

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Аникина Павла Александровича «Прогнозирование удароопасности массива горных пород по данным геоакустического контроля (на примере месторождения урановых руд Антей)», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Актуальность темы. Диссертационная работа посвящена проблеме обеспечения безопасной подземной отработки месторождений полезных ископаемых с использованием автоматизированных систем геоакустического мониторинга породного массива. В работе представляется новый фактический материал, свидетельствующий о насущности проблемы прогноза сильных геодинамических проявлений при глубинной разработке на месторождении Антей, и обосновываются новые методические подходы к анализу текущей обстановки и пространственно-временному прогнозу неблагоприятных условий отработки месторождения. В своей работе автор делает упор на применение современных инструментальных средств контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) массива и на разработку соответствующих им эффективных средств предупреждения горных ударов, отличающихся высокой оперативностью, большей формализованностью и объективностью. Полученные технические решения в полной мере перекликаются с мировой практикой применения сейсмоакустического мониторинга на горнодобывающих предприятиях. Все это дает основание утверждать, что научная проблема, сформулированная в диссертации, является важной и актуальной, влияющей на успешное и безопасное освоение месторождений полезных ископаемых.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций. Диссертантом сформулированы три научных положения, раскрывающих

- причины динамических проявлений на месторождении Антей, выраженные в их приуроченности к особым горнотехническим и горно-геологическим условиям месторождения;
- связь наблюдавшихся показателей акустически активных зон с геомеханическим состоянием массива;
- критерии, позволяющие распознать опасные проявления горного давления на месторождении.

Для формулирования первого положения изучены и критически проанализированы геолого-структурные особенности месторождения. При анализе автор ссылается на большой объем как ранних, так и последних исследований, выполненных на месторождении Антей, в результате чего обращено внимание на обстоятельства, способствующие росту удароопасности, которые не получили в предыдущих работах должного освещения.

Второе положение базируется на результатах многолетнего геоакустического мониторинга (с 2006 года), в ходе которого получены сведения о нескольких десятках горных ударах и других опасных проявлениях горного давления, сопровождаемых тысячами более слабых явлений, свидетельствующих о разномасштабности процесса разрушения подработанного массива. Не смотря на всю сложность происходящих процессов разрушения и изменчивость поведения массива на фоне меняющихся с увеличением глубины условий отработки, найденные закономерности изменения геоакустических параметров достаточно объективно отражают геомеханическое состояние массива.

Лежащие в основе анализа каталоги акустических событий получены с помощью оборудования, отвечающего современным техническим требованиям. Частотный и динамический диапазон аппаратуры соответствуют

масштабу наблюдений и характеристикам излучения регистрируемых событий, что обеспечивает сбор достаточно представительного набора данных на изучаемом объекте.

Третье научное положение опирается на комплекс показателей, каждый из которых описывает различные стороны подготовки очага сильного сейсмического события. По-отдельности показатели подвержены влиянию множества трудноучитываемых факторов, что не позволяет использовать их как достаточное средство, характеризующее удароопасное состояния массива. Используемые вместе, предложенные показатели, напротив, позволяют существенно повысить эффективность прогноза, доводя ее до приемлемых значений (ретроспективная успешность прогноза составляет около 80%), достигнутых на других аналогичных объектах в мире.

Таким образом, представленные автором научные положения, выведены, следующие из них, и рекомендации по практическому применению результатов работы опираются на большой объем фактического материала и достаточно обоснованы.

Оценка новизны и достоверности. Диссертационная работа использует фактический материал, полученный в результате геоакустического мониторинга на уникальном объекте, где многие горно-технические параметры существенно отличаются от параметров, характерных для других аналогичных объектов. В связи с этим часть результатов также имеет уникальный характер, а именно:

- обоснованы причины динамических проявлений горного давления в сложноструктурном массиве горных пород с включениями лейкократовых гранитов в межполублочных целиках;
- получены новые экспериментальные данные о физико-механических свойствах и параметрах напряженного состояния массива горных пород в области влияния горных работ и активных тектонических нарушений месторождения Антей.

Не смотря на то, что многие особенности проявления горного давления в поведении геоакустических показателей на месторождении Антей и других объектах имеют схожие черты, автором были получены новые научно-практические результаты, расширяющие имеющиеся представления об удароопасности и способах ее оценки, в частности:

- разработана новая методика выделения потенциально удароопасных участков по данным геоакустического мониторинга, базирующаяся на использовании теории случайных графов и компонент связности;
- выявлены связь параметров акустически активных зон с изменением геомеханического состояния удароопасных участков;
- научно обоснован комплексный показатель удароопасности, учитывающий выявленные признаки изменения геоакустического и геомеханического состояния геосреды на различных стадиях подготовки опасных горно-динамических явлений.

Научные положения, будучи подтвержденными натурными наблюдениями на протяжении многих лет, на наш взгляд, являются достоверными и опубликованы в большом количестве изданий, в том числе, входящих в перечень ВАК (более 2). Полученные результаты имеют важное практическое значение. На их основании разработаны рекомендации по повышению безопасности ведения горных работ в условиях месторождения Антей.

Замечания по диссертационной работе в целом.

1. В работе не всегда корректно используется специальная терминология, заимствованная из смежных наук (сейсмологии). На с.11 упоминается единица измерения сейсмической интенсивности – баллы – в контексте с магнитудной шкалой Рихтера, в которой измеряемые величины безразмерны и не имеют названия. На с.89 и 118 вместо термина «гипоцентр», обозначающего положение очаговой зоны (акустически активной зоны) в трехмерном пространстве, используется термин «эпицентр», обозначающий проекцию гипоцентра на земную поверхность.

2. Математические формулы содержат ошибки и опечатки, иногда отсутствует или приводится неполное описание входящих в их состав символов, что в первом случае искажает их физический смысл, а во втором – затрудняет понимание изложенного материала. Ошибки отмечены на с.107: в формулах (3.7) и (3.8) подкоренные выражения должны содержать квадраты разностей. В пояснениях к формуле (3.7): путаница в употреблении индексов i и j . На с.111 формулы содержат опечатки, символы не описаны, нумерация формул нарушена. В формулах (4.7) на с.120 и в (4.9) на с.123 для количества АЭ-событий в очаговой зоне используются разные символические обозначения: N_{o3} и N_{a3} .

3. При использовании фиксированного временного интервала расчета геоакустических параметров (в данном случае 5 суток) и одного и того же активного объема пород временной интервал между АЭ-событиями в очаговой зоне (t_{cpp}) по сути представляет собой величину, обратную количеству АЭ-событий в очаговой зоне (N_{o3}): $t_{cpp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta t_i = \frac{5 \text{ суток}}{N_{o3}-1}$. Различие в математических манипуляциях при расчете приводит к кажущейся независимости параметров t_{cpp} и N_{o3} , что можно видеть в оценках корреляции между параметрами, приведенных в гл.4.4. Однако по тем же самым данным, приведенным в главе 4.4, а также по всем графикам, где оба параметра представлены одновременно (рис.3.3.14, 3.3.1, 4.1.2, 4.2.3, 4.5.1), видно, что их взаимосвязь в среднем выше, чем взаимная связь между другими параметрами. Отсюда следует, что в комплексном показателе удароопасности $K_{y\partial}$ параметр N_{o3} учтен дважды, и его двойной учет всего лишь увеличивает вес одного и того же процесса – изменения среднего интервала между событиями, но повышению информативности и помехоустойчивости $K_{y\partial}$ не способствует.

4. В главе 4.3 при расчете порога удароопасности по комплексному показателю $K_{y\partial}$ не дается четкого обоснования, почему вариационный ряд

анализа был разбит на 15 интервалов, в результате чего выбран порог 5.116. Нет пояснений, почему интервалы получились разной длины. Возможно, при другом способе разбиения получился бы другой? При оценке результативности прогноза при использовании того или иного прогнозного показателя (предвестника), в сейсмологии общепринятым является критерий эффективности прогноза, который равен отношению успешности прогноза (в пространстве или времени) к доле тревог (в пространстве или времени соответственно). Показатель эффективности – это безразмерная величина, показывающая, во сколько раз данный метод прогноза лучше случайного угадывания. Простая успешность прогноза в процентах - малоинформативная величина, поскольку при искусственном увеличении доли тревог до максимума можно добиться и 100% успешности прогноза, но такой прогноз не будет иметь практической ценности. Хотелось бы увидеть оценки эффективности прогноза с использованием комплексного показателя $K_{y\vartheta}$. Возможно, с позиции эффективности прогноза, выбор порога удароопасности по $K_{y\vartheta}$ будет иным?

Несмотря на отмеченные недостатки, представленная диссертационная работа нисколько не теряет в своей значимости, а полученные результаты остаются неизменными.

Заключение. Диссертация является законченной научно-исследовательской работой на актуальную тему, выполненной автором самостоятельно на высоком научном уровне. В работе приведены научные результаты, позволяющие ее квалифицировать как разработку научно обоснованных технических решений, внедрение которых способствует повышению надёжности прогнозирования опасных динамических проявлений горного давления и может обеспечить безопасную и эффективную отработку многих удароопасных месторождений страны. Работа базируется на достаточном количестве исходных данных, иллюстрирована большим числом примеров, ее результаты внедрены на руднике «ПУР-1» ПАО

«ППГХО» В заключение каждой главы сделаны четкие выводы. Выводы и рекомендации обоснованы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертации.

Диссертационная работа отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Аникин Павел Александрович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 - Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Заведующий лабораторией
природной и техногенной сейсмич-
ности ГИ УрО РАН, к.ф.-м.н.

Почтовый адрес учреждения:
614007, г.Пермь, ул.Сибирская, 78а
Электронная почта: dr@mi-perm.ru
Телефон: (342) 216-09-84

Дягилев Руслан Андреевич

27 февраля 2017 г.

Подпись Дягилева Руслана Андреевича заверяю:

Главный специалист по кадрам
ГИ УрО РАН



Ерёмина Л.А.