

УТВЕРЖДАЮ:

Директор ИДГ РАН,  
доктор физ.-мат. наук

С.Б. Турунтаев



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки  
Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского  
Российской академии наук

Диссертация К.Г. Морозовой «Сейсмоакустическая эмиссия, сопровождающая различные режимы скольжения по разломам и трещинам» выполнена в лаборатории Деформационных процессов в земной коре Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института динамики геосфер имени академика М.А. Садовского Российской академии наук. В период подготовки диссертации Морозова Ксения Георгиевна работала в ИДГ РАН с 2018 по 2019 гг. в должности инженера, с 2019 г. и по настоящее время в должности младшего научного сотрудника.

Морозова К.Г. окончила в 2015 г. Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского по специальности «радиофизика и электроника». В период с 2019 по 2022 гг. проходила обучение в очной аспирантуре ИДГ РАН по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых». Удостоверение о сдаче кандидатских экзаменов № 37 выдано в ИДГ РАН «25» мая 2023 г.

Научный руководитель – кандидат физико-математических наук Остапчук Алексей Андреевич, заведующий лабораторией Деформационных процессов в земной коре ИДГ РАН, доцент кафедры теоретической и экспериментальной физики геосистем Московского физико-технического института (национальный исследовательский университет).

Научный консультант – доктор физико-математических наук, профессор Кочарян Геворг Грантович, заместитель директора ИДГ РАН по научной работе.

Представление диссертационной работы проводилось на геофизическом семинаре ИДГ РАН «25» мая 2023 г. На заседании присутствовали: доктора физ.-мат. наук Кочарян Г.Г. - председатель, Гаврилов Б.Г., Зецер Ю.И., Козлов С.И., Овчинников В.М., Санина И.А., Соловьев С.П., Спивак А.А., Шувалов В.В., д.г.-м.н. Горбунова Э.М., доктор техн. наук Перунов Ю.М., кандидаты физ.-мат. наук Беседина А.Н., Иванченко Г.Н., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Лосева Т.В., Кузьмичева М.П., Остапчук А.А., Ряховский И.А., к.т.н. Ляхов А.Н., и другие научные сотрудники, всего 35 человек.

После доклада был задан ряд вопросов, в том числе:

В работе используется представление о блочном строении. Как это соотносится с постановкой лабораторных экспериментов?

Как соотносятся результаты анализа шахтной микросейсмичности с результатами лабораторных экспериментов?

Можно ли для выделения различных кластеров сейсмических событий построить разделяющую плоскость в пространстве параметров?

На все вопросы К.Г. Морозова дала исчерпывающие ответы. В обсуждении выступили: к.ф.-м.н. Кишкина С.Б. отметила законченность представленной работы и большой личный вклад соискателя, д.ф.-м.н. Спивак А.А. отметил хороший уровень экспериментального исследования, сделанного в рамках диссертационной работы, и порекомендовал переформулировать некоторые защищаемые положения, д.ф.-м.н. С.И. Козлов порекомендовал более четко расставить акценты в докладе, д.ф.-м.н. Зецер Ю.И. отметил ясность и доступность изложения доклада и рекомендовал акцентировать внимание на основных результатах, д.ф.-м.н. Кочарян Г.Г. отметил высокую работоспособность и самостоятельность Морозовой К.Г. и рекомендовал принять представленную работу к защите. В целом семинар отметил высокий научный уровень и актуальность диссертационной работы К.Г. Морозовой.

По результатам рассмотрения диссертации «Сейсмоакустическая эмиссия, сопровождающая различные режимы скольжения по разломам и трещинам» семинаром принято следующее заключение:

Диссертационная работа соискателя посвящена изучению закономерностей излучения сейсмических и акустических импульсов при сдвиговом деформировании по разломам и трещинам. В рамках данного диссертационного исследования разработана методика выделения в ансамбле излучаемых импульсов подмножеств, которые характеризуются различными скейлинговыми соотношениями. Предложен метод сейсмоакустического контроля режима деформирования тектонических нарушений по коротким временным интервалам наблюдений. Показано, что закономерные вариации

масштабных соотношений обусловлены изменением напряженно-деформированного состояния в окрестности структурного нарушения массива горных пород и могут являться прогностическим признаком динамических подвижек разного типа.

Актуальность диссертационной работы заключается в том, что в настоящее время все еще остается нерешенной задача дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния в окрестности тектонических разломов и трещин. Эволюция состояния массива горных пород сопровождается излучением большого количества сейсмических и акустических импульсов, несущих информацию о протекающих в нем деформационных процессах. Для регистрации слабой сейсмичности, что особенно актуально для горнодобывающих предприятий, широко распространены сети сейсмического мониторинга. Однако из-за высокого уровня технологических шумов происходит потеря большого объема информации. В этой связи для увеличения доли извлекаемой полезной информации целесообразным является разработка методов, основанных на регистрации и определении параметров сейсмических и акустических импульсов.

Научная новизна результатов, полученных в диссертации, заключается в обосновании нового метода сейсмоакустического контроля режима деформирования тектонических нарушений на основе разработанной методики классификации ансамбля микросейсмических импульсов методом  $k$ -средних. Показано, что для отдельных типов импульсов наблюдаются закономерные вариации масштабных соотношений, что обусловлено изменением напряженно-деформированного состояния в окрестности структурного нарушения массива горных пород. Применение разработанного метода КЛАСИ- $k$  в совокупности с ансамблевыми методами машинного обучения позволяет контролировать эволюцию деформационных процессов в зоне тектонических разломов и трещин на основе анализа относительно коротких временных интервалов.

Достоверность результатов обеспечивается значительным объемом экспериментальных данных, полученных с использованием апробированных методик измерений, регистрации и обработки сигналов, тщательным анализом имеющихся опубликованных материалов, сопоставлением с существующими представлениями и аналитическими оценками.

Результаты, представленные в диссертации, могут быть использованы при проведении сейсмоакустического мониторинга в ходе подземной разработки месторождений полезных ископаемых, а также при обработке результатов сейсмических наблюдений, проводимых в окрестности разломных зон. В работе показано, что совместное использование разработанного метода классификации сейсмоакустических

импульсов в совокупности с ансамблевыми методами машинного обучения позволяет эффективно описывать деформационные процессы в зоне тектонических нарушений и осуществлять успешный контроль их состояния на основе анализа относительно коротких временных интервалов.

Рассматриваемая диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.9 – «Геофизика», физико-математические науки в части п. 5 (Структура, физические процессы и физические свойства вещества в коре и мантии Земли. Изучение структуры и динамики земной коры в рамках упругих, упруго-пластических, упруго-хрупких, вязко-упругих и т.п. моделей), п. 6 (Природная и техногенная сейсмичность), п. 8 (Геофизические проявления напряженно-деформированного состояния недр и оценка напряженно-деформированного состояния оболочек Земли по геофизическим данным), п. 10 (Изучение физики и рисков возникновения природных и природно-техногенных геокатастроф), п. 13 (лабораторное изучение физических свойств геологического вещества для решения геофизических задач).

Материалы диссертации изложены в 16 научных работах, в том числе это 7 статей в журналах из перечня ВАК, 9 статей в научных сборниках и трудах конференций. Публикации полностью освещают содержание работы.

Список публикаций по теме диссертации в изданиях, рекомендованных ВАК:

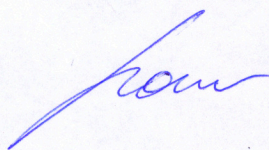
1. Ostapchuk A., **Morozova K.**, Pavlov D. Influence of the Structure of a Gouge-Filled Fault on the Parameters of Acoustic Emission // Acta Acustica United With Acustica. – 2019. – Vol. 105. – P.759 – 765.
2. Кочарян Г. Г., **Морозова К. Г.**, Остапчук А. А. Исследование акустической эмиссии слоя геоматериала при сдвиговом деформировании // ФТПРПИ. – 2019. – №3. – С. 15-22.
3. Ostapchuk A., **Morozova K.** On the Mechanism of Laboratory Earthquake Nucleation Highlighted by Acoustic Emission // Scientific Reports. – 2020. – Vol. 10. – P. 7245.
4. Ostapchuk A., **Morozova K.**, Markov V., Pavlov D., Popov M. Acoustic Emission Reveals Multiple Slip Modes on a Frictional Fault // Frontiers in Earth Science. – 2021. – P.9:657487.
5. Остапчук А. А., Кочарян Г. Г., **Морозова К. Г.**, Павлов Д. В., Гридин Г. А. Особенности формирования динамического сдвига в тонком слое гранулированного материала // Физика Земли. – 2021. – № 5. – С. 91–103.
6. **Морозова К. Г.**, Остапчук А. А. Связь состояния сдвиговой трещины в гранулированном материале и акустоэмиссионных и деформационных данных // Акустический журнал. – 2022. – Т.68 – № 5. – С. 543–549.

7. **Морозова К. Г.**, Остапчук А. А., Беседина А. Н., Павлов Д. В. Классификация сейсмических событий, сопровождающих взрывной способ разработки массива горных пород // Сейсмические приборы. – 2022. – Т. 58. – № 4. – С.97–110.

Все основные результаты, представленные в диссертационной работе, получены соискателем лично. При работе над диссертацией автор, под руководством научного руководителя, принимал участие в постановке и проведении лабораторных экспериментов, получении и обработке экспериментальных данных, обработке и анализе данных шахтной микросейсмичности. К. Г. Морозовой лично разработан метод КЛАСИ-к классификации ансамбля микросейсмических импульсов методом к-средних.

Диссертационная работа К.Г. Морозовой представляет собой законченное исследование на актуальную тему, выполненное на высоком научном уровне, содержит новые важные научные результаты, имеющие значение для развития геофизики, отвечает требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям, рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.6.9 – «Геофизика».

Рекомендовано проводить защиту диссертации на заседании диссертационного совета Д24.1.059.01 при ИДГ РАН.



Заключение подготовил:  
Ученый секретарь ИДГ РАН,  
кандидат физ.-мат. наук  
Д.Н. Локтев