



«УТВЕРЖДАЮ»

Директор ГоИ КНЦ РАН,
д.т.н. Лукичев С.В.

«12» сентября 2022 г.

ОТЗЫВ

Ведущей организации

Горный институт – обособленное подразделение
ФГБУН Федеральный исследовательский центр
«Кольский научный центр Российской академии наук»
(ГоИ КНЦ РАН)

на диссертацию Яковлева Андрея Михайловича «ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ГОРНЫХ РАБОТ В РЕЖИМЕ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ СЫРЬЯ», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Диссертационная работа изложена на 152 страницах, содержит 60 рисунка, 28 таблиц, список литературы из 88 наименований.

Актуальность избранной темы. В современных геополитических и финансово-экономических условиях особенно актуальным является обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации в области разработки программного обеспечения для реального сектора экономики, в частности для горной индустрии. Цифровизация является одной из главных движущих сил для трансформации горного производства в направлении повышения производительности, увеличения экономической эффективности и обеспечения безопасных условий труда. На этом фоне работы, направленные на оптимизацию планирования открытых горных работ, выглядят многообещающими для достижения таких целей как поиск рациональных последовательностей отработки карьерных полей, решения проблем усреднения качества добываемого минерального сырья. На горнодобывающих предприятиях всего мира в настоящее время широко применяются методы автоматизированного планирования горных работ для различных горизонтов планирования от всей жизни горного предприятия до суточного и сменного.

Однако существующие технологии нуждаются в алгоритмах и средствах автоматизированного управления качеством сырьевых потоков, на что и направлена диссертационная работа Яковлева А.М. Целью диссертационной работы является разработка методик районирования карьерного пространства и геоинформационного обеспечения при планировании горных работ с формированием заданных объемов минерального сырья требуемого качества на базе блочного моделирования. Цель достигается на основе идеи создания унифицированных геоинформационных моделей для выбора оптимальной системы управления качеством на основе учета изменчивости качественных показателей минерального сырья сложноструктурных месторождений при проектировании и планировании горных работ.

Связь работы с планами соответствующих отраслей науки и народного хозяйства.

Диссертационная работа выполнялась в соответствии с планами научных исследований «ИГД УрО РАН». Разработанные БД, модели, алгоритмы и методики по геоинформационному моделированию месторождений или его участков, планированию горных работ, систем рудоподготовки, обработки данных применяются при проведении фундаментальных исследованиях, выполняемых в рамках ГОСЗАДАНИЯ ИГД УрО РАН, а также прикладных НИР по Качканарскому, Костомукшскому, Качарскому и др. месторождениям.

Новизна исследования и полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации.

Полученные диссертантом в ходе выполнения исследований результаты обладают научной новизной и имеют важные практические преимущества перед результатами предшественников. Для достижения поставленной цели автор сформулировал два первых научных положения:

1. Обоснование способа управления качеством на различных этапах прогноза развития горных работ осуществляется на основании геопространственной оценки изменчивости коэффициентов вариации содержания полезных и вредных компонентов минерального сырья по глубине и площади рудного тела, при этом, селективная выемка природных типов и сортов руд выбирается по пороговому значению коэффициента вариации, превышающему 0,3.

2. Обоснование подходов к управлению рудопотоками на участках карьера в режиме управления качеством достигается изменением высоты выемочного слоя и шага подвигания горных работ, способа выемки, усреднения или предобогащения, осуществляемых на основании анализа изменчивости качества по предложенной методике районирования природных и технологических типов руд.

Третье научное положение посвящено информационному обеспечению планирования горных работ, которое реализуется созданием совокупности блочных, каркасных и матричных динамических моделей, учитывающих неоднородность распределения показателей качества минерального сырья и обеспечивающих достижение заданных показателей по объемам и содержанию оцениваемых компонентов в геопространстве и времени.

Работа построена традиционно, изложена логично и по своему содержанию полностью отвечает научно-квалификационной работе на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Во введении рассмотрена актуальность работы и отмечены проблемные вопросы по управлению качеством минерального сырья в процессе планирования горных работ. Решение данных проблемных вопросов, имеет большое научное и прикладное значение и определяет направление диссертационного исследования.

Для решения поставленной цели во введении сформулированы идея работы, задачи исследований, показана научная новизна работы и ее достоверность, приведены научные положения, которые выносятся на защиту, отмечены основополагающее личное участие автора в постановке и решении задач исследований и их практическая значимость.

Первая глава посвящена аналитическому обзору. Диссертантом на основе изучения значительного количества литературных материалов выполнен анализ теории и

практики автоматизированного планирования открытых горных работ. Проведено обобщение опыта и намечены пути совершенствования методических подходов в управлении качеством добываемого минерального сырья.

Вторая глава диссертации посвящена обоснованию подходов к выбору способа управления качеством руд на различных этапах развития горных работ. Показано, что выбор способа рудоподготовки в режиме управления качеством минерального сырья для установленного распределения в карьере типов и сортов полезного ископаемого производится по результатам геометризации. Районирование руд в зависимости от масштаба оцениваемого объекта предлагается осуществлять, используя следующие методические подходы: экспресс-метод (блок, уступ) с построением изолиний качества и выделением зон, характеризующих различные технологические типы и сорта руд, а при детальном моделировании (рудное тело, карьер, месторождение) с созданием блочной модели для автоматизированных горно-геометрических расчетов. На основе предложенного метода экспресс-оценки качества руд, их изменчивости, разведанности разработаны рекомендации по выбору рационального способа отработки конкретного участка фронта горных работ: валовая или селективная выемка, раздельная добыча, деление участков на подступы для получения требуемого значения содержания при минимальной дисперсии.

Третья глава посвящена разработке методики геоинформационного обеспечения для перспективного и текущего планирования открытых горных работ в режиме управления качеством, включающая вопросы создания геоинформационной базы, формирования динамических матричных и блочных моделей погоризонтных планов для и создания основы для формирования цифровых двойников отработки эксплуатационных горизонтов. Показано, что совершенствование системы геоинформационного обеспечения принятия решений на стадии планирования горных работ связано с необходимостью учитывать изменчивость качественных характеристик, т.к. она, наряду с горногеологическими условиями, определяет применяемый подход к управлению качеством добываемого минерального сырья. Анализ изменчивости качественных показателей свидетельствует о том, что использование матричных моделей обеспечивает соблюдение требований к учету вариативности показателей качества и обоснованию способов стабилизации качества руд.

Предложенная методика геоинформационного обеспечения процесса планирования горных работ на основе данных блочных моделей позволяет произвести анализ текущего состояния горных работ на предприятии, оценить по горизонтам объемы и качество руд, изменчивость качественных показателей. На их основе в короткие сроки можно произвести многовариантную оценку дальнейшего развития горных работ, разработать автоматизированные календарные планы не только по объемам и содержанию полезных и вредных компонентов на требуемый период планирования, но и с учетом изменчивости руд и соотношения различных их сортов. Данная методика может использоваться для оценки стратегии освоения месторождения и выбора направлений развития горных работ, оценки применяемых методов рудоподготовки, что позволяет строить трехмерные планы горных работ с детальной картой грузопотоков по системе «склад-карьер-горизонт».

В четвертой главе автором приведены основные результаты практической реализации элементов, разработанной методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ. Методика геоинформационного обеспечения при

планировании горных работ в режиме управления качеством апробирована на АО «Карельский Окамыш». Апробация результатов исследований в различных условиях свидетельствует о том, что разработанные методики геоинформационного обеспечения оперируют унифицированными моделями, адаптируемыми к принятым на предприятиях ГГИС. Проверка методики геоинформационного обеспечения планирования горных работ показала возможность быстрой адаптации геологической блочной модели, имеющейся на предприятии и трансформации ее в систему взаимосвязанных динамических матричных моделей по каждому из карьеров, вовлеченных в процесс планирования отработки, что позволяет формировать интегральные и взаимоувязанные показатели разработки по объемам и качеству во времени разработки в учетом переменной интенсивности горных работ в каждом из карьеров.

В **заключении** достаточно полно и аргументировано обобщены и систематизированы результаты диссертационного исследования. Полученные автором решения подтверждаются экспериментальными данными и обладают научной новизной, необходимой для диссертационного исследования.

Значимость для науки и производства (практики) полученных автором диссертации результатов.

Научная новизна работы заключается в:

– целенаправленном системном геоинформационном моделировании различных горно-геологических условий, как базы для оценки и рационального комплексного использованию запасов месторождений; – выборе способа управления качеством минерального сырья на основе экспресс-оценки и автоматизированного поиска перспективных для управления качеством участков рабочей зоны карьера;

– разработке методики геоинформационного обеспечения процессов планирования горных работ, основанной на вероятностно-статистическом анализе изменчивости качественных характеристик, обеспечивающей гибкое поэтапное принятие технологических решений.

Практическое значение работы состоит в разработке комплекса методик, адаптирующих геологические базы данных к решению задач управления качеством минерального сырья, используемых различными программными системами, в т.ч. авторской. Выработан алгоритм анализа распределения качества руд в недрах, как основа технологических подходов к его стабилизации, разработаны основные блоки методики планирования открытых горных работ в режиме формирования рудопотоков заданного качества.

Достоверность научных положений, выводов и результатов подтверждается корректностью постановки задач и применяемых методов исследования, достаточным объемом проанализированной информации и изученных статистических данных, аргументированной обоснованностью теоретических выводов и практических рекомендаций, сходимостью результатов моделирования и фактического распределения качественных характеристик в массиве горных пород.

Оценка содержания диссертации, ее завершенность в целом, замечания по оформлению.

В целом изложенный материал соответствует целевой установке и задачам диссертационного исследования. Выводы, сделанные по работе, отвечают поставленным целям и задачам. Разработанная с участием диссертанта методика геоинформационного моделирования при планировании горных работ в режиме управления качеством сырья реализована и апробирована при решении задач планирования отработки Качканарского, Костомукшского, Качарского, Эльгинского и др. месторождений.

Диссертационная работа и автореферат хорошо оформлены, написаны грамотным научным языком (за исключением нескольких опечаток). Содержат необходимые и качественные иллюстрации и литературные ссылки. Диссертация оставляет впечатление большой и серьезно проделанной работы, и имеющие место огрехи не умаляют ее достоинств.

Замечания

1. В 1 главе диссертации приведен обзор методов управления качеством на крупных железорудных горно-обогатительных комбинатах, имеется обзор иностранных и отечественных программных продуктов для горнодобывающей промышленности, однако значимым дополнением к этому должен был бы стать обзор исследований в направлении разработки оптимизационных методов планирования горных работ, ведущихся за рубежом - материалы международных симпозиумов и публикации в научных журналах.

2. В качестве критерия выделения природных типов и технологических сортов руд, а также выбора метода отработки – валовый или селективный, – принято пороговое значение коэффициента вариации качественных показателей - 30%. Этот критерий был разработан тогда, когда практика блочного моделирования и методы интерполяции только разрабатывались и широкого применения не имели. Сейчас для выделения сортов полезного ископаемого и природно-технологических зон можно использовать не этот достаточно грубый критерий, а технологические свойства руд, рассчитанные в блочных моделях, с гораздо более точной экономической оценкой цикла добычи и обогащения.

3. В работе декларируется, что осуществляется «автоматизированное планирование горных работ в режиме управления качеством» (с. 139), хотя на деле показано, что планирование осуществляется в режиме определения (контроля) степени изменчивости качества, а не его управления.

4. В работе при долгосрочном планировании делается ориентация на использование суперблоков 100*100*15 (с. 86, 138, 140), хотя для крутопадающих рудных месторождений такой подход является довольно грубым, особенно на сложноструктурных месторождениях, к каким относятся как Костамукшское, так и Корпангское месторождения железистых кварцитов. Размеры блоков должны быть сопоставимы с шириной заходки экскаваторов и их «зоной эффективного перемешивания».

5. На месторождениях ОАО «Карельский Окамыш» при сопоставлении программ доработки месторождений показано, что «определены тенденции к улучшению качества (снижение содержание серы в концентрате и увеличение железа магнитного) с глубиной разработки, что при вариантах с большей производительностью по ГОКу незначительно повысило качество руды» (с. 133). Однако не объяснено, за счет чего в таблице 4.7 на этой же странице содержание железа в остаточных запасах не меняется, а в 3-м, рекомендуемом, варианте, даже несколько возрастает.

6. Применительно к Эльгинскому месторождению коксующихся и энергетических углей отмечено, что «наиболее вероятное соотношение стружки потерь и засорения при зачистках кровли и подошвы пласта составляет 50 к 50» (с. 116), хотя данная пропорция

зависит от ценности углей и может составлять, например, 30 к 70. Для различных сортов углей она должна быть индивидуальна, а то и вообще зависеть от зольности, то есть может быть переменной даже для каждой скважины.

7. Делается вывод (с. 110) о том, что при коэффициенте рудоносности участка (блока) менее 50% целесообразна селективная выемка. Но целесообразность селективной выемки породных прослоев определяется их размерами и уровнем рационального примешивания, которые определяют возможность выделения самостоятельных вскрышных выемочных единиц, даже если доля таких блоков будет составлять 10 % от объема основного блока.

Отмеченные выше недостатки не снижают научной и практической значимости работы, а лишь раскрывают сложность проблематики, на решение которой направлена диссертация. В целом работа выполнена на высоком научно-техническом уровне, написана технически выверенным по терминологии языком и читается довольно легко. Выполненная практическая работа вызывает уважение, при этом проблематика стабилизации качества добываемых руд и углей и селективной выемки их технологических сортов в рамках долгосрочного планирования горных работ в диссертации только поставлена и предложены предварительные варианты «компьютерной технологии», направленные на учет разнородности сырья.

Соответствие автореферата основным положениям диссертации.

Автореферат и публикации достаточно полно отражают основное содержание диссертационной работы. Для автореферата соискателем выбрана иная структура изложения работы. В автореферате выделяются три части. В «Общей характеристике работы» присутствует вся необходимая информация об актуальности работы, объектах исследования, цели и задачах, методах, научной новизне, практической значимости, публикациях, структуре и объеме работы, перечислены защищаемые положения, отмечен личный вклад автора. Далее следует раздел «Основное содержание работы», в котором полученные данные и выводы приводятся в соответствии со структурой диссертационной работы. В «Заключении» отражены основные научные результаты. Приведен список работ диссертанта по теме диссертации.

Подтверждения опубликованных основных результатов диссертации в научной печати.

Основные научные положения и результаты диссертационного исследования неоднократно обсуждались на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в 19 работах, в том числе 9 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, из них 3 в журналах, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней.

Тематика исследований, приведенных в диссертации, соответствует паспорту специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Диссертация Яковлева Андрея Михайловича является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных исследований обоснована методика геоинформационного моделирования при планировании горных работ в режиме управления качеством сырья, что является решением важной и актуальной научно-технической проблемы.

Представленная диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор – **Яковлев Андрей Михайлович** заслуживает присуждения ученой степени **кандидата технических наук** по специальности 25.00.35 – «Геоинформатика».

Отзыв рассмотрен и одобрен на семинаре лаборатории «Теории комплексного освоения и сохранения недр» 2 сентября 2022 года, протокол № 4.

Заведующий лабораторией
Теории комплексного освоения и сохранения недр,
доктор технических наук
тел. (8 815 55 79 301); E-mail: o.nagovitsyn@ksc.ru



Наговицын О.В.

Я, Наговицын Олег Владимирович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

« 12 » сентября 2022 г.

Ведущий научный сотрудник
лаборатории Теории комплексного освоения и сохранения недр
кандидат технических наук
тел. (8 815 55 79 127); E-mail: a.bilin@ksc.ru



Билин А.Л.

Я, Билин Андрей Леонидович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета и их дальнейшую обработку.

« 12 » сентября 2022 г.

184209, г. Апатиты, Мурманской области, ул. Ферсмана, дом 24
Горный институт – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук» (ГоИ КНЦ РАН)
тел. (81555)79520, факс (81555)74625; goi@ksc.ru