

Техногенные месторождения: особенности исследований

Анатолий Борисович МАКАРОВ*,
Гульнара Габдулбариевна ХАСАНОВА**,
Александр Григорьевич ТАЛАЛАЙ***

Уральский государственный горный университет, Россия, Екатеринбург

Актуальность работы. Техногенные месторождения, сформированные в последние десятилетия, образуют новый вид месторождений и к настоящему времени приобретают особое значение, однако методические обобщения по их геологическим исследованиям пока еще выполняются в незначительной мере. Весьма актуальным представляется на основе ранее выполненных исследований обобщение применяемых методов и способов при проведении геологоразведочных работ в пределах техногенных месторождений.

Цель работы. Изучение особенностей геологических исследований техногенных месторождений, выполненных в последние годы; определение важнейших методов для изучения их геологического строения и вещественного состава техногенного минерального сырья.

Методология исследований. В работе проведен анализ результатов выполненных ранее геологических исследований техногенных месторождений, их классификаций, геолого-промышленных типов для определения основных особенностей методики их изучения.

Результаты работы. Рассмотрены главные геолого-промышленные типы техногенных месторождений, методические подходы к их изучению и оценке. На примере изучения отдельных групп и классов техногенных месторождений показан комплекс методов, применяемых для геологических исследований этих объектов.

Выводы. Определены главные особенности геологических исследований техногенных месторождений различных геолого-промышленных типов. Показано, что геологические исследования должны быть комплексными, важнейшим направлением являются геоэкологические исследования. С учетом разнообразного состава слагающих их образований особое внимание необходимо уделять выбору аналитических исследований с широким использованием ядерно-физических методов, в том числе при проведении геоэкологических исследований. На стадии разведочных работ наряду с традиционными методами при оценке запасов рекомендуется применение компьютерных 3D-технологий.

Ключевые слова: техногенные месторождения, геолого-промышленные типы, комплексная оценка, геоэкологические исследования.

Введение
Техногенные месторождения, основная масса которых была сформирована в последние десятилетия, к настоящему времени приобретают особое значение. Так, цели и задачи стратегии развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 г. предусматривают «создание условий для освоения техногенных месторождений, извлечения ценных компонентов из вскрышных, вмещающих пород, а также попутных промышленных вод». Необходимость переработки техногенно-минерального сырья определяется также «Стратегией развития промышленности России по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года». Актуальность и необходимость геологических исследований для изучения подобных объектов в значительной мере определяется необходимостью оценки их современного экологического состояния, что, в свою очередь, связано с тем, что техногенные образования, во многих случаях содержащие сульфиды цветных металлов, могут существенно видоизменяться, теряя при этом технологические свойства и практическую ценность. В то же время освоение техногенных месторождений может способствовать увеличению минерально-сырьевой базы и привести к улучшению экологической ситуации, в частности в регионах горнодобывающих предприятий.

Техногенные месторождения и направления использования техногенного сырья

Изучению техногенных месторождений в различных регионах России уделяется большое внимание. В последние годы выполнен большой объем самых разнообразных исследований их вещественного состава [1–3], особенностей оценки [4–7], определены технологии переработки техногенно-минерального сырья [8–11].

Современная классификация техногенных месторождений [12–14] и техногенно-минеральных образований подразделяет их по условиям образования на две группы: сформировавшиеся в низкотемпературных условиях и в условиях высокотемпературных, что определяет, в совокупности с последующими поверхностными изменениями, их вещественный состав. Основное последующее подразделение техногенных месторождений производится на ряд типов, учитывающих главные процессы их формирования: добычу полезных ископаемых и их обогащение, металлургический передел, химическое и энергетическое производство. Как следствие, условия формирования техногенных месторождений, связанных с самыми разнообразными процессами, определяют и разнообразие вещественного состава и направлений их использования, в то же время – комплексность их изучения для наиболее эффективной последующей переработки.

Предпочтительным направлением использования техногенно-минерального сырья горнодобывающей промышленности является его использование в строительной индустрии с учетом, что вскрышные, вмещающие породы и отходы сухой переработки руд незначительно отличаются от природных строительных материалов. Особое внимание здесь привлекают специальные отвалы убогих, некондиционных руд, которые с течением времени могут быть переработаны с целью извлечения как рудных, так и нерудных (барит, полевой шпат и др.) полезных компонентов.

Существенные особенности вещественного состава имеют техногенно-минеральные образования, формирующиеся в условиях металлургического, топливно-энергетического и химического производства. Металлургические шлаки и шламы образуют широкий спектр техногенно-минеральных образований, их особенности определяются специализацией производства черной (доменные, мартеновские шлаки, шлаки ферросплавного производства) и цветной (мас-

* fgg.gpr@m.ursmu.ru

 <https://orcid.org/0000-0003-4843-3422>

** fgg.gpr@m.ursmu.ru

*** talalay@ursmu.ru

сивные и гранулированные медеплавильные шлаки, шлаки никелевого производства и т. д.) металлургии. Техногенные образования химического производства представлены красными шлаками, пиритными огарками, фосфо- и фторогипсами, отличающимися специфическим вещественным составом. Значительное количество технологий по использованию в различных направлениях имеется и для отходов энергетического производства – золошлаков, зол тепловых электростанций.

В настоящее время большое внимание уделяется использованию техногенных образований черной металлургии, традиционное их использование для производства строительных материалов [8, 9] меняется на комплексную переработку с извлечением металлической составляющей для последующего направления ее в доменный процесс. В цветной металлургии медеплавильные шлаки перерабатываются с получением медного концентрата.

Использование техногенно-минерального сырья энергетического и химического производства пока имеет небольшие масштабы. Эти образования значительно отличаются от природного сырья и при наличии различных технологий переработки имеют пока весьма небольшое практическое применение.

Разнообразный вещественный состав техногенно-минеральных образований предполагает широкий спектр их геологических исследований, в том числе и экспериментально-аналитического арсенала, применяемого различными отраслями геологии (технической минералогией и петрографией, геофизикой, геохимией и др.), включая минералого-петрографические, геофизические методы, гидрогеологические и инженерно-геологические исследования с применением современных аналитических и минералогических [15] методов. Комплекс исследований техногенных образований должен включать и необходимые геоэкологические исследования для определения характера и масштаба их воздействия на природную окружающую среду.

Геолого-промышленные типы техногенных месторождений

Наличие результатов многочисленных исследований техногенных месторождений, их вещественного состава и строения, а также определенной методической базы [2, 9, 16], включающей кадастровый учет объектов [17], обобщение опыта их изучения в последние годы позволяют с определенной долей вероятности перейти к выделению уже геолого-промышленных типов техногенных месторождений. Ранее в классификации техногенных месторождений [14] была обоснована их классификация на основе принципов формирования и проектирования разработки. В [9] промышленные типы техногенных месторождений выделены по способу образования: сухие отвалы, гидроотвалы, хвосто- и шламохранилища, комбинированные отвалы, т. е. рассмотрены преимущественно техногенные образования горнодобывающей промышленности, без учета гораздо большего количества техногенных месторождений, сформированных предприятиями других отраслей. Предложенное ранее [12] выделение промышленных типов техногенных месторождений черных, цветных и благородных металлов основано на их генетической классификации. Так, для предприятий медной отрасли цветной металлургии выделены следующие геолого-промышленные типы: 1) отвалы, связанные с добычей медных руд; 2) хвостохранилища обогатительного производства; 3) отвалы металлургического передела. Важнейшим геолого-промышленным типом, представляющим в настоящее время особый интерес, являются отвалы металлургических шлаков, расположенные в пределах таких крупных предприятий, как Среднеуральский медеплавильный завод и Карабашский медеплавильный комбинат. Содержание полезных компонентов в шлаках медной отрасли цветной металлургии показано в таблице.

Помимо указанных техногенных месторождений меди, возможны и второстепенные источники ее получения: пиритные огарки (содержание меди – 0,2–0,43 %) и даже грунты территорий промышленных предприятий, содержащие цветные металлы в виде металлических частиц, шлаков и в глинистых минералах и органике в сорбированном виде.

Выделение определенных геолого-промышленных типов для каждого вида техногенно-минерального сырья, их многообразие в вещественном составе и направлениях использования предопределяет необходимость их комплексной геолого-экономической оценки.

Методология исследований

Геологические исследования техногенных месторождений регламентируются в настоящее время методиками руководства по изучению и эколого-экономической оценке техногенных месторождений (утв. ГКЗ 25.02.1994), однако определенные особенности их вещественного состава предполагают определенные различия в оценке техногенных месторождений. Они базируются на использовании широкого арсенала методов, применяемых в различных отраслях геологии (технической минералогии и петрографии, геохимии, геофизике и др.), т. е. подобные исследования требуют многомерного комплексного подхода к изучаемому объекту, особенно при изучении вещественного состава техногенных образований и выявлении уровня экологического неблагополучия. Особенности исследований техногенных месторождений рационально подразделяются в пределах двух последовательных этапов. В рамках первого этапа исследований необходима кадастровая оценка объектов, определяющая выбор объектов для первоочередной оценки, в том числе необходимо учитывать и потребность в том или ином виде минерального сырья. Важнейшей задачей этого этапа является получение качественной и количественной оценки техногенных образований, что предопределяет значительные объемы опробования. Связано это с тем, что в поверхностных условиях под влиянием различных процессов

Содержание полезных компонентов в шлаках медной отрасли цветной металлургии Урала. The content of useful components in the slag of the copper industry of non-ferrous metallurgy of the Urals.

Предприятие, формирующее шлакоотвал	Содержание, мас. %		
	Cu	Zn	S
Среднеуральский медеплавильный завод	0,7–0,9	3–4	1,33
Кировградский медеплавильный комбинат	0,59	2,4	0,13
Карабашский медеплавильный комбинат	0,7–0,8	3–4	1,25
Медногорский медно-серный комбинат	0,27	0,80	1,10

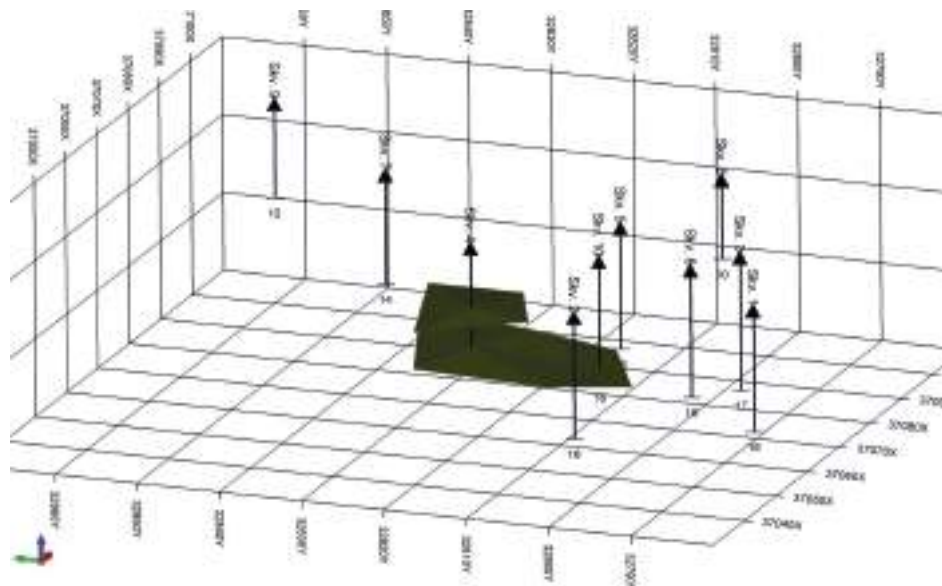


Рисунок 1. Геометризация небольшой залежи полезного компонента в отвале. 1 – пробуренные скважины и их глубина; 2 – залежь полезного компонента.

Figure 1. Geometrization of a small deposit of a useful component in a dump. 1 – drilled wells and their depth; 2 – reservoir of a useful component.

происходит перераспределение полезных компонентов с возможным формированием зоны окисления и обогащенных металлами участков. Ранее [15] для проведения аналитических исследований техногенных образований на этом этапе предложено широкое использование ядерно-физических методов: нейтронно-активационного, рентгеноспектрально-го, гамма-спектрометрического, которые в комплексе охватывают большой круг химических элементов.

Еще одной особенностью при оценке техногенных месторождений является необходимость оценки их влияния на загрязнение природной окружающей среды и прогноза последующего экологического состояния территории, которая также должна быть комплексной. При этом должны быть изучены в пределах прилегающих к объекту территорий почвы и поверхностные водотоки и загрязнение подземных вод. Для оценки запыленности территории возможно опробование снежного покрова. В целом для оценки экологического состояния техногенных месторождений необходимо использовать все имеющиеся материалы проводимых ранее геоэкологических исследований, в том числе, в первую очередь, данные экологического мониторинга.

Выбор комплекса разведочных работ определяется результатами предварительной оценки объекта, он может быть основан также на данных о содержании редких, редкоземельных, благородных металлов с учетом их распределения в пределах отвалов, хвостохранилищ и т. д. С другой стороны, полученные данные исследования вещественного состава могут определить и возможные технологии разработки и переработки техногенных образований. Необходимость более детального изучения выявленных при ревизионно-оценочных работах техногенных залежей определяется тем, что техногенные образования в процессе их складирования значительно перемешиваются и разрушаются, подвергаются в последующем процессам выветривания (окисления, выщелачивания) и миграции с возможным формированием отдельных обогащенных полезными компонентами участков. Особое внимание необходимо уделять старым отвалам, информация о формировании которых может быть неполной, а чаще отсутствует.

При оконтуривании отдельных залежей техногенно-минеральных объектов рационально применение 3D-компьютерных технологий. Пример оконтуривания отдельной залежи в отвале показан на рис. 1.

Подсчет запасов техногенного месторождения может осуществляться как с использованием традиционных методов, так и с применением технологий блочного моделирования. С применением последних обеспечивается возможность последующей корректировки данных, в том числе и результатов подсчета запасов.

Выводы

Техногенные минеральные месторождения образуют новый вид месторождений, что предполагает изучение особенностей проводимых в пределах подобных объектов геологоразведочных работ. В настоящее время определены главные геолого-промышленные типы техногенных месторождений, в рамках которых рассмотрены главные особенности их исследований. С учетом разнообразного состава слагающих их образований особое внимание необходимо уделять выбору аналитических исследований с широким использованием ядерно-физических методов, в том числе при проведении геоэкологических исследований. На стадии разведочных работ наряду с традиционными методами при оценке запасов рекомендуется применение компьютерных 3D-технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ожогина Е. Г., Котова О. Б., Якушина О. А. Горнопромышленные отходы: минералогические особенности // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 6. С. 43–49.
2. Селезнев С. Г., Степанов Н. А. Отвалы Аллареченского сульфидного медно-никелевого месторождения как новый геолого-промышленный тип техногенных месторождений // Изв. вузов. Горный журнал. 2011. № 5. С. 32–40.
3. Якушина О. А., Ожогина Е. Г., Хозяинов М. С. Микротомография техногенного минерального сырья // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2015. № 3. С. 38–43. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2015-11-38-43>

4. Ахманов Г. Г., Васильев Н. Г. К методике изучения и оценки техногенных месторождений // Отечественная геология. 1996. № 10. С. 3–7.
5. Быховский Л. З., Спорыкина Л. В. Техногенные отходы как резерв восполнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2011. № 4. С. 15–20.
6. Секисов Г. В., Зыков Н. В. Освоение минеральных объектов и методология оценки. М.: Горная книга. 2012. 43 с.
7. Шелагуров В. В. Техногенные месторождения, методы их изучения и оценки // Отечественная геология. 1996. № 2. С. 34–42.
8. Туманова Е. С., Цыбизов А. Н., Блоха Н. Г. и др. Техногенные ресурсы минерального строительного сырья. М.: Недра, 1991. 288 с.
9. Туманова Е. С., Туманов Р. Р. Минеральное сырье. Сырье техногенное: справочник. М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1998. 44 с.
10. Kazragis A. High-temperature decontamination and utilization of phosphogypsum // Journal of Environmental Engineering and Landscape Management. 2004. Vol. 12, № 4. P. 138–145.
11. Winkel P. Recycling-eine Chance für die Zukunft // Galvanotechnik. 2004. Vol. 95, № 10. P. 2539–2547.
12. Макаров А. Б., Талалай А. Г., Хасанова Г. Г. Геолого-промышленные типы техногенных месторождений // Вестник ИГ Коми НЦ УрО РАН. 2018. № 8. С. 80–85. <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-8-39-45>
13. Макаров А. Б., Хасанова Г. Г. Типизация техногенных месторождений (на примере Уральского региона) // Современные концепции развития науки: сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. 2017. С. 20–24.
14. Трубецкой К. Н., Уманец В. Н., Никитин М. Б. Классификация техногенных месторождений и основные факторы их комплексного использования // Комплексное использование минерального сырья. 1987. № 12 (114). С. 18–23.
15. Талалай А. Г., Макаров А. Б., Зобнин Б. Б. Техногенные месторождения Урала, методы их исследования и перспективы переработки // Изв. вузов. Горный журнал. 1997. № 11/12. С. 20–36.
16. Рассказов И. Ю., Грехнев Н. И., Александрова Т. Н. Техногенные месторождения в отвалах горно-обогатительных комбинатов Дальневосточного региона // Тихоокеанская геология. 2014. Т. 33. С. 102–114.
17. Хасанова Г. Г. Методические принципы кадастровой оценки техногенно-минеральных образований Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Екатеринбург, 2003. 17 с.

Статья принята в редакцию 28 июня 2019 г.

Technogenic deposits: research features

Anatoliy Borisovich MAKAROV*,
Gul'nara Gabdulbarievna KHASANOVA**,
Aleksandr Grigor'evich TALALAY***

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russia

Relevance of the work. Technogenic deposits formed in recent decades form a new type of deposits and are currently acquiring special significance, however, methodological generalizations of their geological studies are still being carried out in a minor way. Based on previously performed studies, it seems very relevant to generalize the methods used during geological exploration within technogenic deposits.

Purpose. Examination of the features of geological studies of technogenic deposits carried out in recent years; determination of the most important methods for studying their geological structure and material composition of technogenic mineral raw materials.

Research methodology. The paper analyzes the results of previously performed geological studies of technogenic deposits, their classifications, geological and industrial types to determine the main features of the methodology for their study.

Results of the work. The main geological and industrial types of technogenic deposits, methodological approaches to their study and evaluation are considered. The example of the study of individual groups and classes of technogenic deposits shows a set of methods used for geological research of these objects.

Conclusions. The main features of geological examination of technogenic deposits of various geological and industrial types are determined. It is shown that geological research should be comprehensive; the most important area is geoecological research. Given the diverse composition of their constituent entities, special attention should be paid to the choice of analytical studies with the widespread use of nuclear-physical methods, including when conducting geoecological studies. At the stage of exploration, along with traditional methods, the use of computer 3D technologies is recommended when assessing reserves.

Keywords: technogenic deposits, geological and industrial types, integrated assessment, geoecological studies.

REFERENCES

- Ozhogina E. G., Kotova O. B., Yakushina O. A. 2018, Mining waste: mineralogical peculiarities. *Vestnik IG Komi NTS UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Geology of Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS], no. 6, pp. 43–49. (In Russ.)
- Seleznev S. G., Stepanov N. A. 2011, Dumps of the Allarechensky sulfide copper-nickel deposit as a new geological-industrial type of technogenic deposits. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 5, pp. 32–40. (In Russ.)
- Yakushina O. A., Ozhogina E. G., Khozyainov M. S. 2015, Microtomography of technogenic mineral raw materials. *Vestnik IG Komi NTS UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Geology of Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS], no. 3, pp. 38–43. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2015-11-38-43>
- Akhmanov G. G., Vasiliev N. G. 1996, On the methodology for the study and evaluation of technogenic deposits. *Otechestvennaya geologiya* [Russian geology], no. 10, pp 3–7. (In Russ.)
- Bykhovskiy L. Z., Sporykina L. V. 2011, Technogenic waste as a reserve for replenishing the mineral resource base: state and problems of development. *Mineral'nyye resursy Rossii. Ekonomika i upravleniye* [Mineral resources of Russia. Economics and Management], no. 4, pp. 15–20. (In Russ.)
- Sekisov G. V., Zykov N. V. 2012, *Osvoyeniye mineral'nykh ob'yektov i metodologiya otsenki* [Development of mineral objects and evaluation methodology]. Moscow, 43 p.
- Shelagurov V. V. 1996, Technogenic deposits, methods for their study and evaluation. *Otechestvennaya geologiya* [Russian geology], no. 2, pp. 34–42. (In Russ.)
- Tumanova Ye. S., Tsybizov A. N., Blokha N. G. et al. 1991, *Tekhnogennyye resursy mineral'nogo stroitel'nogo syr'ya* [Technogenic resources of mineral building materials]. Moscow, 288 p.
- Tumanova Ye. S., Tumanov R. R. 1998, *Mineral'noye syr'ye. Syr'ye tekhnogennoye* [Mineral raw materials. Technogenic raw materials]: reference book. Moscow, 44 p.
- Kazragis A. 2004, High-temperature decontamination and utilization of phosphogypsum. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, vol. 12, no. 4, pp. 138–145.
- Winkel P. 2004, Recycling-eine Chance für die Zukunft. *Galwanotechnik*, vol. 95, no. 10, pp. 2539–2547.
- Makarov A. B., Talalay A. G., Khasanova G. G. 2018, Geological and industrial types of technogenic deposits. *Vestnik IG Komi NTS UrO RAN* [Bulletin of the Institute of Geology of Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS], no. 8, pp. 80–85. (In Russ.) <https://doi.org/10.19110/2221-1381-2018-8-39-45>
- Makarov A. B., Khasanova G. G. 2017, *Tipizatsiya tekhnogennykh mestorozhdeniy (na primere Ural'skogo regiona)* [Typification of technogenic deposits (using the Ural region as an example)]. Modern concepts of the development of science. Collection of articles of the International scientific and practical conference, pp. 20–24.
- Trubetskoy K. N., Umanets V. N., Nikitin M. B. 1987, Classification of technogenic deposits and the main factors of their complex use. *Kompleksnoe Ispol'zovanie Mineral'nogo Syr'ya* [Integrated use of minerals], no. 12 (114), pp. 18–23. (In Russ.)
- Talalay A. G., Makarov A. B., Zobnin B. B. 1997, Technogenic deposits of the Urals, methods for their research and prospects for processing. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal* [News of the Higher Institutions. Mining Journal], no. 11/12, pp. 20–36. (In Russ.)
- Rasskazov I. Yu., Grekhnev N.I., Aleksandrova T. N. 2014, Technogenic deposits in the dumps of mining and processing plants of the Far Eastern region. *Tikhookeanskaya Geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], vol. 33, pp. 102–114. (In Russ.)
- Khasanova G. G. 2003, *Metodicheskiye printsipy kadaastrovoy otsenki tekhnogenno-mineral'nykh obrazovaniy Srednego Urala* [Methodological principles of cadastral evaluation of technogenic and mineral formations of the Middle Urals], PhD thesis. Ekaterinburg, 17 p.

The article was received on June 28, 2019

* fgg.gpr@m.ursmu.ru

https://orcid.org/0000-0003-4843-3422

** fgg.gpr@m.ursmu.ru

*** talalay@ursmu.ru