 2. С. 171—185.
2. Ганженко Г. Д. Техногенные минерально-сырьевые ресурсы цветных и благородных металлов Восточного Казахстана. Усть-Каменогорск: ВКТГУ, 1999. 174 с.
3. Квятковский С. А., Кожасметов С. М., Оспанов Е. А., Семенова А. С. Техногенные материалы на предприятиях Казахстана, перерабатывающих медные, полиметаллические руды и перспективы их комплексного использования // Фундаментальные исследования и прикладные разработки процессов переработки и утилизации техногенных образований: Труды конгресса с междунар. участием. Екатеринбург: УрО РАН, 2017. С. 25—28.
4. Котова О. Б., Москальчук Л. Н., Шушков Д. А., Леонтьева Т. Г., Баклай А. А. Сорбенты радионуклидов на основе промышленных отходов: физико-химические свойства и перспективы использования // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН. 2017. № 4. С. 29—36. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36.
5. Макаров А. Б., Гуман О. М., Антонова И. А., Захаров А. В. Техногенно-минеральные месторождения пиритных огарков и их влияние на природную окружающую среду // Известия Уральского государственного горного университета. 2012. Вып. 27—28. С. 38—45.
6. Макаров А. Б., Хасанова Г. Г. Типизация техногенных месторождений (на примере Уральского региона) // Современные концепции развития науки: Сб. статей междунар. науч. конф. Уфа: МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2017. С. 20—24.
7. Макаров А. Б., Хасанова Г. Г. Цветные и благородные металлы в техногенных минеральных месторождениях // Геология и полезные ископаемые Урала и Сибири: к 95-летию кафедры геологии, поисков и разведки месторождений полезных ископаемых: науч. моногр. Урал. гос. горный ун-т. Екатеринбург: Изд-во УГГУ, 2017. С. 150—160.
8. Макаров В. А. Геолого-технологические основы ревизии техногенного минерального сырья на золото. Красноярск, 2001. 132 с.
9. Мормиль С. И., Сальников В. Л., Хасанова Г. Г. и др. Техногенные месторождения Среднего Урала и оценка их воздействия на окружающую среду. Екатеринбург: НИИ-Природа, 2002. 206 с.
10. Никонов В. Н. Техногенные ресурсы Бурибаевского горно-обогатительного комбината // Реновация: отходы — технологии — доходы: Тез. докл. всерос. науч.-практ. конф. Уфа, 2004. С. 171—174.
11. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник Института геологии Коми НЦ УрО РАН, 2018. № 6. С. 43—49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49.
12. Оленин В. В., Еришов Л. Б., Беликова И. В. Технико-экономическая оценка техногенных месторождений цветных металлов // ЦНИТИ экономики и информации цветных металлов. Сер. Экономика цветной металлургии. Вып. 2. М., 1990. 60 с.
13. Селезнев С. Г., Степанов Н. А. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений // Известия вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 32—40.
14. Усманова Т. В. Техногенные минеральные ресурсы юга Центральной Сибири: причины формирования, классификация и воздействие на компоненты природной

среды: Дис. ... к. г.-м. н. / ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет». Томск, 2014. 226 с.

15. Чайников В. В., Крючкова Л. А. Практика использования техногенных ресурсов черной и цветной металлургии в России и за рубежом. М., 1994. 30 с.

References

1. Bortnikova S. B., Ayriyanu A. A., Kolonin G. R. i dr. *Geokhimiya i mineralogiya tekhnogennykh mestorozhdeniy Salair-skogo GOKa* (Geochemistry and mineralogy of technogenic deposits of Salair GOKa). Geochemistry, 1996, No. 2, pp. 171–185.
2. Ganzhenko G. D. *Tekhnogennyye mineral'no-syr'yevyye resursy tsvetnykh i blagorodnykh metallov Vostochnogo Kazakhstana* (Technogenic mineral and raw materials resources of non-ferrous and precious metals of East Kazakhstan). Ust-Kamenogorsk: VKTGU, 1999, 174 pp.
3. Kvyatkovskiy S. A., Kozhakhmetov S. M., Ospanov Ye. A., Semenova A. S. *Tekhnogennyye materialy na predpriyatiyakh Kazakhstana, pererabatyvayushchikh mednyye, polimetalliche-skiye rudy i perspektivy ikh kompleksnogo ispol'zovaniya* (Technogenic materials at the enterprises of Kazakhstan, processing copper, polymetallic ores and prospects of their complex use). Fundamental researches and applied developments Processes of processing and utilization of technogenic formations: Proceedings of the Congress with Intern. participation. Ekaterinburg: UrB RAS, 2017, pp. 25–28.
4. Kotova O. B., Moskalchuk L. N., Shushkov D. A., Leontieva T. G., Baklay A. A. *Sorbenty radionuklidov na osnove promyshlennyykh otkhodov: fiziko-khimicheskiye svoystva i perspektivy ispol'zovaniya* (Sorbents of radionuclides on the basis of industrial wastes: physical and chemical properties and prospects of use). Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS, 2017, No. 4, pp. 29–36. DOI: 10.19110/2221-1381-2017-4-29-36.
5. Makarov A. B., Guman O. M., Antonova I. A., Zakharov A. V. *Tekhnogenno-mineral'nyye mestorozhdeniya piritnykh ogarkov i ikh vliyaniye na prirodnuyu okruzhayushchuyu sredyu* (Technogenic mineral deposits of pyrite cinders and their influence on the natural environment). Izvestiya Ural State Mining University, 2012, Issue. 27–28, pp. 38–45.
6. Makarov A. B., Khasanova G. G. *Tipizatsiya tekhnogennykh mestorozhdeniy (na primere Ural'skogo regiona)* (Typification of technogenic deposits (by the example of the Ural region). Contemporary concepts of the development of science. Sat. articles of the International Scientific Conference. Ufa: MEMIES OF OMEGA SAINS, 2017, pp. 20–24.
7. Makarov A. B., Khasanova G. G. *Tsvetnyye i blagorodnyye metally v tekhnogennykh mine-ral'nykh mestorozhdeniyakh* (Colored and noble metals in technogenic mineral deposits). Geology and minerals of the Urals and Siberia: to the 95th anniversary of the Department of Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits: scientific monograph. The Ural State Mining University. Ekaterinburg: Publishing house of the USMU, 2017, pp. 150–160.
8. Makarov V. A. *Geologo-tekhnologicheskiye osnovy revizii tekhnogennogo mineral'nogo syr'ya na zoloto* (Geological and technological fundamentals of revision of technogenic mineral raw materials for gold). Krasnoyarsk, 2001, 132 p.
9. Mormil' C. I., Sal'nikov V. L., Khasanova G. G. et al. *Tekhnogennyye mestorozhdeniya Srednego Urala i otsenka ikh vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredyu* (Technogenic deposits of the Middle Urals and their impact on the environment). Ekaterinburg: NIA-Nature, 2002, 206 p.
10. Nikonov V. N. *Tekhnogennyye resursy Buribayevskogo gorno-obogatitel'nogo kombinata* (Technogenic resources of the Buribayevsky ore mining and processing enterprise). Renovation: waste - technologies - incomes. Tez. doc. Vseros. scientific-practical. conf. Ufa; 2004, pp. 171–174.
11. Ozhogina Ye. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. *Gornopromyshlennyye otkhody: minera-logicheskiye osobennosti* (Mining waste: mineral-logic features). Vestnik of Institute of Geology of Komi SC UB RAS, 2018, No. 6, pp. 43–49. DOI: 10.19110/2221-1381-2018-6-43-49.
12. Olenin V. V., Yershov L. B., Belikova I. V. *Tekhniko-ekonomicheskaya otsenka tekhnogen-nykh mestorozhdeniy tsvetnykh metallov* (Technical and economic assessment of technogenic deposits of non-ferrous metals). Central Research Institute of Economics and Information of Non-Ferrous Metals. Ser. Economics of non-ferrous metallurgy, Issue 2, Moscow, 1990, 60 pp.
13. Seleznev S. G., Stepanov N. A. *Otvaly Allarechenskogo sul'fidnogo medno-nikelevogo mestorozhdeniya kak novyy geologopromyshlennyy tip tekhnogennykh mestorozhdeniy* (Dumps of Allarechensky sulfide copper-nickel deposit as a new geological-industrial type of technogenic deposits). Gornyy Zhurnal, 2011, No. 5, pp. 32–40.
14. Usmanova T. V. *Tekhnogennyye mineral'nyye resursy yuga Tsentral'noy Sibiri: pri-chiny formirovaniya, klassifikatsiya i vozdeystviye na komponenty prirodnoy sredy* (Technogenic mineral resources in the south of Central Siberia: the causes of formation, classification and impact on the components of the natural environment). Dissertation for the degree of candidate of geological and mineralogical sciences. FGBOU VPO «National Research Tomsk Polytechnic University», Tomsk, 2014, 226 p.
15. Chaynikov V. V., Kryuchkova L. A. *Praktika ispol'zovaniya tekhnogennykh resursov chernoy i tsvetnoy metallurgii v Rossii i za rubezhom* (Practice of using technogenic resources of ferrous and non-ferrous metallurgy in Russia and abroad). Moscow, 1994, 30 p.