

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ  
МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКОВ  
ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ  
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД

Монография

Институт горного дела, геологии и геотехнологий



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY

**Владимир Александрович Макаров  
Александр Владимирович Ефимов  
Георгий Сергеевич Курчин  
Евгений Геннадьевич Малиновский  
Игорь Иульянович Кацер**

**Интеллектуальная технология  
мониторинга и управления  
качеством рудопотоков  
при добыче и переработке  
многокомпонентных руд**

*[http://www.litres.ru/pages/biblio\\_book/?art=40129842](http://www.litres.ru/pages/biblio_book/?art=40129842)*

*ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ МОНИТОРИНГА И  
УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ РУДОПОТОКОВ ПРИ ДОБЫЧЕ И  
ПЕРЕРАБОТКЕ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ РУД:*

*ISBN 978-5-7638-3532-8*

**Аннотация**

Дана характеристика Норильской группы месторождений. Описано состояние горных технологий и рассмотрен уровень развития аппаратно-программных средств, показан алгоритм

генерации типовых управленческих решений в зависимости от реально складывающейся производственной ситуации. Предназначена для студентов, аспирантов и научных работников в сфере горного дела, геологии и геотехнологий.

# Содержание

Введение	6
1. Норильская группа месторождений	13
1.1. Краткая геологическая характеристика	13
1.2. Состояние горных работ и анализ схем формирования рудопотоков в системах: рудник – обогатительная фабрика	23
1.2.1. Схема рудопотоков горно-металлургического передела	23
Конец ознакомительного фрагмента.	25



**Макаров Владимир  
Александрович,  
Малиновский Евгений  
Геннадьевич, Кацер  
Игорь Иульянович,  
Курчин Георгий  
Сергеевич, Ефимов  
Александр Владимирович**

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ  
МОНИТОРИНГА  
И УПРАВЛЕНИЯ  
КАЧЕСТВОМ  
РУДОПОТОКОВ**

троля качества добычи и переработки минерального сырья на основе моделирования месторождений и управления рудопотоками актуально для крупных горно-металлургических комбинатов, где на перерабатывающее производство поступает руда с нескольких рудников и встает проблема увязки всех звеньев технологического процесса от геологической модели месторождения, очистных забоев, рудных складов, транспортной системы до обогатительной фабрики и металлургического завода. Представительным объектом для реализации подобной системы является ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»» – одно из крупнейших горнорудных предприятий России и мира. Для данного комбината создание эффективной технологии управления рудопотоками особо важно, так как на его месторождениях ведется добыча и переработка многокомпонентных руд и существует необходимость выдерживать плановые показатели по целому ряду металлов.

Разработка интеллектуальной технологии мониторинга и управления качеством рудопотоков при добыче и переработке многокомпонентных руд предполагает решение следующих задач:

- создание цифровых геологических моделей месторождений, обеспечивающих основу для подготовки систем долгосрочного и оперативного планирования и контроля их разработки;
- разработку системы автоматизированного планирова-

ния горных работ и технологических решений, обеспечивающих заданные нормативы и показатели извлечения, а также количественные и качественные характеристики формируемых рудопотоков;

- разработку систем контроля качественных характеристик перемещаемой руды за счет применения технических средств оперативного измерения содержания компонентов, работающих в режиме постоянного мониторинга.

Актуальность разработки данной технологии определяется еще и тем, что в соответствии с мировыми тенденциями технического перевооружения подземных рудников на них, наряду с добычей, возлагаются функции первичной рудоподготовки, то есть доведения качества добытой руды до состояния, превышающего качество руды в отработываемых залежах. Эта задача решается путем внедрения в существующие горные технологии комплекса усреднительных (смесительных) и сепарационных (разделительных) процессов и требует нового подхода к организации планирования и управления производством. Реализация данных мероприятий позволяет доводить качество добытой руды до уровня, превышающего исходное качество в балансовых запасах, что дает возможность повысить показатели извлечения полезных компонентов в готовый продукт и уменьшить непроизводительные расходы, а также существенно повысить конкурентоспособность горно-обогатительных предприятий на мировом рынке минерального сырья.

Создаваемые технологии управления качеством рудопотоков должны отвечать следующим условиям:

а) обеспечивать неразрывность управления качеством и объемом выпуска конечной продукции;

б) комплексно решать задачи управления по всему циклу формирования качества от проектирования горно-подготовительных работ до отгрузки товарных продуктов;

в) определять стандарты качества руды, как ключевой элемент управления горным производством.

В отечественной и зарубежной практике близкие технологии управления качеством продукции с определенной степенью полноты реализовались на ОАО «Карельский окатыш», на Навоийском горно-металлургическом комбинате (ГМК) в Узбекистане (компьютерные системы АС «РУДА» и САПР ГП по проекту INTEGRA GROUP (США) и ООО «Интегра Групп. РУ» (Россия), шведском руднике «Кируна» и др.

В Норильском рудном районе наиболее представительный объект, где весь комплекс поставленных задач проявляется во всем многообразии, – Талнахский рудный узел. Здесь десятки лет ведется отработка Талнахского и Октябрьского месторождений медно-никелевых руд, для которых совокупность сложных горно-геологических, горнотехнических и технологических условий в сочетании с крайне изменчивыми качественными характеристиками минерального сырья определяет круг научно-практических задач по управлению качеством товарной продукции.

Работы по комплексному решению проблем контроля качества руды начаты на предприятиях Норильска в 2007 году, где впервые предусматривалось создание системы инструментального контроля содержания полезных компонентов с помощью рудо-контролирующих станций в режиме реального времени. В июле 2008 года на Заполярном филиале ОАО «ГМК "Норильский никель"» сдана в эксплуатацию система контроля качества руды (СККР) из восьми рудо-контролирующих станций в контуре ГГУТОФ. За период эксплуатации системы с 2007 по 2016 год получен большой фактический материал, позволяющий определить перспективы использования результатов работы системы и ее дальнейшего внедрения. На сегодняшний день убедительно показано, что СККР может являться эффективным элементом технологии управления качеством рудопотока, позволяющим успешно решать локальную задачу по контролю качества отгружаемых на фабрику руд, поступающих с разных рудников. По результатам внедрения СККР, специалистами компании отмечена необходимость продолжения данных работ и в перспективе разработки «Комплексной системы (технологии) автоматизированного планирования горных работ, контроля качества рудопотока и принятия командных решений», обеспечивающих заданные объемы добываемой руды, нормативы и показатели извлечения. При этом должны определяться и контролироваться количественные и качественные характеристики формируемых рудопотоков, количество ме-

талла, добываемой и перерабатываемой рудной массы, объемы проходки, необходимые объемы закладки пустот и т. д.

Учитывая сложность проблемы, в 2016 году руководством компании ПАО «ГМК «Норильский никель»» и ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет» (СФУ) подписано соглашение о создании в СФУ научно-технологического центра **«Лаборатории по разработке динамической системы управления и контроля качества добычи и переработки минерального сырья»**, цель которого – научно-методическое и кадровое обеспечение разработки и внедрения интеллектуальной технологии управления качеством рудопотоков при добыче и переработке руд ЗФ ПАО «ГМК «Норильский никель»».

Первоначальными задачами центра определены:

- создание компьютерных геологических моделей месторождений, обеспечивающих основу для подготовки систем долгосрочного и оперативного планирования и контроля их разработки;
- сопровождение системы автоматизированного планирования горных работ и технологических решений, обеспечивающих заданные нормативы и показатели извлечения, а также количественные и качественные характеристики формируемых рудопотоков;
- сопровождение системы контроля качественных характеристик перемещаемой руды за счет применения технических средств оперативного измерения содержания компо-

нентов, работающих в режиме постоянного мониторинга.

В перспективе разработанная и внедренная технология должна стать основой для совершенствования планирования, диспетчеризации сквозного мониторинга и аудита всего горно-обоганительного комплекса.

В монографии представлен аналитический обзор состояния проблемы управления качеством рудопотоков в ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» и изложены основные принципы и подходы, которые будут предложены для программы работ компании и центра по созданию комплексной технологии управления рудопотоками.

Работа выполнена при поддержке специалистов горно-геологического профиля ЗФ ПАО «Горно-металлургической компании “Норильский никель”».

Материалы, положенные в основу работу, собраны авторским коллективом на протяжении последних пятнадцати лет. Авторы благодарят В.Н. Князева, А.И. Голованова и А.Б. Бородушкина за помощь в сборе и обработке материала для отдельных глав работы.

# **1. Норильская группа месторождений**

## **1.1. Краткая геологическая характеристика**

Норильская группа месторождений расположена в пределах Талнахского рудного узла, все медно-никелевые месторождения которого пространственно и генетически связаны с полнодифференцированными интрузивами базит-ультрабазитового состава. В геологическом строении Талнахского рудного узла принимает участие разнообразный комплекс отложений, характеризующий морские, континентальные и переходные между ними обстановки осадконакоплений. В тектоническом плане район месторождения приурочен к краевой части Хараелахской мульды, которая составляет асимметричную брахисинклинальную структуру субширотного направления.

Промышленное значение имеют месторождения «Норильск-1», «Талнахское» и «Октябрьское».

Месторождение «Норильск-1» связано с одноименной дифференцированной интрузией, приуроченной к контакту угленосных терригенных пород пермо – карбона и триасо-

вых эффузивных образований трапповой формации. В центральной части интрузия расщепляется на две ветви: западную и восточную.

Вкрапленные руды приурочены к нижним дифференциатам интрузии – оливиновым, пикритовым, такситовым и контактовым габбро-долеритам.

Верхняя часть пикритовых, а иногда и нижняя часть оливиновых, габбро-долеритов включают бедное вкрапленное оруденение с содержаниями сульфидов 3–5 %. В нижней части пикритовых, в такситовых и контактовых габбро-долеритах количество сульфидов достигает 12–16 %. Прожилковое оруденение встречается во всех разновидностях пород, но наиболее часто – в контактовых габбро-долеритах. Жилы и линзы сплошных сульфидных руд мощностью от 1–2 до 5–8 м распространены наиболее широко в нижней части интрузии и в породах нижнего экзоконтакта. К настоящему времени основная часть этих руд отработана.

Месторождение «Норильск-1» отрабатывается подземным способом – рудником «Заполярный» и карьером «Медвежий ручей».

Талнахское и Октябрьское месторождения пространственно и генетически связаны с Талнахским дифференцированным интрузивом.

Талнахское месторождение приурочено к Северо-восточной и Юго-западной ветвям Талнахского интрузива, которые залегают в отложениях тунгусской серии на западном и во-

сточном крыльях Норильско-Хараелахского разлома. Северо-восточная часть Талнахского месторождения отрабатывается рудником «Комсомольский», южная – рудником «Маяк», северная – шахтой «Скалистая» рудника «Комсомольский».

Октябрьское месторождение приурочено к Северо-западной и Хараелахской ветвям, расположено в западном борту Норильско-Хараелахского разлома и залегает в отложениях девона. Западный участок Октябрьского месторождения отрабатывается рудником «Октябрьский», юго-восточный – рудником «Комсомольский», восточный – рудником «Таймырский».

Октябрьское месторождение приурочено к Северо-западной и Хараелахской ветвям Талнахского интрузива, расположено в западном борту Норильско-Хараелахского разлома и залегает в отложениях девона. Длина интрузии до 10 км, ширина 1–1,5 км, мощность до 200–250 м. Контуры залежей в плане повторяют в целом контуры интрузива и имеют пластообразную форму протяженностью 300–450 м. На отдельных участках месторождения руды образуют в разрезе серию линзовидных тел мощностью 5–10 м. Горизонтом локализации интрузива являются ангидритомергелевые породы нижнего и среднего девонов.

Залежь «Северная-2» богатых руд представляет собой сложнопостроенную, падающую на северо-восток (азимут падения 45–60°) под углом 10–16° систему сплошных суль-

фидов с редкими разделяющими их прослоями габбро-долерита и полевошпатовых пород. Мощность залежи меняется от 1 до 18 м. Средняя мощность составляет 7 м.

Нарушенность богатых руд зависит от наличия тектонических нарушений, ксенолитов вмещающих пород и от текстурно-структурных особенностей руд. При заложении тектонических нарушений в крупнозернистых рудах мощность зоны оперяющих трещин даже при значительных амплитудах редко достигает 3–5 м. В связи с этим ненарушенные участки (участки средней нарушенности) установлены в нижней пачке при размерах тектонического блока более 5–10 м, в то время как в рудах верхней пачки ненарушенные участки появляются лишь при размерах тектонического блока более 40–60 м.

Нарушенность подстилающих метаморфизованных, перекрывающих метаморфизованных и интрузивных пород оценивается как сильная на 100 % на всех горизонтах. Трещиноватость и нарушенность сульфидных жил: 30 % – средняя, 70 % – сильная; ксенолитов: 50 % – средняя, 50 % – сильная.

Нижний контакт горизонта вкрапленного оруденения налегает на богатые руды и на отдельных участках отрывается от них до 7–10 м.

На месторождениях выделяются три промышленных типа медно-никелевых руд на глубинах от 950 до 1300 м: богатые (сплошные), вкрапленные и «медистые». В пределах залежи «Северная-2» присутствуют два промышленных типа

медно-никелевых руд: богатые (сплошные) и вкрапленные. Наибольшую ценность представляют богатые руды.

Богатые руды Хараелахской залежи (основной) представляют собой плитообразное тело шириной до 1 км, имеющее протяженность в субширотном направлении до 1,7 км и полого (6–10°) погружаются в восточном направлении от 550 м до 1170 м. С запада, со стороны рудника «Октябрьский», залежь ограничена горным сбросом (рис. 1.1).

Запасы медистых руд сосредоточены в горизонте, кулисообразно продолжающем западную зону локализации богатых руд. Залежь имеет длину 1000 м, ширину 800 м. Глубина залегания 350 м, глубина распространения 1100 м при средней мощности 40–100 м. Морфология тел медистых руд определяется конфигурацией и пространственным положением блоков вмещающих пород и интрузивных инъекций.

«Медистые» руды представлены двумя горизонтами: МП-ОВ и МП-ОН. Руды горизонта МП-ОВ по своему составу преимущественно халькопирит-пирротиновые, распространены непосредственно в кровле богатых руд, иногда отделены от богатых руд прослоями пустых пород. Мощность горизонта изменяется от 1 до 10 м.

Горизонт МП-ОН по составу оруденения существенно пирротин-халькопиритовый и представлен двумя узкими рудными телами, мощностью 5–7 м, протягивающимися на южном и северном флангах на участках воздымания почвы богатых руд.

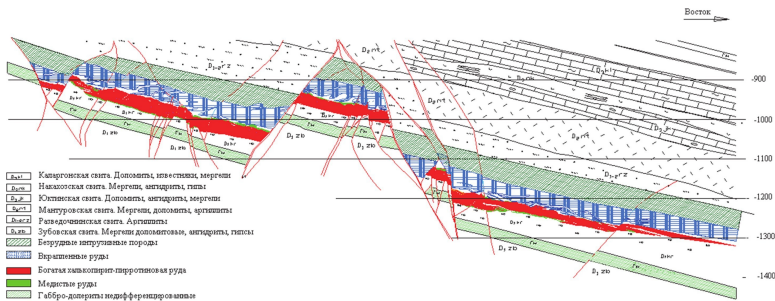


Рис. 1. Разрез по Харлаелахаской I рудной залежи

Залежь «Северная-2» имеет сложную конфигурацию при длине 2,15 км и ширине от 0,3 до 1,0 км. Глубина залегания рудных тел 1200–1400 м. Положение залежи четко контролирует плоскость контакта подошвы интрузива и вмещающих осадочных и метаморфических пород средне-девонской толщи. На флангах залежь расщепляется на отдельные прожилки и линзы. Мощности линз богатых руд достаточно устойчивы и изменяются от 1 до 23 м, составляя в среднем 7 м. Внутри залежи имеются безрудные ксенолиты и линзы вмещающих интрузивных пород мощностью до 3 м. Контакты сплошных руд с вмещающими породами обычно четкие, кроме отдельных случаев подошвы интрузива. Богатые руды залежи представлены двумя отчетливо выраженными пачками. Верхняя часть залежи (верхняя пачка), сложена рудами существенно пирротинового состава, мелкозерни-

стыми, мелко-среднезернистыми, полигональными, с ксенолитами вмещающих пород (до 30–40 %). Для верхней пачки характерно содержание меди менее 3,0 % (иногда до 3,5 %) и наличие скачкообразного изменения содержания меди на границе пачек, содержание компонентов платиновой группы в 1,5–2,0 раза меньше, чем в нижней пачке. Нижняя пачка сложена рудами халькопирит-пирротинового состава среднезернистыми, крупнозернистыми, пегматоидными (гигантозернистыми), редко мелкозернистыми, с ксенолитами вмещающих пород (до 10–15 %). В нижней пачке содержание меди более 4,0 % (иногда более 3,5–4,0 %).

Вкрапленные руды прослеживаются по всей площади распространения рудного интрузива и локализуются в зоне нижнего эндоконтакта последнего. Ширина залежи по простиранию изменяется от 400 до 1200 м, длина по падению 800–1000 м. Глубина залегания 800 м, глубина распространения 1000 м. Вкрапленные руды образуют единый выдержанный горизонт, оторванный от почвы интрузива. Мощность горизонтов вкрапленных руд достигает 40 м. Главные рудоносные дифференциаты – такситовый и пикритовый горизонты. На некоторых участках отмечается балансовое оруденение в нижней приконтактной части оливиновых габбро-долеритов. Отмечаются интервалы пустых пород и забалансовых руд внутри горизонта, около 80 % которых приурочено к такситовым габбро-долеритам.

Состав вкрапленных руд халькопирит-пирротинный, но

часто отмечаются интервалы с пирротин-халькопиритовым оруденением, которые представлены и в плане, и в разрезе субвертикальными жилоподобными зонами как субмеридианального, так и субширотного простирания. Реже отмечаются зоны диагонального простирания, с которыми связано повышенное содержание драгоценных металлов и меди.

Наиболее распространенной минеральной разновидностью богатых руд являются пирротиновые руды. Главные минералы представлены пирротином (40–70 %), халькопиритом (10–30 %), пентландитом (10–15 %), магнетитом (5–10 %). Отношение содержаний меди к сере в рудах составляет менее 1:3. Халькопиритовые руды сложены халькопиритом, талнахитом (40–70 %), кубанитом (10–40 %), пентландитом (8–13 %). Отношения меди к сере составляет 2:3. Имеются платиноиды. Кубанитовые руды – вторая по распространенности минеральная разновидность богатых руд. Эти руды характеризуются следующим составом: кубанит (35–55 %), троилит (20–40 %), пентландит (10–15 %), халькопирит (5–15 %), магнетит (5–8 %).

Основным концентратом никеля во всех разновидностях богатых руд является пентландит (98 % всего никеля). Кобальт рассеян в рудообразующих минералах (73–82 % – в пентландите, 5–20 % – в пирротине, 21 % – в халькопиритовых рудах). Вся медь содержится в халькопирите и кубаните (99 %). Железо входит во все главные минералы богатых руд. Среднее содержание никеля – 2,8 %, меди – 3,8 %.

Медистые руды по основным рудным минералам разделены на пять минеральных разновидностей: пирротиновые, пирротин-халькопиритовые, пиритовые и валлериитовые. Первые две являются промышленными залежами. В распределении минеральных разновидностей наблюдается зональность: пирротиновые руды располагаются ближе к контакту интрузива, по удалении от него сменяются халькопиритовыми рудами, затем идут пиритовые руды. Минеральный состав пирротиновых руд: пирротин, халькопирит, пентландит, магнетит. Нерудными минералами являются пироксены, плагиоклаз, карбонаты, гранаты, серпентин, ангидрит, хлорит.

Вкрапленные руды по минеральному составу относятся к пирротиновой разновидности и располагаются между богатыми рудами и медистыми. По всем типам руд содержание металлов увеличивается по мощности вниз.

Норильские медно-никелевые руды являются комплексными, из них извлекают цветные металлы: никель, медь, кобальт; благородные металлы:

золото, серебро и элементы платиновой группы. Кроме этого, попутно получают селен, теллур и серу. Руды также содержат ряд других элементов, например железо, уходящее в шлаки и вредные примеси, из которых главными являются, селен цинк и мышьяк, спорадически встречающиеся в рудах.

При типизации руд в качестве главного классификационного признака используют минеральный состав рудной части

с учетом количественных соотношений главных рудных минералов. При микроскопическом изучении шлифов руд выделены следующие устойчивые рудные ассоциации: пентландит-халькопирит-пирротиновая; пирит-пентландит-халькопиритовая (с борнитом и сфалеритом); пирротин-халькопирит-кубанитовая; пирит-халькопиритовая (с милеритом и магнетитом); борнит-халькопиритовая (с пиритом и милеритом); пирит-магнетит-пирротиновая.

## **1.2. Состояние горных работ и анализ схем формирования рудопотоков в системах: рудник – обогатительная фабрика**

### **1.2.1. Схема рудопотоков горно-металлургического передела**

Как было отмечено выше, горные предприятия ЗФ ПАО «ГМК “Норильский никель”» ведут отработку трех месторождений сульфидных медно-никелевых руд:

- 1) «Норильск-1» (подземный рудник «Заполярный», рудник открытых горных работ «Медвежий ручей»);
- 2) «Талнахское» (подземный рудник «Комсомольский», в его составе шахта «Комсомольская», шахта «Скалистая» и рудник «Маяк»);
- 3) «Октябрьское» (подземные рудники «Таймырский» и «Октябрьский»).

В зависимости от структуры и минерального состава, а также содержания цветных и драгоценных металлов, руды подразделяют на:

- вкрапленные (среднее содержание Ni 0,4–0,5 %, Cu 0,7–

0,8 %),

- медистые (среднее содержание Ni 0,9–1,5 %, Cu 2,0–3,2 %),
- богатые (среднее содержание Ni 2,5–3,5 %, Cu 3,5–4,5 %),
- селективные руды (наиболее богатые по содержанию цветных и драгоценных металлов руды рудника «Октябрьский»).

Добыча руды осуществляется на семи горных предприятиях, которые обрабатывают три месторождения и выдают на-гора различные по составу товарные руды. Товарная продукция и потребители горных предприятий отражены в табл. 1.1.

Кроме вышеперечисленных типов руд на переработку поступает лежалый пирротиновый концентрат (ЛПК). Источником ЛПК являются техногенные месторождения – пирротинохранилища № 1 и 2, сформированные в период с 1972 по 1981 год. Складирование этого продукта обусловлено отсутствием в тот период мощностей для его переработки. ЛПК является техногенным продуктом, прошедшим длительное хранение и предварительное флотационное обогащение. ЛПК, поступающий в переработку на НОФ содержит: Ni 1,0–2,0 %, Cu 0,6–1,6 %.

На Норильской обогатительной фабрике обогащение руды осуществляется по гравитационно-флотационной технологии по трем технологическим схемам.

# Конец ознакомительного фрагмента.

Текст предоставлен ООО «ЛитРес».

Прочитайте эту книгу целиком, [купив полную легальную версию](#) на ЛитРес.

Безопасно оплатить книгу можно банковской картой Visa, MasterCard, Maestro, со счета мобильного телефона, с платежного терминала, в салоне МТС или Связной, через PayPal, WebMoney, Яндекс.Деньги, QIWI Кошелек, бонусными картами или другим удобным Вам способом.