

«GORNVI ZHURNAL», 2017, № 11, pp. 101–105
DOI: 10.17580/gzh.2017.11.19

Scientific and technical aspects of control over seismic effect of blasting and prediction of dynamic events in rockburst-hazardous mining

Information about authors

S. D. Viktorov¹, Deputy Director of Scientific Work, Professor, Doctor of Engineering Sciences

V. M. Zakalinsky¹, Leading Researcher, Doctor of Engineering Sciences

A. A. Osokin¹, Senior Researcher, Candidate of Engineering Sciences, osokin_alex-r@mail.ru

¹ Academician Melnikov Institute of Integrated Mineral Development – IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

Based on the theoretical and experimental research, the authors solve the problem connected with the aggravating effect exerted by blasting in an open pit mine on an underground mine under the pit bottom in hybrid mining operations when carried out in the same vertical plane. The problem solution is the borehole charge design having a decreased seismic effect.

The situation becomes much complicated when mining is performed under conditions of blasting-induced rockburst hazard. In this case, it is of the top priority to detect beforehand and register the initial stage of hazardous events. The article proves experimentally the usability of the rockburst hazard indicator represented by the increase in the number of submicron particles in rocks with the growth of the dynamic loading.

The studies have been supported by the Russian Science Foundation, Project No. 16-17-00066.

Keywords: rocks, explosive destruction, seismic effect of blasting, explosion control, rock burst, mining safety, emission of submicron particles.

References

1. Trubetskiy K. N., Zakharov V. N., Viktorov S. D., Zharikov I. F., Zakalinsky V. M. The explosive destruction of rocks mass in the development of mineral resources. *Problemy nedropolzovaniya*. 2014. No. 3. pp. 80–95.

- Viktorov S. D., Zakharov V. N., Zakalinsky V. M. Reduction in seismic impact of large-scale blasting in open pit mines on the stability of rocks and underground structures in hybrid coal mining. *Gornyi Zhurnal*. 2016. No. 12. pp. 59–64. DOI: 10.17580/gzh.2016.12.13
- Viktorov S. D., Zakalinsky V. M., Osokin A. A. Efficient blast preparation during the mastering of layer deposits. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2015. Vol. 85, No. 2. pp. 138–145.
- Glazova E. G., Kochetkov A. V., Turygina I. A. Numerical simulation of the spatial interaction of a shock wave with a permeable barrier. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta*. 2014. No. 1(1). pp. 180–185.
- Roger Peyret, Thomas D. Taylor. *Computational Methods for Fluid Flow*. Translated from English. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986. 351 p.
- Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs. *Eurasian Mining*. 2014. No. 1. pp. 54–62.
- Zheng Bingxu, Li Zhanjun, Liu Yi. Theory and Practice of the Fragmentation Control of Rock Blasting. *7th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2011. pp. 188–194.
- Singh P. K., Roy M. P., Amalendu Sinha. Controlled Blasting for Safe and Efficient Mining Operations at Rampura Agucha Mine in India. *8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2014. pp. 137–151.
- Haibao Yi, Haitao Yang, Li Ming, Han Bin, Zheng Lujing. Study on Open-Pit Precision Control Blasting of Easily Weathered Rock and its Application. *8th International Conference on Physical Problems of Rock Destruction*. China, 2014. pp. 157–160.
- Duan Y., Xiong D., Yao L., Wang F., Xu G. Advanced Technology for Setting Out of Blastholes and Measurements while Drilling. *11th International Symposium on Rock Fragmentation by Blasting*. Sydney, 2015. pp. 593–598.
- Chan Kuang Hieu. Experimental research and estimate of influence of borehole charge design on seismic intensity of large-scale blasting in open-pit coal mines in Vietnam. *Gornyi Zhurnal*. 2014. No. 9. pp. 118–120.
- Eremenko V. A. Natural and technogenic factors of rock bumps during the mining of iron ore deposits of the Eastern Siberia. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2012. No. 11. pp. 50–59.
- Eremenko A. A., Bespalko A. A., Eremenko V. A., Yavorovich L. V. Diagnostics of geophysical messengers of geodynamic phenomena and development of geotechnology of iron ore deposits mining. Novosibirsk: Nauka, 2016. 296 p.

УДК 549:574:622

РОЛЬ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РЕШЕНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ГОРНОПРОМЫШЛЕННЫХ РАЙОНОВ



Е. Г. ОЖОГИНА,
главный научный
сотрудник,
д-р геол.-минер. наук



И. В. ШАДРИНОВА,
заведующая отделом,
проф., д-р техн. наук



Т. В. ЧЕКУШИНА,
ведущий научный
сотрудник, доцент,
канд. техн. наук,
council-ras@bk.ru

Прослежено воздействие отходов горно-обогатительного производства на окружающую среду. В результате минералогических исследований выявлена возможность переработки такого рода техногенного сырья для извлечения из него полезных компонентов и сокращения тем самым площадей, занимаемых отходами.

Ключевые слова: минеральное сырье, экологические проблемы, геоэкология, минералогические исследования, отходы, загрязнение, техногенная нагрузка, технология переработки сырья, анализ, прогнозирование.

DOI: 10.17580/gzh.2017.11.20

Институт проблем комплексного освоения недр
им. академика Н. В. Мельникова РАН, Москва, Россия

Введение

Минеральное сырье — главный катализатор экономики любой страны. Сегодня 70–75 % мирового баланса используемого промышленного сырья — это минеральное сырье.

Добыча полезных ископаемых в мире каждые 10–15 лет удваивается, при такой интенсивности происходит значительное сокращение количества запасов в крупных горнорудных районах, ухудшение горно-геологических условий отработки месторождений, а также снижение качества руд. Сегодня минерально-сырьевая база России представлена сложными по составу и строению рудами, часто залегающими в непростых горно-геологических и ландшафтно-климатических условиях. В ближайшей

перспективе в переработку будет вовлекаться низкокачественное комплексное сырье с низкими содержаниями полезных минералов, нередко представленных тонкодисперсными фазами.

Следует также отметить, что Россия имеет довольно мощную развитую минерально-сырьевую базу, высокий суммарный уровень вовлечения запасов полезных ископаемых в промышленную отработку в условиях постоянного ужесточения требований к охране окружающей среды. В связи с этим решение задачи максимально полной утилизации отходов добычи и переработки минеральных ресурсов приобретает все большую актуальность [1–3].

Из недр земли в год извлекается 2–2,5 м³ горнорудной массы в расчете на душу населения. Большая часть из этой массы в виде отходов складирована на дневной поверхности. В России ежегодное образование горнопромышленных отходов составляет почти 2 млрд т. Всего на территории России в отвалах и хранилищах, полигонах и шламонакопителях общей площадью 300 тыс. га накоплено свыше 80 млрд т горнопромышленных отходов [1]. В стоимостном выражении эти отходы оцениваются в миллиарды долларов США. Со временем такие отвалы и склады, рассматриваемые как техногенные минеральные объекты, признаются техногенными месторождениями, и их вовлечение в отработку становится экономически выгодным [4]. При этом из них извлекаются полезные компоненты, сокращается площадь, занимаемая отходами, улучшается экологическая обстановка в горнопромышленных регионах.

Общая характеристика техногенных минеральных объектов

В связи с ухудшением качества добываемых полезных ископаемых сегодня на многие горно-перерабатывающие производства поступает минеральное сырье с более низкими содержаниями ценных компонентов по сравнению с их концентрациями в накопленных отходах добычи и переработки. Таким образом, в ряде случаев геогенное минеральное сырье по своей ценности начинает уступать техногенному. Кроме того, состав техногенных

объектов зачастую позволяет использовать его в промышленности (например, в стройиндустрии) даже без вторичной переработки (рис. 1).

В настоящее время техногенное минеральное сырье подразделяют на две группы. В первую включают сырье, сходное по вещественному составу и свойствам с природным минеральным сырьем. Оно представлено вскрышными и вмещающими породами, а также отходами сухой переработки и сухого обогащения полезных ископаемых. Это техногенное сырье используется практически в тех же направлениях, что и природное. Качественную оценку его ведут по методикам, разработанным для природного минерального сырья. Во вторую группу отнесено техногенное минеральное сырье, существенно отличающееся по вещественному составу и физико-механическим свойствам от природного минерального сырья и представленное горной массой горелых терриконов, отходами мокрых способов обогащения, металлургическими шлаками, шламами химических заводов или золошлаковыми отходами тепловых электростанций.

Техногенные минеральные объекты (ТМО) характеризуются различными количественными и качественными параметрами, условиями и временем образования, экологическим влиянием на окружающую среду и экономической эффективностью промышленного освоения [2, 4]. ТМО могут представлять практический интерес для промышленного освоения в настоящее время или в будущем при внедрении новых, более прогрессивных технологий комплексной переработки техногенного минерального сырья с наиболее полной его утилизацией и минимальным негативным воздействием на окружающую среду.

Геолого-экономическую оценку ТМО рекомендуется проводить на единой методологической основе как в отношении и природных месторождений полезных ископаемых. В общем случае содержание геологоразведочных работ на ТМО и на природных объектах аналогично, но при этом необходимо учитывать специфику формирования и особенности состава и строения ТМО [3].

Техногенное сырье, всегда отличающееся от природных полезных ископаемых минералогическими характеристиками (гранулярным составом, нередко высокой дисперсностью, сложным взаимоотношением минеральных или техногенных фаз, в том числе наличием эвтектических колоний или структур распада твердых растворов, присутствием одного или нескольких полезных минералов в незначительном количестве, полиминеральных агрегатов, минералов изоморфных рядов и политипных модификаций, вторичных минералов, образовавшихся в зоне гипергенеза), является сложным объектом для переработки и всегда требует всестороннего изучения вещественного состава, необходимого для определения стратегии и тактики его вторичного использования, включая полное.



Рис. 1. Сопоставление геогенного и техногенного минерального сырья на примере объектов Урупского ГОКа

Различные виды техногенного сырья (вмещающие и вскрышные породы, шлаки, золошлаки, шламы, хвосты обогащения, породные отвалы и пр.) требуют индивидуального и системного подхода к его технологической и экологической оценке (рис. 2).

К современной технологической оценке техногенного сырья предъявляется ряд серьезных требований [1, 5–7]: направленность на ресурсосбережение и повышение глубины переработки; системный и комплексный подход; использование инновационных технических и технологических решений; полнота и достоверность; исключение субъективного фактора; экологичность используемых и рекомендуемых методов; обоснованность выводов и рекомендаций.

Минералогические исследования – эффективный инструмент для выработки рекомендаций по решению экологических проблем

Добыча и переработка бедного минерального сырья из природных месторождений привели к накоплению в горнопромышленных районах значительного количества техногенных отходов. Экосистемы этих районов подвергаются негативным воздействиям отходов (пылевым, механическим, химическим); происходит отчуждение и изъятие земель, нарушение природного ландшафта и пр. Это приводит к обострению экологической ситуации в регионах и возникновению экологических проблем, требующих неотложных решений. Одним из них является вовлечение отходов во вторичную переработку различной направленности с высвобождением занимаемых ими площадей.

Эффективность промышленного освоения низкокачественного техногенного сырья определяется технологиями его переработки, базирующимися на информации о реальном вещественном составе отходов. В связи с этим в последние годы резко возросла роль технологической минералогии – научного направления прикладной минералогии, возникшего на стыке минералогии и технологии переработки минерального сырья и изучающего зависимость технических и технологических свойств сырья от его состава и структуры, поведение минералов в технологических процессах и проводящего изыскания по направленному изменению свойств минералов с целью их разделения и обогащения.

Минералогические исследования являются основополагающими как при технологической оценке сырья, так и при

выявлении форм нахождения опасных веществ в окружающей среде. Однако подход к минералогическому обеспечению технологических и экологических работ, целесообразность и последовательность применения методов минералогического анализа обычно различаются. В технологической минералогии сегодня востребованы количественные минералогические методы [6–9].

Для решения экологических проблем нередко используются исключительно качественные прецизионные методы минералогического анализа, что связано с тем, что вредные или экологически опасные минералы присутствуют в депонирующих средах в весьма незначительных количествах и имеют ничтожно малые размеры.

Минералогический анализ сегодня – это комплекс методов изучения горных пород, руд, техногенного сырья и продуктов их переработки, направленный на получение надежной информации об их минеральном составе и морфоструктурных характеристиках, реальном составе, строении, технологических свойствах слагающих их минералов. Минералогическому анализу техногенного сырья всегда предшествует ознакомление с геологической или геолого-технологической информацией по объекту.



Рис. 2. Фотографии образцов техногенных отходов:

а – лежалые хвосты обогащения железных и колчеданных руд; б – золошлаки; в – никелевые шлаки; г – пиритовые огарки

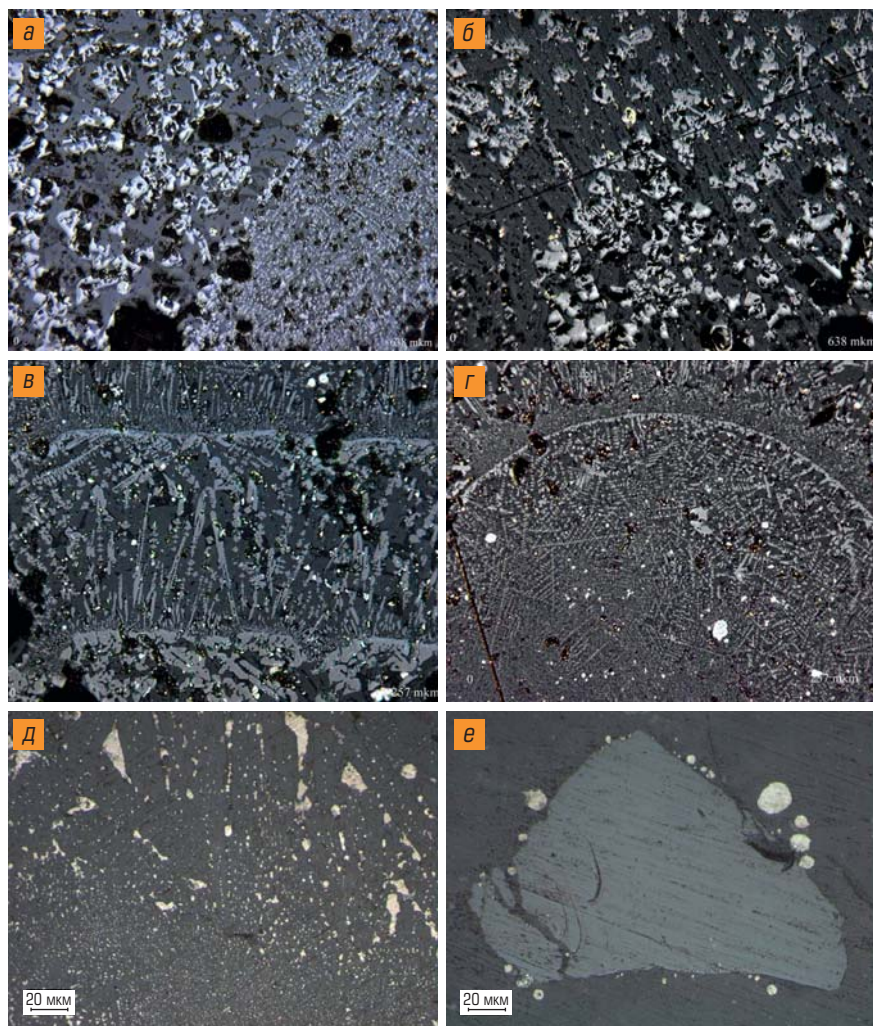


Рис. 3. Микрофотографии металлургических шлаков:

а, б, в, г – медьсодержащий шлак (светло-желтое – халькопирит);
д, е – никельсодержащий шлак (серое – хромшпинелид, светло-серое – пентландит). Отраженный свет. Никели параллельны

совмещенных с современными системами анализа изображений, определять текстурно-структурные особенности или элементы строения анализируемого материала, его минеральный состав или соотношение фаз, отличающихся отражением или пропусканием (рис. 3, 4).

Как показал опыт, традиционные оптические методы в большинстве случаев не обеспечивают необходимой полноты определений минерального (фазового) состава и строения, в первую очередь отходов переработки полезных ископаемых.

Следует отметить, что методы оптической микроскопии не всегда приемлемы для решения экологических проблем, связанных с выявлением и идентификацией форм нахождения металлов. Поэтому при определении минерального (фазового) состава тонкодисперсного сырья, а также продуктов его переработки широко используется рентгенографический анализ, являющийся ведущим количественным минералогическим методом и незаменимым при определении содержания минеральных и техногенных фаз в шламовом материале, продуктах металлургического передела и пр.

Присутствие тонкодисперсных минеральных систем, широко развитых в современных скоплениях техногенного происхождения, а следовательно, фаз микро-нанометровой размерности способствовало широкому привлечению методов аналитической электронной микроскопии для решения задач, связанных не только с идентификацией фаз, присутствующих в весьма незначительном количестве или отличающихся высокой дисперсностью, но и с определением особенностей их реального строения (кавернозности, блочности, зональности, трещиноватости и т. д.) (рис. 5, 6).

В зарубежной практике лабораторных работ широко применяется электронно-зондовый анализ (рентгеноспектральный микроанализ), которым нередко подменяют другие виды минерало-

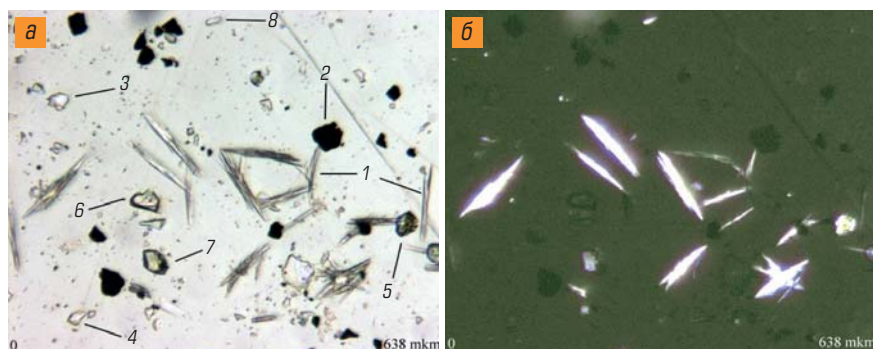


Рис. 4. Микрофотографии пыли в проходящем свете (а), в скрещенных николях (б):

1 – асбест; 2 – сажа; 3 – обломки стекла; 4 – кварц; 5 – циркон; 6 – гранат;
7 – эпидот; 8 – полевои шпат

Непосредственно лабораторные исследования начинаются с визуального просмотра материала (штуфов; зерна; дробленого шламового материала; проб, отобранных из депонирующих сред – донные осадки, почвы, пыль, снег, отходы добычи и пр.).

Дальнейшие исследования в зависимости от объекта анализа проводятся методами световой микроскопии, позволяющими с помощью стереоскопических и поляризационных микроскопов,

гических работ [6, 9, 10]. При решении технологических и конкретных экологических задач метод позволяет определять форму нахождения полезных и вредных элементов, устанавливать распределение элементов по минералам (фазам), но диагностика фаз этим методом невозможна.

При переработке тонкодисперсного исходного сырья или тонкодисперсных продуктов значительный прикладной потенциал приобретают адсорбофизические и адсорбохимические процессы. Изучение гетерогенных явлений в системе минерал – среда позволило разработать новые технологии прогнозной оценки качества сырья, заключающиеся в интеграции минералогических методов анализа с развитием экспериментальных работ в области структурных, фазовых и химических трансформаций минералов при различных воздействиях на них в процессах рудоподготовки и обогащения полезных ископаемых.

Следует отметить, что методы прикладной минералогии позволяют определять физические (технологические) свойства минералов, в частности плотность, твердость (микротвердость по шкале Ауэрбаха), удельную магнитную восприимчивость, термоЭДС и пр., что нередко имеет важное значение для технологов.

Рациональный методический комплекс определяется индивидуально для конкретного вида минеральных объектов, стадий работ и решаемых задач. Минералоготехнологическая оценка отходов предусматривает получение максимально полной и всесторонней информации об их вещественном составе, позволяющей прогнозировать их поведение в технологических процессах и качество ожидаемых продуктов [8–11]. При анализе продуктов переработки техногенного сырья необходима информация об его минеральном составе и степени раскрытия минералов при глубоком обогащении. Минералогическое экологическое исследование практически всегда преследует цель выявления и диагностики вредных и опасных фаз, их морфоструктурных особенностей и характера локализации в изучаемом объекте. Говоря о комплексных минералогических исследованиях техногенных объектов,

следует подчеркнуть, что все они требуют специальной подготовки проб, обусловленной спецификой изучаемого объекта и методом исследования, в том числе разрешающей способностью приборов.

Минералогические исследования, всегда сопровождающие технологические испытания и экологическое изучение, непосредственно влияют на их эффективность [12]. Главным требованием к лабораторным минералогическим работам является получение полной, достоверной, метрологически оцененной и имеющей юридическую силу информации о составе и строении минеральных объектов природного и техногенного происхождения. Достоверность и сопоставимость результатов выполняемых анализов требует метрологического обеспечения всех видов минералогических исследований.

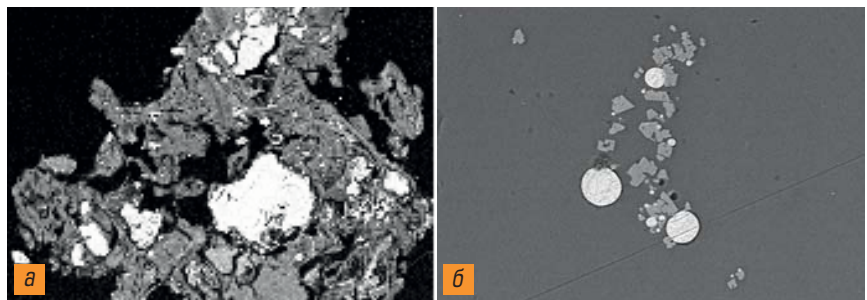


Рис. 5. Микрофотографии никельсодержащего шлака:
 а – полиминеральный железный агрегат (белое – треворит-магнезиоферрит);
 б – хромшпинелид (серое), пентландит (белое). РЭМ

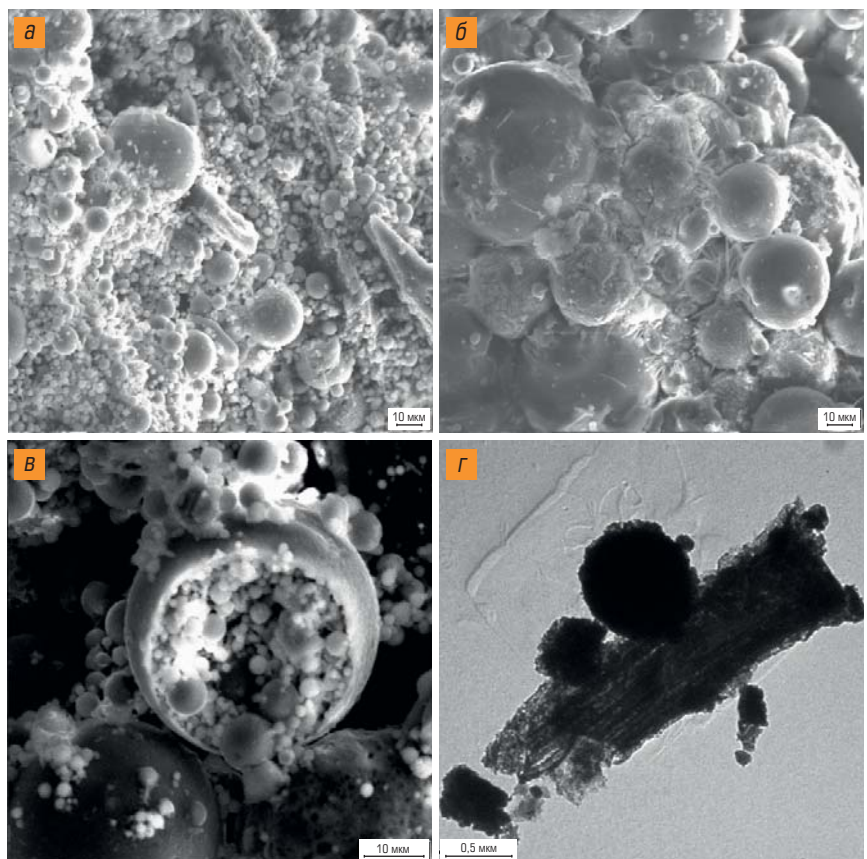


Рис. 6. Микрофотографии образцов из породных отвалов:
 а, б – породные отвалы («спек угля»), кремний-алюминиевая фаза. РЭМ;
 в, г – золотшлаки; в – кремний-алюминиевая фаза. РЭМ; г – кремниевая фаза. ПЭМ

ческих работ. Прежде всего, это дальнейшее развитие и стабильное функционирование системы управления качеством минералогических работ, которая включает стандарты, регламентирующие контроль качества измерений на всех этапах работ, порядок разработки, апробации и внедрения методик количественного минералогического анализа, создание средств метрологического контроля. Важное значение также имеют научно обоснованные методические документы, обеспечивающие единство и требуемую точность определений, достоверные результаты при минимуме материальных затрат [12]. При этом следует отметить, что на сегодняшний день практически не существует методических документов, регламентирующих проведение минералогических работ при экологической оценке минерально-сырьевых объектов, урбанизированных территорий, природных и техногенных экосистем.

Заключение

Современная прикладная минералогия, обладая мощным арсеналом приемов и методов исследований, в значительной степени влияет на эффективность использования минеральных ресурсов. В рамках технологической оценки техногенного сырья, представленного сегодня в большинстве своем сложными полиминеральными образованиями, минералогические исследования позволяют с большой долей достоверности определять основные качественные показатели полезных компонентов, прогнозировать их поведение в обогащительных процессах и последствия промышленной переработки. Решение экологических проблем в действующих горнопромышленных регионах всегда связано с выявлением, идентификацией форм нахождения экологически опас-

ных веществ, их распространением и локализацией в окружающей среде. В действительности эти вопросы тесно взаимосвязаны и являются сегодня весьма актуальными, так как способствуют выявлению минералогических, минералого-геохимических и минералого-экологических критериев техногенного воздействия на современные экосистемы. Глубина минералогических исследований определяется поставленными перед ними задачами, а достоверность результатов анализов – метрологическим обеспечением всех видов оценочных работ. Современный методический комплекс минералогических исследований позволяет решать задачи любой сложности от крупномасштабных, связанных с ликвидацией последствий добычи и переработки минерального сырья, вторичным использованием техногенного сырья, до частных – выявления источников загрязнения конкретных объектов и идентификации опасных минералов (фаз).

Рассмотрение прогнозных и прогнозно-оценочных технологических и экологических проблем в едином ключе позволит выявить поведение и особенности взаимодействия минералов природного и техногенного генезиса, их ассоциаций в природном круговороте веществ, механизм образования техногенных фаз, их свойства. Это, в свою очередь, позволит установить минералогические загрязняющие, санирующие и модифицирующие факторы, определяющие прогноз, контроль и управление экологическими процессами.

Библиографический список

См. англ. блок. 

«GORNYI ZHURNAL», 2017, № 11, pp. 105–110
DOI: 10.17580/gzh.2017.11.20

Mineralogical rationale for solving environmental problems of mining regions

Information about authors

E. G. Ozhogina¹, Chief Researcher, Professor, Doctor of Geologo-Mineralogical Sciences

I. V. Shadrunkova¹, Head of Department, Professor, Doctor of Engineering Sciences

T. V. Chekushina¹, Leading Researcher, Associate Professor, Candidate of Engineering Sciences, council-ras@bk.ru

¹ Institute of Integrated Mineral Development – IPKON, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract

The paper deals with a pressing issue of the environmental impact of mining due to increased accumulation of mineral mining and processing waste in dumps and tailings ponds. The waste storages occupy vast areas and damage the environment by dust and gas emission as well as water and soil pollution with toxic substances.

The cardinal solution to these problems is the recycling of waste with the recovery of useful components from them and with the production of building materials. The main purpose is to reduce the volume of waste storage and to clear a part of land occupied by waste.

The reasonable selection of the waste recycling methods and equipment needs complete and reliable information on structure and composition of waste bodies. Such data are provided by comprehensive mineralogical research of mineral mining and processing waste. The authors have developed a function chart of the integrated mineralogical analysis of mining and processing waste, which allows developing scientific basis for recommendations on handling environmental problems in mining regions.

Keywords: mineral raw materials, environmental problems, geoecology, mineralogy, wastes, pollution, technology-generated environmental impacts, processing technology, analysis, prediction.

References

1. Babich I. N., Getman S. V., Chistyakov D. A., Ashirbaeva E. A. Technological assessment of technogenic mineral raw materials as a factor of increase of soil use efficiency. Available at: [http://metalspace.ru/production-science/ecology/1582-tekhnologicheskaya-otsenka-tekhnogennogo-mineralnogo-](http://metalspace.ru/production-science/ecology/1582-tekhnologicheskaya-otsenka-tekhnogennogo-mineralnogo-syrya-kak-faktor-povysheniya-effektivnosti-ispolzovaniya-nedr.html)

2. Trubetskoy K. N., Vorobev A. E. Basis of resource-reproducing technologies of storing and saving of ill-conditioned mineral raw materials. *Gornyi Zhurnal*. 1995. No. 5. pp. 47–51.
3. Chanturiya V. A., Shadrunkova I. V., Gorlova O. E., Orekhova N. N. Formation of resource-saving technologies of processing of secondary metal-bearing raw materials on the basis of adaptation principles. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten*. 2017. Special issue 1. Proceedings of international scientific symposium «Miner's Week 2017». pp. 347–360.
4. Sekisov G. V., Taskaev A. A., Vorobev A. E. Technogenic mineral objects. *Izvestiya Akademii Kirgizskoy SSR. Seiya: Fiziko-tehnicheskie i matematicheskie nauki*. 1987. No. 2. pp. 72–75.
5. Maksimović M., Bugarin M., Stevanović Z., Marinković V. Technogenic deposit in the area of the old flotation tailing dump in bor (field 1 and field 2). *Mining and Metallurgy Engineering Bor*. 2014. No. 3. pp. 1–16. DOI:10.5937/MMEB1403001M. Available at: <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2334-8836/2014/2334-88361403001M.pdf> (accessed: 12.07.2017).
6. Perrett G. M., Maxwell J. A., Campbell J. L. Combined X-ray diffraction and alpha particle x-ray spectrometer analysis of geologic materials. *X-Ray Spectrometry*. 2017. Vol. 46, Iss. 3. pp. 171–179.
7. Ozhogina E. G., Rogozhin A. A. Requirements to mineralogical investigations during the assessment of the quality of mineral raw materials which are difficult for concentration. *Geology and mineral resources of Russian European North-East: materials of the XVI Geological Meeting of the Komi Republic*. Syktyvkar: Geoprint, 2014. Vol. 3. pp. 285–287.
8. Complex stable control of wastes. Mining industry: tutorial. Ed.: V. I. Petukhov. Moscow: ID Akademii Estestvoznaniya, 2016. 638 p.
9. Udouo O., Folorunso O., Dodds C., Kingman S., Ure A. Understanding the performance of a pilot vermiculite exfoliation system through process mineralogy. *Minerals Engineering*. 2015. Vol. 82. pp. 84–91.
10. Brough C. P., Warrender R., Bowell R. J., Barnes A., Parbhakar-Fox A. The process mineralogy of mine wastes. *Minerals Engineering*. 2013. Vol. 52. pp. 125–135.
11. Neradovskiy Yu. N., Voytekhovskiy Yu. L., Kasikov A. G., Grishin N. N., Likhacheva S. V. Prospective ways of technological mineralogy. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*. 2015. No. 12. pp. 355–359.
12. Ozhogin D. O., Ozhogina E. G. Future development of quantitative methods of analysis mineralogical. *Razvedka i okhrana nedr*. 2017. No. 4. pp. 33–36.