

УДК 553.3

**В.А. Наумов<sup>1,2</sup>, О.Б. Наумова<sup>2</sup>, В.Н. Брюхов<sup>1,2</sup>,  
В.В. Голдырев<sup>1,2</sup>, В.Н. Голдырев<sup>1,2</sup>, К.И. Плюснина<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Естественнонаучный институт Пермского государственного  
национального исследовательского университета, г. Пермь

<sup>2</sup>Пермский государственный национальный исследовательский  
университет, г. Пермь

## ПРИРОДОПОДОБНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ПУТИ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОГЕННО-МИНЕРАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ

Отработка месторождений полезных ископаемых рассматривается как самостоятельный геологический процесс. Рассмотрены природоподобные технологии, которые могут быть использованы не только для «живой», но и «неживой» природы. Продукты переработки месторождений рассмотрены не как «отходы производства», а как неоцененный минеральный ресурс. Показано, что неизвлекаемые компоненты руд, которые могли бы обеспечить реализацию дополнительной продукции и экономии при использовании природных ресурсов, создают экологические проблемы при разрушении их в отвалах. Разработан алгоритм прогнозной оценки перспектив использования и управления веществом составом техногенно-минеральных образований, определены участки отбора проб и методы их изучения.

*Ключевые слова: природоподобные технологии, техногенно-минеральные образования*

**DOI: 10.17072/chirvinsky.2022.181**

Отработка месторождений полезных ископаемых рассматривается нами как самостоятельный геологический процесс, где геологическим агентом выступает «техническая деятельность человека, вооруженного техникой» [1] – процесс техногенеза, результатом которого является преобразованное вещество – техногенно-минеральные образования (ТМО). Геологический процесс преобразования вещественного состава ТМО в природных условиях определяется нами как техногеогенез [2,4,5] и представляет собой по сути гипергенез (эпигенез) ТМО. Но, поскольку, он реализуется в ТМО, то эта его качественная характеристика позволяет его выделить в отдельный тип и отличать от природных процессов гипергенеза. Особенностью процессов техногенеза и техногеогенеза является то, что это процессы управляемые человеком [1,5], часто без должного осознания, понимания и прогноза получаемого результата. Они сочетают в себе элементы природных процессов и результат направленной

деятельности человека, который может быть назван природоподобными процессами или технологиями.

Этот термин широко использует М.В. Ковальчук [9], который рассматривает «природоподобные технологии» как результат конвергентности (сближения) знаний, полученных разными отраслями наук, где наука сводит все части разрозненных знаний разных отраслей в единую общую – осознанную природоподобную систему. При конвергенции знаний основной упор делается на процессы сближения знаний о «живой» природе. По его мнению, все созданное рукотворное (техногенное) должно пройти естественный отбор и осознанно сохранится то, что отвечает принципам жизнестойкости, равновесия и гармонии с природой.

Однако рамки природоподобных технологий могут быть расширены. Принципы выделения таких технологий могут быть использованы не только для «живой», но и «неживой» природы. Их следует распространить на минеральное вещество, и рассматривать как осознанное управление изменением состава и качества минерального вещества и пространства геологической среды.

Под природоподобными технологиями в отношении минерального вещества мы рассматриваем техногенные и техногеогенные процессы осознанного изменения геологической среды. Их влияние распространяется на эндогенные и экзогенные геологические процессы, активированные человеком. Их следует рассматривать как новый этап развития ноосферы – техносферный этап. В настоящее время это часто неосознанные нами, но находящиеся в прямой зависимости от совершенных человеком действий, то есть управляемые нами процессы. Результаты геологической деятельности «человека, вооруженного техникой» и активировавшего техногеогенные процессы ведут к преобразованию вещества и пространства в техногенно-минеральной инфраструктуре и проявляют себя на границе взаимодействия лито-, био-, гидро-, атмо- и социосферы. С точки зрения живой природы, они приводят как к негативным, так и позитивным изменениям и последствиям для человека. Получая ТМО, человек запускает механизмы преобразования вещества и пространства, изменяет состав и свойства окружающей среды, в том числе и работу «заводов в недрах».

Задача природоподобных технологий освоения ТМО – научиться управлять этими механизмами за счет использования, в первую очередь, природных закономерностей поведения вещества и пространства, гармонизируя их с новыми условиями техногенной среды, вещественного состава разных типов твердой и жидкой части ТМО месторождений. Наиболее существенные техногенные изменения минерального вещества прослеживаются для сульфидных руд.

Если при формировании россыпей «работают» природные геологические процессы (технологии) разрушения, переноса и аккумуляции, то для отработки рудных месторождений характерно, что функции дезинтеграции, перемещения и складирования переработанного вещества (в т.ч., отвалов) взял на себя человек. С помощью технических средств и энергетических затрат он добивается подобного результата по дифференциации вещества и получению разнозернистых полезных и бесполезных продуктов.

Продукты переработки месторождений (ТМО) мы рассматриваем не как «отходы производства» [5,8], а как неоцененный минеральный ресурс, в который вложены существенные энергозатраты. Следовательно, и отношение к ТМО, как продукту осознанной деятельности человека, должно быть направлено на максимально полное использование или складирование твердой и жидкой фазы таким образом, чтобы минимизировать влияние на изменение состава и структуры окружающей среды.

Другой основой нашего подхода является позиция, что «отходов горного производства» не существует. Есть неоцененный минеральный ресурс, извлечение и использование которого считается невыгодным при современных *юридических, экономических и технологических* подходах. Именно неизвлекаемые компоненты руд, которые могли бы обеспечить реализацию дополнительной продукции и экономию при использовании природных ресурсов, создают экологические проблемы при разрушении их в отвалах.

*Юридический механизм* перевода предприятиями ТМО из «отходов производства» в продукты технологического передела прописан в документах о «наиболее доступных технологиях» [3]. Положительный эффект формируется путем уменьшения сумм природоохранных платежей «за счет: 1) снижения объема эмиссий, применения коэффициента «0» к ставке платы за негативное воздействие на окружающую среду по п. 5 ст. 16.3; 2) налоговых льгот, предусмотренных ст. 17; 3) государственной поддержки (выделение средств федерального бюджета и бюджетов субъектов РФ с целью содействия в осуществлении инвестиционной деятельности, направленной на внедрение наилучших доступных технологий и реализацию иных мер по снижению негативного воздействия на окружающую среду), согласно ст. 17» [7]. Однако на практике количество юридических ограничений по сути «связывает руки» предприятию в освоении своих же ТМО и не позволяет их эффективно использовать.

*Экономические подходы*, применяемые в настоящее время, обеспечивают «сиюминутную» выгоду, рассчитаны на краткосрочный период времени, быстрое получение прибыли от разработки мономинерального

продукта месторождения без учета комплексности освоения и экологических последствий от разработки. Экономические механизмы не позволяют гармонизировать изменение состава и качества окружающей среды с результатом отработки месторождений. Экологические действия направлены на воссоздание прежнего состояния среды, а не на использование ее новых качеств и приобретенных в процессе разработки положительных черт от проведенных изменений.

*Технологическое развитие* современного производства позволяет применять новые подходы и расширить ассортимент и качество продукции, производство которой возможно на основе использования ТМО. На сегодняшний день практически апробированы и получены положительные решения работы с ТМО на примере месторождений золота. Известны технологии управления составом и качеством, обеспечивающие комплексное освоение вещества и снижение негативного воздействия на изменение состава и качества окружающей среды. Технологии направлены на обеспечение перехода от освоения мономинеральных месторождений к разработке месторождений как поликомпонентных систем на основе изучения форм нахождения попутных полезных компонентов (минерал, изоморфная примесь, элемент в кристаллической решетке минерала), технологических свойств. Разработаны технологии изучения и отработки месторождений, позволяющие производить извлечение комплекса полезных компонентов из вещества месторождения в одновременном или последовательном режиме в виде природных руд, вмещающих пород или растворимых соединений.

Природоподобные технологии следует вовлекать в полный технологический цикл разработки, обогащения вещества месторождений, управления качеством, составом ТМО и путями их использования. Основное преимущество использования природоподобных технологий заключается в том, что они направлены на устранение причин, а не на внедрение технологий борьбы с последствиями и снижением воздействия на изменение состава и качества окружающей среды. Результатом разработки и внедрения технологий является обеспечение выхода горно-геологических производств на четвертый, пятый и шестой индустриальный технологический уклад, что может быть достигнуто путём следующего.

1. Повышения степени извлечения полезных компонентов из вещества обрабатываемых месторождений. Оценки комплекса продуктов, которые целесообразно извлекать на основании геологического изучения вещественного состава месторождения. Неизвлекаемые из недр в технологическом процессе обогащения полезные компоненты (Fe, Cu, Zn, Hg, Ni в виде сульфидов и сульфатов; Fe, Mg, Al в виде оксидов и

гидроксидов; К, Na, Mg в виде галогенидов и др.) поступают в окружающую среду и являются основным источником изменения ее состава, оказывают негативное для человека и биосферы влияние, изменяя свойства и состав окружающей среды.

2. Изучения форм нахождения полезных компонентов природных соединений (микро- и наноминералогия), механизмов их трансформации, скорости и последовательности изменения состава в техногенных образованиях. На их основе возможна организация процессов управления составом и качеством окружающей среды или более полное извлечение полезных компонентов.

3. Разработки технологий управления вещественным составом на макро-, микро- и наноуровне: ускорением или торможением протекания природно-техногенных процессов преобразования вещества в техногенно-минеральных образованиях, обеспечивающих извлечение полезных компонентов в составе твердой, гидроминеральной и газовой фазы; перевод компонентов на микро- и наноуровень с целью концентрирования, локализации и вывода полезных компонентов из состава месторождений и ТМО, недопущения их поступления в окружающую среду

4. Использования нанобио- и хемотехнологий укрупнения и диспергации минеральных форм, переводом их в состояние благоприятное для извлечения существующими и перспективными технологиями обогащения минерального вещества и химических элементов.

Начальный этап разработки и внедрения природоподобных технологий на предприятиях по добыче золота, меди включает проведение исследований с разработкой рекомендаций по совершенствованию технологической схемы отработки вещества месторождений. Основные природоподобные технологии — это технологии разрушения, переноса и аккумуляции золотоносных фаз, в том числе: 1) диагностика изменений состава, управление процессами консервации отвалов и высвобождения золота из сульфидов; 2) управление механизмами миграции и концентрации золота в определенных условиях в техногенных отвалах; 3) управление процессами осаждения золота в процессе механической, физико-химической и биохимической дифференциации и интеграции вещества (твердая и жидкая фаза) и золота в техногенных образованиях.

Нами разработан алгоритм прогнозной оценки перспектив использования и управления вещественным составом ТМО, определены участки отбора проб и методы их изучения. Ниже изложены основные оценочные параметры или ответы на вопросы, которые надо получить при изучении объектов недропользования.

1. Генетический и горно-промышленный тип месторождения;

необходимо знание геологической истории и последовательности формирования продуктивных и вмещающих рудный объект толщ.

2. Вещественный состав исходных руд, вскрышных и вмещающих пород; необходимо провести анализ первичной информации опубликованных и фондовых источников по составу пород и руд; основные минералы-концентраты металлов в рудах и вскрышных породах, анализ их минерального, химического состава; основные формы нахождения металлов в рудах и породах.

3. Технологии разработки и обогащения сульфидных руд, типы концентратов, вероятные потери металлов разных форм нахождения [6].

4. Типы твердых и жидких (гидроминеральных) ТМО, образующиеся на разных этапах технологического передела исходных руд;

5. Технологии и условия формирования (складирования) отвального комплекса (вскрышные породы, шламовое хозяйство)

6. Минеральный и химический состав твердой части текущих и лежалых ТМО с выделением рудной и нерудной ассоциации минералов.

7. Содержание и основные формы нахождения цветных и благородных металлов (в свободном виде, в сростках, пленках, разных минералах, химический состав соединений).

8. Химический состав внутриотвальных, подотвальных и поверхностных вод, динамика их изменения в связи с изменением водного режима.

9. Анализ и определение способов концентрирования и извлечения металлов из вод (физико-химические процессы концентрирования, извлечение в концентрат, разделение металлов); оценка возможных технологических решений извлечения металлов из отвальных вод.

10. Физико-химическое лабораторное и натурное моделирование процессов высвобождения (разложения) минералов-концентратов металлов под воздействием атмосферных осадков, технологических минерализованных вод, в т. ч. при промораживании и оттаивании осадков и вод; определение кинетики и динамики перевода металлов из минералов-концентратов в воды для разработки технологии управления их составом.

11. Определение оптимальных концентраций металлов, экономически выгодных к извлечению при существующих технологических решениях.

12. Экономическая оценка эффективности схем извлечения металлов из отвальных вод.

13. Вероятные направления использования твердой рудной, нерудной части и жидкой фазы ТМО.

14. Выработка рекомендаций по управлению системами

раздельного складирования твердой части и концентрирования металлов в отвальных водах.

Для получения достоверной информации важно дополнительно выполнить комплекс минералого-петрографических и химических исследований.

#### *Библиографический список*

1. *Емлин Э.Ф.* Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск. Урал. ун-т, 1991. 256 с.
2. *Иванов О.К.* Техногенез — новый генетический тип современных геологических процессов // Минералогия техногенеза. Миасс 2002. С. 280-287.
3. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям. Добыча драгоценных металлов. ИТС 49 – 2017. Москва, 2017. Бюро НДТ. 143 с. Дата введения 2018-06-01.
4. *Наумов В.А.* Минералогия техногенеза, и перспективы комплексного освоения аллювия. Автореф. дисс. ... доктора г.-м.н. Пермь, 2011. 42 с.
5. *Наумов В.А., Наумова О.Б.* Научные основы геологии техногенно-минеральных образований // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2017. № 17. С. 16-20.
6. *Подчерзцев Н.О., Курнаков Г.В., Наумов В.А.* Структура технологических потерь золота при разработке одной из россыпей Урала // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2 (39). С. 108-111.
7. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 27.12.2019) «Об охране окружающей среды»
8. *Шило Н.А.* Учение о россыпях. М.: Академия горных наук, 2000. 632 с.
9. *Kovalchuk M.V., Naraikin O.S., Yatsishina E.B.* Nature-like technologies: new opportunities and new challenges // Вестник Российской академии наук. - 2019. - Vol. 89. - N. 5. - P. 455-465. doi: 10.31857/S0869-5873895455-465

## NATURAL-LIKE TECHNOLOGIES ON THE WAY OF DEVELOPING TECHNOGENIC-MINERAL FORMATIONS

**V.A. Naumov, O.B. Naumova, V.N. Bryukhov, V.V. Goldyrev,  
V.N. Goldyrev, K.I. Plyusnina**

*naumov@psu.ru*

The development of mineral deposits is considered as an independent geological process. Nature-like technologies are considered, which can be used not only for «living», but also for «inanimate» nature. The products of processing deposits are considered not as “production waste”, but as an not rated mineral resource. It is shown that non-recoverable ore components, which could ensure the sale of additional products and savings in the use of natural resources, create environmental problems when they are destroyed in dumps. An algorithm for predictive assessment of the prospects for the use and management of the material composition of technogenic-mineral formations has been developed, sampling sites and methods for their study have been determined.

*Keywords: natural-like technologies, technogenic mineral formations.*