

# Геометаллургия: комплексный подход к цифровизации управления качеством рудопотоков на примере ЕВРАЗ Качканарского горно-обогатительного комбината

В.А. Загирный ✉

Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ VZagirny@mail.ru

**Резюме:** Статья посвящена актуальной проблеме цифровой трансформации управления качеством рудопотоков в горнодобывающей промышленности на основе геометаллургического подхода. Исследование раскрывает методологию комплексной интеграции геологических, горнотехнических и металлургических аспектов производства с использованием современных цифровых технологий.

Научная новизна работы заключается в разработке интегрированного подхода к геометаллургическому моделированию, который преодолевает существующие ограничения традиционных методов управления качеством рудопотоков за счет применения технологий промышленного интернета вещей, больших данных и искусственного интеллекта. Впервые представлена целостная концепция сквозного управления качеством руды на всех этапах производственного цикла – от геологоразведки до обогащения полезных ископаемых.

Основные методы исследования включают системный анализ производственных процессов, изучение информационных систем управления и разработку интегрированных цифровых решений. Практическая апробация предложенного подхода проведена на ЕВРАЗ Качканарском горно-обогатительном комбинате, где внедрена комплексная система геометаллургического моделирования.

Ключевые результаты исследования демонстрируют возможность создания единого информационного пространства, обеспечивающего непрерывный мониторинг и прогнозирование качественных характеристик руды. Разработанная методология позволяет оперативно реагировать на изменения в рудопотоках, оптимизировать параметры технологического оборудования и повышать эффективность производства.

Главный вывод исследования состоит в том, что цифровая трансформация управления рудопотоками на основе геометаллургического подхода является перспективным направлением развития горнодобывающей отрасли, способным обеспечить существенный экономический эффект за счет повышения точности планирования и управления качеством руды.

Материалы статьи представляют интерес для специалистов в области горного дела, цифровизации производственных процессов и управления качеством в горнодобывающей промышленности.

**Ключевые слова:** геометаллургическое моделирование, цифровая трансформация горнодобывающего производства, управление качеством рудопотоков, интегрированные информационные системы, оптимизация технологических процессов, комплексный подход к планированию горных работ, системы поддержки принятия решений, прогнозирование показателей обогащения, междисциплинарный анализ горнотехнических процессов

**Для цитирования:** Загирный В.А. Геометаллургия: комплексный подход к цифровизации управления качеством рудопотоков на примере ЕВРАЗ Качканарского горно-обогатительного комбината. *Горная промышленность*. 2025;(5S):59–63. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-59-63>

## Geometallurgy: an integrated approach to digitalization of the ore flow quality management using the case of the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant

V.A. Zagirny ✉

Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ VZagirny@mail.ru

**Abstract:** The article addresses an urgent problem of digital transformation in the ore flow quality management within the mining industry based on the geometallurgical approach. The research discusses a methodology for comprehensive integration of geological, mining, and metallurgical production aspects using present-day digital technologies. The scientific novelty of the work lies in developing an integrated approach to geometallurgical modeling that overcomes existing

limitations of traditional management methods through the Industrial Internet of Things, Big Data, and Artificial Intelligence technologies. For the first time ever, the authors present a holistic concept of end-to-end ore grade management across all the production cycle stages from geological exploration to mineral processing.

The key research methods include system analysis of production processes, studies of information management systems, and development of integrated digital solutions. Practical testing of the proposed approach was done at the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant, where a comprehensive geometallurgical modeling system was implemented.

The key research results demonstrate the possibility of creating a unified information space ensuring continuous monitoring and forecasting of the ore grade characteristics. The developed methodology enables prompt response to changes in the ore flows, optimization of technological equipment parameters, and increased production efficiency.

The main conclusion of the study is that digital transformation of the ore flow management based on the geometallurgical approach is a promising direction for development of the mining industry, capable of providing significant economic effect through improved ore grade planning and management accuracy.

The article materials are of interest to specialists in mining, production process digitalization, and quality management in the mining industry.

**Keywords:** geometallurgical modeling, digital transformation of mining operations, ore flow quality management, integrated information systems, technological process optimization, comprehensive approach to mining operations planning, decision support systems, forecasting of mineral processing performance, interdisciplinary analysis of mining technological processes

**For citation:** Zagirny V.A. Geometallurgy: an integrated approach to digitalization of the ore flow quality management using the case of the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant. *Russian Mining Industry*. 2025;(5S):59–63. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2025-5S-59-63>

## Введение

Современная горнодобывающая отрасль сталкивается с серьезными вызовами: растущая конкуренция на мировых рынках, необходимость повышения эффективности производства и технологические ограничения традиционных методов управления.

Исследование направлено на разработку комплексного методологического подхода, интегрирующего геологические, горнотехнические и металлургические аспекты производства. Целями также являются оптимизация управления рудопотоками на всех этапах разведки, добычи и переработки минерального сырья и создание интегрированных информационно-аналитических систем.

Геометаллургическое моделирование представляет собой инновационную методологию, объединяющую различные аспекты производства, обеспечивающую цифровую трансформацию управления технологическими процессами и предлагающую междисциплинарный подход к системной оптимизации всей производственной цепочки.

## Существующая проблематика

Анализ текущего состояния производственных систем (рис. 1) позволил выявить следующие ключевые проблемы:

1. Разнородность и несогласованность данных о качестве руд. На добычных и обогащательных переделах информация о качественных характеристиках сырья поступает с различной дискретностью и атомарностью, что затрудняет формирование целостного представления о материальных потоках.
2. Фрагментарность программного обеспечения. На различных этапах производственного цикла используется разнородное программное обеспечение для обработки и анализа данных о качестве руд, что создает технологические барьеры для интеграции информационных потоков и снижает оперативность обмена данными.
3. Изолированность информационных систем управления. Системы автоматизации, контроля и управления на добыжающих и обогащательных переделах функционируют разрозненно, без должного уровня интеграции и синхронизации, что препятствует



Рис. 1  
Существующая проблематика и ключевые вызовы

Fig. 1  
Existing issues and key challenges

формированию единого информационного пространства.

4. Отсутствие механизмов оперативного реагирования. В условиях изолированности информационных систем невозможно своевременное реагирование на изменения, происходящие на смежных переделах.

## Анализ существующих подходов и методик

Недостатки существующих подходов отражают в себе следующие проблемы:

1. Как было сказано выше, традиционные подходы характеризуются фрагментарностью и изолированностью, при которых геологические, горнотехнические и обогащательные модели разрабатываются и функционируют обособленно, без необходимой степени интеграции.



**Рис. 2**  
Эволюция технологий и методологии

**Fig. 2**  
Evolution of technologies and methodologies

- Существующие методы оптимизации рудопотоков зачастую основываются на упрощенных представлениях о взаимосвязях между геологическими характеристиками руд и их технологическими свойствами, что не позволяет учитывать комплексный характер влияния состава и особенностей на показатели обогащения. Кроме того, большинство применяемых сегодня моделей имеют статический характер и не адаптируются к изменяющимся условиям производства в режиме реального времени.
- Исследования в области оптимизации рудопотоков и управления качеством руды, выполненные в предыдущие десятилетия, утрачивают свою актуальность в связи с революционными изменениями в информационных технологиях и системах автоматизации горнодобывающих предприятий. Методологические подходы, разработанные до эпохи цифровизации, не учитывают возможностей современных технологий сбора и обработки данных, что существенно ограничивает их практическую применимость.

В современных условиях, когда горнодобывающие предприятия оснащаются высокоточными измерительными системами и мощными вычислительными комплексами, появляется возможность реализации принципиально новых подходов к геометаллургическому моделированию.

#### Оценка влияния научно-технического прогресса на развитие методологии

Цифровые технологии создают возможности для разработки комплексных интегрированных моделей производства. Разрабатываемый интегрированный подход к геометаллургическому моделированию охватывает весь производственный цикл – от геологоразведки и планирования горных работ до управления параметрами и режимами обогатительной фабрики.

Развитие цифровых технологий, в частности промышленного интернета вещей (IIoT), систем больших данных (Big Data) и методов искусственного интеллекта, создает беспрецедентные возможности для разработки комплексных интегрированных моделей горно-обогатительного

производства [1–3]. Развитие цифровых технологий и методологий геометаллургических исследований схематично представлено на рис. 2.

Современные технологии позволяют [4; 5]:

- обеспечить непрерывную обработку данных о качественных характеристиках руды на всех этапах производственного цикла;
- выявлять сложные многофакторные зависимости между геологическими особенностями месторождения и технологическими показателями обогащения;
- реализовывать предиктивные модели, способные прогнозировать изменения показателей обогащения при изменении качества руды и параметров технологического оборудования;
- создавать системы поддержки принятия решений, позволяющие оперативно реагировать на изменения качества исходного сырья.

#### Практическая значимость и востребованность

Актуальность предлагаемого подхода подтверждена растущим запросом со стороны горно-обогатительных комбинатов на внедрение современных методов оптимизации производственных процессов и сквозного управления качеством рудной массы [2; 6–8]

Подтверждением служит реализация его элементов на ЕВРАЗ Качканарском горно-обогатительном комбинате, где с 2021 г. внедряется система интегрированного геометаллургического моделирования. Первые результаты внедрения демонстрируют значительный потенциал для повышения эффективности проекта «Геометаллургия» на ЕВРАЗ Качканарском горно-обогатительном комбинате (ЕВРАЗ КГОК) (рис. 3).

В добываемых на карьерах ЕВРАЗ КГОКа рудах содержание полезного компонента находится в пределах 15–16%. Повышение извлечения даже на несколько долей процента уже может дать значительный экономический эффект.

<sup>1</sup> Цифровое будущее горнорудного предприятия. BCG Review. Сентябрь 2020. Режим доступа: <https://media-publications.bcg.com/BCG-Review-September-2020.pdf> (дата обращения: 27.06.2025).



## Геометаллургия на ЕВРАЗ КГОК – комплексный подход, направленный на стабилизацию качественных показателей по всей производственной цепочке



**Рис. 3**  
Структура программных продуктов геометаллургии на ЕВРАЗ Качканарском горно-обогатительном комбинате

**Fig. 3**  
Structure of geometallurgy software products at the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant

Проект «Геометаллургия» на ЕВРАЗ КГОКе представляет собой комплексное цифровое решение, включающее создание Центра управления производством, автоматизацию оперативного планирования горных работ, внедрение системы диспетчеризации для управления горнотранспортным комплексом, диспетчеризацию, MES-систему для сквозного управления качеством и интеллектуальную систему автоматического управления технологическими параметрами обогащения (ИСАУТП). Эти технологические решения позволяют в режиме реального времени контролировать качество руды от карьера до фабрики, оптимизировать расстановку техники, управлять погрузкой и разгрузкой, формировать геологические наряды и обеспечивать усреднение руды <sup>2</sup> [9–11].

Структура программных продуктов включает следующие взаимосвязанные компоненты:

1. Система геологического картирования.
2. Система оперативного планирования и управления планами ведения горных работ:
  - 2.1. Разработка тактического (месяц – сутки) плана горных работ.
  - 2.2. Инструмент оперативного планирования горных работ (неделя – смена).
3. Система мониторинга, высокоточного позиционирования и диспетчеризации:
  - 3.1. Мониторинг работы оборудования.
  - 3.2. Интеграция с блочными моделями и системами геологического картирования.
4. Оперативное управление парком автосамосвалов:
  - 4.1. Прослеживаемость качественных параметров руды.
  - 4.2. Оптимизация транспортных маршрутов.
5. Оперативное управление парком тяговых агрегатов:

<sup>2</sup> Сквозное управление качеством руды может стать одним из основных направлений цифровизации на Урале. Выставка «Рудник». Екатеринбург, 28 октября 2024 г. Режим доступа: <https://www.miningmag.ru/skvozhnoe-upravlenie-kachestvom-rudy-mozhet-stat-odnim-iz-osnovnyh-napravlenij-cifrovizacii-na-urale> (дата обращения: 27.06.2025).

5.1. Формирование трехмерной блочной модели перегрузочного пункта.

6. Прослеживаемость и прогнозирование качества руды на ДОФ:

6.1. Моделирование работы дробильного комплекса.

6.2. Прогнозирование качественных показателей подробленной руды.

7. Интеллектуальная система автоматического управления технологическими параметрами (ИСАУТП) обогащения.

В результате реализации программы «Геометаллургия» удалось внедрить сквозное управление качеством руды, добиться усреднения показателей на перегрузочных пунктах поставки сырья с требуемыми характеристиками, настроить оптимального режима работы фабрики и значительно экономического эффекта за счет снижения содержания железа в хвостах.

### Заключение

Результаты исследований демонстрируют высокую перспективность интегрированного геометаллургического моделирования в горнодобывающей промышленности. В текущих экономических реалиях традиционные методы управления рудопотоками нуждаются в цифровой трансформации.

Предложенный междисциплинарный подход создает методологическую основу для современного управления предприятиями. Его ценность заключается в разработке концепции геометаллургического моделирования как интегрирующей системы, а практическая применимость подтверждена положительными результатами внедрения на ЕВРАЗ Качканарском ГОКе.

Дальнейшие направления исследований включают совершенствование методов прогнозирования качества руд, развитие алгоритмов интеграции информационных систем и создание специализированных цифровых платформ [5].



## Список литературы / References

1. Соколов И.В., Корнилков С.В., Панжин А.А. Геоинформационные технологии сопровождения процессов горного производства. *Горная промышленность*. 2023;(5S):41–46. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-41-46>  
Sokolov I.V., Kornilkov S.V., Panzhin A.A. Geoinformation technologies to support mining processes. *Russian Mining Industry*. 2023;(5S):41–46. (In Russ.) <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2023-5S-41-46>
2. Мышлецов А.И., Авруцкая С.Г. Цифровые технологии и устойчивое развитие в горнодобывающей отрасли. *Успехи в химии и химической технологии*. 2023;37(1):55–59.  
Myshletsov A.I., Avrutskaia S.G. Digital technologies and sustainable development in the mining industry. *Uspexi v Khimii i Khimicheskoi Tekhnologii*. 2023;37(1):55–59. (In Russ.)
3. Мишулович П.М., Петров С.В. Методологические аспекты создания геолого-технологических моделей месторождений полезных ископаемых. *Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле*. 2019;64(2):249–266. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.205>  
Mishulovich P.M., Petrov S.V. Geometallurgical models creation principles. *Vestnik of Saint-Petersburg University. Earth Sciences*. 2019;64(2):249–266. (In Russ.) <https://doi.org/10.21638/spbu07.2019.205>
4. Корнилков С.В., Рыбников П.А., Рыбникова Л.С. Об основных направлениях взаимодополнения методов цифровизации и геоинформационного обеспечения горного производства. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(1):76–85.  
Kornilkov S.V., Rybnikov P.A., Rybnikova L.S. Main directions in combining digitization and geoinformation methods for supporting mining production. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(1):76–85. (In Russ.)
5. Rajabinasab B., Asghari O. Geometallurgical domaining by cluster analysis: Iron ore deposit case study. *Natural Resources Research*. 2019;28(3):665–684. <https://doi.org/10.1007/s11053-018-9411-6>
6. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Возможности компьютерного моделирования для решения вопросов управления качеством минерального сырья. *Проблемы недропользования*. 2016;(4):170–176. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.04.170>  
Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S. Computer simulation potentialities for solving questions of mineral resources quality management. *Problems of Subsoil Use*. 2016;(4):170–176. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2016.04.170>
7. Яковлев В.Л., Лаптев Ю.В., Яковлев А.М. Методика геометризации качественных характеристик Гусевогорского месторождения титаномagnetитовых руд. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2015;(11):286–296. Режим доступа: [https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/286\\_296\\_11\\_2015.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/286_296_11_2015.pdf) (дата обращения: 27.06.2025).  
Yakovlev V.L., Laptev Yu.V., Yakovlev A.M. Methods qualitative characteristics geometrization gusevogorskoye deposit of titanium ores. *Mining Informational and Analytical Bulletin*. 2015;(11):286–296. (In Russ.) Available at: [https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/286\\_296\\_11\\_2015.pdf](https://giab-online.ru/files/Data/2015/11/286_296_11_2015.pdf) (accessed: 27.06.2025).
8. Dominy S.C., O'Connor L., Parbhakar-Fox A., Glass H.J., Purevgerel S. Geometallurgy – A route to more resilient mine operations. *Minerals*. 2018;8(12):560. <https://doi.org/10.3390/min8120560>
9. Лянгазов С.В., Загирный В.А. Развитие направления «Геометаллургия». *Горная промышленность*. 2023;(3):12–14. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/18069-razvitie-napravleniya-geometallurgiya> (дата обращения: 27.06.2025).  
Lyangazov S.V., Zagirny V.A. Development of the geometallurgy school. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):12–14. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/ogr/18069-razvitie-napravleniya-geometallurgiya> (accessed: 27.06.2025).
10. Халенко Т.Н., Загирный В.А., Краснопевцев Д.В., Емельянов А.А., Лимонов В.А. Непрерывные улучшения ЕВРАЗ КГОК. *Горная промышленность*. 2023;(3):23–26. Режим доступа: <https://mining-media.ru/ru/article/company/18072-nepreryvnye-uluchsheniya-evraz-kgok> (дата обращения: 27.06.2025).  
Khalenko T.N., Zagirny V.A., Krasnopevtsev D.V., Emelyanov A.A., Limonov V.A. Continuous improvements at the EVRAZ Kachkanar Mining and Processing Plant. *Russian Mining Industry*. 2023;(3):23–26. (In Russ.) Available at: <https://mining-media.ru/ru/article/company/18072-nepreryvnye-uluchsheniya-evraz-kgok> (accessed: 27.06.2025).
11. Корнилков С.В., Наговицын О.В., Славиковская Ю.О., Яковлев А.М., Титов Р.С., Мусихина О.В. и др. *Планирование открытых горных работ*. М.: Ай Пи Ар Медиа; 2021. 346 с.

### Информация об авторе

**Загирный Вячеслав Анатольевич** – аспирант кафедры разработки месторождений открытым способом, Уральский государственный горный университет, г. Екатеринбург, Российская Федерация, руководитель проектов, ООО «ЕвразТехника ИС», г. Качканар, Российская Федерация; email: VZagirny@mail.ru

### Information about the author

**Vyacheslav A. Zagirny** – Postgraduate Student, Department of Open-Pit Mining, Ural State Mining University, Ekaterinburg, Russian Federation; Project Manager, Evraz Technika IS LLC, Kachkanar, Russian Federation; e-mail: VZagirny@mail.ru

### Article info

Received: 14.08.2025

Revised: 06.10.2025

Accepted: 07.10.2025

### Информация о статье

Поступила в редакцию: 14.08.2025

Поступила после рецензирования: 06.10.2025

Принята к публикации: 07.10.2025