

**УТВЕРЖДАЮ**

Директор ФГБУН ИЗК СО РАН

Член-корр. РАН, д.г.-м.н.



Д.П. Гладкочуб

«31» марта 2022 г.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

### **Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН)**

Диссертация «ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ» выполнена в лаборатории методов сейсмопрогноза Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологический институт им. Н.Л. Дوبرецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН) и в лаборатории современной геодинамики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

В период подготовки диссертации Предин Петр Алексеевич работал в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологический институт им. Н. Л. Дوبرецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН) в лаборатории методов сейсмопрогноза ГИН СО РАН в должности инженера (с 2010 по 2013 г.), младшего научного сотрудника (с 2013 г. по настоящее время) и в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН) в лаборатории современной геодинамики в должности ведущего инженера (с 2020 г. по настоящее время).

В 2006 г. окончил Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления по специальности «Прикладная информатика». В 2013 г. поступил в очную аспирантуру при ГИН СО РАН по специальности 25.00.10 – «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых», которую окончил в 2016 г.

Документы о сдаче кандидатских экзаменов по предметам «английский язык» и «история и философия науки» выданы Федеральным исследовательским центром «Красноярский научный центр» СО РАН в 2009 г., и Федеральным государственным бюджетным учреждением науки Геологический институт СО РАН по предмету «геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» в 2016 г.

Научный руководитель – к.ф.-м.н. Добрынина Анна Александровна, работает в должности ученого секретаря Федерального государственного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН).

Материалы диссертации представлены соискателем на Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН после рассмотрения работы на заседании Ученого совета ГИН СО РАН 17 февраля 2022 г.



## **ПРИСУТСТВОВАЛИ:**

- члены Секции геофизики и современной геодинамики: *доктора геол.-мин. наук:* А.В. Аржанникова, В.И. Джурик, О.В. Лунина, В.И. Мельникова, В.В. Мордвинова, А.В. Поспеев, В.В. Ружич, К.Ж. Семинский; *кандидаты геол.-мин. наук:* С.Г. Аржанников, С.А. Борняков, Е.В. Брыжак, И.В. Буддо, Р.П. Дорофеева, А.В. Лухнев, А.И. Мирошниченко, Н.А. Радзиминович, В.А. Саньков, О.П. Смекалин, А.В. Черемных, В.В. Чечельницкий; *кандидаты физ.-мат. наук:* А.А. Добрынина.

- приглашенные сотрудники ИЗК СО РАН: *вед. инженеры:* Л.М. Бызов, А.В. Саньков.

**Заслушали:** доклад П.А. Предеина «ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ» по теме диссертации.

**Вопросы задавали** (всего – 15 вопросов): д.г.-м.н. В.В. Мордвинова, к.г.-м.н. В.А. Саньков, к.г.-м.н. В.В. Чечельницкий, к.г.-м.н. С.Г. Аржанников, д.г.-м.н. В.И. Мельникова, д.г.-м.н. В.В. Ружич.

### **Был заслушан:**

- отзыв научного руководителя кандидата физ.-мат. наук, ученого секретаря ИЗК СО РАН А.А. Добрыниной.

### **Были заслушаны следующие сопровождающие документы:**

- заключение выпускающей организации Геологического института им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН) от 1 марта 2022 г.;

- отзыв на диссертацию кандидата геол.-мин. наук, научного сотрудника лаборатории методов сейсмопрогноза ГИН СО РАН Л.Р. Цыдыповой;

- отзыв на диссертацию доктора геол.-мин. наук, заведующего лабораторией гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН А.М. Плюснина;

- отзыв на диссертацию доктора физ.-мат. наук, руководителя группы анализа и научных исследований Института геофизических исследований Национального ядерного Центра Республики Казахстан И.Н. Соколовой.

### **Выступления специалистов, ознакомившихся с работой до заседания:**

- к.г.-м.н. Н.А. Радзиминович (ИЗК СО РАН);

- к.г.-м.н. В.В. Чечельницкий (ФИЦ БФ ЕГС РАН).

**В обсуждении приняли участие:** д.г.-м.н. В.И. Мельникова, д.г.-м.н. К.Ж. Семинский.

Замечания, высказанные при обсуждении, не носят принципиального характера. Они касаются формы представления результатов, формулировок защищаемых положений, и не требуют существенной переработки представляемой диссертационной работы.

**Объектом исследования** данной работы являлась центральная часть Байкальской рифтовой системы (БРС) – Южнобайкальская впадина и прилегающие к ней территории, поглощающие свойства литосферы региона и параметры затухания сейсмических волн.

### **Актуальность темы исследования**

Центральная часть Байкальской рифтовой системы находится в одном из наиболее сейсмоопасных регионов Российской Федерации. Согласно картам общего сейсмического районирования, на прилегающих к ней территориях южной окраины Сибирской платформы и Забайкалья возможны сотрясения с интенсивностью 7-9 баллов по шкале ШСИ-17. Высокий уровень сейсмической активности исследуемого региона подтверждается данными о палеоземлетрясениях, макросейсмическими сведениями о



сильных сотрясениях прошлого и информацией о современных землетрясениях с магнитудами до 6.8.

В силу неоднородности строения литосферы параметры затухания варьируют в зависимости от региона. Однако затухание на региональных, и тем более, локальных масштабах, изучено недостаточно. Карты общего сейсмического районирования ОСР-97, ОСР-97\*, ОСР-2012, и ОСР-2015 не учитывают региональных параметров излучения и распространения сейсмических волн. В частности, для построения карт используется единое значение эффективной сейсмической добротности  $Q=150$  на частоте  $f=1.0$  Гц для всей материковой части Северной Евразии (кроме Курило-Камчатского региона и полуострова Крым). Кроме того, в расчетах используются соотношения связи сейсмической интенсивности с пиковым ускорением, полученные по данным наблюдаемым в Калифорнии (США), что приводит к существенным ошибкам.

**Цель работы:** выявление закономерностей и особенностей распространения, а также пространственных вариаций затухания сейсмических волн землетрясений, произошедших в центральной части Байкальской рифтовой системы.

#### **Основные задачи исследований**

- Количественно оценить затухание сейсмических волн: продольных, поперечных, кода-волн, по записям локальных и региональных землетрясений, произошедших в районе Южнобайкальской впадины, определить зависимость добротности от частоты и величину коэффициента затухания.

- Исследовать вклад рассеяния на неоднородностях среды и внутреннего поглощения в общее затухание сейсмических волн.

- Установить закономерности пространственных вариаций поля поглощения сейсмических волн. Для этого провести картирование исследуемого региона по параметрам затухания, сделать анализ вариаций характеристик затухания и их связи с глубинным строением, плотностью разломов, тепловым потоком и степенью современной сейсмической активности структур.

#### **Фактический материал и методы исследования**

В работе использованы цифровые записи землетрясений, полученные региональной сетью сейсмических станций Бурятского и Байкальского филиалов ФИЦ ЕГСРАН, сводная база данных обработки данных Бурятского филиала ФИЦ ЕГСРАН за 1999-2021 гг., каталоги и бюллетени землетрясений Прибайкалья и Забайкалья, каталоги землетрясений Северной Евразии за 2000-2018 гг. Для оценки затухания сейсмических волн использовался комплекс методов, основанных на анализе кода-волн. Выполнялась оценка затухания по сейсмической коде с использованием модели однократного рассеяния; использовался метод нормализации коды для расчета затухания по прямым волнам; оценивался вклад в общее затухание отдельных его компонент: рассеяния на неоднородностях среды и внутреннего поглощения с использованием метода инверсии огибающей коды, проводилось двумерное картирование параметров затуханий сейсмических волн методом перекрывающихся эллипсов.

#### **Личный вклад автора**

Автором выполнен отбор сейсмограмм локальных и региональных землетрясений для оценки затухания, разработаны оригинальные приложения для конвертации сейсмических данных из различных форматов, приложение для расчета затухания по прямым волнам методом нормализации к коде и для оценки по огибающей коды;



выполнялся расчет добротности различными методами, и проводилось двумерное картирование по параметрам затухания для исследуемого региона.

#### **Научная новизна исследования**

Впервые определены параметры затухания (добротность, частотный параметр, коэффициент затухания) прямых P- и S- и кода-волн для центральной части Байкальской рифтовой системы с помощью комплекса методов, показана зависимость затухания от степени сейсмической активности, плотности разломов и теплового потока. Получены количественные оценки вклада внутреннего поглощения ( $Q_i$ ) и рассеяния сейсмических волн ( $Q_{Sc}$ ) в общее затухание.

#### **Практическая значимость**

Характеристики затухания сейсмических волн, полученные для Южнобайкальской впадины и окружающих ее территорий, могут применяться при сейсмическом районировании различной степени детальности, анализе макросейсмических проявлений при сильных землетрясениях, для расчета синтетических сейсмограмм, необходимы при определении очаговых параметров региональных землетрясений и их магнитудной классификации.

#### **Степень достоверности и апробация результатов**

Результаты работ лично докладывались автором на следующих научных совещаниях и конференциях: XXVI Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2015 г.), Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике, г. Улан-Удэ (III, 2015 г.; IV, 2017 г.; V, 2019 г.), III Всероссийское совещание и II всероссийская молодежная школа по современной геодинамике «Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе», (г. Иркутск, 2016 г.), V Всероссийская научно-практическая конференция, посвященной 45-летию Геологического института СО РАН. ГИН СОРАН, (г. Улан-Удэ, 2018 г.), Российско-монгольская международная конференция «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-монгольского региона», г. Иркутск (XII, 2018 г.; XIII, 2019 г.), Всероссийское совещание «Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ», (г. Иркутск, 2021 г.), XV международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных», (г. Новосибирск, 2021 г.).

#### **Основные публикации по теме диссертации:**

*Статьи в изданиях, включенных в «Перечень...» ВАК Минобрнауки России:*

1. Мороз Ю.Ф., Татьков Г.И., Мороз Т.А., Тубанов Ц.А., Предеин П.А. Изменения геомагнитного поля Земли магнитного типпера в Байкальской рифтовой зоне // Геофизические исследования. 2013. № 5, с. 29-42.

2. Добрынина А.А., Саньков В.А., Герман В.И., Тоцакова С.А., Предеин П.А., Чечельницкий В.В., Тубанов Ц.А. Временные вариации затухания сейсмических волн в очаговых областях сильных землетрясений юга Восточной Сибири // Актуальные проблемы науки Прибайкалья. Иркутск, 2015. С. 114-120.

3. Добрынина А.А., Саньков В.А., Предеин П.А., Чечельницкий В.В., Тубанов Ц.А. Неоднородности поля затухания сейсмических волн на территории Южного Прибайкалья и Забайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия "Науки о Земле". 2016. Т. 17. С. 46-63.



4. Добрынина А.А., Предеин П.А., Саньков В.А., Тубанов Ц.А., Санжиева Д.П.-Д., Горбунова Е.А. Пространственные вариации затухания сейсмических волн в Южнобайкальской впадине и прилегающих областях (Байкальский рифт) // Геодинамика и тектонофизика. – 2019. – Т. 10. – №. 1.-С. 147-166.

5. Тубанов Ц.А., Санжиева Д.П.-Д., Кобелева Е.А., Предеин П.А., Цыдыпова Л.Р. Кударинское землетрясение 09.12.2020 г. (M<sub>w</sub>=5.5) на озере Байкал: результаты инструментальных и макросейсмических наблюдений // Вопросы инженерной сейсмологии. Т. 48, №4, с.32-47.

6. Predein P.A., Dobrynina A.A., Tubanov T.A., German V.I. CodaNorm: A software package for the body-wave attenuation calculation by the coda-normalization method // SoftwareX. – 2017. – Т. 6. – С. 30-35.

*Тезисы докладов научных конференций:*

1. Предеин П.А., Тубанов Ц.А., Герман В.И. Изучение затухания сейсмических волн в земной коре Байкальского рифта методом нормализации // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 20-25 апреля 2015 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 140-142.

2. Добрынина А.А., Герман В.И., Тубанов Ц.А., Предеин П.А. Сейсмическая добротность литосферы южного обрамления Сибирской платформы // Строение литосферы и геодинамика: Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 20-25 апреля 2015 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 64-66.

3. Герман В.И., Тубанов Ц.А., Предеин П.А. Методика расчета сейсмической добротности земной коры по прямым S-волнам // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы III всероссийской молодежной конференции / Улан-Удэ. – 2015. – С. 322-324.

4. Добрынина А.А., Саньков В.А., Тошакова С.А., Предеин П.А., Чечельницкий В.В. Мониторинг поглощения сейсмических волн в очаговых областях сильных землетрясений южной части Байкальской рифтовой системы // Материалы международного научного конгресса "Интерэкспо Гео-Сибирь" / Изд-во: Сибирский государственный университет геосистем и технологий. – 2017. – Т. 4. №1. С. 215-219.

5. Предеин П.А., Добрынина А.А., Тубанов Ц.А., Герман В.И. Оценка параметров затухания сейсмических волн в центральной части Байкальской рифтовой зоны по записям близких землетрясений // Материалы V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию Геологического института СО РАН (г. Улан-Удэ, 27-31 августа 2018 г.). С. 300-302.

6. Предеин П.А., Добрынина А.А., Саньков В.А., Чечельницкий В.В., Герман В.И. Временные вариации поглощения короткопериодных сейсмических волн в эпицентральных областях сильных землетрясений // Тезисы докладов XII Российско-монгольской международной конференции «Солнечно-земные связи и геодинамика Байкало-монгольского региона: результаты многолетних исследований и научно-образовательная политика» (г. Иркутск, 1-5 октября 2018 г.). С. 121-122.

7. Предеин П.А., Добрынина А. А., Тубанов Ц. А. Затухание низкочастотной составляющей спектра сейсмических волн в центральной части Байкальского рифта // Материалы V Всероссийской молодежной научной конференции (г. Улан-Удэ, 27-31 августа 2019 г.). 2019. С. 63-64.



8. Добрынина А.А., Предеин П.А., Саньков В.А., Тубанов Ц.А., Санжиева Д.П.-Д. 2D-модель затухания короткопериодных сейсмических волн в коре и верхней мантии Южнобайкальской рифтовой впадины // *Материалы IV Всероссийского симпозиума с участием иностранных ученых "Рифтогенез, орогенез и сопутствующие процессы"* / Под редакцией С.В. Рассказова, С.П. Приминой. – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2019, с. 55-56.

9. Добрынина А.А., Предеин П.А., Саньков В.А., Тубанов Ц.А., Горбунова Е.А., Санжиева Д.П.-Д. Пространственные вариации затухания короткопериодных сейсмических волн в центральной части Байкальского рифта // *Геодинамика. Геомеханика и геофизика: Материалы девятнадцатой Всероссийской конференции (22-28 июля 2019, Новосибирск, Алтайский край)*. – Новосибирск: Издательство ИНГГ СО РАН, 2019. – С. 170-173.

10. Предеин П.А., Добрынина А.А., Тубанов Ц.А. Внутреннее поглощение и рассеяние сейсмических волн в литосфере центральной части Байкальской рифтовой системы // *Разломообразование в литосфере и сопутствующие процессы: тектонофизический анализ*. – 2021. – С. 208-209.

11. Предеин П.А., Добрынина А.А., Тубанов Ц.А. Затухание объемных волн в центральной части байкальского рифта: методы оценки и результаты // *Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных*. – 2021. – С. 73-73.

Все вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа П.А. Предеина соответствует паспорту специальности:

Согласно паспорту научной специальности **25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых»** работа соответствует пунктам №3, №6 и №9.

Пункт №3: Сейсмология (за исключением аппаратных разработок и ситуаций, когда данные о современной или палеосейсмической активности используются в рамках традиционного геотектонического анализа).

Пункт №6: Математическое моделирование геодинамических процессов любых пространственных и временных масштабов. Изучение земной коры в рамках упругих, упругопластических, упруго-хрупких, вязко-упругих и т.п. моделей.

Пункт №9: Теория распространения сейсмических и электромагнитных волн в Земле. Теория потенциальных полей.

При экспертизе текста диссертации, публикаций, а также результатов проверки текста системой «Антиплагиат» установлено, что оригинальных блоков в диссертации – 88,42%, заимствованных источников в диссертации – 11,58% (при этом 3,28% приходится на статьи, опубликованные соискателем в соавторстве):

- соискателем сделаны ссылки на все источники заимствования материалов, фактов некорректного цитирования или заимствования без ссылки на соавторов в тексте диссертации и автореферате не обнаружено;
- сведения, представленные соискателем, об опубликованных им работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны;
- в тексте диссертации соискателем отмечено, какие результаты получены им лично, а какие – в соавторстве.

Тема диссертации утверждена на заседании ученого совета ГИН СО РАН 11.06.2020 г., протокол № 3.



Работа ПРЕДЕИНА Петра Алексеевича «ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ БАЙКАЛЬСКОЙ РИФТОВОЙ СИСТЕМЫ» является законченным исследованием, имеет научную и прикладную значимость, отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, и после внесения правок редакционного характера рекомендуется к представлению в диссертационный совет ИЗК СО РАН Д 003.022.03 для защиты на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Заключение принято на заседании Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН.

Присутствовало на заседании 22 человека, из них 20 членов Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН, председатель – д.г.-м.н. Семинский К.Ж., секретарь – к.г.-м.н. Брыжак Е.В.

Результаты открытого голосования Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН по вопросу о принятии заключения по диссертации П.А. Предеина: за – 20, против – нет, воздержалось – нет.

Протокол №12 от 31 марта 2022 г.

Председатель Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН,  
д.г.-м.н.

  
К.Ж. Семинский

Секретарь Секции геофизики и современной геодинамики Ученого совета ИЗК СО РАН,  
к.г.-м.н.

  
Е.В. Брыжак