

## **ОТЗЫВ**

официального оппонента на диссертационную работу Белоусова Федора Сергеевича «Обоснование методики мониторинга нарушенности переходных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика»

### **Актуальность темы диссертации**

Основной объём мировой алмазодобычи сконцентрирован в 9 странах, доля которых от общемирового производства в натуральном выражении составляет около 99%. Россия занимает первое место в мире по объёмам и стоимости добываемых алмазов. Российская компания «АЛРОСА» добывает 95% от всех алмазов в стране, доля компании в мировом объёме составляет около 27%. Большинство месторождений разрабатываемых АК «АЛРОСА» находятся в Республике Саха (Якутия), где отработка запасов кимберлитов ведётся в сложных горно-геологических и горно-технических условиях, а именно – наличие многолетней мерзлоты до глубины 550 м, напорные и агрессивные подмерзлотные воды, большая глубина разработки и другое. По мере отработки запасов кимберлитов открытым способом встаёт вопрос о целесообразности перехода на подземную добычу. При этом рассматриваются различные системы разработки и варианты подземной добычи, обеспечивающих наилучшие экономические показатели и безопасность ведения горных работ. Но, несмотря на грамотный подход к выбору системы разработки и технологии добычи, в процессе отработки запасов полезных ископаемых приходится сталкиваться с различными негативными факторами, влияющими на безопасность ведения горных работ и экономическую составляющую производства.

Многие кимберлитовые месторождения отрабатываются по традиционной схеме нисходящей выемки запасов полезных ископаемых

горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. При такой системе разработки между карьером и подземным рудником оставляют переходную зону (предохранительный целик), что позволяет защитить рабочие горизонты подземного рудника от попадания туда подземных и поверхностных вод. Одной из важнейших проблем возникающей при нисходящей отработке запасов горизонтальными слоями с твердеющей закладкой является образование зон недозаклада, которые дополнительно увеличиваются в процессе затвердевания и усадки смеси. По мере отработки нижележащих горизонтов происходит увеличение толщины искусственного массива с зонами недозаклада под переходной зоной, что приводит к возрастанию её интегральной податливости и образованию системы техногенных водопроводящих трещин.

Предприятиями принимаются целые комплексы мер, направленные на улучшение общей ситуации, но при детальном рассмотрении они лишь оказываются мерами по преодолению последствий, а не по устранению причин появления вышеупомянутой сложной ситуации. Автором диссертационной работы предлагается наряду с применяемыми мерами проводить обязательный контроль свойств рудного массива над закладываемыми выработками, что позволит заблаговременно применять профилактические меры и предотвратить опасность нарушения переходной зоны.

Главным преимуществом новой методики является то, что она подходит не только для кимберлитовых, но и для всех месторождений, разрабатываемых под дном карьера с закладкой выработанного пространства.

Сказанное выше позволяет заключить, что диссертационная работа Белоусова Ф.С., посвященная решению задачи технического мониторинга неустойчивого состояния переходной зоны под дном карьера кимберлитовых месторождений, возникающего ввиду крайне сложных природно-



геологических, геомеханических и горнотехнических условий, является актуальной и имеет важное значение для безопасного ведения горных работ.

### **Общая характеристика содержания диссертационной работы**

Представленная на отзыв работа изложена на 122 страницах машинописного текста и включает введение, три главы, заключение и список литературы из 104 наименований, в которых приводятся конкретные результаты применяемых методов исследования.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы объект и предмет, цель, идея, задачи исследования, научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, изложены сведения относительно апробации и публикаций автора по теме диссертации. Сформулированная автором цель убедительно обоснована, задачи определены исходя из цели диссертационного исследования.

В первой главе диссертации приведен анализ научной литературы, показавший перспективность применения методов сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и деформационных наблюдений для мониторинга нарушенности переходных зон под дном карьера. Представлено обоснование разработки беспроводной искробезопасной сейсмической аппаратуры для проведения геофизических исследований геологических тел из оконтуривающих их выработок. На основе проведенного анализа состояния изученности вопроса оценки строения, нарушенности и изменения во времени геомеханического состояния переходной зоны сформулированы цель работы и задачи исследования.

Во второй главе представлен анализ методов определения свойств и состояния массива горных пород переходной зоны, где ведется нисходящая отработка запасов полезных ископаемых горизонтальными слоями с твердеющей закладкой. Проанализированы геофизические методы

исследований, с помощью которых ведется решение поставленной в диссертации задачи, рассмотрены основные плюсы и минусы каждого из них для описания геомеханических процессов в переходной зоне. Определены основные методические подходы для проведения исследований в опытно-промышленных условиях. Показано техническое обеспечение методики мониторинга и характеристики разработанного нового сейсмического оборудования.

В третьей главе приведены первичные данные методов сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и деформационных наблюдений. Показаны результаты математической и программной обработки, а также совместной интерпретации результатов. По полученным данным сейсмических наблюдений построены томографические карты изолиний, проведен статистический анализ скоростей упругих волн и динамического модуля упругости, определено строение кимберлитового массива как в горизонтальной, так и вертикальной плоскости. С помощью деформационных наблюдений зафиксированы места и величины дискретного распределения деформаций массива горных пород. На основе комплексного анализа данных вышеуказанных методов установлены критерии и зависимость, характеризующие нарушенное состояние массива горных пород переходной зоны.

В заключении кратко изложены основные научные и практические результаты диссертационного исследования.

#### **Анализ основных научных положений, выносимых на защиту**

Автором на основании выполненных исследований сформулированы три научных положения. В первом из них утверждается, что для эффективного и достоверного проведения оперативного контроля свойств и состояния массива горных пород переходной зоны, а также своевременного



установления пространственно-временных изменений упругих характеристик кимберлитов требуется применение сейсмотомографического метода исследований на технической базе разработанного искробезопасного сейсмического оборудования.

Второе научное положение утверждает, что для детального рассмотрения областей нарушенности массива горных пород переходной зоны, а также установлении критических значений параметров, определяющих переход этих областей в разрушенное состояние, необходим комплексный подход на основе анализа и интерпретации результатов методов сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и деформационных наблюдений.

Согласно третьему научному положению значительные изменения геомеханического состояния массива горных пород переходной зоны за трёхлетний период наблюдений сопровождаются уменьшением динамического модуля упругости кимберлитов на 16% и снижением скоростей упругих волн на 10%, а выявленные зоны аномальных скоростей характеризуются образованием вторичной трещиноватости и возможной фильтрации солевых растворов.

### **Научная новизна диссертационной работы:**

Рассматриваемая диссертация направлена на разработку методики мониторинга геомеханических процессов, протекающих в массиве горных пород переходной зоны под дном карьера при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений. Предлагаемая методика позволяет оценить нарушенное состояние массива горных пород на основе комплексного использования геофизических и деформационного методов. К основным научным результатам диссертационной работы, можно отнести: достоверное определение контуров аномальных областей в кимберлитовом массиве;

фиксирование пространственно-временных изменений параметров нарушенности горных пород; представленную корреляционную зависимость параметров геофизических и деформационных исследований; критериальные оценки областей разуплотнения кимберлитового массива под дном карьера.

### **Значимость результатов диссертации для науки и практики**

Научная значимость работы заключается в обосновании применения метода сейсмического просвечивания для возможности определения локального геомеханического состояния массива горных пород переходной зоны.

Практическим результатом работы является предложенная автором методика мониторинга нарушенности переходных зон под дном карьера, позволяющая на основе комплексного использования и совместного анализа результатов методов сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и деформационных наблюдений определять геомеханическое состояние массива горных пород, выявлять зоны потенциальной неустойчивости и устанавливать критерии областей нарушенности переходной зоны. К результату, имеющему важную роль, можно отнести разработанную беспроводную искробезопасную сейсмостанцию, позволяющую проводить геофизические исследования с произвольным шагом расстановки регистраторов, тем самым обеспечивая необходимую плотность покрытия исследуемого массива лучевыми скоростями.

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации**

Научные положения, выводы и рекомендации соискателя, сформулированные в диссертационной работе, обоснованы и подтверждены достаточно большим объёмом проведенных опытно-промышленных



исследований нарушенного состояния переходной зоны, а также выводами статистической и графической обработки результатов методов сейсмического просвечивания, ультразвукового каротажа и деформационных наблюдений. Дополнительно проведенные буровые работы по местам расположения аномальных зон в массиве горных пород подтвердили результаты предложенного метода мониторинга нарушенности переходной зоны под дном карьера.

### **Рекомендации по использованию результатов диссертационной работы**

Полученные в диссертации результаты, рекомендуется к использованию:

- проектными и научно-исследовательскими учреждениями при разработке горно-геологических обоснований, технических проектов и мониторингу нарушенности массива горных пород в переходной зоне под дном карьера при комбинированном ведении добычных работ на кимберлитовых месторождениях;

- методическая часть диссертационного исследования рекомендуется к использованию в учебном процессе высших учебных заведениях по специальности 21.05.05 «Физические процессы горного или нефтегазового производства»;

- результаты, полученные автором в рамках диссертационного исследования, рекомендуется учитывать также при разработке нормативно-технических документов, регламентирующих процесс отработки запасов полезных ископаемых под переходной зоной по технологии нисходящей их выемки горизонтальными слоями с закладкой выработанного пространства.

## Замечания по диссертационной работе

1. Автору следовало бы привести данные по погрешностям измерения экстензометра, инклинометра, сейсмической и ультразвуковой аппаратуры, а также провести хотя бы ориентировочную оценку влияния этих погрешностей на конечные результаты измерений и их обработки, в том числе по формулам (3) – (5), (7), (9) – (14). В этих формулах в числителях дробей стоят разности двух величин, для которых дисперсии погрешностей складываются, а средние значения вычитаются, что может привести к значительным относительным погрешностям. Это важно, в частности, для понимания 3-го пункта Заключение, где приведены значения годовых изменений скоростей упругих волн.

2. При изложении материала диссертации автор использует термин «инклинометрия», что при чтении создает впечатление только измерений наклона в скважинах. В то же время, как следует из текста, кроме измерений наклонов в работе определяют горизонтальные и вертикальные (оседания, опускания) смещения реперов скважины. Помимо наклономера DIS-500 в тексте упомянут также магнито-герконовый экстензомер, позволяющий регистрировать относительные линейные перемещения реперных точек в скважине, что и является основной задачей измерений по данной теме. На наш взгляд, здесь уместнее было бы использовать термин «деформационные наблюдения», имеющий более общее значение и характеризующий именно конечные результаты этих измерений, включающих как измерения смещений, так и наклона.

3. Единицы частоты, приведенные на стр. 52 и характеризующие ультразвуковые измерения, должны быть указаны не в Гц, а в кГц.

4. Для формулы (16) кроме коэффициента корреляции следовало бы привести также среднеквадратическое отклонение, характеризующее погрешность регрессионной зависимости.



5. Имеют место незначительные опечатки (стр. 6, 16 и др.), не снижающие в то же время ясности представленных в тексте результатов работы и понимание смысла изложенного материала.

Отмеченные замечания в целом не снижают общей положительной оценки результатов диссертационной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным  
«Положением о присуждении учёных степеней»**

Основные результаты диссертационной работы Ф.С. Белоусова изложены в 11 печатных работ, в том числе 4 статьи в журналах входящих в перечень ВАК при Минобрнауки РФ, рецензируемых научных журналах.

Оформление диссертации и автореферата соответствует предъявляемым требованиям ВАК к кандидатским диссертациям. Автореферат и диссертация написаны грамотным научным языком, кратко и лаконично. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Работа является самостоятельной. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 5 международных научных конференциях. Диссертация содержит результаты исследований, научные и практические выводы и рекомендации. Работа актуальна, обладает новизной, по содержанию и изложению является законченной.

Тема и содержание работы соответствуют паспорту специальности 25.00.20 – «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

В целом, кандидатская диссертация Ф.С. Белоусова на тему «Обоснование методики мониторинга нарушенности переходных зон при комбинированной разработке кимберлитовых месторождений», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по

специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика» соответствует требованию пунктов 9 - 14 постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842 «О порядке присуждения ученых степеней», а её автор Белоусов Федор Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - «Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика».

Профессор кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ «МИСиС», доктор технических наук

 А.С. Вознесенский

« 28 » мая 2021г.

Вознесенский А.С. согласен на обработку персональных данных.

119991, г. Москва, Ленинский проспект, д. 4

E-mail: al48@mail.ru, тел. +7(910)409-94-93

Подпись профессора кафедры физических процессов горного производства и геоконтроля НИТУ «МИСиС», доктора технических наук, Александра Сергеевича Вознесенского удостоверяю:

Проректор по науке и инновациям НИТУ «МИСиС»

  
М.Р. Филонов

