РАЗРАБОТКА ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 504.55.054:662

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-4-10>ПРОРЫВНЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ ДОБЫТЧИКОВ УРАНА
НА СЕВЕРЕ КАЗАХСТАНАГолик В.И.¹, Дмитрак Ю.В.¹, Разоренов Ю.И.²¹Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия²Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) имени М.И. Платова, Новочеркасск, Россия

Аннотация. Постановка задачи. Перспективы развития ядерной энергетики связаны с увеличением объемов добычи радиоактивных руд, поэтому исследования в этом направлении являются актуальными. **Цель исследования.** Систематизация достижений урановых предприятий для использования их в дальнейшем прогрессе добычи минерального сырья и других металлов. **Используемые методы.** Обобщение и критический анализ достижений предприятий мирового уровня с выделением их научной и практической значимости. **Новизна публикуемых сведений** заключается в том, что большинство из них и в настоящее время не стали достоянием широкой научной и инженерной общественности в силу ведомственных причин. **Результаты.** Сформулированы основные направления реализации технологических решений. Охарактеризована технология управления свойствами твердеющей смеси путем воздействия высокой энергией в дезинтеграторах. Приведены результаты опытно-промышленного подземного выщелачивания балансовых руд. Дана справка о крупных достижениях на рудниках структурных подразделений Целинного горно-химического комбината. Более детализированы сведения о технологии повышения вязкости способности добавок к цементу активацией в дезинтеграторе и развитии ее для выщелачивания металлов из некондиционного металлотесного сырья с извлечением металлов до 70% от содержания в исходных хвостах. Обозначена концепция природоохранной эксплуатации недр. Приведены сведения о транспортировании твердеющих смесей по вибропроводу на расстояние до 2000 м. **Практическая значимость.** Прорывное совершенствование производственных процессов добычи урана, осуществленное на предприятиях атомной энергетики, могут найти применение при добыче металлов. В первую очередь из вскрываемых руд. Увеличение объемов производства некондиционных запасов путем комбинирования традиционных технологий разработки с технологиями выщелачивания металлов резервом оздоровления экономики горных предприятий в условиях рыночной экономики.

Ключевые слова: радиоактивные руды, достижения мирового уровня, дезинтегратор, подземное выщелачивание балансовых руд, вибротранспортирование твердеющих смесей.

Введение

Разработка радиоактивных месторождений в СССР во второй половине прошлого века осуществлялась в России, Украине, Казахстане, Киргизии, Узбекистане, Таджикистане, Эстонии и в ряде зарубежных стран (рис. 1).

Добычей урана занимались структурные единицы Министерства среднего машиностроения, а затем Министерства атомной энергии и промышленности: Восточный ГОК (г. Желтые Воды, Украина), Прикаспийский ГОК (г. Шевченко, Казахстан), Приаргунский ГХК (г. Краснокаменск, Россия), Целинный ГХК (г. Степногорск, Казахстан), Навоийский ГХК (г. Навои, Узбекистан), Ленинобадский ГХК (г. Чкаловск, Узбекистан), Киргизский ГРК (п. Аксуек, Киргизия), Малышевское ру-

доуправление (п. Малышевка, Россия), Лермонтовское рудоуправление (г. Лермонтов, Россия) и др.

Освоение урановых месторождений обеспечивалось привлечением в отрасль ученых и специалистов и созданием ускоренными темпами инфраструктур, транспортных и энергетических систем на некомфортных территориях [4].

На предприятиях МАЭП СССР в Казахстане разработаны и промышленно освоены новейшие для своего уровня технологии мирового уровня.

Разработана техника новых поколений, например, техника новых поколений с электрогидро-фицированным приводом. Освоены природно-ресурсосберегающие технологии, например, с выщелачиванием металлов из руд. Для ускоренного ввода в эксплуатацию новых рудных полей скорость проходки горных выработок одним забоем доведена до 805,2 м в месяц.

© Голик В.И., Дмитрак Ю.В., Разоренов Ю.И., 2019

Рис. 1. Крупнейшие месторождения урана СССР и стран народной демократии

Рис. 2. Подразделения Целинного горно-химического комбината: 1–5 рудоправления

Целинный горно-химический комбинат с центром в г. Степногорск и структурными единицами в п. Шантобе, Аксу, Заозерный, Красногорск и Володарское разрабатывали месторождения руд весьма различающихся морфологических и вещественных типов в трех северных областях Казахстана (рис. 2).

Перспективы развития ядерной энергетики предполагают увеличения темпов добычи радиоактивного сырья при ухудшении условий разработки месторождений, поэтому исследования в этом направлении пользуются особой актуальностью [8, 10–11]. Казахстан занимает почетное третье место в мировой добыче урановых руд и наращивает производство этого энергетического сырья, поэтому обобщение и развитие достигнутого своевременно и заслуживает внимания.

Теория, материалы и методы исследования, технические и технологические разработки

Базой исследований наследия горняков-атомщиков являются труды Попова Г.Н., Нифонтова Б.И., Лобанова Д.П., Котенко Е.А., Симакова В.А., Куликова А.В., Петросова А.А., Слепцова М.Н., Мосинца В.Н., Иванова В.Г., Бубнова В.К. и др.

История развития технологий управления состоянием массива при подземной разработке месторождения связана с работами Ветрова С.В., Мясникова К.В., Руденко В.В., Рычик Ф.Ф., Котенко Е.А., Голика В.И., Култышева В.И., Бронникова Д.М., Замесова Н.Ф., Цыгалова М.Н., Хомякова В.И. и др.

По данным публикаций и опыта научно-практической деятельности авторов произведен краткий ретроспективный анализ истории развития горной подотрасли уранового производства и

критически обобщены наиболее крупные из достигнутых результатов. Из широкого круга функций горного предприятия выявлены, сопоставлены и проанализированы наиболее важные и перспективные направления развития отрасли, до сих пор сохраняющие свою новизну.

Результаты исследования и их обсуждение

В подразделениях комбината созданы и реализованы в промышленном масштабе новые технические и технологические решения, направленные на совершенствование конструкции технологической разработки, способов подготовки и нарезки блоков и интенсификацию горных работ.

Получение прибыли с минимизацией ущерба окружающей среде достигалось реализацией технологических решений, в том числе:

- оптимизация процесса управления состоянием массива разделением его на геомеханически сбалансированные участки с погашением экономичными способами;
- групповая подготовка блоков к очистной выемке наклонными съездами;
- выщелачивание металлов из забалансовых руд и отходов переделов;
- комбинирование традиционных и инновационных технологий разработки месторождений.

Основу совершенствования составляли комбинированные технологии, где приоритетную роль играли твердеющие смеси (рис. 3).

Оптимальная по коллективным показателям схема включала элементы: добыча богатых руд с закладкой пустот твердеющей смесью и переработкой руд на гидрометаллургическом заводе; добыча рядовых руд с закладкой твердеющей смесью и кучным выщелачиванием не земной поверхности; блоковое выщелачивание бедных балансовых и забалансовых руд на месте локализации [2, 7, 9].

Вовлечение в переработку забалансовых руд дало возможность комбинату экономически эффективно обрабатывать руды с уменьшающимся содержанием металлов.

В комбинате получила право на существование технология управления свойствами твердеющей смеси путем воздействия высокой энергии в дезинтеграторах, получившая дальнейшее развитие при выщелачивании металлов в активаторах уже на Юге России (рис. 4).

На месторождении Восток (рудоуправление 1) при отработке рудного тела в неустойчивых породах применили перекрытие из тросов и дерева, освоили буровые каретки СВ-1 П, погрузочно-доставочные машины ЛБ-1/1000 и МПДН-1А, электро- и гидрперфораторы и буровой молоток Осиповского. Впервые в мировой практике осу-

ществлено опытно-промышленное подземное выщелачивание балансовых руд с блоковым (70%) и сквозным извлечением (87%), что превысило показатели традиционного подземного способа.

На месторождении Маныйбай (рудоуправление 2) мощное штокерское рудное тело интенсивно отработывали одновременно открытым и подземным способом с закладкой пустот композитными смесями. В штателе месторождения 20 лет выщелачивали забалансовые уран-молибденовые руды и хвосты суспензионного обогащения. Осуществлено продолжающееся и в настоящее время скважинное выщелачивание руд месторождения Семизбай в условиях, где любая другая технология не может быть эффективной. Комбинат был единственным предприятием, где были освоены все способы выщелачивания металлов из урановых руд.

Сложно-структурное месторождение Заозерное (рудоуправление 3) разрабатывали с комбинированным управлением горным давлением путем деления на геомеханически обособленные участки.

Месторождение пологого падения Ишимское (рудоуправление 4) отработано с оставлением более 1 млн м³ пустот без закладки с обеспечением сохранности земной поверхности. Месторождения Шокпак и Камышовое отработывали с закладкой пустот твердеющими смесями и вибротранспортированием твердеющей смеси на 2 км. На месторождении Ишимское в породах с коэффициентом крепости 14 по Протодакинову за месяц одним забоем пройдено 805,2 м квершлага сечением 7,4 м².

На месторождении Косачинское (рудоуправление 5) массивное рудное тело отработывали одновременно карьером и подземным рудником с закладкой пустот твердеющими смесями на основе композитного вяжущего из активированного гранулированного шлака.

В ЦГХК в 1970-х годах освоены колонковые станки КБУ-50 и КБУ-80 и самоходные станки ПБУ-80, ПБУ-70, СБ-70 и комплексы КПВ и 2 КВ. На заводах комбината выпускали перфораторы, буровые станки и погрузочно-доставочные машины типа МПДН-1М, а затем электрогидрофицированную технику: перфораторы 2ГП, 3ГП и др.

На месторождении Шокпак впервые в мировой горной практике в технологической цепи закладочного комплекса использована технология повышения вяжущей способности добавок к цементу активацией в дезинтеграторе. В течение 10 лет дезинтеграторная установка ДУ-65 с двигателями мощностью 200–250 кВт и самофутерующимися

роторами обеспечивала выход активного класса до 55%, а в комбинации с вибромельницей – до 70%, что позволяло активированному шлаку конкурировать с цементом. Эффект приращения активности достигал 40% по сравнению с базовым [3].

Дезинтеграторная технология получила развитие в рамках направления комбинированного выщелачивания металлов из некондиционного металлосодержащего сырья в ходе экспериментального извлечения на полиметаллических рудах Садона, углях Донбасса и железистых кварцитах КМА. Она обеспечила извлечение металлов до 70% от содержания в исходных хвостах с близким к фоновому значению остаточным содержанием. Особенность технологии заключается в том, что

реагент подается в рабочий орган дезинтегратора, поэтому извлечение металлов в раствор происходит одновременно с разрушением кристаллов в результате запрессовывания реагента в образующиеся от деформации частиц трещины.

Установившейся тенденцией мирового горного производства является ухудшение условий разработки месторождений полезных ископаемых с усилением негативного влияния на окружающую среду. С ней не согласуется, например, потери в виде целиков более 60% запасов или сброс в технологические пустоты хвостов обогащения без извлечения из них попутных полезных компонентов, суммарная стоимость которых сопоставима с извлекаемой стоимостью основного компонента.

Рис. 3. Схема комбинирования технологий разработки месторождений

Рис. 4. Функции дезинтеграторов: 1 – повышение активности компонентов твердеющих смесей; 2 – извлечение металлов и повышение активности компонентов

При неоспоримых достоинствах технология с закладкой твердеющими смесями не уменьшает объемов выдаваемого на поверхность сырья и количество опасных отходов переработки.

И только технология с выщелачиванием металлов решает проблему безотходности радикально, позволяя извлечь все металлы и превратить вторичные хвосты переработки в доступное без санитарных ограничений сырье [5–6].

Нарастание объемов горного производства обусловлено увеличивающимися потребностями в количестве и номенклатуре полезных ископаемых, инструментом управления которыми является соблюдение нормативных требований к сохранности окружающей среды.

Оценивать перспективы совместного развития горного дела и сохранности окружающей среды следует, исходя из дальнейшего ухудшения условий добычи, увеличения объемов добычи минерального сырья и ужесточения требований к сохранности окружающей среды.

Горными работами ежегодно нарушается около 150 тыс. гектаров земель, из которых около 40% – сельскохозяйственные угодья. При добыче 1 т цветных металлов образуется до 10 тыс. т отходов, а при переработке – до 100 тыс. т.

Повышение темпов и качества добычи металлов со снижением опасности для окружающей среды может быть обеспечено путем комбинирования прогрессивных технологических решений, в том числе добыча богатых руд с закладкой пустот твердеющими смесями; подземное выщелачивание бедных руд; кучное выщелачивание выданных на поверхность бедных руд; выщелачивание хвостов переработки в активаторах типа дезинтегратор.

Выщелачивание хвостов переработки в активаторах позволяет извлечь до 50–70 % теремых ранее металлов с получением побочных товаров, в том числе строительное сырье, обессоленная вода, хлор, водород, кислород, кислоты и щелочи, реализация которых удешевляет основное производство.

Концепция природоохранной эксплуатации недр включает в себя направления:

- снижение разубоживания руд при закладке

пустот твердеющими смесями;

- перевод неактивных запасов в активные при выщелачивании бедных руд;
- комплексирование способов переработки руд.

Перспективы закладочных технологий связаны с использованием хвостов обогащения и хвостов подземного выщелачивания [1]. Переработанные хвосты обогащения становятся сырьем для изготовления твердеющих смесей, а выщелоченные руды природными вязкими веществами скрепляются в массив, прочность которого достаточна в большинстве случаев (0,5–1,0 МПа).

В то время как добыча сырья для приготовления смесей осложняет экологическую ситуацию в регионе, в хранилищах находятся отходы, которые не могут использоваться только из-за наличия в них металлов. Поэтому развивается направление извлечения металлов из хвостов горного производства путем комбинирования процессов механической активации и химического выщелачивания.

Обработка в дезинтеграторе повышает активность веществ на величину до 40% и показатели извлечения металлов из хвостов обогащения в 1,2–1,4 раза на 2 порядка времени быстрее.

Параметры транспортирования смесей улучшали путем воздействия на трубопровод. Использовали закономерность возникновения сопротивления транспортированию в трубопроводе при приложении сил динамического трения. При полном заполнении трубы значительной длины сопротивление транспортированию в трубе превышает вес смеси и дискредитирует сам процесс. При сообщении же трубопроводу вибраций сопротивление существенно уменьшается, что увеличивает влияние напорного потока. Активность твердеющих смесей может быть увеличена до 20% в процессе их транспортирования по трубопроводу (рис. 5).

Практика месторождения Шокпак свидетельствует о возможности доставки смесей по трубопроводу на расстояние до 2000 м с повышением их активности примерно на 20%.

Результаты горняков Казахстана в наше время могут найти развитие в других странах.

Рис. 5. Схема вибротранспорта твердеющих смесей от закладочного комплекса месторождения Шокпак к месторождению Камышовое: 1 – закладочный комплекс; 2 – вертикальная часть трубопровода; 3 – закладочная камера блока; B1–B9 – вибровозбудители

Закключение

Разработка и внедрение рациональных технологий добычи урана основываются на прорывном совершенствовании производственных процессов. Эффективность инновационных технологий обеспечивается обоснованностью как физико-химических процессов, так и процессов подготовки руд к переработке.

Вовлечение в производство некондиционных запасов путем комбинирования традиционных технологий разработки с технологиями выщелачивания металлов является резервом оздоровления экономики горных предприятий, особенно при конверсии производства в условиях рыночной экономики.

Список литературы

1. Белоусов А.С. Оптимизация закладочных работ на урановых рудниках ПАО «ППГХО» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2015. №7.
2. Голик В.И. Концептуальные подходы к созданию мало- и безотходного горнорудного производства на основе комбинирования физико-технических и физико-химических геотехнологий // Горный журнал. 2013. № 5. С. 93–97.
3. Голик В.И., Комащенко В.И., Жабин А.Б. Активация отходов горного производства при выщелачивании металлов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2016. № 3. С. 3–13.
4. Дмитрак Ю.В., Камнев Е.Н. АО «Ведущий проектно-исследовательский и научно-исследовательский институт промышленной технологии» – путь длиной в 65 лет // Горный журнал. 2016. № 3. С. 6–12.
5. Исследование твердой фазы отходов обогащения урановых руд / Карамушка В.П., Камнев Е.Н., Тедеев М.Н., Касаткин В.В., Кузин Р.Е. // Горный журнал. 2012. №8.
6. Подземные геотехнологии подземной разработки рудных месторождений / Лизункин В.М., Лизункин М.В., Беидина В.И. и др. // ГИАБ. 2014. №1.
7. Технико-экономическая оценка эффективности блочного подземного выщелачивания урана из бедных руд Стрельцовского рудного поля / Морозов А.А., Смагин А.П., Безносос Г.Ф., Юртаев А.Н. // Горный журнал. 2013. №8–2.
8. Святецкий В.С., Литвиненко В.Г., Морозов А.А. О возможности и условиях применения блочного подземного выщелачивания урановых руд Стрельцовского месторождения // Горный журнал. 2012. №10.
9. Святецкий В.С. Исследования возможности пастовой закладки камер на основе хвостов переработки урановых руд ПАО «ППГХО» // ГИАБ. 2015. №10.
10. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. 2016. Vol. 37. No. 2. P. 73–119.
11. Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.

Поступила 28.01.19

Принята в печать 27.02.19

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

<https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-4-10>

URANIUM MINING BREAKTHROUGHS IN NORTHERN KAZAKHSTAN

Vladimir I. Golik – DSc (Eng.), Professor

Department of Mining, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia. E-mail: v.i.golik@mail.ru

Yuriy V. Dmitrak – DSc (Eng.), Professor, Rector

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University), Vladikavkaz, Russia.

Yuriy I. Razorenov – DSc (Eng.), Professor, Vice Rector

Platov South-Russian State Polytechnic University (NPI), Novocherkassk, Russia

Abstract. Problem Statement. Prospective development of nuclear power is associated with an ever greater scale of radioactive ore mining. That is why research in this area is of relevance. **Objectives.** To systematize the achievements in uranium mining for promoting further progress in mining of this mineral and other metals. **Methods Applied.** Summarization and critical overview of the achievements of global importance highlighting their scientific and practical relevance. Originality of this publication lies in the fact that it contains a lot of information that has not been made public before for bureaucratic reasons. **Findings.** The authors of this paper define

key implementation areas for the technical solutions; describe the technique to control the properties of the solidifying agent by applying high energy in disintegrators; describe the results of trial underground leaching of commercial ores; give reference to major mining achievements of Tselinny Mining and Processing Works; provide more details about the method of enhancing the binding capacity of cement additives through activation in a disintegrator and how the method could be advanced to be applicable for metals leaching from low-grade metal containing material with the recovery rate reaching 70% of the initial tailings concentration; define the concept of

sustainable subsoil management; provide details about the use of vibrating conveyors for transporting solidifying agents for distances of up to 2,000 m. **Practical Relevance.** Due to breakthroughs in uranium mining achieved by nuclear power industry, the advanced processes may find application in metal mining (from breakable ores, in the first place). Raising the output in the mining of low-grade reserves by combining conventional mining technology with metal leaching can potentially provide a boost to the mining sector in the market economy environment.

Keywords: Radioactive ores, achievements of global importance, disintegrator, underground leaching of commercial ores, vibrating conveyors for solidifying agents.

References

1. Belousov A.S. Optimization of backfilling at the uranium mines of PIMCU PJSC. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2015, no. 7, pp. 67–73. (In Russ.)
2. Golik V.I. Conceptual approaches to the creation of low- and zero-waste mining production on the basis of combining physicochemical and physicochemical geotechnologies. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], 2013, no. 5, pp. 93–97. (In Russ.)
3. Golik V.I., Komashchenko V.I., Zhabin A.B. Activation of mining waste in metal leaching. *Izvestiya Tulskogo gosudarstvennogo universiteta. Nauki o Zemle* [Bulletin of Tula State University. Earth sciences], 2016, no. 3, pp. 3–13. (In Russ.)
4. Dmitrak Yu.V., Kamnev E.N. "Leading Design and Research Institute of Industrial Technology" – A 65-year long path. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], 2016, no. 3, pp. 6–12. (In Russ.)
5. Karamushka V.P., Kamnev E.N., Tedeev M.N., Kasatkin V.V., Kuzin R.E. Investigation of the solid phase of uranium ore dressing waste. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], 2012, no. 8, pp. 45–52. (In Russ.)
6. Lizunkin V.M., Lizunkin M.V., Beidina V.I. et al. Underground geotechnologies for underground mining of ore deposits. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2014, no. 1, pp. 123–128. (In Russ.)
7. Morozov A.A., Smagin A.P., Beznosov G.F., Yurtaev A.N. Underground block leaching of uranium from low-grade ores of Streltsovsk ore field. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], 2013, no. 8-2, pp. 104–108. (In Russ.)
8. Svyatetskiy V.S., Litvinenko V.G., Morozov A.A. Underground block leaching of uranium ores from the Streltsovsk deposit: Possible application and conditions. *Gornyy zhurnal* [Mining journal], 2012, no. 10, pp. 37–45. (In Russ.)
9. Svyatetskiy V.S. Understanding the possibility of paste filling using uranium mill tailings of PIMCU PJSC. *Gornyy informacionno-analiticheskij byulleten* [Mining Information and Analytical Bulletin], 2015, no. 10, pp. 89–94. (In Russ.)
10. Ghorbani Y., Franzidis J.-P., Petersen J. Heap Leaching Technology – Current State, Innovations, and Future Directions: A review. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review*, 2016, Vol. 37, No. 2, pp. 73–119.
11. Jarvie-Eggart M. E. Responsible Mining: Case Studies in Managing Social & Environmental Risks in the Developed World. Englewood, Colorado: Society for Mining, Metallurgy and Exploration, 2015. 804 p.

Received 28/01/19

Accepted 27/02/19

Образец для цитирования

Голік В.І., Дмитрак Ю.В., Разоренов Ю.І. Прорывные достижения добытчиков урана на севере Казахстана // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2019. Т.17. №2. С. 4–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-4-10>

For citation

Golik V.I., Dmitrak Yu.V., Razorenov Yu.I. Uranium mining breakthroughs in northern Kazakhstan. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2019, vol. 17, no. 2, pp. 4–10. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2019-17-2-4-10>