

ОТЗЫВ
**на автореферат диссертации Индакова Глеба Сергеевича «Термостимулированная
акустическая эмиссия в горных породах и ее связь с микроструктурой»,
представленной на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук
по специальности 1.6.9 Геофизика**

Диссертация Индакова Г.С. посвящена актуальной научной проблеме – исследованию закономерностей термически стимулированного разрушения горных пород на основе анализа данных акустической эмиссии и их сопоставления с микроструктурой образцов. Изучение процессов разрушения пород при высокотемпературном воздействии имеет большое фундаментальное значение в науках о Земле. Получение информации о поведении пород при нагреве важно для понимания механизмов вулканических землетрясений, метаморфизма, а также для выявления отличий между термическим и механическим (сейсмическим) разрушением. В прикладном плане результаты подобных исследований востребованы для разработки методов прогнозирования и предупреждения горных ударов, защиты сооружений при воздействии высоких температур, повышения эффективности термических методов добычи полезных ископаемых. Таким образом, выбор темы диссертации обусловлен как фундаментально-научной значимостью, так и практической важностью.

Аналитический обзор, проведенный соискателем, свидетельствует о высокой степени проработки темы. В последнее десятилетие появилось много работ, посвящённых влиянию термообработки на прочностные и акустические свойства пород. Тем не менее, как отмечается в автореферате, в имеющихся работах практически отсутствовали данные о динамике развития термического разрушения и его связи с параметрами микроструктуры породы. Диссертационное исследование Г.С. Индакова восполняет данный пробел: в работе уделено особое внимание статистическим характеристикам акустической эмиссии (ТАЭ) при нагреве различных типов горных пород и их сопоставлению со структурными особенностями (размер зерен, наличие трещин и т.д.). Таким образом, актуальность темы не вызывает сомнений, а научная задача, решаемая автором, соответствует современным запросам экспериментальной геофизики.

Цель диссертации четко сформулирована. Для достижения этой цели соискателем решён комплекс задач, включающий: обзор современного состояния проблемы; проведение серии лабораторных экспериментов по нагреву образцов горных пород различного типа с регистрацией сигналов АЭ; разработку методики количественного анализа микроструктуры (в том числе изготовление модельных образцов из искусственного материала с различным размером зерна) и получение статистических параметров структуры; верификацию оценок микроструктурных параметров независимыми методами (сканирующая электронная микроскопия, акустическая спектроскопия); а также сопоставление полученных акустических и микроструктурных характеристик между собой. Постановка задачи и выбранная методология свидетельствуют о системном подходе автора к решению проблемы.

Научная новизна результатов диссертации не вызывает сомнений. В работе впервые получены и обоснованы закономерности, отражающие связь статистических параметров акустической эмиссии с микроструктурой породы при термическом нагружении. В частности, установлено, что для базальтов и гранитов наблюдается выраженная корреляция

между средней активностью импульсов ТАЭ и наклоном графика повторяемости (параметром b-value): с ростом активности величина b-value уменьшается. Данное явление интерпретируется автором в рамках модели лавинного (неустойчивого) трещинообразования, адаптированной к случаю термического разрушения. Другим важным оригинальным результатом является вывод о том, что в метаморфических породах (метапесчаниках) параметры акустической эмиссии (активность и b-value) практически не связаны со средним размером зерен, несмотря на то, что сам размер зерен отражает условия метаморфизма породы. Кроме того, впервые показано, что наличие заранее сформированных крупных трещин в образце при нагреве приводит к возникновению групп схожих по форме акустических сигналов, тогда как в образцах без крупных дефектов таких кластеров не наблюдается. Все перечисленные факты получены автором впервые и существенно обогащают понимание механизмов термического разрушения горных пород.

Теоретическая и практическая значимость работы также является высокой. С теоретической точки зрения результаты диссертации углубляют представления о закономерностях зарождения и развития трещин при высоких температурах. Практическая ценность работы заключается в том, что автор адаптировал методики сейсмологического анализа для обработки данных лабораторных акустико-эмиссионных экспериментов, а также разработал оригинальные подходы и программное обеспечение для оценки микроструктуры горных пород по изображениям шлифов. Созданные методики и программы прошли государственную регистрацию и могут быть применены в других исследованиях термического воздействия на породы, а также при петрофизическом анализе горных пород в геофизических и геотехнических задачах. Результаты диссертации могут найти применение при разработке методов мониторинга состояния пород в районах геотермальной энергетики, при оценке устойчивости горных выработок и сооружений, подвергающихся тепловому воздействию, и при совершенствовании технологий теплового воздействия на пласты в нефтегазовой отрасли.

Диссертация отличается высокой степенью методической обоснованности, а полученные результаты заслуживают доверия. Достоверность научных выводов подтверждается согласием полученных данных с результатами независимых методик и с известными литературными данными. Репрезентативность экспериментальной базы (широкий набор образцов различного происхождения) дополнительно подкрепляет надежность выводов. Отдельно следует отметить, что основные результаты диссертации прошли апробацию в научном сообществе: они опубликованы в четырех рецензируемых научных журналах и доложены на 19 международных и всероссийских конференциях. Такой объем публикаций и докладов свидетельствует о признании полученных результатов и о высоком уровне квалификации соискателя.

Квалификация автора диссертации не вызывает сомнений. Индаков Г.С. продемонстрировал глубокое понимание рассматриваемой научной проблемы и владение современными методами исследования. Формулировка целей и задач исследования, теоретическое обоснование методов, а также интерпретация полученных данных выполнены лично автором при консультационной поддержке научных руководителей. Структура диссертации логична, материал изложен последовательно и убедительно. Автореферат отражает основные результаты работы, написан грамотным языком, что указывает на умение автора четко представить свои научные выводы. Все это позволяет дать положительную оценку научной квалификации Г.С. Индакова как исследователя.

Вместе с тем, в работе присутствуют отдельные недостатки и упущения:

Вопрос о влиянии скорости нагрева на параметры ТАЭ и характер разрушения, являющийся ключевым для полного понимания термомеханических процессов, в работе затронут лишь в обзоре литературы, но не исследуется экспериментально в основной части. Это представляется определенным пробелом, сужающим область применимости полученных выводов.

Обсуждение результатов было бы более полным, если бы автор уделил больше внимания физической интерпретации выявленных различий между породами, возможно, связав их не только с микроструктурой, но и с минеральным составом и наличием примесей, которые могут существенно влиять на реологические свойства при высоких температурах.

Замечания носят преимущественно частный характер и не умаляют достоинств диссертации. В автореферате обнаружены отдельные небольшие неточности. Так, в обзоре литературы допущена опечатка в фамилии известного зарубежного исследователя: вместо R.P. Yong указано “Young”. Также отмечена печатная ошибка в тексте: слово “стандартизированных” набрано как “стандатизированных”. Подобные недочеты имеют редакционно-технический характер и легко устранимы. В некоторых фрагментах текста автореферата встречаются сложные для восприятия с первого раза синтаксические конструкции, однако в целом стиль изложения остается научно корректным и понятным. Существенных недостатков в научном содержании работы не выявлено. Напротив, диссертационное исследование производит очень благоприятное впечатление своей фундаментальной проработанностью, новизной и практической значимостью результатов.

Диссертационное исследование представляет собой завершенную научно-квалификационную работу и полностью отвечает требованиям, установленным Положением о присуждении ученых степеней в Московском государственном университете имени М.В. Ломоносова, а соискатель, Индаков Г.С., заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 Геофизика.

Я, Химуля Валерий Владимирович, даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Кандидат физико-математических наук

Химуля Валерий Владимирович

Научный сотрудник лаборатории геомеханики

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского Российской академии наук (ИПМех РАН)

119526, г. Москва, проспект Вернадского, д. 101, корп. 1

Телефон: +7 985 772-47-85

E-mail: khim@ipmnet.ru