



«УТВЕРЖДАЮ»

Генеральный директор ФИЦ КНЦ РАН

Академик РАН

С.В. Кривовичев

« 23 » мая 2024 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр «Кольский научный центр Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ РАН) на диссертацию Кульковой Марии Сергеевны по теме «Геомеханическое обоснование параметров отработки Ждановского месторождения с учетом особенностей физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния массива», представляемую на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Диссертация «Геомеханическое обоснование параметров отработки Ждановского месторождения с учетом особенностей физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния массива» выполнена в Горном институте Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Кольский научный центр Российской академии наук».

Кулькова Мария Сергеевна в 2012 году с отличием окончила обучение Кольском филиале Петрозаводского государственного университета по специальности «Физические процессы горного или нефтегазового производства». С 2012 по 2019 гг. работала в должности инженера (руководителя группы мониторинга горного давления) на руднике «Северный» АО «Кольская ГМК». С 2018 по 2022 гг. прошла послевузовское профессиональное образование – аспирантуру Горного института КНЦ РАН по специальности 25.00.20 «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» и успешно защитила выпускную квалификационную работу по теме «Исследование удароопасности медно-никелевых месторождений рудника «Северный» АО «Кольская ГМК». В 2024 г. подготовила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Научный руководитель: кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела Геомеханики Горного института КНЦ РАН Семенова Инна Эриковна.

Актуальность диссертационной работы состоит в оценке и прогнозировании критических состояний массива пород Ждановского медно-никелевого месторождения с учетом его геомеханических характеристик. Значительные объемы добычи запасов Ждановского месторождения подземным способом стимулируют процесс понижения фронта очистных работ, что осложняет геомеханическую ситуацию и может приводить к разрушениям массива пород в динамической форме. Для реализации динамического разрушения должны быть выполнены два условия. Первым условием является то, что

породы и руды, слагающие месторождение, должны иметь способность накапливать значительное количество упругой энергии под действием напряжений в массиве с дальнейшей ее реализацией в виде хрупкого разрушения. Вторым необходимым условием потенциального динамического разрушения является действие таких величин напряжений, значения которых близки или превышают пределы прочности горных пород при сжатии. Для массива пород Ждановского месторождения не была установлена степень влияния структурной неоднородности на его прочностные характеристики, при этом результаты определения параметров НДС в предыдущих исследованиях имели противоречивый характер. В связи с этим, исследование и анализ характеристик горных пород и породных массивов, обоснование параметров полей действующих напряжений и прогноз трансформации напряженно-деформированного состояния (НДС) в процессе отработки запасов являются актуальными и необходимыми условиями для обеспечения геодинамической безопасности ведения горных работ.

Цель работы состоит в обосновании параметров отработки запасов Ждановского месторождения с учетом его геомеханических характеристик.

Идея работы заключается в выявлении закономерностей формирования областей критических состояний массива пород Ждановского месторождения, потенциально опасных с точки зрения возникновения динамических разрушений в процессе ведения горных работ.

Личный вклад автора состоит в обработке, систематизации и анализе результатов лабораторных испытаний и натурных измерений параметров поля напряжений, выполнении натурных исследований по определению характеристик массива пород Ждановского месторождения, участии в постановке цели и задач исследования, разработке комплекса разномасштабных численных геомеханических моделей НДС, анализе и интерпретации результатов моделирования, сравнении их с данными натурных исследований, выявлении зон развития критических состояний массива горных пород и обосновании рекомендаций по геодинамически безопасному ведению горных работ.

Методологическая основа исследования представлена совокупностью следующих методов: 1) аналитические методы и методы математической статистики, применяемые при изучении физико-механических свойств горных пород и результатов натурных исследований; 2) натурные методы, применяемые в процессе картирования и визуального обследования состояния горных выработок; 3) численные методы моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород.

Достоверность научных положений и выводов обеспечена представительным количеством опытов и применением современного высокоточного оборудования при выполнении лабораторных и натурных исследований, точностью и надежностью методов математической статистики, применяемых при обработке результатов лабораторных испытаний, достаточной степенью сходимости при выполнении расчетов при моделировании НДС, а также верификацией результатов расчетов НДС данными визуальных наблюдений в подземных горных выработках Ждановского месторождения.

Научная новизна работы заключается в определении параметров и особенностей природного напряженного состояния массива пород Ждановского месторождения и выявлении закономерностей изменения компонент тензора напряжений с глубиной посредством реконструкции геотехнической ситуации с использованием объемного

численного геомеханического моделирования на основе анализа результатов натурных исследований НДС.

Практическая значимость работы заключается заключается в генерации численных геомеханических моделей на основании данных лабораторных испытаний образцов основных породных разностей, натурных исследований поля напряжений, визуальном обследовании состояния горных выработок, а также оценки характеристик массива горных пород Ждановского месторождения. Данный комплекс моделей используется на предприятии и позволяет определять области критических состояний массива пород в процессе выемки запасов рудных тел, разрабатываемых АО «Кольская ГМК».

Ценность научной работы состоит в получении новых знаний о закономерностях распределения напряжений с глубиной в условиях действия гравитационно-тектонического поля напряжений в прочных скальных массивах пород с учетом особенностей в соотношении величин главных напряжений.

Реализация результатов работы. Разработанные разномасштабные численные 3D геомеханические модели Ждановского месторождения и его участков (Центрального и Восточного, Юго-восточного) установлены и используются специалистами рудника «Северный» АО «Кольская ГМК» для оценки НДС в процессе ведения горных работ. На основании результатов выполненного исследования сформированы Заключения по обеспечению геомеханической безопасности ведения горных работ по планам развития на 2024 год при отработке запасов рудника «Северный» АО «Кольская ГМК». Результаты исследований представлены в отчетах по теме НИР 0226-2019-0058 и FMEZ-2022-0004.

Полнота изложения материалов диссертации в работах, опубликованных соискателем. По результатам исследований Кульковой М.С. опубликовано 9 работ, в том числе 5 статей - в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России и 3 – в изданиях, индексируемых в международных базах данных Web of Science и Scopus.

В изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России:

1. Kulkova M.S., Zemtsovsky A.V. Optimizing parameters of stopes and pillars for the Zhdanov deposit mining // Eurasian mining. 2019. № 1. С. 13-15.

2. Кулькова М.С., Земцовский А.В. Оценка устойчивости массива при стадийной отработке запасов линзы Ждановского месторождения по результатам моделирования его напряженодеформированного состояния // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2021. № 5-2. С. 103-110.

3. Козырев А.А., Земцовский А.В., Кулькова М.С., Соннов М.А. Опыт применения CAE Fidesys при разработке численных геомеханических моделей Ждановского месторождения // Горная промышленность. № 6. С. 94-98.

4. Семенова И.Э., Розанов И.Ю., Кулькова М.С. Комплексное исследование параметров обрушения подработанной толщи пород Ждановского месторождения // Горный журнал. 2023. № 12. С. 49-54.

5. Семенова И.Э., Константинов К.Н., Кулькова М.С. Оценка напряженно-деформированного состояния массива пород в окрестности подземных выработок глубокого заложения комплексом инструментальных и численных методов // Горный журнал. 2024. № 1. С. 22-28.

В прочих изданиях:

1. Semenova I.E., Kulkova M.S. Creation of a numerical geomechanical model for the Zhdanovskoe ore deposit // ISRM International Symposium - EUROCK 2020.

2. Kozyrev A.A., Zemtsovskii A.V., Kulkova M.S. The estimation of the rock mass stress state of the Zhdanovskoe deposit, Kola MMC // Topical Issues of Rational Use of Natural

Resources 2019, Vol. 1. Proceedings of the XV International Forum-Contest of Students and Young Researchers under the auspices of UNESCO. 2020. CRC Press. Pp. 189-196.

3. Semenova I.E., Kulkova M.S. The stress distribution around the mining excavations under different tectonic loads // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. V. 833. Pp. 012127.

4. Кулькова М.С. Применение аналитического и численного методов исследования для определения оптимальных параметров камер и целиков при отработке Ждановского месторождения // Вестник Кольского научного центра РАН. 2019. № 1 (11). С. 42-49.

В опубликованных работах Кульковой М.С. отражены основные результаты диссертационной работы, выводы и рекомендации. Сведения об опубликованных работах достоверны.

Материалы диссертации, представленные Кульковой М.С. на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэrogазодинамика и горная теплофизика», докладывались и широко обсуждались на общероссийских и международных научных конференциях, симпозиумах:

- 1) XV Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург, 13-17 мая 2019 г.
- 2) XVI Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования». г. Санкт-Петербург, 17-19 июня 2020 г.
- 3) ISRM International Symposium EUROC, г. Тронхейм, 2020 г.
- 4) ISRM International Symposium EUROC, г. Турин, 2021 г.
- 5) XV Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования». г. Екатеринбург, 9-11 февраля 2021 г.
- 6) Импортозамещение в горной отрасли. Практики применения отечественного программного обеспечения в решении задач геомеханики и геотехники», г. Москва, 29 сентября 2021 г.
- 7) Геодинамика и напряженное состояние недр земли», г. Новосибирск, 4-8 октября 2021 г.
- 8) XVI Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования», г. Екатеринбург, 9-11 февраля 2022 г.
- 9) XVII Всероссийская молодежная научно-практическая конференция «Проблемы недропользования», г. Екатеринбург, 7-10 февраля 2023 г.
- 10) XIX Международный форум-конкурс студентов и молодых ученых «Актуальные проблемы недропользования», г. Санкт-Петербург, 22-27 мая 2023 г.
- 11) Конференция «Цифровые технологии в горном деле», г. Апатиты, 13-16 июня 2023 г.

Диссертационная работа соответствует пунктам паспорта специальности 2.8.6 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика: п.1 Напряженно-деформированное состояние массивов горных пород и грунтов в естественных условиях и его изменение во времени, в том числе в связи с проведением горных выработок, строительством сооружений, газовых и нефтяных скважин, эксплуатацией месторождений; п.2 Геомеханическое обеспечение открытой и подземной добычи полезных ископаемых, разработка методов управления горным давлением, удароопасностью, креплением, сдвижением горных пород, устойчивостью

бортов карьеров, разрезов, отвалов и подземных выработок; п.5 Теоретические основы, математические модели и способы управления состоянием и поведением массивов горных пород и грунтов с целью обеспечения устойчивости горных выработок, подземных и наземных сооружений, предотвращения проявлений опасных горно-геологических явлений.

Выполненная диссертационная работа соответствует требованиям п. 14 Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 №842 «О порядке присуждения ученых степеней».

Диссертационная работа Кульковой Марии Сергеевны на тему «Геомеханическое обоснование параметров отработки Ждановского месторождения с учетом особенностей физико-механических характеристик и напряженно-деформированного состояния массива» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.8.6 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Заключение принято на заседании горной секции Учёного совета Горного института КНЦ РАН. Присутствовало на заседании 15 чел., в том числе – 4 доктора технических наук. Результаты голосования: «за» - 15 чел., «против» - 0 чел., «воздержались» - 0 чел., протокол заседания горной секции Учёного совета Горного института КНЦ РАН от 23.05.2024 г.

Заключение подготовлено и выдано в соответствии с Положением об Ученом совете Горного института – обособленного подразделения ФИЦ «Кольский научный центр РАН», утвержденным Генеральным директором ФИЦ КНЦ РАН С.В. Кривовичевым 27 марта 2023 года (п.4.11).

Председатель заседания,
главный научный сотрудник
доктор технических наук

О.В. Наговицын

Секретарь заседания,
старший научный сотрудник
кандидат технических наук

И.М. Аветисян