



# Совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений

В.Д. Кантемиров✉, А.М. Яковлев, Р.С. Титов, А.В. Тимохин

Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ukr@igduran.ru

**Резюме:** Дана оценка существующих методов управления качеством минерального сырья при добыче и возможных способов повышения их эффективности. Приведены критерии оценки рудного массива в зависимости от минерального и химического состава, структурных и других особенностей. Представлены результаты разработки методики районирования в карьерном пространстве технологических типов руд с учетом комплексной оценки качественных характеристик полезного ископаемого на основе современных геоинформационных технологий. Для интерпретации данных в геоинформационных системах предлагается два основных метода: экспресс и детальный, которые требуют предварительного создания геологической базы данных и позволяют достоверно производить оценку и районирование в карьере руд по качественным признакам. Методы различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в зависимости от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого. Усовершенствованная горно-геологическая информационная система позволяет с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд, что способствует на этапе планирования горных работ выбору наиболее эффективного способа рудоподготовки в режиме управления качеством руды для конкретных горно-геологических условий. Приведены примеры районирования технологических типов руд в карьерном пространстве и методологические подходы к выбору эффективных способов управления качеством минерального сырья в условиях ухудшающихся горно-геологических условий отработки месторождений и повышения требований к качеству продукции.

**Ключевые слова:** полезное ископаемое, горно-геологические условия разработки, качество руд, технологические типы руд, управление качеством, рудоподготовка, минералогический состав, блочное моделирование, горно-геологическая информационная система

**Благодарности:** Статья подготовлена по материалам НИР, выполняемой по программе ФНИ государственных академий наук Тема 1 – Методы учета переходных процессов технологического развития при освоении глубокозалегающих сложноструктурных месторождений полезных ископаемых. (№0405-2019-0005).

**Для цитирования:** Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С., Тимохин А.В. Совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья при освоении сложноструктурных месторождений. *Горная промышленность*. 2022;(1S):63–70. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-63-70.

## Improvement of Mineral Processing Methods in Mining Structurally-Complex Deposits

V.D. Kantemirov✉, A.M. Yakovlev, R.S. Titov, A.V. Timokhin

Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ukr@igduran.ru

**Abstract:** The article assesses available methods of managing mineral grades in mining and possible ways to improve the mining efficiency. Assessment criteria for the ore masses are given depending on mineral and chemical composition, structural and other features. The outcomes are presented of developing a methodology of zoning technological types of ores within an open pit with account of complex evaluation of qualitative characteristics of minerals using modern geoinformation technologies. Two main methods, i.e. express and detailed, are proposed for data interpretation in geoinformation systems, which require preliminary creation of a geological database and allow to make reliable assessment and zoning of ores within an open pit based on qualitative indicators. The methods are different in terms of labour intensity, level of detail and the possibility of adjusting the resulting models depending on established or changed requirements towards the mineral grade. An enhanced mining and geological information system allows zoning of technological types and grades of ores within an open-pit with a high degree of reliability, which contributes to the selection of the most effective ore treatment method as part of the ore grade management for specific mining and geological conditions at the planning stage of mining operations. Examples of zoning technological types of ores within an open pit as well as methodological approaches to selecting effective methods of ore grade management are presented for deteriorating mining and geological conditions of deposits and increasing requirements towards the quality of products.

**Keywords:** minerals, mining and geological conditions, ores grades, technological types of ores, quality management, ore processing, mineral composition, block modeling, mining and geological information system

**Acknowledgments:** The article is based on the materials of research activities performed under the Basic Research Programme of the State Academies of Sciences, Topic 1 - Methods to account for transient processes of technological development in mining deep-lying mineral deposits characterized with a complex structure. (No. 0405-2019-0005).

**For citation:** Kantemirov V.D., Yakovlev A.M., Titov R.S., Timokhin A.V. Improvement of Mineral Processing Methods in Mining Structurally-Complex Deposits. *Gornaya promyshlennost = Russian Mining Industry*. 2022;(1 Suppl.):63–70. DOI: 10.30686/1609-9192-2022-1S-63-70.



**В.Д. Кантемиров,**  
кандидат технических наук,  
заведующий сектором  
Управления качеством  
минерального сырья,  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН



**Р.С. Титов,**  
старший научный сотрудник,  
сектор Управления  
качеством минерального сырья,  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН



**А.М. Яковлев,**  
старший научный сотрудник,  
сектор Управления  
качеством минерального сырья,  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН



**А.В. Тимохин,**  
научный сотрудник,  
сектор Управления качеством  
минерального сырья,  
Института горного дела  
Уральского отделения РАН

## Введение

Снижение кондиций добываемого полезного ископаемого, ухудшение горно-геологических условий его разработки при одновременном росте требований к качеству минерального сырья, поступающего на обогатительный передел, являются одной из причин современных тенденций совершенствования горнорудного производства [1; 2]. В этих условиях повышается значение инновационных методов управления качеством добываемого минерального сырья и научно обоснованного периодического перехода на новые эффективные технологии рудоподготовки с учетом изменяющихся геологических параметров и требований к качеству продукции.

Выбор технологий управления качеством минерального сырья производится по результатам оценки качественных характеристик полезного ископаемого (ПИ), выделения в рудном массиве на основе геологической информации природных типов руд, обоснования характеристик технологических типов руд и их районирования в карьерном пространстве с помощью геоинформационного моделирования.

Пространственное распределение типов руд и их количественное соотношение формируют стратегию отработки месторождения в режиме управления качеством минерального сырья [2; 3].

*Природный (геологический) тип руды* – руда, обладающая относительно устойчивым минеральным составом, текстурой и структурой, специфическими физическими свойствами, имеющая достаточно четкую пространственную обособленность. Название природного типа руды дается на основе главных рудообразующих минералов.

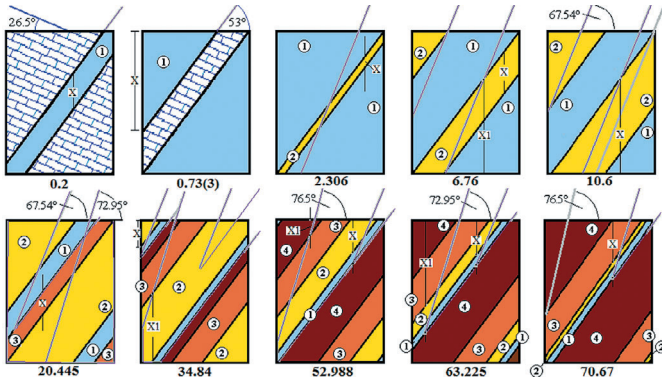
*Технологический тип руды* – руда устойчивого минерального и химического состава, которая перерабатывается по определенной схеме обогащения. Основное условие выделения технологического типа – возможность его раздельной добычи и переработки. Технологический тип подразделяется на сорта.

*Технологический сорт руды* – руда, имеющая общую для данного технологического типа схему переработки, но отличающаяся технологическими показателями переработки (например, извлечение, содержание металла в концентрате).

Большинство технологических типов руд подвергается многостадийному обогащению перед подачей их на металлургическое производство, при этом ставится задача по максимальному извлечению ценного компонента в концентрат, которая более полно реализуется при раздельной добыче и обогащении типов и сортов руд [4].

## Результаты исследований

Одним из эффективных методов предварительной оценки распределения технологических сортов в пространстве рудной залежи являются специальные геофизические исследования и геоинформационные технологии. Сектором УКР ИГД УрО РАН разработана методика электрометрических измерений для оценки состава и засорения рудного и нерудного ПИ, основанная на особенностях нахождения металлов в рудах, связанных с параметрами дифференциации петрофизических свойств, в т.ч. с их электрическим сопротивлением при геофизических измерениях массива пород. Апробация методики



**Рис. 1**  
Литологические модели обрабатываемых участков известняка, засоренного глинистыми породами (Чанвинский карьер, Пермский край)

**Fig. 1**  
Lithological models of mined areas of clay-laden limestone (Chanvinsky quarry, the Perm Territory)

выполнена на рудных и нерудных месторождениях ПИ. Разработанный метод электрметрии позволяет установить общую и литологическую структуру участков месторождения, геометризацию засоряющих пород массива (пример на рис. 1) [5].

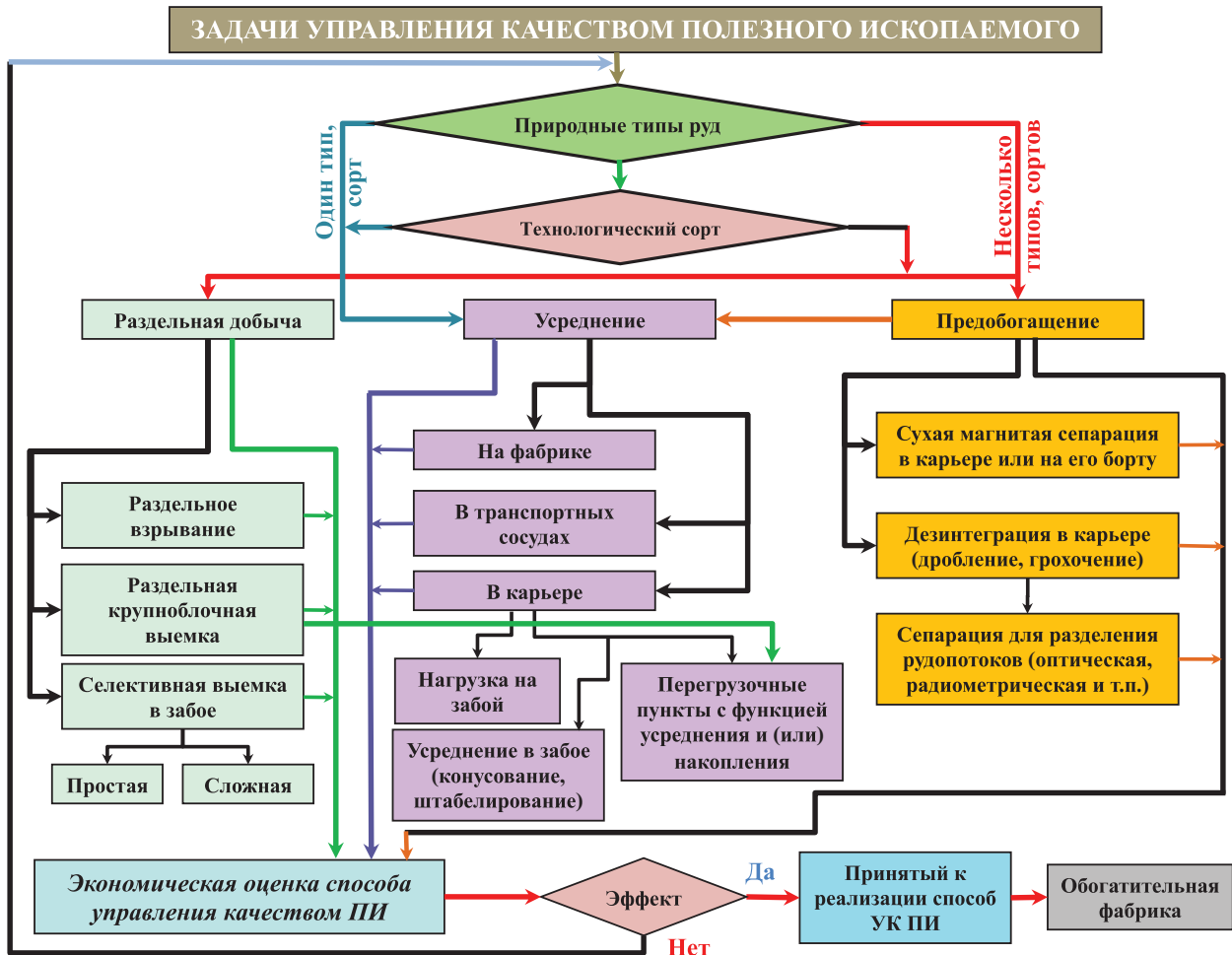
Методы управления качеством минерального сырья (рис. 2) для конкретных горно-геологических условий разработки месторождения подбираются на основе техни-

ко-экономической оценки следующих основных технологических операций:

- усреднение по нормируемым качественным параметрам добываемой руды с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством организации управления рудопотоками в карьерном пространстве;
- разделение грузопотоков полезного ископаемого в карьере на отдельные потоки, отличающиеся по технологическим свойствам;
- при необходимости усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для обогатительной фабрики;
- раздельная или селективная выемка и переработка руды с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам добываемой руды), раздельная добыча с использованием циклично-поточной технологии (ЦПТ);
- предобогащение руды в карьере, на борту карьера или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиционной руды (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и др.).

Выбор способа управления качеством рудного сырья производится при условии:

- если дисперсия показателей качества незначительна и представлена высокочастотной составляющей спектра



**Рис. 1**  
Схема выбора методов управления качеством руды

**Fig. 1**  
Selection tree of the ore grade management methods



(коэффициент вариации  $v < 30\%$ ), то рассматривается возможность усреднения ПИ на усреднительных складах;

– если дисперсия показателей характеризуется коэффициентом вариации  $v > 30\%$ , то целесообразно оценить варианты раздельной добычи руды с отличительными качественными признаками.

Эффективность освоения запасов минерального сырья существенно зависит от достоверности геологической информации о параметрах залегания и природной изменчивости месторождений полезных ископаемых.

Большинство рудных месторождений залегают в сложной геологической обстановке в виде линз, жил и пластов переменной мощности. Тела полезного ископаемого (ПИ) во многих случаях имеют включения пустых пород или неконтинентальных руд разных размеров и формы, мощность и элементы залегания рудных тел меняются в широких пределах. В еще большей степени изменяется качественный состав ПИ.

В процессе разработки месторождения условия добычи и рудоподготовки постоянно меняются. На современном этапе механизации горных работ, больших скоростях перемещения фронта работ, трудоемкости процессов переработки минерального сырья изменчивость геологической среды оказывает решающее влияние на полноту и комплексность использования запасов, а также эффективность всех процессов добычи и последующих процессов переработки минерального сырья.

В связи с этим совершенствование методов рудоподготовки минерального сырья, особенно при разработке глубокозалегающих сложноструктурных месторождений карьерами горно-обогатительных комбинатов, является актуальной научной задачей, имеющей большое практическое значение [1].

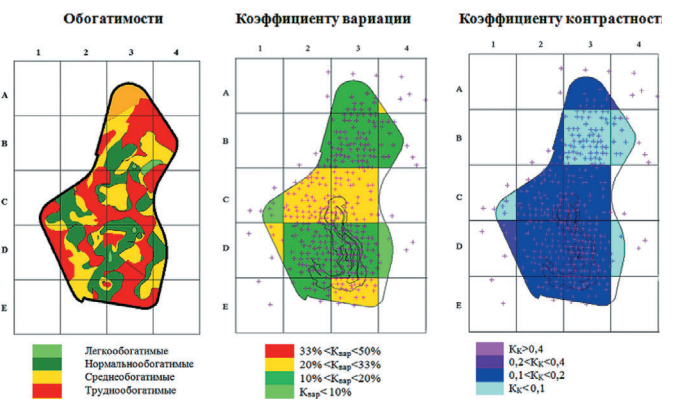
Одним из направлений повышения эффективности рудоподготовки минерального сырья является широкое внедрение в практику планирования горных работ горно-геологических информационных систем (ГИС), с помощью которых можно с высокой достоверностью районировать в карьерном пространстве технологические типы и сорта руд [6–8].

Для разработки методологических подходов по обоснованию систем управления качеством минерального сырья и отработке технологий и критериев районирования типов рудного сырья в карьерах сектором УКР ИГД УрО РАН проведены исследования на основе геологической базы данных Гусевгорского месторождения титаномagnetитов (ОАО «ЕВРАЗ КГОК»).

На рис. 3 представлены результаты районирования технологических типов руд в пределах гор. +160 м Северного карьера по разным методикам: по комплексному показателю обогатимости (содержанию железа в магнитной фракции проб и размера вкрапленности); по показателю контрастности; по коэффициенту вариации качественных характеристик.

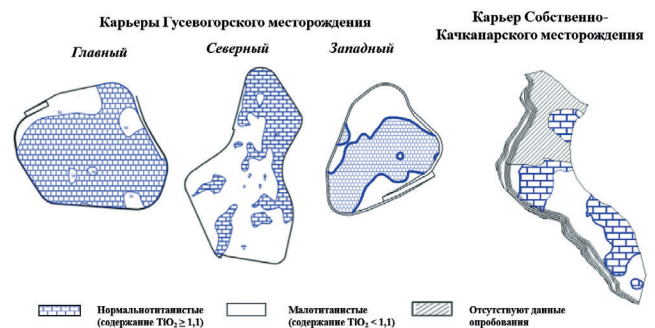
Сравнительный анализ прогноза распределения в карьере различных типов руд, выполненного по представленным методикам оценки, свидетельствует о достаточно схожих результатах районирования.

Комплексные исследования руд Гусевгорского месторождения показали, что малотитанистая их разновидность по сравнению с нормальнотитанистой имеет более высокую обогатимость и измельчаемость и меньшую магнитную жесткость. Учитывая большие отличия в обогатимости и измельчаемости малотитанистой и нормальнотитанистой разновидностей этих руд, целесообразно их



**Рис. 3**  
Районирование титаномagnetитовых руд на гор. +160 м Северного карьера ОАО «ЕВРАЗ КГОК» по разным критериям

**Fig. 3**  
Zoning of titanomagnetite ores at the +160 m level of the Northern Pit of EVRAZ KGOK based on different criteria



**Рис. 4**  
Распределение в карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» технологических типов руд по содержанию  $TiO_2$

**Fig. 4**  
Distribution of technological ore types in EVRAZ KGOK open pits by  $TiO_2$  content

Тип руды	Распределение типов руды по содержанию $TiO_2$ в карьерах ОАО «ЕВРАЗ КГОК»				
	Действующие карьеры				Проектный карьер
	Главный	Северный	Западный	Итого по действующим карьерам:	
Нормальнотитанистая (%)	83	30	62	54	52
Малотитанистая (%)	17	70	38	45	48
Добыча сырой руды (млн. т)	18,9	27,2	13,2	59,3	31

выделить в разные технологические типы. Таким образом, выделение технологических типов руд по содержанию  $TiO_2$  имеет существенное значение при переработке этих руд. На рис. 4 представлена схема распределения в карьерах АО «ЕВРАЗ КГОК» технологических типов руд по содержанию  $TiO_2$ .

Руды Собственно-Качканарского месторождения имеют аналогичное распределение типов руды относительно содержания ценных компонентов.

Выбор системы управления качеством минерального сырья для конкретных горно-геологических условий открытой разработки ПИ состоит из последовательного решения взаимосвязанного блока задач с использованием разработанных методик оценки [9; 10]:

- выявления и районирования (геометризации) в карьерном пространстве технологических типов и сортов руд;
- выбора способа (комплекса способов в составе технологии) рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов руд;
- технико-экономической оценки предварительно принятой технологии (способа) управления качеством минерального сырья.

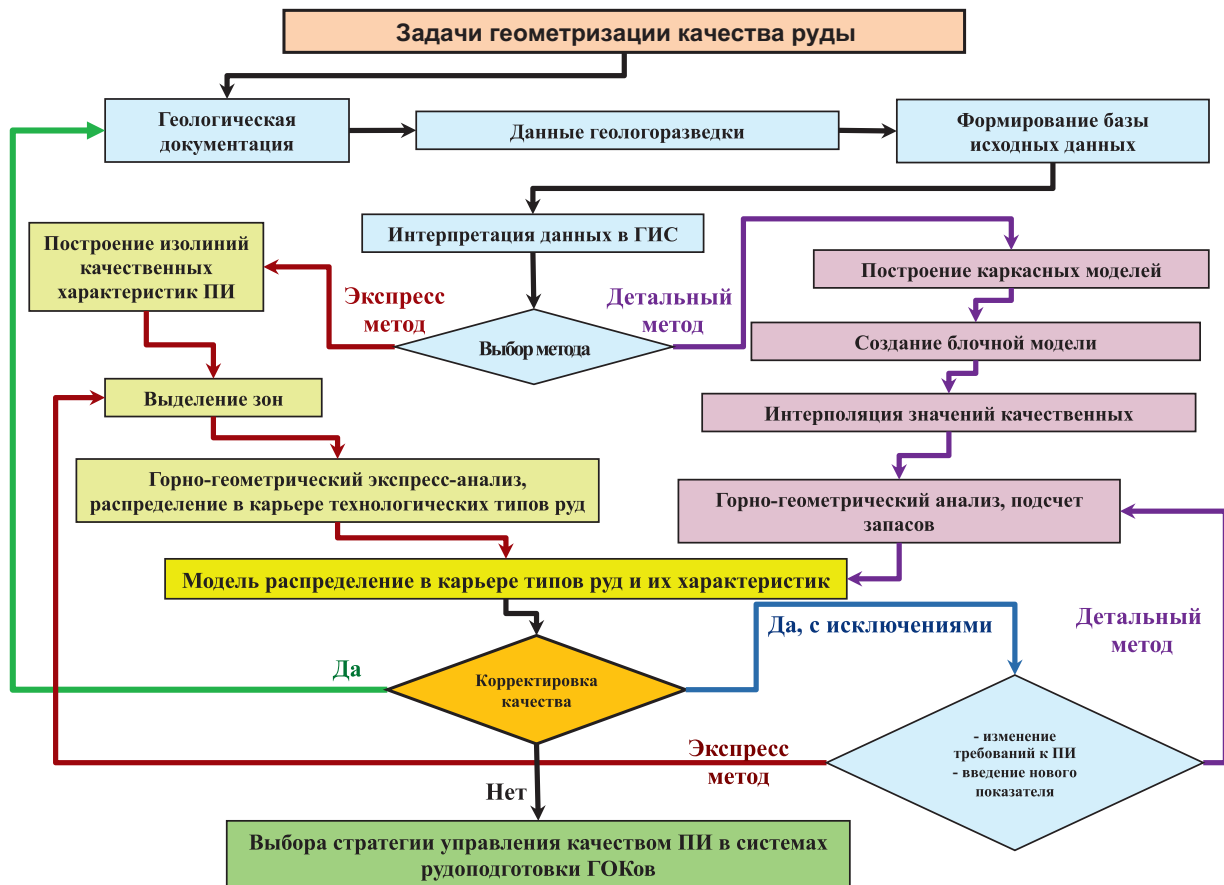


Рис. 5  
Блок-схема геоинформационной модели геометризации качественных характеристик руд

Fig. 5  
A block diagram of a geo-information model for geometric characterisation of ore grade characteristics

рального сырья и корректировки принятых решений после оценки горно-геологических, технико-технологических, экологических и экономических факторов (получение эколого-экономического эффекта).

На рис. 5 представлена блок-схема методики геометризации в карьерном пространстве качественных характеристик руд.

Краткое описание методики геометризации качественных характеристик руд

1. Геометризация качественных характеристик руд производится с использованием программных продуктов ГИС (GEOVIA Surpac, Mineframe, Datamine и др.) на основе сформированной базы исходных данных [11]. База исходных данных для создания блочной модели в ГИС формируется из данных детальной и эксплуатационной разведки месторождения (участков), геофизического исследования массива, результатов дополнительных минералогических и других исследований кернов горных пород.

2. Формирование базы исходных данных производится в форматах файлов программ Excel или Access. Производится оценка объема полученных данных и выбор метода их интерпретации в ГИС для блочного моделирования.

3. Для интерпретации данных в ГИС предлагается два основных метода: экспресс и детальный. Оба метода требуют предварительного создания геологической базы данных и позволяют достоверно производить оценку и районирование в карьере руд по качественным признакам. Методы различаются трудоемкостью выполнения, детальностью и возможностью корректировок построенных моделей в за-

висимости от установленных или изменившихся требований к качеству полезного ископаемого.

Выбор метода зависит от объема геоданных в сформированной базе, решаемых задач и сроков их выполнения. Рекомендуется при сравнительно небольшом объеме геоданных (блок, уступ, участок карьера) использовать экспресс-метод на основе метода обратных расстояний (детерминистический способ), при большом объеме исходных данных предлагается использовать детальный метод блочного моделирования на основе методов геостатистики (кригинга с линейной вариограммой).

### Обсуждение результатов исследований

*Достоинства* методов геоинформационного моделирования:

- экспресс-метод позволяет оперативно в кратчайшие сроки (в полуавтоматическом режиме при непосредственном контроле оператора) получать представления об основных закономерностях пространственного размещения компонентов полезного ископаемого при минимальном количестве вычислительных операций;

- детальный метод позволяет в автоматическом режиме производить подсчет запасов на ПК ЭВМ, выделять технологические типы и сорта руд, минимизировать затраты времени на представление результатов, производить моделирование параметров системы разработки, оценить календарный план и т.п.;

*Недостатки* методов геоинформационного моделирования:

- экспресс-метод при изменениях исходных данных и

требований к кондициям руд предполагает трудоемкую ручную обработку изменившихся границ (параметров) зон районирования, а комплексный показатель качества потребует дополнительных расчетов на стадии корректировки геологической базы;

– детальный метод более трудоемкий, т.к. при его применении необходимо производить большой объем дополнительных исследований и вычислений (геостатистика, создание каркасных моделей, интерполяция в блочную модель и т.п.), а первоначальные затраты времени больше по сравнению с экспресс-методом в 5–10 раз.

4. Результатом моделирования обоими методами является модель распределения в карьерном пространстве качественных показателей технологических типов руд. Следовательно, оба метода имеют свои области применения в зависимости от постановки задачи и сроков её выполнения и при необходимости могут дополнять друг друга.

Полученная в результате геометризации информация является основой для выбора методов управления качеством минерального сырья с учетом требований к качеству сырья, подаваемого на обогатительную фабрику (ОФ) (см. рис. 1).

**Краткое описание методики**

1. С учетом выделенных технологических типов (сортов) руд и требований ОФ выбираются способы и технические решения по управлению качеством при рудоподготовке в карьере.

Основные способы управления качеством минерального сырья: раздельная добыча технологических сортов ПИ, усреднение качественных характеристик, предобогащение.

2. Выбор способа и технических решений по управлению качеством рудного сырья производится с учетом ряда фак-

торов, при этом определяющим является установленное количество технологических типов и сортов руды.

Экономическая оценка мероприятий по управлению качеством минерального сырья является необходимым элементом выбора технологий рудоподготовки.

На рис. 6 представлена схема основных факторов, определяющих эффективность внедрения на предприятии системы рудоподготовки с управлением качеством минерального сырья.

Приведенные факторы оказывают разнонаправленное влияние на общий эффект от внедрения инновационного проекта по управлению качеством продукции.

Положительный результат показывает увеличение выхода полезных компонентов и повышение качества продуктов обогащения (концентратов), оптимизацию режимов работы обогатительного оборудования, сокращение отходов производства, экологической нагрузки и платежей за счет комплексного использования сырья и выпуска дополнительной продукции [12].

Однако внедрение мероприятий по управлению качеством сырья одновременно связано с существенным усложнением организации горных работ по сравнению с валовой добычей, снижением производительности горного оборудования и увеличением выемочно-погрузочных и транспортных работ, возможное приобретение дополнительного дорогостоящего оборудования (сепараторы, GPS-навигация и т.п.) с организацией рабочих мест, рост эксплуатационных затрат.

Полный учет всех возможных плюсов и минусов от внедрения технологий управления качеством для условий конкретного предприятия производится в результате технико-экономических расчетов на основе положений

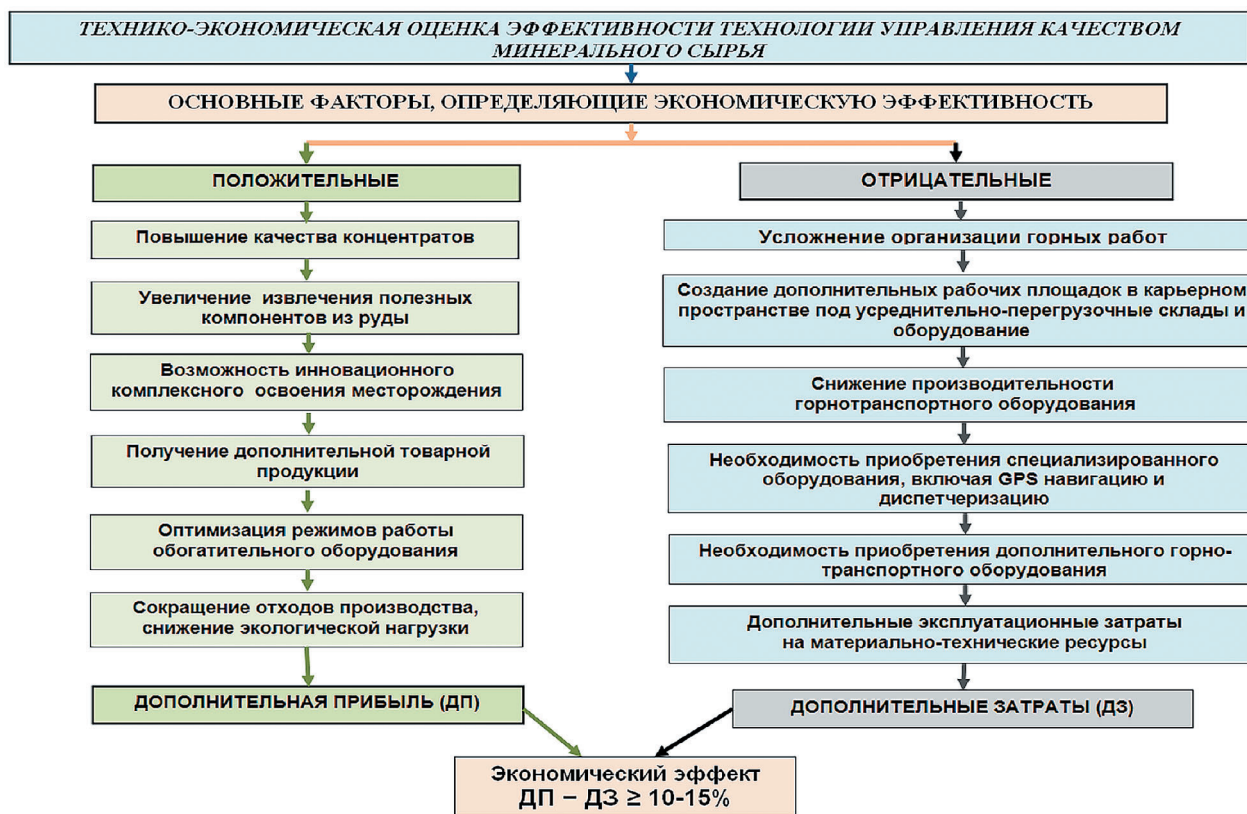


Рис. 6  
Схема основных факторов, определяющих экономическую эффективность от внедрения управления качеством минерального сырья

Fig. 6  
A schematic diagram of the key factors that determine the economic efficiency of introducing mineral grade management





методики оценки инвестиционных проектов [9, 10]. В соответствии с общемировой практикой допустимый дисконтированный коэффициент рентабельности инвестиций должен составлять не менее 10–15%.

При невозможности обеспечить приемлемый экономический результат для данных условий и исходных данных необходимо повторно рассмотреть все возможные варианты при выборе способа управления качеством минерального сырья, начиная с формирования базы исходных данных и далее в соответствии с положениями, изложенными выше.

## Выводы

1. Первым этапом разработки систем управления качеством минерального сырья является всестороннее изучение качественных характеристик ПИ, в т.ч. по данным геологоразведки, лабораторных исследований, результатов опытно-промышленных экспериментов и промышленной эксплуатации месторождений.

2. Следующим этапом является моделирование качественных характеристик полезного ископаемого с помощью ГИС-технологий, включая блочное моделирование и геометризацию параметров объектов (рудных тел, распределения в рудном теле рудообразующих минералов, показателя обогатимости, контрастности, засоренности, содержания ценных компонентов и др.).

Основной целью этого этапа является выделение природных и технологических типов и сортов руд и их районирование в карьерном пространстве. При этом на этапе планирования горных работ закладываются основные стратегические решения по отработке месторождения в режиме управления качеством продукции.

3. Основные способы управления качеством минерального сырья: раздельная добыча технологических сортов ПИ, усреднение качественных характеристик, предобогащение в карьерном пространстве.

Для конкретных горно-геологических условий месторождения технологии рудоподготовки включают в себя набор следующих технологических операций:

- разделение грузопотоков полезного ископаемого в карьере на отдельные потоки, отличающиеся по технологическим свойствам; при необходимости усреднение качественных показателей рудных потоков внутри технологических типов руд в целях формирования отдельных партий кондиционной руды для поставки на обогатительную фабрику (ОФ);

- раздельная или селективная выемка и переработка

руды с организацией в карьере или на поверхности многокомпонентных перегрузочных складов (по технологическим типам руд);

- раздельная добыча с использованием циклично-точной технологии (ЦПТ);

- усреднение по нормируемым качественным параметрам руды (содержанию ценных компонентов, количеству вредных примесей и др.) с организацией в карьере усреднительных перегрузочных (аккумулирующих) складов или посредством организации управления рудопотоками в карьерном пространстве;

- предобогащение руды в карьере, на борту карьера или на отвале с отделением включений пустой породы или некондиций (посредством грохочения, сухой магнитной сепарации и др.);

- комплексная технико-эколого-экономическая оценка эффективности мероприятий по управлению качеством минерального сырья на ГОКе.

4. Систему управления качеством минерального сырья необходимо предусматривать от забоя до обогатительной фабрики. При этом эффективное управление качеством рудоподготовки может быть основано на следующих принципах:

- постоянное уточнение данных о качественных характеристиках ПИ по результатам эксплуатационной разведки, магнитного каротажа буровых скважин, химического анализа сырья на всех стадиях его переработки и др., внедрение инновационных методов для уточнения и расширения сведений о качественных характеристиках ПИ;

- использование ГИС при планировании горных работ (годовом, месячном, недельно-суточном, сменном), непрерывное пополнение ГИС уточненными данными о ПИ;

- управление порядком взрывания обуренных блоков ПИ; GPS-позиционирование экскавации (траектории ковша и положения экскаватора в забое) и навигации транспортирования (с учетом качества сырья в транспортных сосудах);

- внедрение систем АСУ для автоматизированного управления грузопотоками в карьере с учетом качества сырья (управление качеством рудопотоков).

Разработка современных инновационных технологий управления качеством минерального сырья позволит решать задачи моделирования отработываемых рудных тел и выемочных единиц, планирования горных работ и стабилизации качественных показателей руды перед подачей ее на обогащение.

## Список литературы

1. Яковлев В.Л. Особенности методологического подхода к обоснованию стратегии освоения сложноструктурных месторождений на основе исследования переходных процессов. *Проблемы недропользования*. 2015;(3):5–11. <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2015.03.005>
2. Яковлев В.Л., Корнилов С.В., Соколов И.В. *Инновационный базис стратегии комплексного освоения ресурсов минерального сырья*. Екатеринбург: УрО РАН; 2018. 360 с.
3. Кузнецов О.Л., Никитин А.А., Черемисина Е.Н. *Геоинформатика и геоинформационные системы*. М.: ВНИИгеосистем; 2005. 453 с.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А. *Геостатистика: теория и практика*. М.: Наука; 2010. 327 с.
5. Тимохин А.В. Метод геометризации параметров засоряющих пород в массиве известняка на основе геофизических исследований. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2021;(5-1):162–176. [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_51\\_0\\_162](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_162)
6. Кантемиров В.Д., Яковлев А.М., Титов Р.С. Применение геоинформационных технологий блочного моделирования для совершенствования методов оценки качественных показателей полезных ископаемых. *Известия вузов. Горный журнал*. 2021;(1):63–73. <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-63-73>



7. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Тимохин А.В., Яковлев А.М. Совершенствование методов учета повышенных потерь и разубоживания полезного ископаемого при добыче. *Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2020;(3-1):466–477. <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464>
8. Ермолов В.А., Попова Г.Б., Мосейкин В.В., Ларичев Л.Н., Харитоненко Г.Н. *Месторождения полезных ископаемых*. 4-е изд. М.: Горная книга; 2009. 570 с. Режим доступа: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-mestorozhdeniya-poleznyh-iskopaemyh.pdf>
9. Кантемиров В.Д., Титов Р.С., Яковлев А.М., Козлова М.В. Современные подходы к выбору методов рудоподготовки минерального сырья. *Маркшейдерия и недропользование*. 2020;(4):29–34. <https://doi.org/10.25635/w9470-3467-8768-v>
10. Бастан П.П., Костина Н.К. *Смешивание и сортировка руд*. М.: Недра; 1990. 168 с.
11. Claudio O., Pierpaolo O. Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring. *International Journal of Mining Science*. 2015;1(1):35–42. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/335243690\\_Underground\\_Quarrying\\_for\\_Marble\\_Stability\\_Assessment\\_through\\_Modelling\\_and\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/335243690_Underground_Quarrying_for_Marble_Stability_Assessment_through_Modelling_and_Monitoring)
12. Козин В.З., Тихонов О.Н. *Опробование, контроль и автоматизация обогащительных процессов*. М.: Недра; 1990. 344 с.

## References

1. Yakovlev V.L. The features of methodological approach to grounding the strategy of mining complex structure deposits in terms of transient processes researches. *Problemy nedropolzovaniya*. 2015;(3):5–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.18454/2313-1586.2015.03.005>
2. Yakovlev V.L., Kornilkov S.V., Sokolov I.V. *Innovative basis for the strategy of integrated development of mineral resources*. Ekaterinburg: Ural Branch of RAS; 2018. 360 p. (In Russ.)
3. Kuznetsov O.L., Nikitin A.A., Cheremisina E.N. *Geoinformatics and geographic information systems*. Moscow: VNIIGeosistem; 2005. 453 p. (In Russ.)
4. Demiyarov V.V., Savelieva E.A. *Geostatistics: Theory and practice*. Moscow: Nauka; 2010. 327 p. (In Russ.)
5. Timokhin O.V. Geometrization of clay impurity areas in limestone rock mass based on geophysical research. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(5-1):162–176. (In Russ.) [https://doi.org/10.25018/0236\\_1493\\_2021\\_51\\_0\\_162](https://doi.org/10.25018/0236_1493_2021_51_0_162)
6. Kantemirov V.D., Iakovlev A.M., Titov R.S. Applying geoinformation technologies of block modelling to improve the methods of assessing quality indicators of minerals. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Gornyi zhurnal = News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2021;(1):63–73 (In Russ.). <https://doi.org/10.21440/0536-1028-2021-1-63-73>
7. Kantemirov V.D., Titov R.S., Timohin A.V., Yakovlev A.M. Improvement of methods of accounting for increased losses and dilution of minerals during production. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2020;(3-1):466–477. (In Russ.). <https://doi.org/10.25018/0236-1493-2020-31-0-453-464>
8. Ermolov V.A., Popova G.B., Moseikin V.V., Larichev L.N., Kharitonenko G.N. *Deposits of minerals*. 4<sup>th</sup> ed. Moscow: Gornaya kniga; 2009. 570 p. (In Russ.) Available at: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-mestorozhdeniya-poleznyh-iskopaemyh.pdf>
9. Kantemirov V.D., Titov R.S., Yakovlev A.M., Kozlova M.V. Modern approaches to selection of mineral ore pretreatment techniques. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2020;(4):29–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.25635/w9470-3467-8768-v>
10. Bastan P.P., Kostina N.K. *Mixing and sorting of ores*. Moscow: Nedra; 1990. 168 p. (In Russ.)
11. Claudio O., Pierpaolo O. Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring. *International Journal of Mining Science*. 2015;1(1):35–42. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/335243690\\_Underground\\_Quarrying\\_for\\_Marble\\_Stability\\_Assessment\\_through\\_Modelling\\_and\\_Monitoring](https://www.researchgate.net/publication/335243690_Underground_Quarrying_for_Marble_Stability_Assessment_through_Modelling_and_Monitoring)
12. Kozin V.Z., Tikhonov O.N. *Testing, control and automation of enrichment processes*. Moscow: Nedra; 1990. 344 p. (In Russ.)

## Информация об авторах

**Кантемиров Валерий Данилович** – кандидат технических наук, заведующий сектором Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ukr@igduran.ru

**Яковлев Андрей Михайлович** – старший научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: quality@igduran.ru

**Титов Роман Сергеевич** – старший научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: ukridg15@mail.ru

**Тимохин Александр Владимирович** – научный сотрудник, сектор Управления качеством минерального сырья, Институт горного дела Уральского отделения РАН, г. Екатеринбург, Российская Федерация; e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru

## Информация о статье

Поступила в редакцию: 03.10.2021

Поступила после рецензирования: 20.10.2021

Принята к публикации: 21.10.2021

## Information about the authors

**Valerii D. Kantemirov** – Candidate of Sciences (Engineering), Head of Mineral Resources Quality Management Department, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: ukr@igduran.ru

**Andrei M. Yakovlev** – Senior Researcher, Mineral Resources Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: quality@igduran.ru

**Roman S. Titov** – Senior Researcher, Mineral Resources Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: ukridg15@mail.ru

**Aleksandr V. Timokhin** – Researcher, Mineral Resources Quality Management Sector, Institute of Mining of Ural Branch of RAS, Ekaterinburg, Russian Federation; e-mail: timohin.igduran.geo@mail.ru

## Article info

Received: 03.10.2021

Revised: 20.10.2021

Accepted: 21.10.2021