

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ ТЕОРИИ ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
И МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ГЕОФИЗИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИТПЗ РАН)

УДК 550.34

Рег. N НИОКТР 124020900029-7

Рег. N ИКРБС

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТПЗ РАН
чл.-корр. РАН

_____ П.Н. Шебалин
« ____ » _____ 2025 г.

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ
РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ АНАЛИЗА И РЕГИСТРАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ
ДАННЫХ В ЦЕЛЯХ ИЗУЧЕНИЯ ОЧАГА И СТРОЕНИЯ СРЕДЫ
(промежуточный, этап 2025 года)

Руководитель НИР
ст. науч. сотр., зав. лаб.,
канд. физ.-мат. наук

_____ А.И. Филиппова
Подпись, дата

Москва 2025

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы, ст. науч. сотр., зав. лаб., канд. физ.-мат. наук	_____	А.И. Филиппова (Введение, Заключение, разделы 1.1, 2.2, 2.4, 2.5, 3.1)
Исполнители темы		
гл. науч. сотр., докт. физ.-мат. наук	_____	Р.Г. Новиков (раздел 1.2)
вед. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	М.Г. Шнирман (раздел 1.3)
ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	Е.М. Блантер (раздел 1.3)
ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	В.В. Гравиров (разделы 3.1, 3.2, 3.4)
ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	М.С. Елаева (раздел 1.3)
ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	К.В. Кислов (раздел 3)
ст. науч. сотр.	_____	А.В. Ландер (разделы 2.1, 4)
ст. науч. сотр. канд. физ.-мат. наук	_____	А.А. Скоркина (раздел 2.3)
ст. науч. сотр. канд. г.-м. наук	_____	Я.Б. Радзиминович (разделы 1.1, 2.2)
ст. науч. сотр. канд. тех. наук	_____	А.С. Фомочкина (разделы 2.4, 2.5, 3.1)
лаборант-иссл.	_____	Ф.Э. Винберг (разделы 2.4, 3.1)
Нормоконтролер	_____	О.В. Селюцкая

РЕФЕРАТ

Отчет 52 страницы, 25 рисунков, 65 источников, 2 приложения

МЕХАНИЗМ ОЧАГА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ; МАГНИТУДА; СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ; ОЧАГ КОНЕЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ И РАЗМЕРОВ; РАСПРЕДЕЛЕННОЕ АКУСТИЧЕСКОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ; УРАВНЕНИЕ ГЕЛЬМГОЛЬЦА; ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ЦУНАМИ.

В 2025 году исследования по теме велись по четырем основным направлениям: развитие методов решения прямых и обратных задач геофизики; моделирование очаговых параметров землетрясений; развитие методов сейсмометрии, сбора и систематизации геофизических данных; оценки цунамиопасности побережий Камчатки. В рамках первого направления была модернизирована методика расчета основных параметров землетрясений раннеинструментального периода наблюдений; проведена разработка математического аппарата для решения уравнений Гельмгольца и Шредингера; исследована возможность использования кратковременных нарушений фазовой синхронизации для восстановления параметров долговременной эволюции системы. Второе направление включало в себя моделирование с помощью различных методик, в том числе, разработанных в ИТПЗ РАН, очаговых параметров значимых землетрясений России и мира, включая Камчатское мегаземлетрясение 29.07.2025 г. ($M_w=8.8$) и землетрясение в Мьянме 28.03.2025 г. ($M_w=7.6$). Также был рассмотрен ряд более слабых событий в других регионах: Камчатке, Прибайкалье, Северном Кавказе и на юге Аляске. В рамках третьего направления особое внимание было уделено распределенному акустическому зондированию, его применению для определений механизма очага землетрясения и для восстановления параметров ледового покрова по данным о сейсмическом шуме; проведена серия экспериментов по сравнению маломощных импульсных источников сейсмических сигналов; разработан узкодиапазонный дифференциальный термометр. В рамках четвертого направления были проведены оценки параметров возможных цунами на различных участках побережья Камчатки: в районе поселка Корф и Халактырского пляжа.

СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
ВВЕДЕНИЕ	6
ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ.....	8
1 Методы решения прямых и обратных задач	8
1.1 Метод вероятностной локации землетрясений раннеинструментального периода наблюдений и результаты его применения для землетрясений Прибайкалья.....	8
1.2 Разработка математического аппарата для решения прямых и обратных задач	10
1.3 Кратковременные нарушения фазовой синхронизации в осцилляторной системе	11
2 Моделирование очаговых параметров землетрясений.....	13
2.1 Землетрясения Камчатского региона.....	13
2.2 Землетрясения Прибайкалья.....	16
2.3 Спектральные характеристики и межмагнитудные соотношения.....	21
2.4 Землетрясение 28 марта 2025 г. в Мьянме	22
2.5 Сильные землетрясения на юге Аляски в 2020–2023 гг.	23
3 Методы сейсмометрии, сбора и систематизации геофизических данных	25
3.1 Теоретические исследования применения волоконно-оптических технологий в геофизике и сейсмологии	25
3.2 Использование DAS для определения параметров ледяного покрова Клязьминского водохранилища	28
3.3 Маломощные импульсные источники сейсмических колебаний	30
3.4 Многоканальная прецизионная температурная антенна и комплексный мониторинг процессов в Земле	32
4 Оценки параметров возможных цунами	33
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	35
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	38
ПРИЛОЖЕНИЯ:	
Приложение А – Публикации по теме НИР, изданные в 2025 г.....	45
Приложение Б – Доклады на конференциях по теме НИР в 2025 г	48

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящем отчете о НИР применяются следующие сокращения и обозначения

БНО	—	Баксанская нейтринная обсерватория
ГНСС	—	глобальная навигационная спутниковая система
ГЦ РАН	—	Геофизический центр Российской академии наук
ГИН СО РАН	—	Геологический институт им. Н.Л. Добрецова Сибирского отделения Российской академии наук
ИВиС ДВО РАН	—	Институт вулканологии и сейсмологии Дальневосточного отделения Российской академии наук
ИЗК СО РАН	—	Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук
ИТПЗ РАН	—	Институт теории прогноза землетрясения и математической геофизики Российской академии наук
ИФЗ РАН	—	Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук
МГУ	—	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
МИИ	—	маломощный импульсный источник
ПАК	—	программно-аппаратный комплекс
ФИЦ ЕГС РАН	—	Федеральный исследовательский центр «Единая геофизическая служба» Российской академии наук
ШЗ	—	Шипунское землетрясение
DAS	—	Distributed Acoustic Sensing
GCMT	—	Global Centroid Moment Tensor
GFZ	—	Geo Forschungs Zentrum (Helmholtz Centre Potsdam)
ISC	—	International Seismological Centre
SMART	—	Science Monitoring and Reliable Telecommunications
USGS	—	United States Geological Survey

ВВЕДЕНИЕ

В основе оценки сейсмической опасности любой территории лежит каталог землетрясений. Каталог содержит данные об исторических землетрясениях и землетрясениях, зарегистрированных за инструментальный период. Длительность интервала времени, представленного в каталоге землетрясений, и полнота данных напрямую влияют на обоснованность оценки сейсмической опасности исследуемой территории. При этом каталоги раннеинструментального периода наблюдений (до 1950 г.) являются неполными, так как во многих регионах инструментальные данные имеются для одной или в лучшем случае двух сейсмических станций, а сведения о макросейсмике также весьма ограничены из-за малонаселенности. В связи с этим в 2025 году была модернизирована методика расчета основных параметров землетрясений (координат эпицентра, MLH) раннеинструментального периода наблюдений, основанная на совместном анализе ограниченного набора инструментальных и макросейсмических данных. Методика была протестирована на современных сейсмических событиях Прибайкалья и успешно применена для локации региональных землетрясений, произошедших в 1902–1925 гг. Кроме того, в отчетном периоде была продолжена разработка математического аппарата для решения уравнений Гельмгольца и Шредингера в двумерном и трехмерном случаях, а также исследовались кратковременные нарушения фазовой синхронизации с целью восстановления параметров колебательной системы, в которой происходят катастрофические события.

Продолжены традиционные для института работы по моделированию очаговых параметров землетрясений, произошедших в последние годы в России и в мире и являющихся значимыми для своих регионов. Следует отметить, что для этих целей используются оригинальные методики, разработанные в ИТПЗ РАН. Особое внимание было уделено Камчатскому мегаземлетрясению 29.07.2025 г. ($M_w=8.8$) и землетрясению в Мьянме 28.03.2025 г. ($M_w=7.6$). Для этих событий, а также сильных землетрясений, произошедших на юге Аляски в 2020–2023 гг. ($M_w>7.0$), были построены модели очага, учитывающие конечную длительность и размеры источника. Моделирование в приближении мгновенного точечного источника было выполнено для ряда более слабых землетрясений Камчатки и Прибайкалья. В последнем регионе также был сделан акцент на сборе и анализе макросейсмической информации. Кроме того, были продолжены работы по определению спектральных характеристик землетрясений и построению межмагнитудных соотношений для Камчатки и Северного Кавказа.

Большое внимание уделялось теоретическим и экспериментальным исследованиям применения оптоволоконных технологий в геофизике и сейсмологии с упором на

распределенное акустическое зондирование (DAS). В том числе были рассмотрены существующие в настоящее время методики определения механизма очага землетрясения по данным DAS и выделены наиболее перспективные из них для дальнейшего использования. Также была завершена обработка и интерпретация результатов эксперимента, проведенного в 2024 году на льду Клязьминского водохранилища, направленного на оценку параметров ледового покрова с помощью DAS. Помимо этого, была проведена серия предварительных экспериментов по сравнению маломощных импульсных источников сейсмических сигналов и разработан узкодиапазонный дифференциальный термометр.

В отчетном периоде были завершены работы по оценке цунамиопасности для двух участков побережья Камчатки: поселка Корф на северо-западном побережье Берингова моря и Халактырского пляжа, расположенного вблизи г. Петропавловска-Камчатского. Для этого использовалась оригинальная методика, разработанная ранее при участии сотрудников ИТПЗ РАН и технически усовершенствованная в 2025 году в плане расчета смещений земной поверхности или дна океана, вызванных сейсмическими событиями с неоднородной подвижкой. Оценки проведены как для возможных очагов землетрясений, расположенных вблизи от исследуемых объектов, так и на значительном удалении от них.

Исследования по теме НИР в 2025 году выполнялись в рамках приоритетного направления Плана фундаментальных поисковых научных исследований на 2021–2030 гг. «Сейсмология и методы сейсмической томографии».

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1 Методы решения прямых и обратных задач

1.1 Метод вероятностной локации землетрясений раннеинструментального периода наблюдений и результаты его применения для землетрясений Прибайкалья

Совместно с сотрудниками ИФЗ РАН, ГЦ РАН и ФИЦ ЕГС РАН модифицирован метод вероятностной локации землетрясений раннеинструментального периода наблюдений и оценки их магнитуды, основанный на совместном анализе макросейсмических и инструментальных данных [1]. Метод базируется на вероятностном подходе на основе применения «наивного» Байесовского классификатора с поиском оптимального (наиболее вероятного) решения на сетке и создан для локации сейсмических событий, которые имеют очень ограниченный набор инструментальных и макросейсмических данных. Изначально метод был предложен в работах [2, 3] и не включал в себя возможность оценки погрешностей искомых параметров, что было исправлено в проведенном исследовании.

При непосредственном участии сотрудников ИТПЗ РАН, внесших также большой вклад в подготовку исходных данных и адаптацию метода для Прибайкальского региона (выбор скоростных характеристик земной коры, определение оптимального набора региональных коэффициентов в макросейсмическом уравнении), была продемонстрирована эффективность метода на примере его применения к современным землетрясениям с использованием различных комбинаций макросейсмических и инструментальных данных (рис. 1). Затем метод был применен к шести землетрясениям, произошедшим в рассматриваемом регионе в период с 1902 по 1925 год ($MLH=3.4-5.0$). Рассчитать параметры этих землетрясений, используя только макросейсмические или только инструментальные данные, ранее не представлялось возможным. Для каждого из них имелась информация о временах первых вступлений сейсмических волн на 1–2 региональных станциях (рис. 1) и макросейсмические данные из 4–8 населенных пунктов. Рассчитанные с различной степенью точности эпицентры раннеинструментальных землетрясений преимущественно расположены в южной части Прибайкалья (рис. 2). Большинство эпицентров можно отнести к высокоактивным структурам в пределах Байкальского рифта. В некоторых случаях местоположение анализируемых землетрясений также представляется вероятным в Западном Забайкалье.

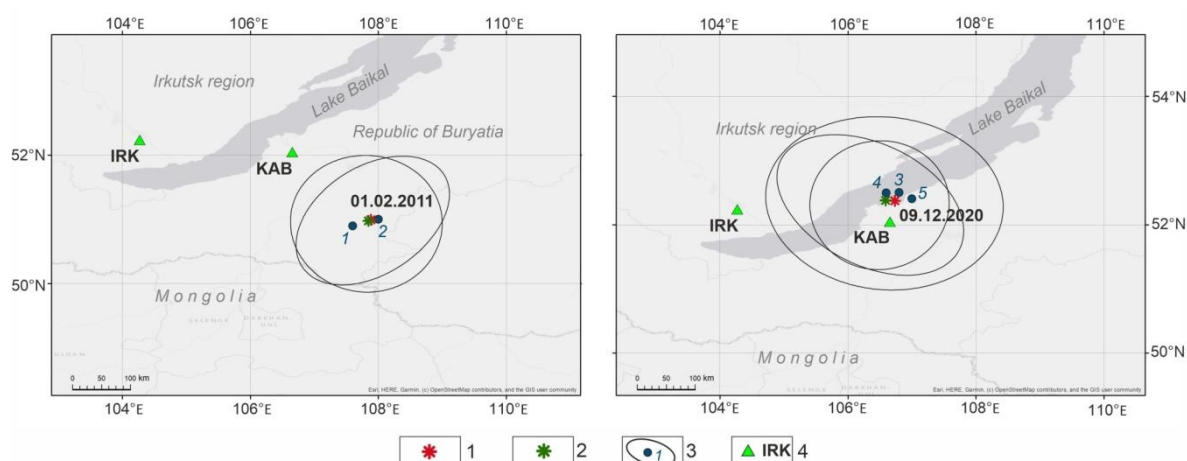


Рисунок 1. Результаты применения метода вероятностной локации к двум землетрясениям инструментального периода (01.02.2011 г. с $M_w=4.7$ и 09.12.2020 г. с $M_w=5.5$) с использованием того же набора инструментальных и макросейсмических данных, что и для рассматриваемых событий 1902–1925 гг. (цифры соответствуют комбинациям исходных данных для событий: 1 – 12.04.1912 г, 2 – 21.03.1925 г. и 28.04.1925 г, 3 – 08.09.1902 г., 4 – 26.08.1905 г., 5 – 25.05.1907 г.). 1 и 2 – эпицентры рассматриваемых землетрясений по данным ISC и Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН соответственно, 3 – результаты расчетов методом вероятностной локации с эллипсами ошибок, 4 – сейсмические станции.

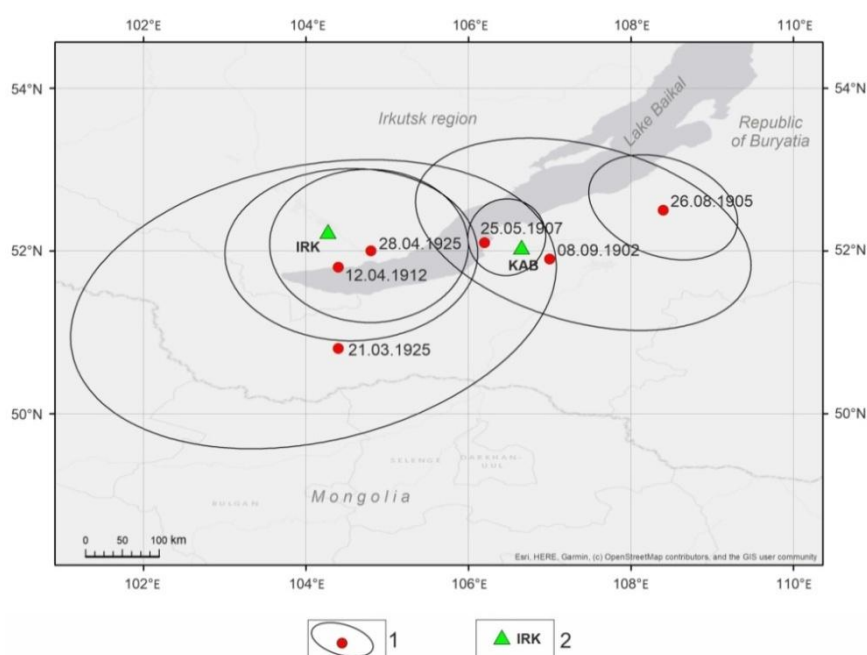


Рисунок 2. Результат применения метода вероятностной локации к Прибайкальским землетрясениям 1902–1925 гг. ($MLH=3.4-5.0$). 1 – Положение эпицентра и эллипс ошибок, 2 – используемые сейсмические станции.

Полученные результаты имеют существенное значение для уточнения оценок сейсмической опасности в Южном Прибайкалье, поскольку каталоги начала XX века все

еще содержат значительные ошибки и неопределенности в оценке ключевых параметров землетрясений. Более того, отдельные сейсмические события, в том числе сравнительно сильные, в каталоги не включены. Эти недостатки могут быть частично устранены с помощью предлагаемого метода вероятностной локации.

В настоящее время продолжается работа по модификации метода, особенно его части, связанной с определением погрешностей искомых параметров. Также проводится подбор исходных данных для других раннеинструментальных землетрясений Прибайкалья, не включенных в параметрические каталоги.

Результаты раздела 1.1 опубликованы в статье [1] (Приложение А) и представлены в виде двух докладов на конференциях [1, 2] (Приложение Б).

1.2 Разработка математического аппарата для решения прямых и обратных задач

В серии статей [4–7] рассмотрены математические методы решения задач, описываемых уравнениями Гельмгольца и Шредингера. Так, в работе [4], являющейся продолжением прошлогоднего исследования [8], рассмотрена плоская волна, радиационное решение и сумма этих решений (полное решение) для уравнения Гельмгольца во внешней области в R^2 . Показано, что радиационное решение во внешней области однозначно определяется интенсивностью полного решения на отрезке любой прямой, лежащей в этой области и такой, что направление распространения плоской волны не параллельно этой прямой. В частности, этот результат решает один из старых математических вопросов голографии в двумерной постановке и допускает прямые приложения к бесфазовой обратной задаче рассеяния в двумерном случае.

В статье [5] рассмотрено радиационное решение для уравнения Гельмгольца во внешней области в R^3 . Показано, что ограничение радиационного решения на любой луч в этой области однозначно определяется его мнимой частью на произвольном интервале этого луча. В качестве следствия установлено, что ограничение радиационного решения на любую плоскость во внешней области однозначно определяется его мнимой частью на произвольной открытой области в этой плоскости. В статье рассматриваются также другие поверхности для измерений вместо плоскостей. Полученные результаты имеют голографические прототипы в упомянутой выше работе [8] и дают как следствие глобальную единственность голографического типа в пассивной томографии и для обратной задачи Гельфанда-Крейна-Левитана (по граничным значениям спектральной меры во всем пространстве) в монохроматическом случае. В [6] эти результаты перенесены на двумерный случай с использованием выводов, полученных в [4].

Наконец в статье [7] рассмотрено уравнение Шредингера с многоточечным потенциалом типа Бете–Пайерлса–Томаса–Ферми. Показано, что такой потенциал размерности $d=2$ или $d=3$ однозначно определяется своей амплитудой рассеяния при фиксированной положительной энергии. Также показано, что не существует ненулевого потенциала такого типа с нулевой амплитудой рассеяния при фиксированной положительной энергии и фиксированном направлении падения. Тем не менее, многоточечный потенциал такого типа не определяется однозначно своей амплитудой рассеяния при положительной энергии E и фиксированном направлении падения. Приведенные доказательства также вносят вклад в теорию обратной задачи источника для уравнения Гельмгольца с многоточечным источником.

Полученные результаты дают принципиальное продвижение в математических основах пассивной томографии, в том числе сейсмической. Исследования, представленные в разделе 1.2, опубликованы 4 статьях [2–5] (Приложение А) и по ним представлено 4 доклада на конференциях [3–6] (Приложение Б).

1.3 Кратковременные нарушения фазовой синхронизации в осцилляторной системе

В работе [9] исследовалась возможность использования кратковременных нарушений фазовой синхронизации для восстановления параметров долговременной эволюции системы, в которой происходят катастрофические события. Одним из примеров такой системы является магнитное поле Солнца. В качестве данных рассматривались площади солнечных пятен в северной и южной полусферах как индекс, отражающий магнитную активность вблизи экватора, и полярные факелы как индекс полярного магнитного поля.

Катастрофическая десинхронизация между полярным и экваториальным индексом в южной полусфере наблюдается в данных обсерватории Маунт-Вилсон в 1960-х годах [10]. Примерно в то же время возникает катастрофическая десинхронизация между двумя полярными индексами. В отличие от Маунт-Вилсон, данные Пулковской обсерватории не содержат катастроф, но демонстрируют несколько отклонений от синхронизаций по типу экскурсий. Экскурсии могут возникать в северной и южной полусферах независимо или одновременно. Было предположено, что любые отклонения от синхронизации являются свидетельством вариации естественных частот меридиональной циркуляции и таким образом могут служить восстановлению амплитуды этой вариации в предположении того, что изменение происходит достаточно медленно.

Меридиональный поток Солнца моделировался при помощи цепочки из четырех осцилляторов Курамото, а вариацию естественных частот рассматривалась в виде синусов с периодами, соответствующими 22-летнему солнечному циклу и циклу Глайсберга [11]. Предполагалось, что 22-летний цикл симметричен, а цикл Глайсберга несимметричен относительно экватора [12]. Фазовые разницы между солнечными индексами использовались для определения соотношений между параметрами модели. Показано, что экскурсии, наблюдаемые в Пулковских данных, реализуются только в узкой области значений амплитуды цикла Глайсберга вблизи полюсов, что позволяет восстановить параметры системы с достаточной точностью (рис. 3). Напротив, катастрофа в данных обсерватории Маунт-Вилсон может возникать в широкой зоне параметров. Однако использование параметров вариации вблизи экватора из Пулковских данных позволяет, тем не менее, восстановить параметры для данных обсерватории Маунт-Вилсон. Обе серии данных сравнивались по параметру порядка, отражающему синхронизацию, в результате чего было получено, что синхронизация магнитного поля Солнца между экватором и полюсом несколько выше, чем между экватором и средними широтами.

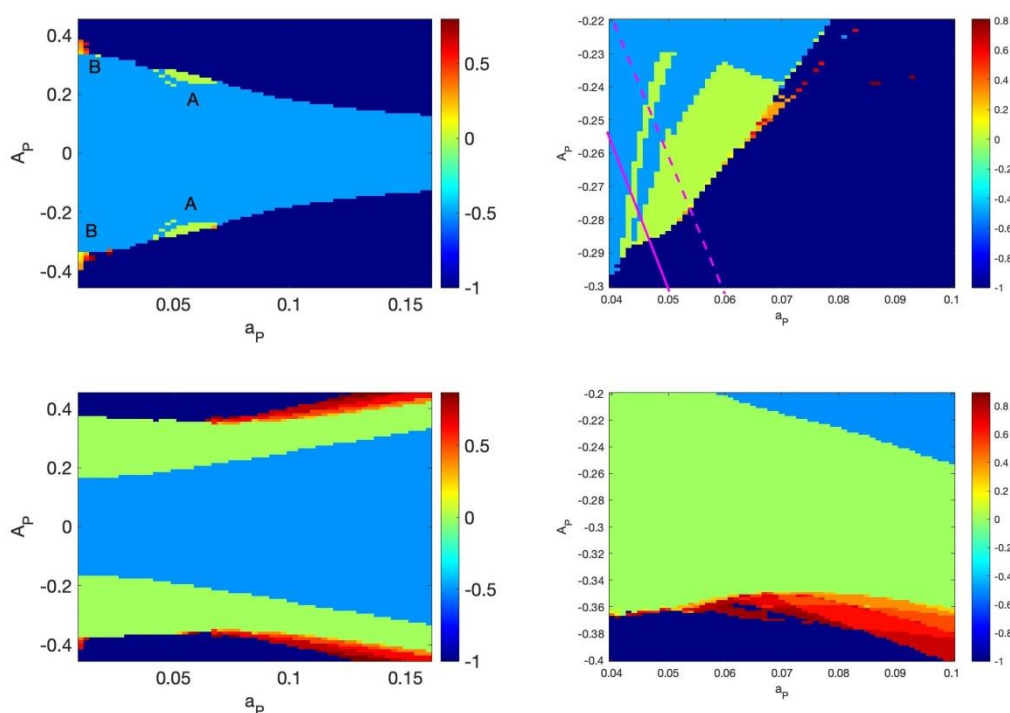


Рисунок 3. Зоны десинхронизации, возникающие в модели в зависимости от амплитуд 22-летнего цикла (A_p) и цикла Глайсберга (a_p), построенные на основе фазовых разниц наблюдаемых в данных обсерваторий Пулково (сверху) и Маунт-Вилсон (снизу). Зеленым цветом обозначены зоны экскурсий, красным — зоны катастроф, голубым — зоны синхронизации. Темно синяя область соответствует зонам катастроф, не наблюдавшихся в солнечных данных.

Поскольку применимость модели Курамото для описания сейсмического процесса была показана ранее, например в [13], то и результаты проведенного теоретического исследования также потенциально могут быть приложены к изучению сейсмичности.

Результаты, представленные в разделе 1.3, опубликованы в статье [6] (Приложение А) и представлены в виде 2 докладов на конференциях [7, 8] (Приложение Б).

2 Моделирование очаговых параметров землетрясений

2.1 Землетрясения Камчатского региона

Совместно с сотрудниками Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН в течение недели после Камчатского мегаземлетрясения 29 июля 2025 г. ($M_w=8.7-8.8$) была оперативно разработана детальная модель очага этого сильнейшего события (рис. 4). Для этого использовались данные о вызванных землетрясением горизонтальных и вертикальных смещениях 10 станций ГНСС (осреднение по первым 2 суткам). Модель состоит из набора многоугольников, исходно произвольной формы, лежащих в одной плоскости (простираение 220° , падение 28°), в пределах каждого из которых подвижка однородна. Многоугольник произвольной формы составляется из точечных источников. Начальная форма многоугольников выбрана, исходя из распределения афтершоков первой недели после основного толчка. Начальная подвижка взята из эмпирической зависимости подвижки от магнитуды. В дальнейшем проводилась корректировка формы и подвижки для соответствия данным ГНСС. Затем для построенной модели по формулам Окада рассчитывались модельные смещения дневной поверхности (рис. 4в, г).

Полученная модель очага, опубликованная на сайте ИТПЗ РАН (<https://www.itpz-ran.ru/ru/model-ochaga-kamchatka-ru/>), с хорошей точностью описывает косейсмические перемещения (до ~ 1.5 м по горизонтали и ~ 35 см по вертикали) станций Камчатской сети ГНСС за 2 дня после главного события (рис. 4а, б). Построенному модельному очагу соответствует моментная магнитуда $M_w=8.7$.

Также в соавторстве с большим коллективом сотрудников дальневосточных научных организаций (в частности, ИВиС ДВО РАН и Камчатского филиала ФИЦ ЕГС РАН) проведено подробное количественное описание воздействия на побережье Камчатки и Северных Курильских островов цунами, вызванного Камчатским мегаземлетрясением 29 июля 2025 г. Построены распределения вертикальных и горизонтальных заплесков цунами на побережье протяженностью около 600 км: от островов Онекотан, Парамушир и Шумшу на юго-западе и вдоль Южной Камчатки до Шипунского полуострова на северо-востоке.

Показано, что максимальные высоты заплесков достигали ~ 20 м (одиночный более 30 м), дальность заплесков доходила до ~ 2 км от берега [14].

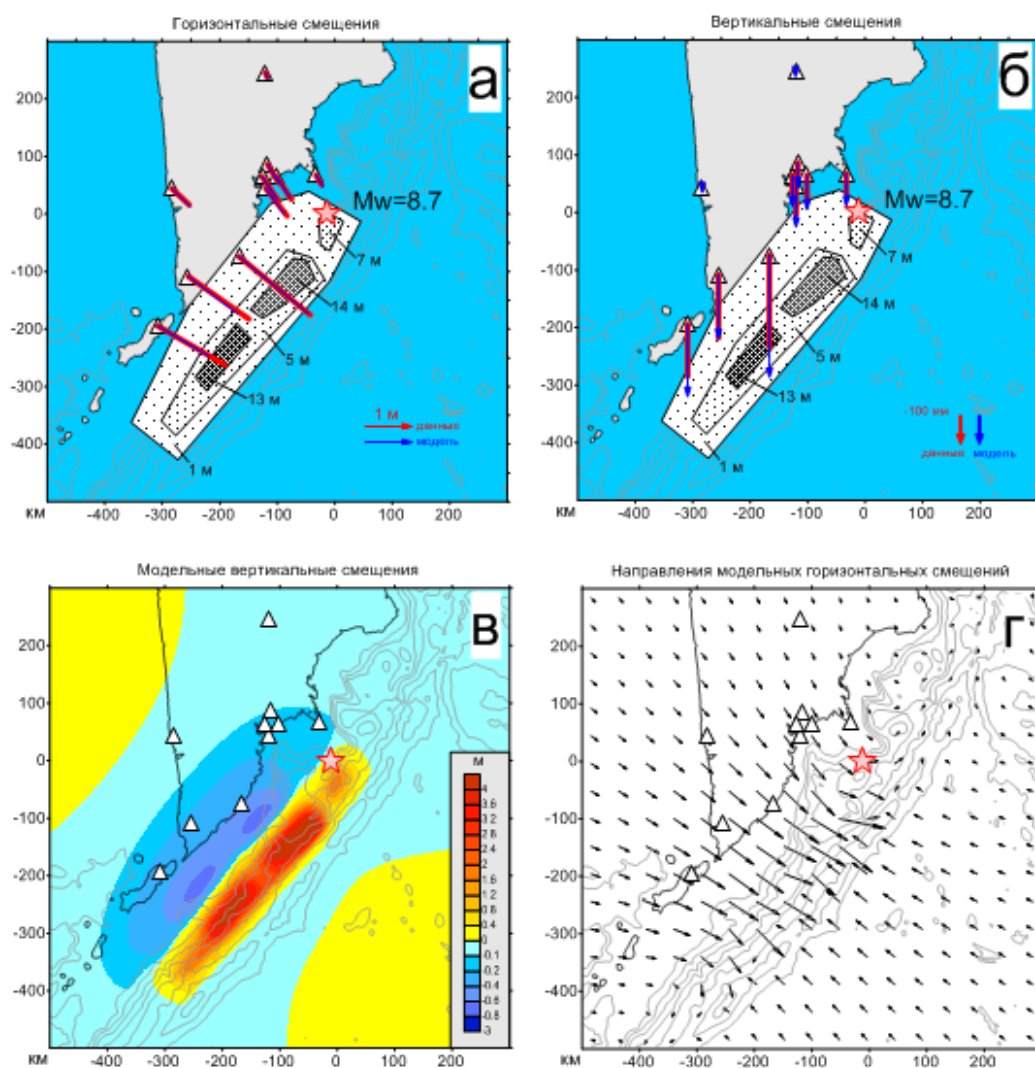


Рисунок 4. Модель очага Камчатского мегаземлетрясения 29 июля 2025 г. по данным ГНСС: (а, б) – проекция очага на дневную поверхность и сравнение измеренных (красные линии) и модельных (синие линии) подвижек для каждой из использованных станций (треугольники), (в, г) – модельные смещения дневной поверхности, рассчитанные для построенной модели очага по формулам Окада. На всех рисунках звезда – эпицентр мегаземлетрясения.

Помимо изучения Камчатского мегаземлетрясения 29 июля 2025 г. в отчетном периоде были завершены детальные исследования сильных землетрясений, произошедших в Камчатском регионе в 2023–2024 гг.: Шипунского землетрясения 17.08.2024 г. ($M_w=7.0$) [15] и Вилючинского землетрясения 03.04.2023 г. ($M_w=6.6$) [16]. Первое событие произошло в акватории Авачинского залива вблизи от г. Петропавловска-Камчатского и ощущалось в городе с интенсивностью 5 баллов. Определенные для него и сильнейших афтершоков

направления подвижек и ориентации плоскостей разрыва в очагах (рис. 5) позволяют отнести их возникновение к процессу субдукции Тихоокеанской плиты под Охотскую, на которой находится Камчатка. В настоящее время подробное описание этого землетрясения представляет особый интерес, поскольку примерно в том же месте произошло мегаземлетрясение 2025 г.

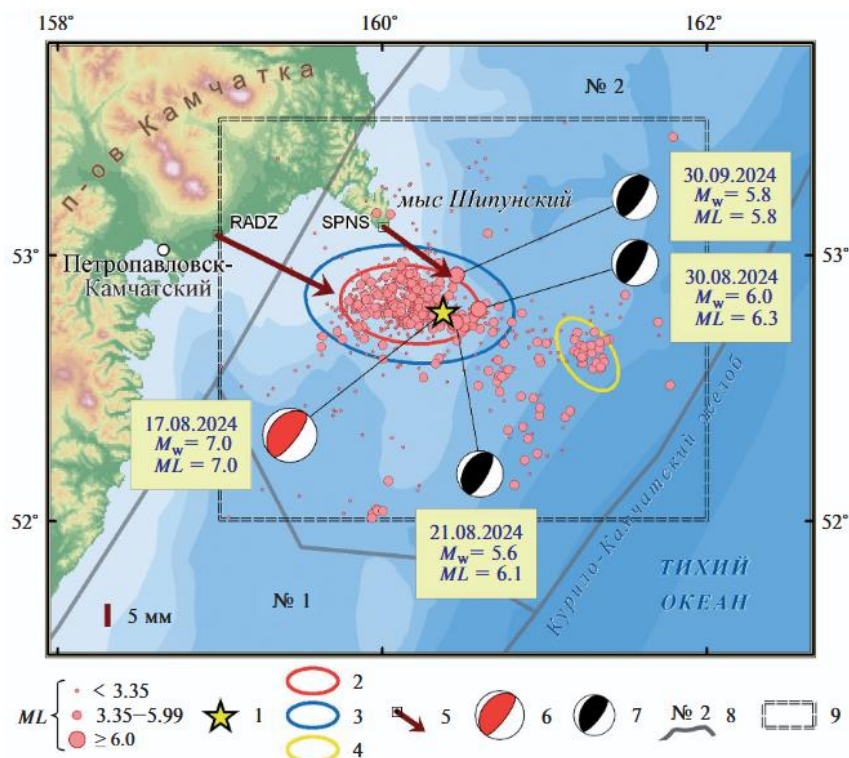


Рисунок 5. Карта расположения эпицентра, афтершоков и очаговой области Шипунского землетрясения (ШЗ) за период с 17.08–17.09.2024 г. с момента главного толчка по данным Каталога землетрясений Камчатки и Командорских островов. 1 – эпицентр ШЗ; 2, 3 – предполагаемые границы очага и афтершоковой области ШЗ; 4 – граница обособленного восточного кластера; 5 – векторы косейсмической подвижки ГНСС-пунктов (масштаб указан в левом нижнем углу карты); 6, 7 – диаграммы механизмов очагов ШЗ и его сильнейших афтершоков в равноплощадной проекции нижней полусферы; 8 – границы и номера зон сейсмичности по А.В. Ландеру; 9 – граница района, для которого получена оценка представительности каталога ($M_C = 3.35$).

Вилучинское землетрясение 03.04.2023 г. ($M_w=6.6$) произошло на промежуточной глубине (~100 км) в западной части Авачинского залива и ощущалось в г. Петропавловске-Камчатском с интенсивностью 5–6 баллов. На основе изучения механизмов главного толчка и его афтершоков построены оценки сеймотектонических деформаций сжатия-растяжения, характерных для различных частей двухъярусного слэба, погружающегося в зону субдукции (рис. 6).

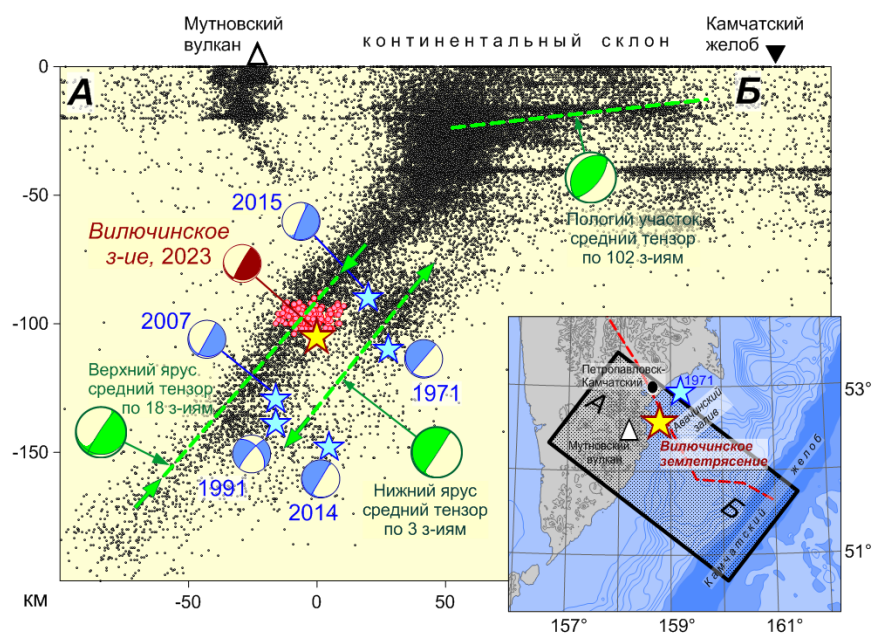


Рисунок 6. Вертикальный разрез Камчатской сейсмофокальной зоны до глубины 200 км в окрестности Вилучинского землетрясения. На врезке черным прямоугольником показана полоса *АБ*, землетрясения которой включены в разрез. На разрезе черными точками обозначены гипоцентры всех событий в полосе *АБ*, входящих в Камчатский каталог за период инструментальных наблюдений 1962 г. – ноябрь 2024 г. Звездами выделены сильнейшие землетрясения с $ML \geq 6.0$. Маленькие красные кружки – афтершоки Вилучинского землетрясения. Зелеными пунктирными линиями отмечены области, по которым проводилось осреднение тензоров сейсмического момента. Соответствующие средние тензорные диаграммы показаны зеленым цветом.

Результаты раздела 2.1 опубликованы на сайте ИТПЗ РАН (<https://www.itpz-ran.ru/ru/model-ochaga-kamchatka-ru/>) и в 3 статьях [7–9] (Приложение А).

2.2 Землетрясения Прибайкалья

Совместно с сотрудниками Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН, ИЗК СО РАН и ГИН СО РАН проведены детальные исследования ряда землетрясений, произошедших в 2021–2024 гг. в Прибайкалье. Во-первых, очаги двух событий – землетрясений 15.12.2021 г. ($M_w=4.8$) и 15.01.2024 г. ($M_w=5.2$) – были смоделированы в приближении мгновенного точечного источника, а именно, двойной пары сил с моментом, по оригинальной методике, разработанной в ИТПЗ РАН [17, 18]. Основными исходными данными для анализа служили амплитудные спектры поверхностных волн, определенные с помощью спектрально-временного анализа [19]. Результаты детального анализа первого из них, произошедшего в пределах Мишихинской депрессии в южной впадине озера Байкал, представлены в статье

[20]. Полученный для этого события механизм очага характеризуется рифтовым типом и представляет собой почти чистый сброс (рис. 7). Возможно, что очаг землетрясения связан с локальным разломом в центральной части Мишихинской депрессии, не отраженным на современных картах активной тектоники. Макросейсмические данные о землетрясении поступили из 32 населенных пунктов. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений составила 5 баллов по шкале MSK-64 в населенных пунктах на южном побережье оз. Байкал на расстоянии 19–23 км. Интенсивность сотрясений 4 балла наблюдалась на расстоянии до 170 км. Несмотря на умеренный энергетический уровень, землетрясение ощущалось на больших эпицентральных расстояниях и вызвало заметный отклик у населения, в связи с чем его можно считать значимым для района Южного Байкала.

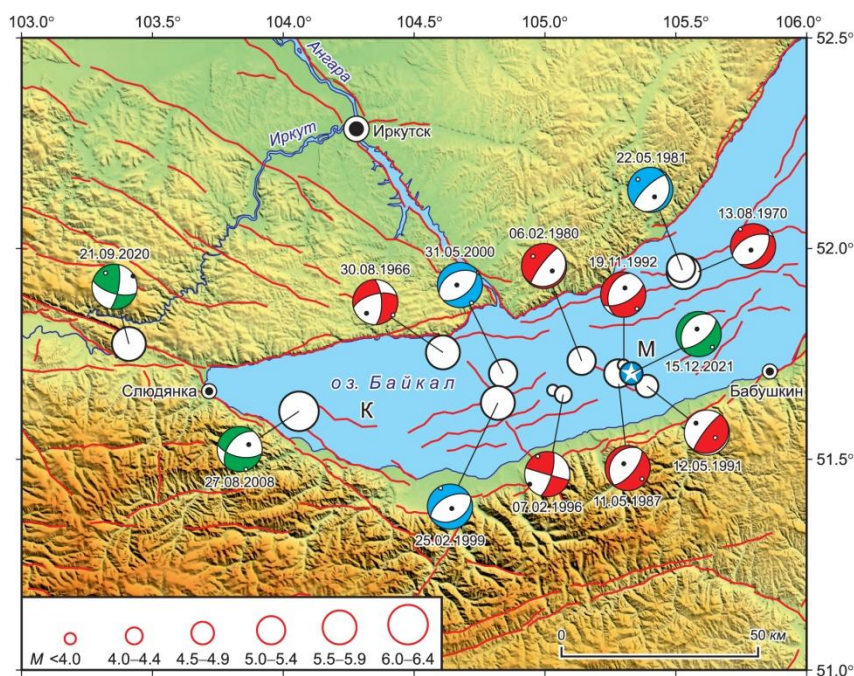


Рисунок 7. Механизмы очагов умеренных и сильных землетрясений Южного Байкала. Эпицентр землетрясения 15.12.2021 г. обозначен звездой. Стереодиаграммы механизмов очагов приведены в проекции нижней полусферы. Зеленым цветом показаны решения, полученные по данным поверхностных волн в данной работе и в [21, 22], синим цветом – решения GCMT, красным цветом – решения по знакам первых вступлений Р-волн [23–25]. Красные линии – активные разломы по [26]. К – Култукская депрессия, М – Мишихинская депрессия.

Второе землетрясение, произошедшее 15.01.2024 г. в Северном Прибайкалье, на восточном побережье северной впадины оз. Байкал, представляет значительный интерес, поскольку в течение периода инструментальных наблюдений подобные сейсмические

события в данном локальном районе не регистрировались. В результате детального анализа этого события были получены основные очаговые параметры: сейсмический момент ($M_0=7.3 \cdot 10^{16}$ Н·м), моментная магнитуда ($M_w=5.2$), глубина очага ($h=10$ км) и механизм очага, представляющий собой практически чистый сброс (рис. 8) [27]. Очаг землетрясения сформировался под влиянием субгоризонтального растяжения ЮВ–СЗ ориентации и, по-видимому, связан с подвижкой по пологой плоскости. Весьма вероятно, что очаг землетрясения приурочен к локальному разлому С–СВ простирания на западном борту Баргузинского хребта (рис. 8). Землетрясение ощущалось в 154 населенных пунктах. Максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений составила 5 баллов по шкале MSK-64 в улусе Таза (север Баргузинской впадины) на расстоянии 96 км от эпицентра (рис. 9). Сотрясения интенсивностью 4 балла наблюдались на расстояниях от 59 до 388 км. Анализ макросейсмических данных показал, что затухание интенсивности сотрясений при землетрясении 15.01.2024 г. оказалось существенно ниже, чем ожидалось по региональному макросейсмическому уравнению. Такая же закономерность была ранее выявлена и для других сильных сейсмических событий юга Восточной Сибири, что говорит о необходимости уточнения уравнения макросейсмического поля Прибайкалья.

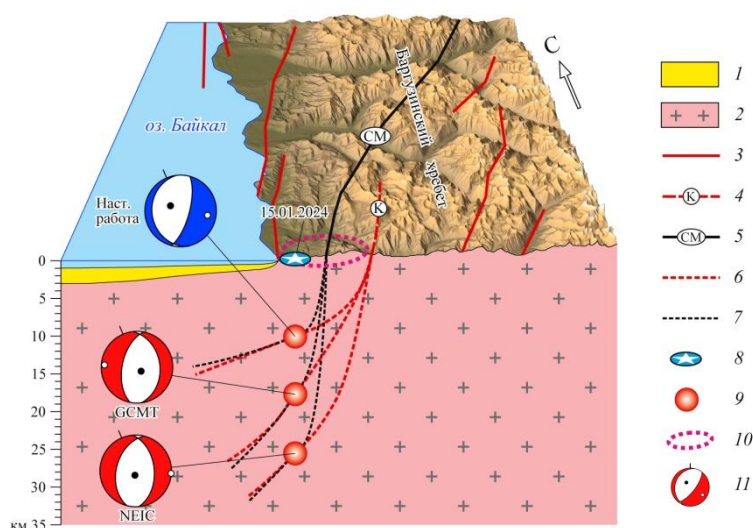


Рисунок 8. Возможная сеймотектоническая позиция очага землетрясения 15.01.2024 г. 1 – толща неоген-четвертичных отложений; 2 – кристаллический фундамент; 3 – активные разломы (по [26, 28], с упрощениями); 4 – предполагаемый сегмент Кабаньего разлома; 5 – Северо-Муйский разлом; 6, 7 – предполагаемые плоскости разломов в зависимости от решения механизма очага: 6 – Кабаньего, 7 – Северо-Муйского; 8 – эпицентр землетрясения 15.01.2024 г.; 9 – варианты местоположения гипоцентра землетрясения 15.01.2024 г. в зависимости от оценки глубины очага; 10 – эпицентральное поле афтершоков; 11 – стереограммы механизма очага в проекции нижней полусферы.

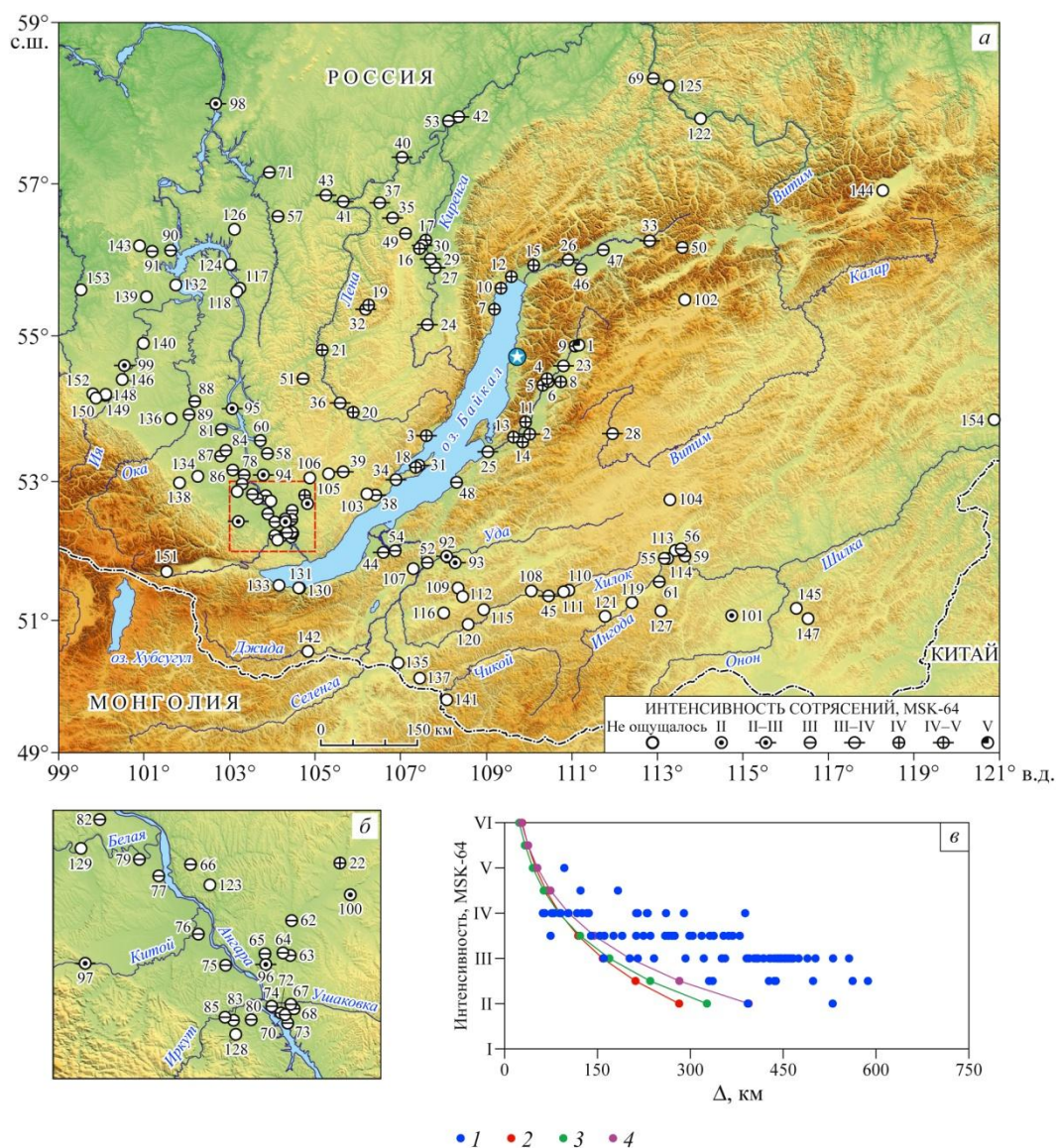


Рисунок 9. Макросейсмические проявления землетрясения 15.01.2024 г.: а – в пределах всей зоны осязательности (звездочка – эпицентр землетрясения); б – в районе агломерации г. Иркутска; в – зависимость интенсивности сотрясений от гипоцентрального расстояния. 1 – фактические данные; 2–4 – теоретические кривые затухания, рассчитанные по макросейсмическому уравнению Н.В. Шебалина: 2 – с региональным набором коэффициентов [29], 3 – со среднемировым набором коэффициентов [30], 4 – с новым региональным набором коэффициентов [31].

Наконец для землетрясения 08.06.2022 г. ($M_w=5.2$), произошедшего вблизи дельты р. Голоустной в акватории оз. Байкал в зоне длительного сейсмического затишья, выполнен анализ макросейсмических данных, полученных по территории г. Улан-Удэ [32]. Впервые была оценена интенсивность сотрясений по отдельности в каждом из административных округов г. Улан-Удэ. Наряду с Голоустненским-II землетрясением были рассмотрены как

фактически ощущавшиеся в г. Улан-Удэ сейсмические события в период 1992–2021 гг., так и землетрясения, которые должны были ощущаться исходя из расчета по макросейсмическому уравнению (рис. 10). Установлено, что 50 сейсмических событий, расчетная интенсивность которых лежит ниже порога осязательности, фактически проявлялись в г. Улан-Удэ с наблюдаемой интенсивностью от 2 до 4 баллов; таким образом, в среднем теоретически рассчитанная интенсивность оказалась занижена на 1.5–2.0 балла по сравнению с наблюдаемой. В дальнейшем представляется необходимым проводить детальные макросейсмические обследования на территории г. Улан-Удэ не только после землетрясений, расчетная интенсивность сотрясений при которых достигала 5 баллов и выше, но и после менее сильных событий. Пороговую интенсивность, при достижении которой следует проводить массовое обследование, можно определить значением 3–4 балла.

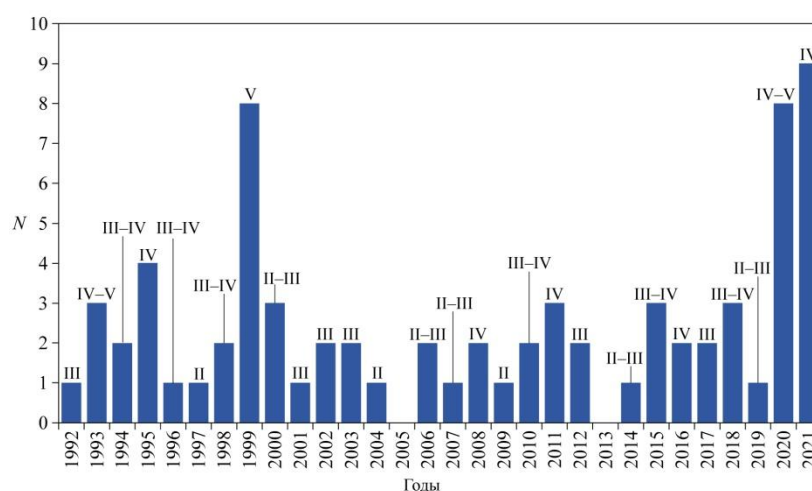


Рисунок 10. Количество ощущаемых землетрясений в г. Улан-Удэ с 1992 по 2021 гг. (по данным, приведенным в ежегодниках «Землетрясения Северной Евразии» и «Землетрясения России»). Римскими цифрами указана максимальная наблюдаемая интенсивность сотрясений в течение года.

Полученные результаты представляют интерес в аспекте исследования сеймотектонических процессов и для дальнейших работ по оценке и уточнению сейсмической опасности Прибайкалья, а также в аспекте усовершенствования системы онлайн-анкетирования, предназначенной для сбора макросейсмических данных.

Результаты, представленные в разделе 2.2, опубликованы в 3 статьях [10–12] (Приложение А).

2.3 Спектральные характеристики землетрясений и межмагнитудные соотношения

В отчетном периоде были продолжены работы по определению спектральных характеристик землетрясений отдельных регионов РФ. Во-первых, были получены предварительные результаты исследования вулканических длиннопериодных и высокочастотных землетрясений вблизи Ключевской группы вулканов (Камчатка). Также была предложена новая энергетическая классификация, а именно, магнитуда по длительности (MD), которая неплохо зарекомендовала себя для вулканической сейсмичности в других районах. Выполнены оценки таких магнитуд, определены межмагнитудные зависимости типа M_w - ML - MD .

Во-вторых, была завершена работа по оценке очаговых параметров (в рамках модели Брюна) 127 землетрясений, произошедших на северном Кавказе в 2008–2021 гг. [33]. В результате определены значения M_0 , M_w и построены линейные межмагнитудные соотношения для различных типов магнитуд, в том числе с использованием данных ISC и ФИЦ ЕГС РАН (рис. 11). Показано, что полученные соотношения между ML и M_w характеризуются меньшими ошибками, чем соотношения с магнитудами mb , определенными в ISC и ФИЦ ЕГС РАН. Для региональных событий с $M_w=3.0$ – 4.5 ($ML=2.6$ – 4.5) рекомендованы для дальнейшего использования два соотношения между M_w и ML : $M_w=0.77ML + 0.89$ и $M_w=ML + 0.005$.

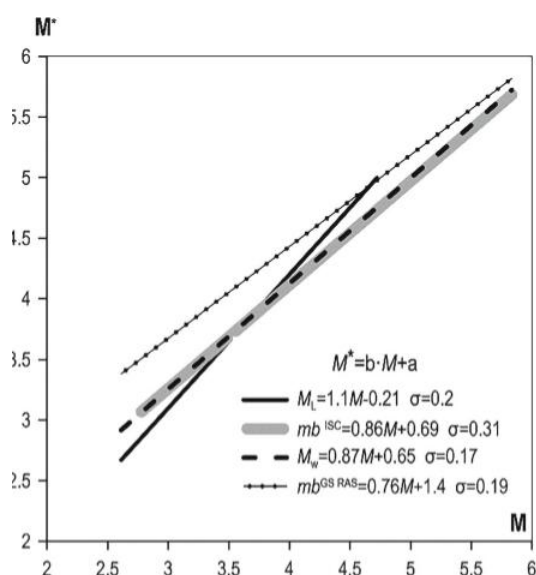


Рисунок 11. Соотношения между различными типами магнитуд, полученные для землетрясений Северного Кавказа (2008–2021 гг.).

Результаты раздела 2.3 опубликованы в статье [13] (Приложение А) и представлены в виде двух докладов на конференциях [9, 10] (Приложение Б).

2.4 Землетрясение 28 марта 2025 г. в Мьянме

Несмотря на то, что очаг землетрясения 28 марта 2025 г. был смоделирован в USGS, сотрудниками ИТПЗ РАН были выполнены независимые с точки зрения исходных данных и используемых методов оценки очаговых параметров рассматриваемого сейсмического события [34]. Основными целями проводимого анализа было выяснение вопросов о том, на самом ли деле разрыв был настолько протяженным, как это следует из результатов USGS, и на самом ли деле скорость разрыва превышала скорость S -волн.

Очаговые параметры определялись по амплитудным спектрам поверхностных волн (рис. 12а) в двух приближениях: мгновенного точечного источника [17] и плоской эллиптической дислокации [35]. Истинная плоскость разрыва была выделена в соответствии с работой [36], а также построена билатеральная модель источника (разрывообразование происходит в двух противоположных направлениях от точки начала разрыва) [37]. В результате было получено, что очаг землетрясения 28 марта 2025 г. представляет собой правосторонний сдвиг по крутопадающей плоскости субмеридионального простирания (NP1 на рис. 12б) и может быть связан с одним из крупнейших в мире сдвиговых разломов Сагайн [38]. Отметим, что в приближении мгновенного точечного источника наши оценки очаговых параметров хорошо согласуются с данными мировых сейсмологических агентств (GCMT, USGS, GFZ и т.д.). При этом некоторые вариации во всех имеющихся решениях могут быть связаны с существенной разницей в частотном диапазоне используемых данных.

Полученные нами оценки длительности разрыва и его длины (рис. 12в), вероятно, относятся не ко всему разрыву, а только к его основной фазе, характеризующейся максимальными смещениями (до 4.5 м) и значениями выделившегося сейсмического момента в соответствии с моделью USGS (рис. 12г). Возможно, очаг рассматриваемого сейсмического события состоял из двух субочагов, первый из которых охватывает северные сегменты разлома Сагайн, является основным и соответствует полученной нами модели (рис. 12в). Второй субочаг, охвативший южные сегменты разлома, хорошо выделяется по скорости высвобождения сейсмического момента по данным USGS на временах более 66 с (рис. 12г) и характеризуется меньшими значениями смещений (1.5–2.0 м). В северном, основном субочаге разрывообразование происходило преимущественно в южном направлении, а его средняя скорость составила 3.6–3.8 км/с (рис. 12в), что превышает скорость S -волн на глубине очага в соответствии с моделью CRUST 1.0 [39].

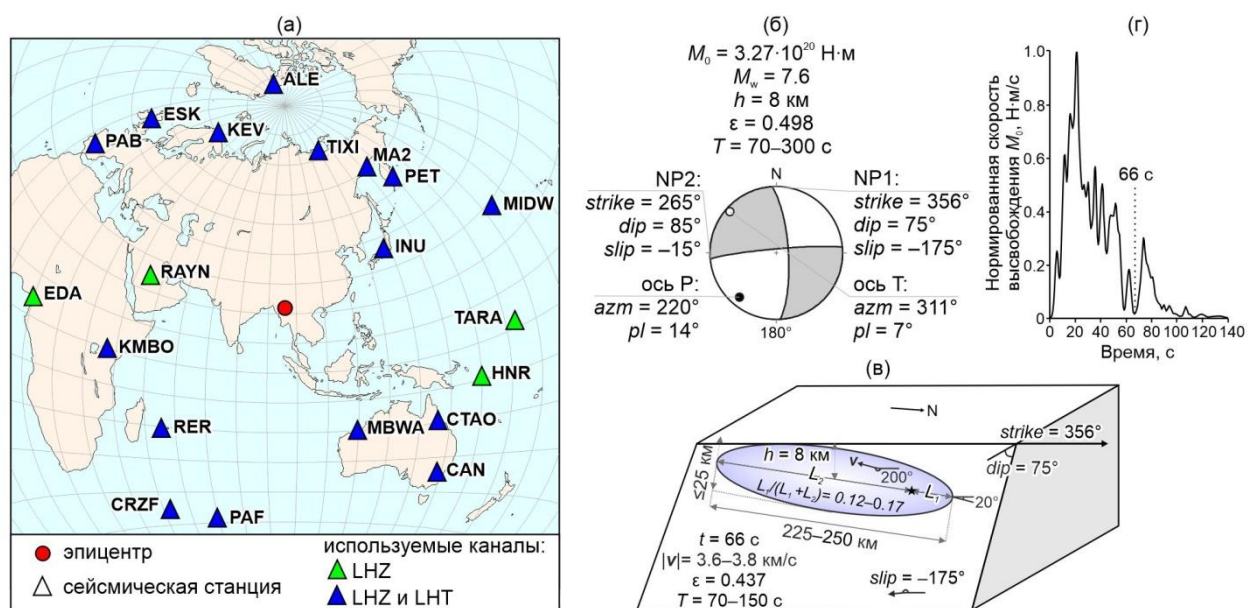


Рисунок 12. Исходные данные (а) и модель очага землетрясения 28 марта 2025 г. в приближениях мгновенного точечного источника (б) и плоской эллиптической дислокации (схематично) (в). Коды станций соответствуют международному стандарту. LHZ и LHT – вертикальная и трансверсальная (результат вращения горизонтальных компонент, направленных на восток и север) компоненты записи соответственно. Обозначения: ε – функция нормированной невязки амплитудных спектров поверхностных волн, T – диапазон используемых для расчетов периодов, t – длительность источника, $|v|$ – модуль средней скорости разрывообразования, L_1 и L_2 – длины меньшей и большей части разрыва в билатеральной модели источника соответственно. На рисунке (в) начало разрыва обозначено черной звездой. На рис. (г) показана нормированная скорость высвобождения сейсмического момента по данным USGS.

Результаты раздела 2.4 опубликованы в статье [14] (Приложение А) и представлены в виде устного доклада на конференции [11].

2.5 Сильные землетрясения на юге Аляски в 2020–2023 гг.

Как и для землетрясения 28 марта 2025 г. очаги четырех 4 сильных землетрясений ($M_w \geq 7.0$), произошедших на юге Аляски в 2020–2023 гг., были смоделированы по данным поверхностных волн в двух приближениях: мгновенного точечного источника (рис. 13) и плоской сдвиговой дислокации эллиптической формы с конечной длительностью (табл. 1) [40]. Также по сейсмологическим данным выделена истинная плоскость разрыва в очагах рассматриваемых событий. Эллиптическая дислокация описывалась следующими интегральными параметрами, характеризующими геометрию разрыва и его развитие во

времени: продолжительностью процесса в очаге (Δt , с), длинами большой и малой осей эллипса источника (l_{\max} и l_{\min} , км), абсолютным значением средней скорости мгновенного центроида ($|v|$, км/с), углом между большой осью источника и осью простирания (ϕ_1 , °), углом между направлением движения мгновенного центроида и осью простирания (ϕ_v , °). В предположении Гауссовского распределения плотности момента, принимая в качестве реальных оценок длительности очага и его пространственных размеров значения, соответствующие 99% доверительному уровню, реальное время действия источника (t) превышает интегральную оценку длительности очага (Δt) в 2.5 раза, а реальные размеры очаговой области (L) превышают интегральные оценки в 3 раза [41].

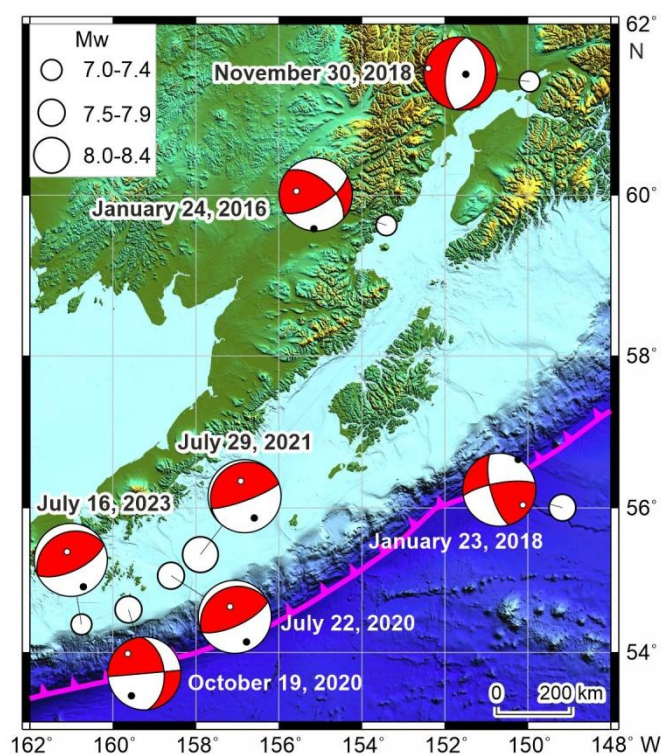


Рисунок 13. Результаты расчетов механизмы очагов сильных землетрясений, произошедших на юге Аляски в 2020–2023 гг., дополненные данными из [41]. Граница между Северо-Американской и Тихоокеанской литосферными плитами обозначена сиреневой жирной линией.

Полученные фокальные механизмы (рис. 12) показывают, что очаги рассматриваемых землетрясений сформировались под влиянием субгоризонтального ЮВ–СЗ сжатия, что согласуется с имеющимися представлениями о региональном поле напряжений [42]. Истинные длительности источников и их длины, следующие из наших оценок интегральных параметров (табл. 1), близки к значениям, определенным USGS (за исключением длительности для землетрясения 22.07.2020 г.). Интересно, что землетрясение 22.07.2020 г. имеет большую длину очага и длительность относительно события 16.07.2023

г. с той же моментной магнитудой. Это может быть связано с разницей в их фокальных механизмах, т.к. известно, что землетрясения со сдвиговым механизмом, как правило, характеризуются большей длиной разрыва, чем взбросы или сбросы [43].

Таблица 1. Параметры исследуемых землетрясений в приближении источника конечных размеров и длительности.

Параметр	22.07.2020 г.	19.10.2020 г.	29.07.2021 г.	16.07.2023 г.
l_{\max} , км	75	45	120	20
l_{\min} , км	40	0–15	70	0–20
Δt , с	15	12	22	4
$ v $, км/с	4.25	3.5	4	3.5
φ_l , °	25	20	15	150
φ_v , °	10	20	190	150

Результаты раздела 2.4 опубликованы в статье [15] (Приложение А).

3 Методы сейсмометрии, сбора и систематизации геофизических данных

3.1 Теоретические исследования применения волоконно-оптических технологий в геофизике и сейсмологии

В серии обзорных работ, касающихся применения оптоволоконных технологий в геофизике и сейсмологии (включая распределенное акустическое зондирование – DAS), получены следующие результаты. Во-первых, выявлены наиболее перспективные с точки зрения практического применения (измерения ускорения, температуры, давления, вращения, деформации и акустического давления) схемы точечных волоконных датчиков; датчиков, организованных в сейсмические косы и кабели SMART; систем распределенных и квазираспределенных измерений, включая сверхдлинные (сотни километров) [44, 45]. Во-вторых, для технологии DAS выделены наиболее критичные источники помех: контакт волокна с грунтом и влияние температуры, а также показано, интеррогаторы каких производителей наименее подвержены влиянию этих помех и предложены аппаратные методы шумоподавления (рис. 14) [46–49].

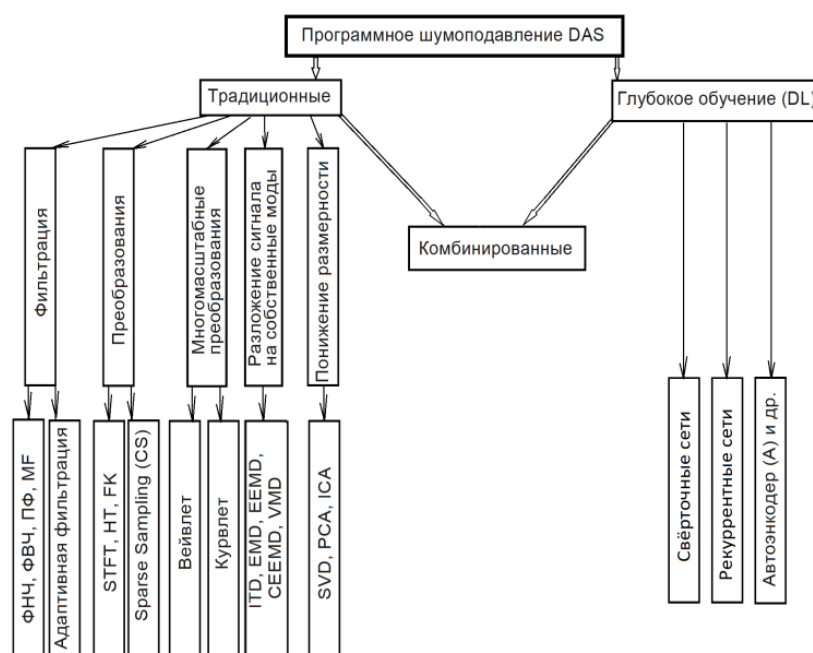


Рисунок 14. Применяемые методы шумоподавления при обработке сигнала DAS.

Наконец в работах [50–53] выделены 2 наиболее перспективные с точки зрения массового применения методики определения механизмов очагов слабых землетрясений с использованием данных DAS. В первой из них, предложенной в статье [54], используются поканальные взаимные корреляции между P -волнами пар землетрясений и корреляции между отдельными каналами для каждого события (рис. 15). Положительный коэффициент корреляции (с разрешением в десятки метров) указывает на одинаковую полярность, отрицательный наоборот обозначает различие в знаках первых вступлений. Для однозначного установления полярностей по всем измерениям достаточно откалибровать всего лишь один канал для одного события. При этом механизм определяется однозначно, если оптоволоконный кабель пересекает нодальную плоскость в двух или более местах (рис. 15). Вторая методика, обсуждаемая в работах [55, 56], предполагает определять фокальный механизм по отношениям максимальных амплитуд волн S и P , зарегистрированных оптоволоконным кабелем (рис. 16). В отличие от метода [54], применимого только для группы сейсмических событий в близком районе, она может быть использована для определения фокального механизма одиночного землетрясения. Несомненным плюсом отдельных методик является простота обработки, а к их недостаткам можно отнести, пожалуй, тот факт, что оптоволокно должно находиться на довольно близком расстоянии от эпицентров исследуемых событий.

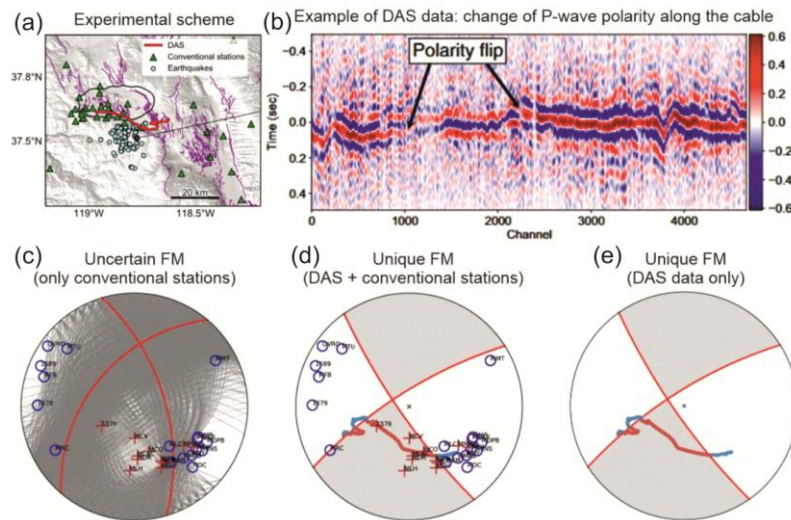


Рисунок 15. Иллюстрация работы метода [54]. Положения оптоволоконного кабеля, эпицентров событий, сейсмических станций (а); поканальная кросс-корреляционная функция (цвет) для пары землетрясений с $M=2.5$ и $M=2.8$ (b); механизм очага землетрясения с $M=2.8$ (нижняя полусфера), определенный только по данным сейсмических станций (c); то же по данным DAS и сейсмических станций (d); то же только по данным DAS (e).

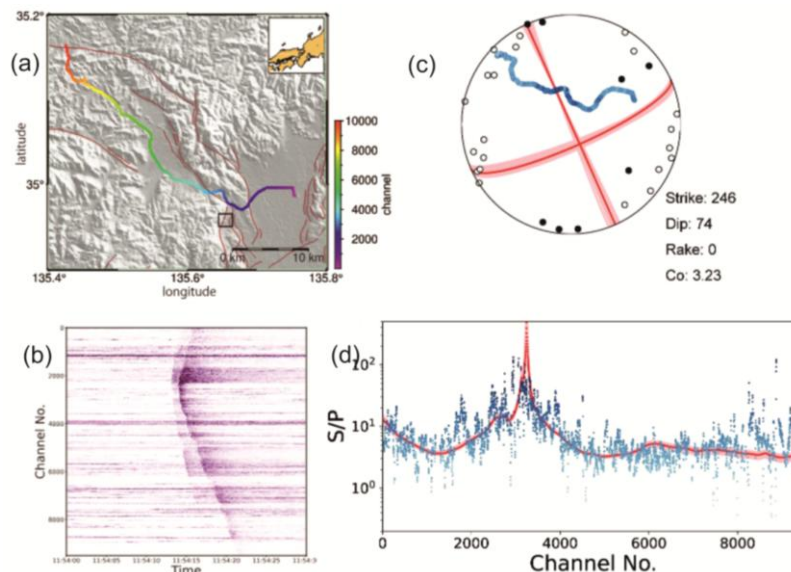


Рисунок 16. Иллюстрация работы метода [55]. Положение оптоволоконного кабеля относительно эпицентров событий (черный прямоугольник) (а); запись землетрясения с $M=2.2$ (b); механизм очага землетрясения $M=2.2$, полученный по данным DAS (c): интенсивность синего цвета – отношение амплитуд S - и P -волн, точки – знаки первых вступлений по данным сейсмической сети, розовым показана область 30 лучших решений; отношение амплитуд S - и P -волн (d): синим – наблюдаемое, красным – удовлетворяющее решению, показанному на панели (c).

В настоящее время нами ведется апробация этих методик с использованием открытых источников данных DAS и бесплатных пакетов для их обработки с целью определения возможных ограничений, не оговоренных в исходных работах [54–56], и внедрения на территории РФ.

Результаты, представленные в разделе 3.1, опубликованы в 3 статьях [16–18] (Приложение А) и представлены в виде докладов на конференциях [12–18] (Приложение Б).

3.2 Использование DAS для определения параметров ледяного покрова Клязьминского водохранилища

В отчетном периоде совместно с сотрудниками МГУ, ИФЗ РАН и ООО «Т8 Сенсор» была продолжена работа по интерпретации результатов эксперимента, проведенного в феврале 2024 г. на льду Клязьминского водохранилища с целью изучения возможности использования DAS для регистрации сейсмоакустических сигналов, возникающих в плавучем ледяном щите. В ходе эксперимента был выполнен сопоставительный анализ измерений программно-аппаратного комплекса (ПАК) оптоволоконных распределенных сенсоров «Дунай», предоставленного ООО «Т8 Сенсор», и сейсмической косы из 24 вертикальных геофонов Geospace One LF с шагом 5 метров (рис. 17). Использовался разработанный специально для этого эксперимента способ прокладки волоконно-оптического кабеля с образованием взаимно перпендикулярных колец, которые позволяют измерять деформации волокна как вдоль линейной группы, так и поперек. Пары таких колец (одно вертикально, другое горизонтально) располагались рядом с геофонами.

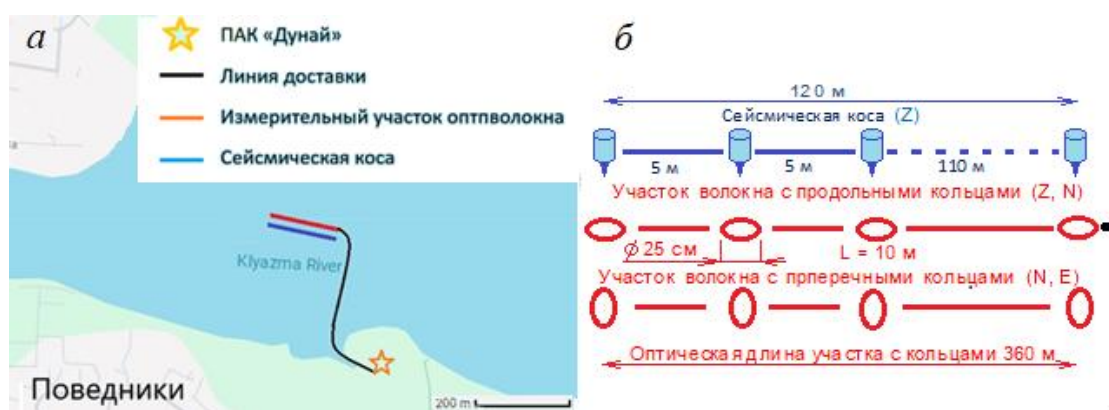


Рисунок 17. Место эксперимента (а) и схема расположения датчиков (б).

В результате обработки данных эксперимента был разработан метод выделения дисперсионной кривой пассивными методами оценки межканальной корреляционной функции шумов [57]. Этапы обработки данных DAS, отражающие текущее состояние

методики и служащие основой для дальнейшей адаптации под различные типы природных и техногенных условий, представлены на рис. 18.

№	Этап	Описание	Ключевые параметры	Выход
1	Сырые данные DAS	Волоконно-оптические измерения скорости деформации, содержащие фоновый сейсмический шум	Длительность записи $T \approx 1$ ч, пространственная выборка $\Delta \approx 1.6$ м, частота зондирования $f_s = 2$ кГц	Непрерывная запись $\epsilon(t, x)$
2	Выделение сейсмограмм деформации	Интегрирование по времени, привязка оптической длины L_{opt} к геометрической L_{geom} , усреднение по длине колец L_{loop}	$L_{opt} \approx 360$ м, расстояние между кольцами $\Delta x = 5$ м, $L_{geom} \approx 115$ м, $L_{loop} \approx 10$ м, $N = 24$ трассы	Непрерывная запись i -ой трассы $u_i(t)$
3	Предобработка и фильтрация	Удаление тренда, нормализация амплитуд, децимация, полосовая фильтрация	Полоса: 0.1–10 Гц, децимация до 50 Гц	Отфильтрованные трассы $\tilde{u}_i(t)$
4	Вычисление функций взаимной корреляции (ВКФ)	Разбиение на окна длиной T_w , корреляция всех пар каналов, суммирование по времени	$T_w = 60$ с, перекрытие 0%, $C_{ij}(\tau) = \int u_i(t)u_j(t + \tau)dt$	Набор ВКФ для всех пар (i, j)
5	Контроль качества (КК) ВКФ	Автоматическая оценка: ОСШ, пик/огибающая, правдоподобие	Например, ОСШ ≥ 3 , пик/огиб. ≥ 4 , правдоподобие ≥ 0.3	Маска качественных ВКФ
6	Формирование диаграммы направленности	Группировка соседних каналов, усреднение ВКФ внутри и между лучами	Ширина луча: 9 кан. (45 м), шаг: 2 кан. (10 м), $N_b \approx 8$ лучей	Лучевые ВКФ с повышенным ОСШ
7	Обработка массивом	Поиск по сетке медленностей источника p_s и приемника p_r : slant-stack, f-k анализ, диаграммы направленности	Диапазон скоростей: 0.5–200 м/с, разрешение по p : 0.005 с/м	Карты энергии /когерентности (f, v) или (f, p_s, p_r)
8	Выделение дисперсионных кривых	Трассировка гребней максимальной энергии, преобразование $v = 1/p$	Ограничения непрерывности, многомодовое выделение	Дисперсионные кривые $v(f)$
9	Результаты и валидация	Сравнение методов, сглаживание, проверка на физическую адекватность	Сравнение с теорией изгибных волн, экспорт для инверсии	Финальные кривые $v(f)$, отчёты КК

Рисунок 18. Этапы пассивного дисперсионного анализа данных DAS.

DAS фиксирует изгибно-гравитационные волны и имеет более низкое отношение сигнал/шум, чем геофоны. Тем не менее, инверсия построенных дисперсионных кривых (рис. 19) позволила оценить мощность ледового покрова и его эффективный модуль Юнга. Недисперсионный низкочастотный шум, связанный с гравитационными волнами использовался для определения глубины водоема.

К несомненным преимуществам использования DAS в решении подобных задач относятся высокое пространственное разрешение, с охватом территории до ста и более километров; экономичность и надежность, т.к. дорогостоящее оконечное оборудование (интеррогатор) находится в безопасном месте, а оптическое волокно можно считать расходным материалом; высокая чувствительность и широкий частотный диапазон; интеграция с другими методами; непрерывность измерений (в том числе всепогодность и всесезонность).

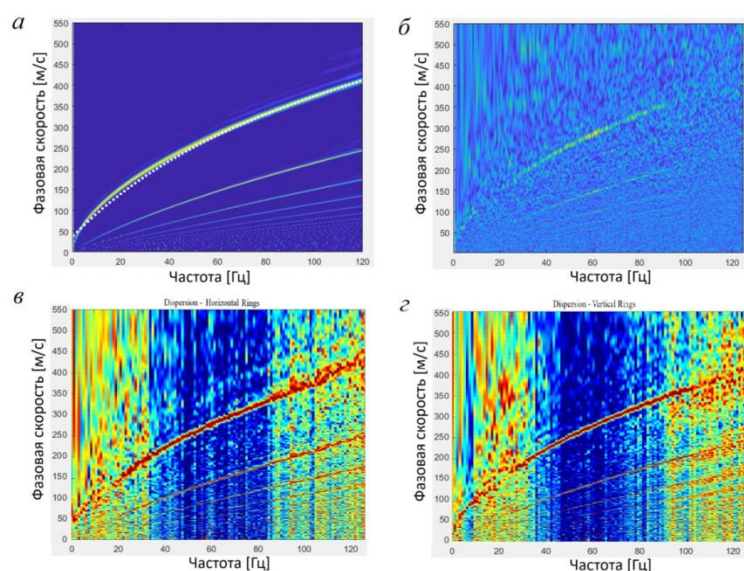


Рисунок 19. Примеры полученных дисперсионных изображений: по данным геофонов (а); по обобщенным данным DAS (б); по данным горизонтальных колец (в); по данным вертикальных колец (г).

Результаты раздела 3.2 опубликованы в статье [19] (Приложение А) и представлены в виде докладов на конференциях [19–22] (Приложение Б).

3.3 Маломощные импульсные источники сейсмических колебаний

В 2025 г. была начата серия экспериментов, конечной целью которых является сравнение характеристик доступных маломощных импульсных источников (МИИ) сейсмических колебаний, определение их метрологических и эксплуатационных характеристик, выработка рекомендаций по их применению. Сами МИИ могут применяться в исследованиях, проводимых в труднодоступных районах, районах со сложным рельефом или с плотной застройкой. Немаловажно использование МИИ при практическом обучении студентов и, наконец, в малобюджетных работах, не предусматривающих покупку или аренду дорогой техники.

Рассматривались три типа МИИ (кувалда, сброс груза, сейсморужье) для сухопутной сейсморазведки со следующими особенностями: (1) достаточно сильные, чтобы обеспечить возможность приема волн, отраженных или преломленных от границ на требуемой глубине; (2) обеспечивающие короткий импульс, чтобы гарантировать разделение волн от разных границ; (3) имеющие небольшой вес и размеры (включая вспомогательное оборудование), что дает возможность переноски по пересеченной местности; (4) простые в обслуживании, удобные при работе в условиях ограниченного пространства и на пересеченной местности; (5) автономные; (6) имеющие низкую стоимость и экономичные

при проведении работ; (7) экологичные. Регистрация сигналов проводилась сейсмическая косой с вертикальными и горизонтальными геофонами.

Специально для эксперимента разработаны и изготовлены сейсморужья для вертикального и горизонтального выстрелов (рис. 20). В результате были проведены следующие работы: проверка работоспособности оборудования; определение азимутальной равномерности распространения сейсмических волн на площадке; определение наличия/отсутствия близких к поверхности отражающих границ; определение затухания сигнала в зависимости от расстояния от источника. Показано, что оборудование работает стабильно [58–60]. Азимутальная неравномерность распространения сейсмических волн оказалась в границах погрешности. Оборудование и площадка пригодны и готовы для проведения дальнейших экспериментов (рис. 21).

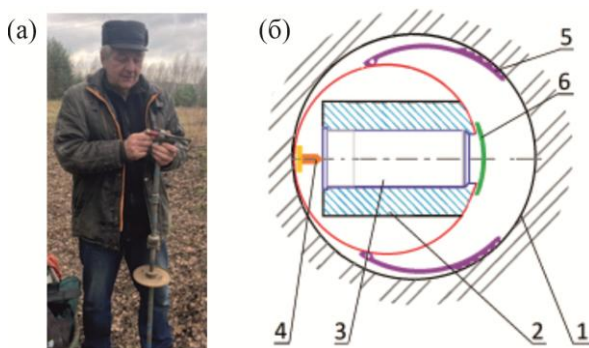


Рисунок 20. Сейсморужье для вертикального выстрела (а) и расклинивание сейсморужья для горизонтального выстрела в скважине: 1 – скважина, 2 – патронник и ствол, 3 – патрон, 4 – ударник и боек, 5 – лапы, 6 – заслонка.

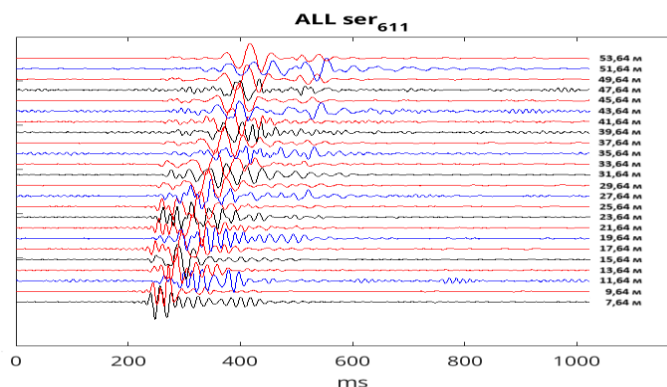


Рисунок 21. Выстрел сейсморужья светозвуковым сигнальным патроном (самый слабый источник). Амплитуда нормирована. Красным показаны вертикальные датчики, черным – горизонтальные, вдоль косы, синим – поперек.

Результаты раздела 3.3 представлены в виде трех докладов на конференциях [23–25] (Приложение Б).

3.4 Многоканальная прецизионная температурная антенна и комплексный мониторинг процессов в Земле

Подземная геофизическая лаборатория Баксанской нейтринной обсерватории (БНО) предоставляет уникальную возможность изучения тонкой структуры температурных полей в толще горных пород горы Андырчи, недалеко от вулкана Эльбрус и проведения комплексного долговременного мониторинга геофизических параметров. Для установленной в толще стен штольни температурной антенны был разработан уникальный специализированный электронный узкодиапазонный дифференциальный термометр (рис. 22) [61–63]. В нем в качестве основного термочувствительного элемента термометра был использован платиновый терморезистор, обладающий внутренним сопротивлением около 1 кОм. Он обладает практически линейной температурной зависимостью изменения внутреннего сопротивления от внешней температуры и великолепной долговременной стабильностью базовых характеристик. В настоящее время достигнутая относительная точность измерения составляет 0.001 К.

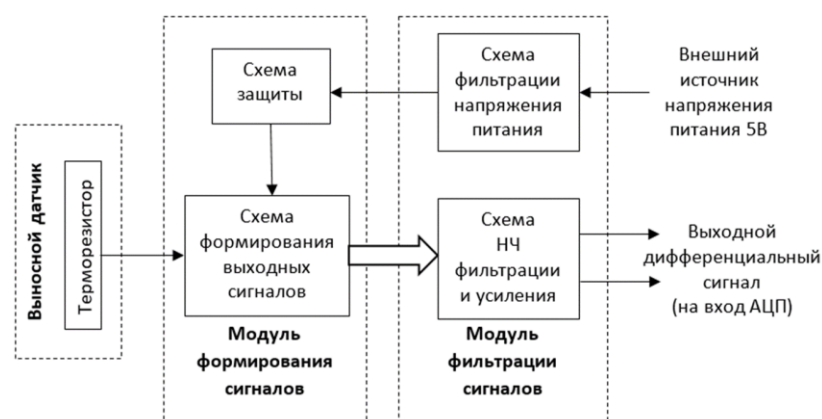


Рисунок 22. Базовая блок-схема аналоговой части термометра.

В отчетном периоде также были проанализированы данные, полученные ранее с использованием предыдущей версии термометра. Так, была обнаружена корреляция между сигналами лазерного деформографа, лазерного лидара, измеряющего вариации плотности аэрозоля, и значениями температуры в основании скальных пород в тупиковом туннеле БНО во время первого и второго сильных землетрясений в Турции 02.06.2023 г. [64]. Наблюдаемые различия в проявлениях этих землетрясений, возможно, связано с различной ориентацией разломов, к которым приурочены события. Показано, что повышение температуры внутри скальной стенки туннеля практически совпадает с волной сжатия деформографа в момент землетрясения. Один лидарный сигнал опережает событие, а другой запаздывает. Природа этого различия пока до конца не ясна и может быть связана с

выбросом ионов как центров аэрозолеобразования, которые иногда предшествуют землетрясениям (рис. 23).

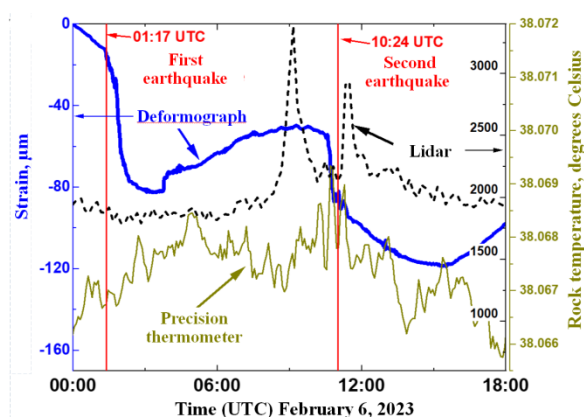


Рисунок 23. Изменения сигналов деформометра (синяя жирная линия), лидара (черный пунктир) и температуры горных пород (темно-зеленая тонкая линия) во время обоих землетрясений в Турции 02.06.2023 г. (времена землетрясений обозначены вертикальными красными линиями).

Результаты раздела 3.4 представлены в пяти докладах на конференциях [26–30] (Приложение Б).

4 Оценки параметров возможных цунами

В 2025 году совместно с Камчатским филиалом ФИЦ ЕГС РАН и с Федеральным исследовательским центром информационных и вычислительных технологий (г. Новосибирск) была продолжена серия работ по оценке цунамиопасности побережий Камчатского региона. В ее рамках продолжена модернизация программы "окарolia" (версия "ока2025"), осуществляющей расчет движений дневной поверхности или дна океана, вызываемых очагом землетрясения. Добавлена возможность моделирования очагов с произвольным (задаваемого цифровой картой) распределением подвижки на поверхности разрыва.

В результате были завершены оценки цунамиопасности поселка Корф и аэродрома Тиличики на северо-западном побережье Берингова моря (Камчатский край) [65]. Расчеты включали построение нескольких региональных случайных синтетических каталогов землетрясений, представляющих цунамиопасность для данного региона (пример на рис. 24). Основными результатами работы являются выявление наиболее опасных по отношению к Корфской косе цунамигенных зон, выбор для них модельных источников и оценки экстремальных высот волн цунами, угрожающих этому участку побережья. Максимальные оценки превышения уровня моря для района пос. Корф составили 1.3 м для

очагов из ближней (берингоморской) зоны, 2.4 м для региональной (алеутской) и 2.5 м для дальней (чилийской) зоны.

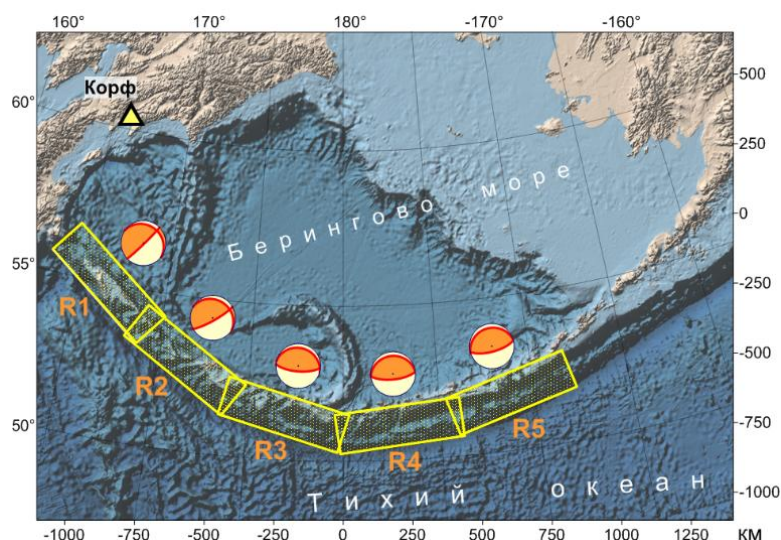


Рисунок 24. Площадки очагов модельных землетрясений с магнитудой 9.0 в западном и центральном сегментах Алеутской сейсмогенной зоны, построенные для расчетов волн цунами от региональных источников в районе пос. Корф.

Кроме того была завершена работа по оценке цунамиопасности крупного Халактырского пляжа, находящегося вблизи от г. Петропавловска-Камчатского, и активно развивающегося в настоящее время как туристический объект. В частности рассчитаны характерные периоды волн цунами, угрожающих Халактырскому пляжу (рис. 25).

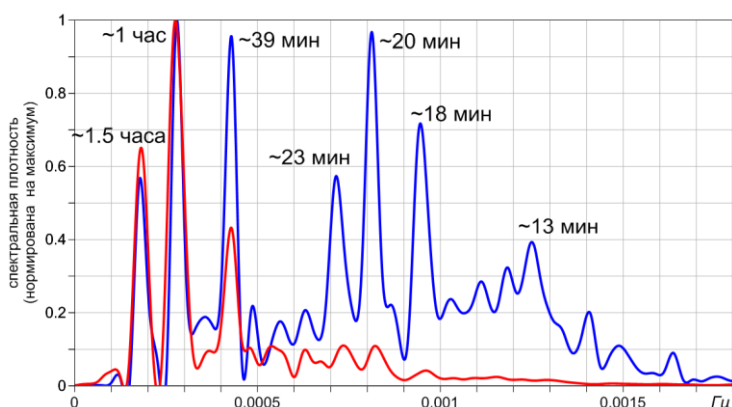


Рисунок 25. Модельные характерные периоды волн цунами, угрожающих Халактырскому пляжу.

Результаты, представленные в разделе 4, опубликованы в статье [20] (Приложение А) и представлены на конференции [31] (Приложение Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках НИР в 2025 году был модифицирован метод вероятностной локации землетрясений раннеинструментального периода наблюдений и оценки их магнитуды, основанный на совместном анализе ограниченного набора макросейсмических и инструментальных данных. В результате была добавлена возможность оценки погрешностей определяемых параметров (координат эпицентра). Тестирование метода на современных землетрясениях, произошедших в Прибайкалье, было выполнено для набора данных характерного для первой половины 20 века (1–2 сейсмических станции, 4–8 пунктов с оценками балльности) и показало, что эпицентры рассматриваемых событий, определенные с помощью предложенного метода, хорошо согласуются с эпицентрами, определенными по полному имеющемуся набору инструментальных данных. Во всех случаях наши оценки оказались намного ближе к инструментальным, чем рассчитанные эллипсы ошибок. Наконец метод был успешно применен для определения параметров шести Прибайкальских землетрясений 1902–1925 гг. ($MLH=3.4-5.0$), не включенных ранее в какие-либо каталоги.

В серии проведенных в отчетном периоде работ, получены важные выводы относительно свойств решений уравнений Гельмгольца и Шредингера в двумерном и трехмерном случаях. Полученные результаты дают принципиальное продвижение в математических основах пассивной томографии, в том числе сейсмической. Разработка математического аппарата для решения прямых и обратных задач также велась для задачи, связанной с возможностью использования кратковременных нарушений фазовой синхронизации для восстановления параметров долговременной эволюции системы, в которой происходят катастрофические события. В качестве примера такой системы было рассмотрено магнитное поле Солнца. Было показано, что синхронизация магнитного поля Солнца между экватором и полюсом несколько выше, чем между экватором и средними широтами. Отметим, что полученные теоретические результаты потенциально могут быть применены для описания сейсмического процесса.

В рамках НИР в отчетном периоде были получены новые данные об очаговых параметрах землетрясений, являющихся значимыми для отдельных регионов России и мира и произошедших в последние годы. Особое внимание было уделено Камчатскому мегаземлетрясению 29.07.2025 г. ($M_w=8.8$) и землетрясению в Мьянме 28.03.2025 г. ($M_w=7.6$). Для первого события была оперативно разработана детальная модель очага, основанная на данных ГНСС и учитывающая неоднородность подвижки. Полученная модель с хорошей точностью описывает косейсмические перемещения (до ~1.5 м по горизонтали и ~35 см по вертикали) станций Камчатской сети ГНСС за 2 дня после

главного события. Для второго землетрясения результаты наших расчетов описывают основную фазу разрыва с максимальной скоростью высвобождения сейсмического момента, охватывающую северные сегменты разлома Сагайн. Показано, что разрывообразование происходило со скоростью, превышающей скорость S -волн. Для сильных землетрясений, произошедших на юге Аляске в 2020–2023 гг. ($M_w > 7.0$), были построены модели очага, учитывающие конечную длительность и размеры источника. Моделирование в приближении мгновенного точечного источника было выполнено для ряда более слабых землетрясений Камчатки и Прибайкалья. Полученные результаты были использованы для детального сеймотектонического анализа очагов рассматриваемых сейсмических событий. Кроме того для Прибайкалья показано, что затухание интенсивности сотрясений при землетрясениях умеренных магнитуд оказывается ниже, чем это следует из регионального макросейсмического уравнения.

Большое внимание в отчетном периоде было уделено применению оптоволоконных технологий в геофизике и сейсмологии, включая технологию DAS. Так, были выявлены наиболее перспективные с точки зрения практического применения схемы волоконных датчиков. Для технологии DAS выделены наиболее критичные источники помех и предложены аппаратные методы шумоподавления. Кроме того отобраны наиболее перспективные с точки зрения массового применения методики определения механизмов очагов слабых землетрясений с использованием данных DAS. Интересные результаты были получены в ходе интерпретации данных эксперимента, проведенного в феврале 2024 г. на льду Клязьминского водохранилища. Показано, что технология DAS пригодна для выделения дисперсионной кривой пассивными методами оценки межканальной корреляционной функции шумов и, в конечном итоге, позволяет оценить параметры ледового покрова.

В 2025 году в рамках темы НИР начата серия экспериментов, конечной целью которых является сравнение характеристик доступных маломощных импульсных источников сейсмических колебаний. Специально для эксперимента разработаны и изготовлены сейсморужья для вертикального и горизонтального выстрелов. Показано, что оборудование работает стабильно, азимутальная неравномерность распространения сейсмических волн оказалась в границах погрешности, а оборудование и площадка пригодны и готовы для проведения дальнейших экспериментов. Помимо этого для геофизической лаборатории Баксанской нейтринной обсерватории был разработан уникальный специализированный электронный узкодиапазонный дифференциальный термометр. В настоящее время достигнутая относительная точность измерения температуры составляет 0.001 К.

Не вызывает сомнений высокая практическая значимость проведенных в рамках темы НИР исследований цунамиопасности побережий Камчатского региона. Были завершены расчеты цунамиопасности поселка Корф и аэродрома Тиличики (70% региональных перевозок) на северо-западном побережье Берингова моря. Максимальные оценки превышения уровня моря для района поселка составили 1.3 м для очагов из ближней (берингоморской) зоны, 2.4 м для региональной (алеутской) и 2.5 м для дальней (чилийской) зоны. Кроме того была завершена работа по оценке цунамиопасности крупного Халактырского пляжа, находящегося вблизи от г. Петропавловска-Камчатского, и активно развивающегося в настоящее время как туристический объект.

По результатам выполненных в 2025 году исследований было опубликовано 20 статей в рецензируемых журналах (Приложение А). Результаты НИР также были представлены в 31 докладе на международных и российских научных конференциях (Приложение Б).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Morozov A.N., Filippova A.I., Asming V.E., Radziminovich Ya.B., Vaganova N.V. Method for probabilistic location of early instrumental earthquakes based on their macroseismic and instrumental data: Evaluation of effectiveness and application for the Baikal region // *Natural Hazards*. 2025. V. 121. P. 21665–21682. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07659-5>
2. Асминг В.Э., Морозов А.Н., Федоров А.В., Ваганова Н.В. Программа ProLom для вероятностной локации землетрясений по макросейсмическим и инструментальным данным // *Сейсмические приборы*. 2024. Т. 60. № 2. С. 5–22. <https://doi.org/10.21455/si2024.2-1>
3. Морозов А.Н., Асминг В.Э., Ваганова Н.В., Евтюгина З.А. Вероятностная локация раннеинструментальных землетрясений на основе макросейсмических и инструментальных данных // *Физика Земли*. 2024. № 1. С. 175–185. <https://doi.org/10.31857/S0002333724010117>
4. Nair A.V., Novikov R.G. A holographic uniqueness theorem for the two-dimensional Helmholtz equation // *The Journal of Geometric Analysis*. 2025. V. 35. 123 (14pp). <https://doi.org/10.1007/s12220-025-01949-x>
5. Novikov R.G. A holographic global uniqueness in passive imaging // *Journal de l'École polytechnique — Mathématiques*. 2025. V. 12. P. 1069-1081. doi:10.5802/jep.306
6. Nair A.V., Novikov R.G. On the reconstruction from the imaginary part for radiation solutions in two dimensions // *Russian Journal of Mathematical Physics*. 2025. V. 32. P. 554–561. doi:10.1134/S1061920825601077
7. Kuo P.C., Novikov R.G. Inverse scattering for the multipoint potentials of Bethe–Peierls–Thomas–Fermi type // *Inverse Problems*. 2025. V. 41. 065021 (14pp). doi:10.1088/1361-6420/ade282
8. Новиков Р.Г. Голографическая теорема единственности // *Труды Математического института имени В. А. Стеклова*. 2024. Т. 325. С. 232–237. doi:10.4213/tm4388
9. Blanter, E., Shnirman, M. Desynchronization Events in Solar Indices as a Manifestation of the North-South Asymmetry // *Solar Physics*. 2025. V. 300. 24. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02419-3>
10. Blanter E., Le Mouél J.-L., Shnirman M., Courtillot V. Long Term Evolution of Solar Meridional Circulation and Phase Synchronization Viewed Through a Symmetrical Kuramoto Model // *Solar Physics*. 2018. V. 293. 134. <https://doi.org/10.1007/s11207-018-1355-9>

11. Javaraiah J. Long-Term Variations in Solar Activity: Predictions for Amplitude and North-South Asymmetry of Solar Cycle 25 // *Solar Physics*. 2022. V. 297. 33. <https://doi.org/10.1016/j.newast.2014.04.001>
12. Blanter E., Le Mouél J.-L., Shnirman M., Courtillot V. Reconstruction of the North-South Solar Asymmetry with a Kuramoto Model // *Solar Physics*. 2017. V. 292. 54. <https://doi.org/10.1007/s11207-017-1078-3>
13. Vasudevan K., Cavers M., Ware A. Earthquake sequencing: chimera states with Kuramoto model dynamics on directed graphs // *Nonlinear Processes in Geophysics*. 2015. V. 22. P. 499–512. <https://doi.org/10.5194/npg-22-499-2015>
14. Pinegina T.K., Ozerov A.Y., Tsvetkov V.A., Kotenko T.A., Mironov I.K., Bourgeois J., MacInnes B., Lander A.V., Mel'nikov D.V., Kotenko L.V., Kozhyrin A.I., Batanov F.I., Khomchanovsky A.L., Vydrin D.S., Frolov V.I., Lukashenko D.R. Tsunami from the Kamchatka Mw 8.8 earthquake of 29 (30) July 2025 on the east coast of Kamchatka and the northern Kuril Islands // *Pure and Applied Geophysics*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s00024-025-03873-1>
15. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сенюков С.Л., Титков Н.Н. Шипунское землетрясение 17.08.2024 Г., $M_w = 7.0$, у восточного побережья Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 2025. № 3. С. 68–79. <https://doi.org/10.31857/S0203030625030057>
16. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Рябинин Г.В., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Вилучинское землетрясение 3 апреля 2023 г. $M_w=6.6$ в Авачинском заливе (Камчатка) // *Вулканология и сейсмология*. 2025. № 6. С. 31–49. <https://doi.org/10.7868/S3034513825060031>
17. Букчин Б.Г. Об определении параметров очага землетрясения по записям поверхностных волн в случае неточного задания характеристик среды // *Известия АН СССР. Серия Физика Земли*. 1989. № 9. С. 34–41.
18. Lasserre C., Bukchin B., Bernard P., Tapponier P., Gaudemer Y., Mostinsky A., Dailu R. Source parameters and tectonic origin of the 1996 June 1 Tianzhu ($M_w=5.2$) and 1995 July 21 Yongen ($M_w=5.6$) earthquakes near the Haiyuan fault (Gansu, China) // *Geophysical Journal International*. 2001. V. 144. No 1. P. 206–220. doi:10.1046/J.1365-246X.2001.00313
19. Левшин А.Л., Яновская Т.Б., Ландер А.В., Букчин Б.Г., Бармин М.П., Ратникова Л.И., Итс Е.Н. Поверхностные сейсмические волны в горизонтально-неоднородной Земле. М.: Наука, 1986. 278 с.

20. Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Кобелева Е.А. Землетрясение 15 декабря 2021 г. ($M_w = 4.8$) на Южном Байкале // Российский сейсмологический журнал. 2025. Т. 7. № 1. С. 42–57. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.03>
21. Мельникова В.И., Гилева Н.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Середкина А.И. Култукское землетрясение 2008 г. с $M_w = 6.3$ на юге Байкала: напряженно-деформированное состояние очаговой области по данным об афтершоках // Физика Земли. 2013. № 4. С. 120–134. <https://doi.org/10.7868/S0002333713040078>
22. Filippova A.I., Bukchin B.G., Fomochkina A.S., Melnikova V.I., Radziminovich Ya.B., Gileva N.A. Source process of the September 21, 2020 M_w 5.6 Bystraya earthquake at the south-eastern segment of the Main Sayan fault (Eastern Siberia, Russia) // Tectonophysics. 2022. V. 822. 229162. doi:10.1016/j.tecto.2021.229162
23. Солоненко А.В., Солоненко Н.В., Мельникова В.И., Козьмин Б.М. Кучай О.А., Суханова С.С. Напряжения и подвижки в очагах землетрясений Сибири и Монголии // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ОИФЗ РАН, 1993. С. 113–122.
24. Мельникова В.И., Радзиминович Н.А. Механизм очагов землетрясений Байкальского региона за 1991–1996 гг. // Геология и геофизика. 1998. Т. 39. № 11. С. 1598–1607.
25. Голенецкий С.И., Гилева Н.А., Мельникова В.И., Курушин Р.А., Масальский О.К. Прибайкалье и Забайкалье // Землетрясения Северной Евразии в 1996 году. М.: ГС РАН, 2002. С. 81–94.
26. Zelenin E., Bachmanov D., Garipova S., Trifonov V., Kozhurin A. The Active Faults of Eurasia Database (AFEAD): the ontology and design behind the continental-scale dataset // Earth System Science Data. 2022. V. 14. P. 4489–4503. doi: 10.5194/essd-14-4489-2022
27. Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И. Землетрясение 15.01.2024 г. ($M_w=5.2$) в Северном Прибайкалье: очаговые параметры и сеймотектоническая позиция // Вопросы инженерной сейсмологии. 2025. Т. 52. № 3. С. 77–100. <https://doi.org/10.21455/VIS2025.3-6>
28. Лунина О.В. Цифровая карта разломов для плиоцен-четвертичного этапа развития земной коры юга Восточной Сибири и сопредельной территории Северной Монголии // Геодинамика и тектонофизика. 2016. Т. 7. № 3. С. 407–434. doi:10.5800/GT-2016-7-3-0215
29. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 536 с.

30. Shebalin N.V. Macroseismic data as information on source parameters of large earthquakes // *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. 1972. V. 6. No 4. P. 316–323. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(72\)90016-7](https://doi.org/10.1016/0031-9201(72)90016-7)
31. Фролова Н.И., Габсатарова И.П., Петрова Н.В., Угаров А.Н., Малаева Н.С. Влияние особенностей затухания сейсмической интенсивности на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений // *Геоэкология. Инженерная геология, гидрогеология, геокриология*. 2019. № 5. С. 23–37. <https://doi.org/10.31857/S0869-78092019523-37>
32. Очирова Л.Р., Радзиминович Я.Б. Макросейсмические проявления землетрясения 08.06.2022 г. в г. Улан-Удэ (Республика Бурятия) // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2025. Т. 52. № 3. С. 59–76. <https://doi.org/10.21455/VIS2025.3-5>
33. Zvereva A.S., Skorkina A.A. The Relationship Between Mw and Other Magnitude Scales for Earthquakes of the North Caucasus // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024*. Cham, Switzerland, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_14
34. Баранов С.В., Винберг Ф.Э., Владимирова И.С., Воробьева И.А., Кособоков В.Г., Крушельницкий К.В., Маточкина С.Д., Некрасова А.К., Стеблов Г.М., Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Шебалин П.Н. Прогноз сейсмической и геодинамической обстановки до и после землетрясения 28 марта 2025 г., М7.7, в Мьянме // *Доклады Академии Наук*. 2025. Т. 523. № 2. С. 311–321. doi:10.31857/S2686739725080161
35. Bukchin B. Determination of stress glut moments of total degree 2 from teleseismic surface wave amplitude spectra // *Tectonophysics*. 1995. V. 248. P. 185–191. doi:10.1016/0040-1951(94)00271-A
36. Букчин Б.Г. Описание очага землетрясения в приближении вторых моментов и идентификация плоскости разлома // *Физика Земли*. 2017. № 2. С. 76–83. doi:10.7868/S0002333717020041
37. McGuire J.J., Zhao L., Jordan T.H. Predominance of unilateral rupture for a global catalog of large earthquakes // *Bulletin of the Seismological Society of America*. 2002. V. 92. P. 3309–3317. doi:10.1785/0120010293
38. Tun S.T., Watkinson I.M. The Sagaing fault, Myanmar // *Geological Society, London, Memoirs*. 2017 V. 48. P. 413–441. <https://doi.org/10.1144/M48.19>
39. Laske G., Masters G., Ma Z., Pasyanos M. Update on CRUST1.0 - A 1-degree global model of Earth's crust // *Geophys. Res. Abstracts*. 15 Abstract EGU 2013–2658. 2013.
40. Filippova A., Fomochkina A., Kossobokov V., Nekrasova A. Characterizing the foreshock, main shock, and aftershock sequences of the recent major earthquakes in Southern Alaska, 2020–2024. *Frontiers in Earth Science*. V. 13. 1660221. doi:10.3389/feart.2025.1660221

41. Bukchin B.G., Fomochkina A.S., Kossobokov V.G., Nekrasova A.K. Characterizing the foreshock, main shock, and aftershock sequences of the recent major earthquakes in Southern Alaska, 2016–2018 // *Frontiers in Earth Science*. 2020. V. 8. 584659. <https://doi.org/10.3389/feart.2020.584659>
42. Heidbach, O., Rajabi, M., Reiter, K., Ziegler, M., 2016. World Stress Map 2016, GFZ Data Service. doi:10.5880/WSM.2016.002
43. Thingbaijam K.K.S., Mai P.M., Goda K. New empirical earthquake source-scaling laws // *Bull. Seismol. Soc. Am.* 2017. V. 107. P. 2225–2246. <https://doi.org/10.1785/0120170017>
44. Кислов К.В. Применение волоконной оптики в геофизике // *Наука и технологические разработки*. 2025. Т. 104. № 1. С. 3–34. doi:10.21455/std2025.1-1
45. Kislov K.V. Fiber optics in geophysics: from Data Channels to Distributed Acoustic Sensing (DAS) // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024*. Cham, Switzerland, 2024. 046. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_18
46. Dmitrienko M., Kislov K.V. Performance of Seismic Observations by DAS Technology in Different Environments // *Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024*. Cham, Switzerland, 2025. 045. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_18
47. Gravurov V., Kislov K. Will Distributed Acoustic Sensing (DAS) be able to replace classical seismic instruments? // *CTBT Science and Technology Conference 2025 (SnT2025)*. P3-1-376.
48. Кислов К.В., Гравиров В.В. Какие помехи наиболее опасны для DAS // *Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва)*. М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 76–77.
49. Гравиров В.В. Достоинства и недостатки виртуальных геофизических приборов, базирующихся на технологии распределенного акустического зондирования, по сравнению с классическими сейсмическими приборами // *Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва)*. М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 47–48.
50. Кислов К.В., Филиппова А.И., Фомочкина А.С. Определение параметров землетрясения с использованием DAS // *Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы VIII Международной научно-практической конференции*. Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2025. С. 181–187.

51. Filippova A.I., Fomochkina A.S., Kislov K.V. Advantages of determining an earthquake focal mechanism using distributed acoustic sensing data // CTBT: Science and Technology Conference 2025 – SnT-2025. (8–12 September, Vienna, Austria). P. 1.2-080.
52. Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Кислов К.В., Винберг Ф.Э. Интеграция сейсмометрических наблюдений и данных распределенного акустического зондирования для определения параметров очага землетрясения // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Труды Десятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием (28 сентября–04 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский). Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2025. С. 317–321. doi:10.35540/903258-536.2025.10.54
53. Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Кислов К.В., Винберг Ф.Э. Методы определения механизма очага землетрясения по данным DAS: обзор // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва). М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 176–177.
54. Li J., Zhu W., Biondi E., Zhan Z. Earthquake focal mechanisms with distributed acoustic sensing // Nat. Commun. 2023. V. 14. 4181. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-39639-3>
55. Funabiki, Y., Miyazawa, M. Estimating focal mechanism of small earthquakes using S/P amplitude ratios of distributed acoustic sensing records // Geophys. Res. Lett. 2025. V. 52. e2024GL113963. <https://doi.org/10.1029/2024GL113963>
56. Skoumal R.J., Atterholt J., Barbour A. J., Hardebeck J.L. S/P amplitude ratios with distributed acoustic sensing and application to earthquake focal mechanisms // Geophysical Research Letters. 2025. V. 52. e2025GL116373. <https://doi.org/10.1029/2025GL116373>
57. Kislov K.V., Spiridonov E.P., Presnov D.A., Nikitin S.P., Nanii O.E., Belov M.V., Bengalsky D.M., Ashkar G.K., Kostenko M.V., Kharasov D.R., Gravirov V.V., Starovoyt Yu.O., Shurup A.S., Treshchikov V.N. Distributed Acoustic Sensing and Ice Cover Monitoring // Russian Journal of Earth Sciences. 2025. V. 25. ES6005. <https://doi.org/10.2205/2025ES001074>
58. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Сравнение эксплуатационных характеристик маломощных импульсных источников сейсмического сигнала: оборудование // Труды Десятой Всероссийской научно-технической конференции с международным участием «Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов». Петропавловск-Камчатский: КФ ФИЦ ЕГС РАН, 2025. С. 290–294. <https://emsd.ru/files/conf2025/collection2025.pdf>
59. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Сравнение маломощных искусственных импульсных сейсмических источников: начальная стадия эксперимента // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных

информационных технологий. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2025. С. 188–192. https://mkgtu.ru/upload/1065/сборник_электронная%20версия.pdf

60. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Генерация искусственного сейсмического сигнала: подготовка маломощных импульсных источников для сравнительных экспериментов // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва). М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 78–80.

61. Гравиров В.В., Лиходеев Д.В., Кислов К.В. Прецизионная температурная антенна измерения температуры горных пород, установленная в дальней штольне Баксанской нейтринной обсерватории // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. Материалы VIII Международной научно-практической конференции. Майкоп: Изд-во «ИП Кучеренко В.О.», 2025. С. 102–103. https://mkgtu.ru/upload/1065/сборник_электронная%20версия.pdf

62. Гравиров В.В., Кислов К.В. Выбор наилучшего способа прецизионных измерений температуры горной породы // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва). М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 51–52.

63. Гравиров В.В. Отдельные вопросы разработки многоканальной прецизионной температурной антенны // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва). М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 49–50.

64. Гравиров В.В., Першин С.М. Влияние сильных турецких землетрясений 2023 года на температурно-флюидный режим в штольне Баксанской нейтринной обсерватории // Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений: Материалы IV Всероссийской конференции (22–23 октября 2025 г., г. Москва). М.: ИТПЗ РАН, 2025. С. 53–54.

65. Гусяков В.К., Бейзель С.А., Гусев О.И., Ландер А.В., Чебров Д.В., Чубаров Л.Б. // Оценка опасности цунами для побережья залива Корфа (Берингово море) по результатам численного моделирования // Вулканология и сейсмология. 2025. №. 3, С. 80–104. <https://doi.org/10.31857/S0203030625030061>

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Публикации по теме НИР, изданные в 2025 г.

1. Morozov A.N., Filippova A.I., Asming V.E., Radziminovich Ya.B., Vaganova N.V. Method for probabilistic location of early instrumental earthquakes based on their macroseismic and instrumental data: Evaluation of effectiveness and application for the Baikal region // *Natural Hazards*. 2025. V. 121. P. 21665–21682. <https://doi.org/10.1007/s11069-025-07659-5>
2. Nair A.V., Novikov R.G. A holographic uniqueness theorem for the two-dimensional Helmholtz equation // *The Journal of Geometric Analysis*. 2025. V. 35, 123 (14pp). <https://doi.org/10.1007/s12220-025-01949-x>
3. Novikov R.G. A holographic global uniqueness in passive imaging // *Journal de l'École polytechnique — Mathématiques*. 2025. V. 12. P. 1069-1081. doi:10.5802/jep.306
4. Nair A.V., Novikov R.G. On the reconstruction from the imaginary part for radiation solutions in two dimensions // *Russian Journal of Mathematical Physics*. 2025. V. 32. P. 554–561. doi:10.1134/S1061920825601077
5. Kuo P.C., Novikov R.G. Inverse scattering for the multipoint potentials of Bethe–Peierls–Thomas–Fermi type // *Inverse Problems*. 2025. V. 41. 065021 (14pp). doi:10.1088/1361-6420/ade282
6. Blanter, E., Shnirman, M. Desynchronization Events in Solar Indices as a Manifestation of the North-South Asymmetry // *Solar Physics*. 2025. V. 300. 24. <https://doi.org/10.1007/s11207-024-02419-3>
7. Pinegina T.K., Ozerov A.Y., Tsvetkov V.A., Kotenko T.A., Mironov I.K., Bourgeois J., MacInnes B., Lander A.V., Mel'nikov D.V., Kotenko L.V., Kozhyrin A.I., Batanov F.I., Khomchanovsky A.L., Vydrin D.S., Frolov V.I., Lukashenko D.R. Tsunami from the Kamchatka Mw 8.8 earthquake of 29 (30) July 2025 on the east coast of Kamchatka and the northern Kuril Islands // *Pure and Applied Geophysics*. 2025. <https://doi.org/10.1007/s00024-025-03873-1>
8. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Салтыков В.А., Сенюков С.Л., Титков Н.Н. Шипунское землетрясение 17.08.2024 Г., $M_w = 7.0$, у восточного побережья Камчатки // *Вулканология и сейсмология*. 2025. №. 3. С. 68–79. <https://doi.org/10.31857/S0203030625030057>
9. Чебров Д.В., Матвеев Е.А., Абубакиров И.Р., Дрознина С.Я., Ландер А.В., Митюшкина С.В., Павлов В.М., Раевская А.А., Рябинин Г.В., Салтыков В.А., Серафимова Ю.К. Вилучинское землетрясение 3 апреля 2023 г. $M_w=6.6$ в Авачинском заливе (Камчатка)

- // Вулканология и сейсмология. 2025. № 6. С. 31–49.
<https://doi.org/10.7868/S3034513825060031>
10. Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И., Кобелева Е.А. Землетрясение 15 декабря 2021 г. ($M_w = 4.8$) на Южном Байкале // Российский сейсмологический журнал. 2025. Т. 7, № 1. С. 42–57. <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2025.1.03>
 11. Радзиминович Я.Б., Филиппова А.И., Гилёва Н.А., Мельникова В.И. Землетрясение 15.01.2024 г. ($M_w=5.2$) в Северном Прибайкалье: очаговые параметры и сеймотектоническая позиция // Вопросы инженерной сейсмологии. 2025. Т. 52. № 3. С. 77–100. <https://doi.org/10.21455/VIS2025.3-6>
 12. Очирова Л.Р., Радзиминович Я.Б. Макросейсмические проявления землетрясения 08.06.2022 г. в г. Улан-Удэ (Республика Бурятия) // Вопросы инженерной сейсмологии. 2025. Т. 52. № 3. С. 59–76. <https://doi.org/10.21455/VIS2025.3-5>
 13. Zvereva A.S., Skorkina A.A. The relationship between M_w and other magnitude scales for earthquakes of the North Caucasus // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024. Cham, Switzerland, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_14
 14. Баранов С.В., Винберг Ф.Э., Владимирова И.С., Воробьева И.А., Кособоков В.Г., Крушельницкий К.В., Маточкина С.Д., Некрасова А.К., Стеблов Г.М., Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Шебалин П.Н. Прогноз сейсмической и геодинамической обстановки до и после землетрясения 28 марта 2025 г., $M7.7$, в Мьянме // Доклады Академии Наук. 2025. Т. 523. № 2. С. 311–321. doi:10.31857/S2686739725080161
 15. Filippova A., Fomochkina A., Kossobokov V., Nekrasova A. Characterizing the foreshock, main shock, and aftershock sequences of the recent major earthquakes in Southern Alaska, 2020–2024. Frontiers in Earth Science. V. 13. 1660221. doi:10.3389/feart.2025.1660221
 16. Кислов К.В. Применение волоконной оптики в геофизике // Наука и технологические разработки. 2025. Т. 104. № 1. С. 3–34. doi:10.21455/std2025.1-1
 17. Kislov K.V. Fiber optics in geophysics: from Data Channels to Distributed Acoustic Sensing (DAS) // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024. Cham, Switzerland, 2024. 046. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_18
 18. Dmitrienko M., Kislov K.V. Performance of Seismic Observations by DAS Technology in Different Environments // Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Problems of Geocosmos–2024. Cham, Switzerland, 2025. 045. https://doi.org/10.1007/978-3-031-92928-1_18

19. Kislov K.V., Spiridonov E.P., Presnov D.A., Nikitin S.P., Nanii O.E., Belov M.V., Bengalsky D.M., Ashkar G.K., Kostenko M.V., Kharasov D.R., Gravirov V.V., Starovoyt Yu.O., Shurup A.S., Treshchikov V.N. Distributed Acoustic Sensing and Ice Cover Monitoring // Russian Journal of Earth Sciences. 2025. V. 25. ES6005. <https://doi.org/10.2205/2025ES001074>
20. Гусяков В.К., Бейзель С.А., Гусев О.И., Ландер А.В., Чебров Д.В., Чубаров Л.Б. // Оценка опасности цунами для побережья залива Корфа (Берингово море) по результатам численного моделирования // Вулканология и сейсмология. 2025. №. 3, С. 80–104. <https://doi.org/10.31857/S0203030625030061>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Доклады на конференциях по теме НИР в 2025 г.

1. Морозов А.Н., Филиппова А.И., Асминг В.Э., Радзиминович Я.Б., Ваганова Н.В. Результаты применения для Байкальского региона метода вероятностной локации раннеинструментальных землетрясений на основе их макросейсмических и инструментальных данных // Всероссийская конференция «Природные опасности и катастрофы: история, прогноз, защита». 5–6 июня 2025 г., г. Санкт-Петербург. (устный доклад)
2. Морозов А.Н., Асминг В.Э., Филиппова А.И., Радзиминович Я.Б., Ваганова Н.В. Применение метода вероятностной локации для землетрясений Байкальского региона начала XX в. // XIX Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 8–12 сентября 2025 г., г. Махачкала. (устный доклад)
3. Novikov R.G. A holographic global uniqueness in passive imaging // The 11th international conference «Quasilinear Equations, Inverse Problems and their Applications». October 6–10, 2025, Sochi, Educational Center «Sirius». (устный доклад)
4. Kuo P.C., Novikov R.G. Inverse scattering for the multipoint potentials of Bethe–Peierls–Thomas–Fermi type // Days on Diffraction 2025. June 16–20, 2025, St. Petersburg Branch of the Steklov Mathematical Institute. <http://www.pdmi.ras.ru/~dd/> (устный доклад)
5. Kuo P.C., Novikov R.G. Inverse scattering for the multipoint potentials of Bethe–Peierls–Thomas–Fermi type // XVII International Youth Scientific School-Conference "Theory and Numerical Methods for Solving Inverse and Ill-Posed Problems" dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor Anatoly Yagola, Novosibirsk, Akademgorodok. September 29 – October 1, 2025. (устный доклад)
6. Novikov R.G., Xu T. On non-uniqueness of phase retrieval in multidimensions // IV международная научная конференция "Современные проблемы обратных задач" посвященная 100-летию со дня рождения академика Г.И. Марчука, г. Новосибирск, Академгородок. 2–4 октября 2025 г. (устный доклад)
7. Шнирман М.Г., Елаева М.С., Блантер Е.М. О способах использования прогноза событий при решении обратных задач // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 г., г. Москва. (устный доклад)

8. Блантер Е.М., Шнирман М.Г. Оценка долговременной вариации скорости приполярной меридиональной циркуляции по десинхронизации солнечных индексов // XXIX Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца «Солнечная и солнечно-земная физика – 2025». 13–17 октября 2025 г., г. Москва. (устный доклад)
9. Молокова А.П., Скоркина А.А. Предварительные оценки магнитуд по длительности для землетрясений Ключевской группы вулканов // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (устный доклад)
10. Скоркина А.А., Молокова А.П. Спектральные характеристики сильных землетрясений Камчатки // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (устный доклад)
11. Фомочкина А.С., Филиппова А.И., Винберг Ф.Э. Построение модели очага землетрясения M7.7 2025 года в Мьянме по амплитудным спектрам поверхностных волн // XIX Международная сейсмологическая школа «Современные методы обработки и интерпретации сейсмологических данных». 8–12 сентября 2025 г., г. Махачкала. (устный доклад)
12. Gravrov V., Kislov K. Will Distributed Acoustic Sensing (DAS) be able to replace classical seismic instruments? // CTBT: Science and Technology Conference 2025 – SnT-2025. 8–12 September, 2025. Vienna, Austria. P3-1-376. (стендовый доклад)
13. Кислов К.В., Гравиров В.В. Какие помехи наиболее опасны для DAS // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)
14. Гравиров В.В. Достоинства и недостатки виртуальных геофизических приборов, базирующихся на технологии распределенного акустического зондирования, по сравнению с классическими сейсмическими приборами // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)
15. Кислов К.В., Филиппова А.И., Фомочкина А.С. Определение параметров землетрясения с использованием DAS // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий.

VIII Международная научно-практическая конференция. 12–16 мая 2025 г., г. Майкоп. (устный доклад)

16. Filippova A.I., Fomochkina A.S., Kislov K.V. Advantages of determining an earthquake focal mechanism using distributed acoustic sensing data // CTBT: Science and Technology Conference 2025 – SnT-2025. 8–12 September, 2025. Vienna, Austria. P. 1.2-080. (стендовый доклад)

17. Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Кислов К.В., Винберг Ф.Э. Интеграция сейсмометрических наблюдений и данных распределенного акустического зондирования для определения параметров очага землетрясения // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (стендовый доклад)

18. Филиппова А.И., Фомочкина А.С., Кислов К.В., Винберг Ф.Э. Методы определения механизма очага землетрясения по данным DAS: обзор // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)

19. Кислов К.В., Спиридонов Е.П., Преснов Д.А., Никитин С.П., Наний О.Е., Белов М.В., Бенгальский Д.М., Ашкар Г.Х., Костенко М.В., Харасов Д.Р., Гравиров В.В., Старовойт Ю.О., Трещиков В.Н. Исследование характеристик ледового покрова с помощью распределенного акустического зондирования DAS // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. VIII Международная научно-практическая конференция. 12–16 мая 2025 г., г. Майкоп. (устный доклад)

20. Спиридонов Е.П., Преснов Д.А., Белов М.В., Бенгальский Д.М., Ашкар Г.Х., Костенко М.В., Харасов Д.Р., Никитин С.П., Наний О.Е., Кислов К.В., Гравиров В.В., Старовойт Ю.О., Трещиков В.Н. Мониторинг ледового покрова сейсмическими методами с использованием распределенного акустического зондирования // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (устный доклад)

21. Spiridonov E., Presnov D., Kislov K., Bengalskiy D., Ashkar G., Belov M., Kostenko M., Shurup A., Kharasov D., Starovoit Y., Nikitin S., Naniy O., Treschikov V. Ice Cover Monitoring with Distributed Acoustic Sensing (DAS) // CTBT: Science and Technology Conference 2025 – SnT-2025. 8–12 September, 2025, Vienna, Austria. P3.1-304. (стендовый доклад)

22. Спиридонов Е.П., Кислов К.В., Харасов Д.Р., Старовойт Ю.О., Трещиков В.Н. Сейсмофотоника: пассивное измерение дисперсии поверхностных волн с помощью DAS «Дунай» // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (устный доклад)
23. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Сравнение маломощных искусственных импульсных сейсмических источников: начальная стадия эксперимента // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. VIII Международная научно-практическая конференция. 12–16 мая 2025 г., г. Майкоп. (стендовый доклад)
24. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Сравнение эксплуатационных характеристик маломощных импульсных источников сейсмического сигнала: оборудование // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (стендовый доклад)
25. Кислов К.В., Марченков А.Ю. Генерация искусственного сейсмического сигнала: подготовка маломощных импульсных источников для сравнительных экспериментов // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)
26. Гравиров В.В., Лиходеев Д.В., Кислов К.В. Прецизионная температурная антенна измерения температуры горных пород, установленная в дальней штольне Баксанской нейтринной обсерватории // Фундаментальные и прикладные аспекты геологии, геофизики и геоэкологии с использованием современных информационных технологий. VIII Международная научно-практическая конференция. 12–16 мая 2025 г., г. Майкоп. (стендовый доклад)
27. Гравиров В.В., Кислов К.В. Выбор наилучшего способа прецизионных измерений температуры горной породы // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)
28. Гравиров В.В. Отдельные вопросы разработки многоканальной прецизионной температурной антенны // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (устный доклад)

29. Гравиров В.В., Першин С.М. Влияние сильных турецких землетрясений 2023 года на температурно-флюидный режим в штольне Баксанской нейтринной обсерватории // IV Всероссийская научная конференция «Современные методы оценки сейсмической опасности и прогноза землетрясений». 22–23 октября 2025 ИТПЗ РАН, г. Москва. (стендовый доклад)
30. Гравиров В.В. Проведение исследований температурного режима горных пород в окрестности вулкана Эльбрус при помощи многоканальной прецизионной температурной антенны // Всероссийская конференция «Природные опасности и катастрофы: история, прогноз, защита». 5–6 июня 2025 г., г. Санкт-Петербург. (устный доклад)
31. Бейзель С.А., Гусев О.И., Гусяков В.К., Ландер А.В., Чебров Д.В., Чубаров Л.Б. Оценка цунамиопасности Халактырского пляжа: проблемы, методики, результаты // Проблемы комплексного геофизического мониторинга сейсмоактивных регионов. Десятая Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием. 28 сентября – 4 октября 2025 г., г. Петропавловск-Камчатский. (устный доклад)