

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ИЗК СО РАН,
член-корр. РАН, Гладкочуб Д.П.

«12» 08 2026 г.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института земной коры Сибирского отделения Российской академии
наук на диссертационную работу Еманова Алексея Александровича
«Закономерности развития природной и наведенной сейсмичности
в Алтае-Саянском регионе по данным плотных сейсмических сетей»,
представленную на соискание ученой степени доктора физико-
математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика»**

Диссертационная работа Алексея Александровича Еманова посвящена изучению природной и наведенной сейсмичности в Алтае-Саянской горной области и на прилегающих территориях. Достижение поставленных целей стало возможным с развитием сетей как стационарных, так и временных сейсмических станций, требующих, в свою очередь, более совершенных систем сбора и обработки инструментальных данных. Непосредственное участие в аппаратурных экспериментах и в формировании современных программных продуктов позволило соискателю определить круг научно-исследовательских задач, решение которых легло в основу диссертационной работы. В частности, автором был выполнен анализ многолетнего мониторинга сейсмической активности региона, установлены особенности сеймотектонического деформирования земной коры в очаговых зонах крупных землетрясений, рассмотрена структура поля афтершоков и т.д. Особое значение для освоения минеральных ресурсов Алтае-Саянского региона имели и результаты исследования наведенной

сейсмичности в горнодобывающих районах Кузбасса, Горловского угольного бассейна в Новосибирской области и др. Техногенное воздействие на геологическую среду рассматривалось соискателем также в районах строительства важных инженерных объектов.

Актуальность исследования

Решение задач, связанных с природой землетрясений и с возможными катастрофическими последствиями, сопровождавшими крупнейшие сейсмические события, относится к чрезвычайно важным проблемам сейсмологии. В Алтае-Саянском регионе период инструментальных наблюдений (1963–2000 гг.) до момента перехода на цифровую регистрацию землетрясений характеризовался редкой сетью стационарных сейсмических станций и нерегулярными локальными наблюдениями. В связи с этим практически отсутствовали достоверные данные о скоростных разрезах земной коры и глубине гипоцентров сейсмических событий, что не позволяло оценивать положение сейсмогенного слоя в земной коре, его связь с конкретными геологическими структурами и возможную сейсмическую опасность последних. Очевидно, что требовали уточнения и сценарии развития очаговых зон сильных землетрясений, сопровождавшихся афтершоками.

Новые возможности изучения сейсмичности региона появились с началом цифровой регистрации землетрясений (2000–2001 гг.) и открытием сейсмологических полигонов. В связи с этим соискатель создал Алтае-Саянский аппаратно-программный комплекс, включающий сейсмологическую, картографическую и геолого-геофизическую информацию. Работа комплекса осуществлялась в автоматическом режиме с контролем и уточнением полученных результатов, что позволяло оперативно и на качественно новом уровне решать широкий круг актуальных сейсмологических задач. В практику современных подходов соискателем была внедрена также автоматизация процессов обработки данных с использованием искусственного интеллекта.

Актуальность и востребованность результатов экспериментов, обеспечивающих репрезентативность данных и высокую точность определения параметров очагов землетрясений, не вызывают сомнений, поскольку материалы, полученные соискателем, являются основой мониторинга сейсмической активности региона, исследования иерархической структуры напряженно-деформированного состояния земной коры и изучения причин активизации сейсмического процесса в местах техногенного воздействия на геологическую среду.

Цель и задачи исследования

Цель исследований, выполненных соискателем, заключалась в осуществлении высокоточного и быстрого решения сейсмологических задач, связанных с изучением природной и наведенной сейсмичности в Алтае-Саянской горной области. В основу работы легли как исторические, так и новые фактические материалы, при этом обработка большого объема экспериментальных данных требовала совершенствования и развития инструментальной и теоретической базы. Для расширения технических и методических возможностей исследования и достижения поставленной цели соискатель решал следующие задачи:

1. Создание автоматизированной системы мониторинга – сбора и обработки данных стационарных и временных сейсмологических станций в Алтае-Саянской области на основе современных технологий, программных продуктов, баз данных, с использованием геоинформационных систем и методов цифровой обработки, адаптированных для сетей наблюдений с различной плотностью.

2. Определение закономерностей структуры сейсмически активных разломов и изучение эволюции сейсмичности во времени и пространстве на основе высокоточных экспериментов с плотными сетями временных и стационарных станций и современных методов обработки информации для локальных сетей в районах природных сейсмических активизаций.

3. Определение видов наведенной сейсмичности, ее свойств и закономерностей возникновения и развития на основе высокоточных экспериментов с локальными сетями станций.

Выполнение указанных выше задач позволило соискателю достичь поставленных в диссертации целей и обеспечить изучение сейсмичности Алтае-Саянской горной области на новом уровне представительности, детальности и точности.

Новизна, научная значимость и практическая ценность полученных результатов, рекомендации по использованию

На всех этапах развития сейсмологии центральными проблемами остаются качественные наблюдения и их интерпретация. В этой связи система сбора и обработки сейсмологической информации, созданная соискателем, обеспечивает оперативность и достоверность полученных материалов, лежащих в основе решения научных и практических задач. В частности, созданные базы данных имеют важное значение для работ, связанных с уточнением сейсмического режима рассматриваемой территории и построением карт детального сейсмического районирования. Практическую значимость имеют и результаты непрерывного мониторинга сейсмической активности региона, которые востребованы структурами власти, МЧС и некоторыми производственными подразделениями, контролирующими уровень сейсмической опасности. Последняя, как известно, определяется сильными землетрясениями, при которых реализуется основная часть сейсмической энергии. Вместе с тем каждое из крупных сейсмических событий происходит в различных геодинамических обстановках и при разной системе регистрации сопровождавших его эффектов. Именно организация соискателем наблюдений в эпицентральных зонах сильных региональных землетрясений и мониторинг общих сейсмических проявлений на рассматриваемой территории способствуют появлению новой информации и системному анализу полученных данных,

представляющих несомненный интерес как с научной, так и с практической точки зрения.

Известно, что природа землетрясений тесно связана с геолого-геофизическими характеристиками земных недр, но антропогенные факторы, порождаемые деятельностью человека, также могут влиять на сейсмические проявления. В связи с этим результаты изучения характеристик техногенной сейсмичности в местах добычи твердых полезных ископаемых, полученные автором диссертации, дают возможность оценивать уровень их реальной опасности для производственной и социальной инфраструктуры.

Следует отметить, что результаты комплексного анализа природных и техногенных факторов, способствующих формированию сейсмичности Алтае-Саянской складчатой области, соответствуют запросам современности и подтверждают необходимость уточнения сейсмической опасности территории, перспективной для строительства важных инженерно-технических объектов и добычи полезных ископаемых.

В целом, тема исследований, представленная соискателем в диссертационной работе, является перспективной и в ближайшем будущем может развиваться по следующим направлениям:

1. Уточнение положения сейсмоактивного слоя в коре.
2. Выявление общих и частных закономерностей напряженно-деформированного состояния земной коры и верхней мантии.
 - 2.1. Изучение тонкой структуры поля напряжений, выявление его локальных неоднородностей.
 - 2.2. Установление связи уровня сейсмической активности рассматриваемых областей с пространственно-временным изменением поля напряжений
 - 2.3. Рассмотрение возможностей учета в дальнейшем режима сеймотектонического деформирования земной коры в методике сейсмического районирования.

3. Поиск факторов, свидетельствующих о взаимосвязи сейсмических проявлений и геологической структуры.

4. Уточнение геодинамических моделей Алтае-Саянского региона с учетом новых данных.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов.

Диссертационная работа А.А. Еманова выполнена на представительном сейсмологическом материале с привлечением геолого-геофизической информации и современных информационных технологий цифровой регистрации землетрясений. Высокий научный уровень работы подтверждается четырьмя положениями, выдвигаемыми для защиты, и оригинальными научными результатами, отражающими решения поставленных в работе задач. Обоснованность полученных выводов обеспечивается многоуровневой системой наблюдений, позволяющей сочетать высокую автоматизацию решения задач с точностью и детальностью проводимых исследований.

Структура, содержание и объем диссертационной работы

Диссертация А.А. Еманова состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 336 наименований, из них 24 публикации в зарубежных журналах и 20 за последние пять лет. Полный объем диссертации – 322 страницы машинописного текста, включая 110 рисунков и 6 таблиц.

Во **Введении** обосновываются актуальность диссертации, цель и научные задачи исследований, описывается фактический материал и методы его обработки, представлены защищаемые научные положения, новизна работы и личный вклад соискателя.

В **Главе 1** представлен обзор публикаций, отражающих состояние сейсмологических исследований в Алтае-Саянском регионе в период начальных инструментальных наблюдений (1963–2000 гг.). Автор отмечает, что в этот период были заложены основы сейсмологических исследований рассматриваемой территории и

получены важные сведения о характере сейсмического процесса. Вместе с тем указывается на ряд важных, но проблемных задач, связанных с оценкой скоростных разрезов земной коры, надежными определениями глубины гипоцентров землетрясений, с изучением сценариев развития очаговых зон сильных землетрясений и техногенных факторов, провоцирующих наведенную сейсмичность.

Учитывая вышесказанное и новые возможности в изучении сейсмичности Алтае-Саянской горной области, открывшиеся с переходом на цифровую регистрацию землетрясений (2001 г.), соискатель обосновал в первой главе диссертации несколько важных направлений исследований и связанные с ними основные задачи: разработку технического и математического обеспечения наблюдений, определение закономерностей в пространственно-временном распределении сейсмичности и выявление ее взаимоотношений с разломной структурой, изучение причин и характера наведенной сейсмичности.

В **Главе 2** описывается Информационная система центра сбора и обработки сейсмологических данных, созданная на основе современных программных продуктов и собственных разработок. Отмечается, что система включает сокращение времени поэтапной обработки данных (автоматической, оперативной, ежедневно уточняющейся, окончательной), минимизацию человеческого фактора и совместимость с международными сейсмологическими сетями.

Математическое обеспечение, созданное автором, позволяет контролировать работу сейсмических станций и качество получаемых данных, а экспериментальные работы, связанные с наблюдениями временных станций, обеспечивают детальность исследований, повышая уровень представительности и точности изучения природы землетрясений. Автоматизация решения поставленных задач сочетает в себе современные методы обработки сейсмологической информации, использование геологических и геофизических данных, а также программы искусственного

интеллекта. Содержание Главы 2 легло в основу первого защищаемого положения.

В Главе 3 соискатель рассматривает формы сейсмических проявлений – фоновую сейсмичность, микросейсмичность и ряд сильных землетрясений ($M_w > 5.0$) в трех областях Алтае-Саянской складчатой зоны: на Алтае, в Западном-Саяне и хр. Академика Обручева, в Тувино-Монгольском блоке.

Анализ развития очаговой области сильнейшего за период инструментальных наблюдений Чуйского землетрясения ($M_w = 7.2$), произошедшего в районе Алтая в 2003 г., позволил автору установить сложные взаимоотношения между разломной структурой земной коры и магистральной линией афтершокового процесса. Выявлено также влияние этого события на развитие сейсмичности Алтая в последующие годы.

Автор предположил, что наиболее сильные землетрясения Западного-Саяна и хр. Академика Обручева связаны с поперечными разломами и с процессами неравномерного движения блоков Тувинской котловины и Тувинского нагорья в северном направлении.

Соискатель подчеркивает, что район Тувино-Монгольского блока выделяется повышенной сейсмической активностью. На протяжении длительного времени здесь периодически возникали сейсмически активные зоны и сильные землетрясения (Бусингольское, 1991 г., $M_w = 6.3$; Тувинские события 2011–2012 гг., $M_w = 6.7$; Хубсугульское, 2021 г., $M_w = 6.7$ и др.). Автор предполагает, что это связано с подвижностью блочной структуры земной коры и перераспределением тектонических напряжений после каждой активизации.

Результаты исследования различных форм сейсмической активности в разных сеймотектонических областях Алтае-Саянской складчатой зоны, описанные в третьей главе, отражены в формулировках второго и третьего защищаемых положений.

В Главе 4 представлены результаты изучения наведенной сейсмичности в Западной Сибири. Активно участвуя в формировании сетей

стационарных и временных сейсмических станций в угледобывающих районах Кузбасса, соискатель способствовал проведению высокоточных экспериментов. Установлено, что наведенная сейсмичность развивается как нестационарный процесс и концентрируется около горных выработок. В районах подземных угольных шахт техногенные землетрясения (максимальная магнитуда $M_L < 3.5$) с преимущественно взбросовым механизмом очага происходят на глубине до 2 км. Самыми сильными спровоцированными событиями являются землетрясения взбросового типа – Бачатское, $M_L = 6.1$ и Талдинское, $M_L = 5.6$.

На примере очаговой области Бачатского землетрясения автор привел доказательства иерархической модели напряженного состояния геологической среды. Установлен факт существования в Кузбассе блуждающей наведенной сейсмичности в районах, где ранее велась подземная добыча угля, и развития наведенной сейсмичности при совместном воздействии на недра подземных и открытых горных выработок. На основе материалов, изложенных в четвертой главе, сформулировано четвертое защищаемое положение.

В **Заключении** формулируются основные выводы, соответствующие результатам проведенного исследования. Соискатель подчеркивает важность создания, в рамках данной работы, Алтае-Саянского аппаратно-программного комплекса как центра сбора и обработки сейсмологической информации. Указывается на то, что комплекс развивался и использовался как инструмент для обработки большого объема данных, высокоточного и быстрого решения сейсмологических задач.

Реализация многоуровневой по детальности и точности исследований системы наблюдений, включающей региональную и локальные сети станций и экспериментальные полигоны, обеспечила изучение природной и техногенной сейсмичности Алтае-Саянской горной области, на новом уровне представительности, детальности и точности. В итоге, соискатель указывает на ряд перспективных направлений будущих научных исследований,

развитие которых обеспечит сейсмическую безопасность рассматриваемого региона и окружающих территорий.

Четыре защищаемых положения, сформулированные на основе изложенного в диссертации материала, соответствуют целям исследования. Автореферат диссертации отражает все его этапы, содержание защищаемых положений и полностью соответствует диссертационной работе.

Описанные результаты нашли свое отражение в 78 работах, опубликованных в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК РФ, из них в Белый список (уровень 1–2) входят 55 статей. В трех монографиях соискатель является автором 5 глав, им получены также три свидетельства государственной регистрации двух баз данных и одной программы.

Замечания к диссертационной работе А.А. Еманова

1. В четвертом защищаемом положении не разъясняется, где концентрируется наведенная сейсмичность.

2. На Рисунке 1.1. следовало выделить исследуемую территорию (Алтае-Саянскую горную область).

3. В подписях к некоторым заимствованным рисункам (1.7, 1.14, 1.15, – 3.75) отсутствуют ссылки на литературные источники.

4. Стр. 219. В главе 3.12 (результаты, п. 4) соискатель пишет: «Взаимодействие сейсмичности разных очаговых областей может рассматриваться как результат шевеления блочной структуры». Выражение «шевеление блочной структуры» выглядит довольно странным. Автору следовало более корректно выразить свою мысль, поскольку общепринятые представления о причинах взаимодействия разных сейсмоактивных зон региона связаны с его геодинамическими особенностями и перераспределением напряжений в земной коре после очередной сейсмической активизации. Тип тектонической деструкции земной коры и характер полей тектонических напряжений при этом играют важную роль [Сейсмическое районирование..., 1977].

5. Учитывая важность магнитудной классификации землетрясений, которая напрямую влияет на обоснованность оценки сейсмической опасности сейсмоактивных территорий, отметим следующее:

5.1. В главе 2 и далее по тексту диссертации в качестве энергетической характеристики большинства землетрясений автор использует локальную магнитуду M_L . Поскольку эта магнитуда определяется массово, то было бы полезно более подробно остановиться на деталях ее оценки и связанных с ней корреляционных зависимостях.

5.2. При описании сильных землетрясений ($M_L > 3$), как указывает автор (см. стр. 55), используются магнитуды m_b , m_B и M_s . Вопрос – почему в работе не уделяется должного внимания моментной магнитуде M_W [Kanamori, 1977], которая имеет физический смысл и в настоящее время является эталонной? Известно, что по величине этой магнитуды оценивается вклад отдельного землетрясения в сеймотектоническую деформацию геологической среды. Не совсем понятно, почему для отдельных рассматриваемых сильных землетрясений значение этой магнитуды в работе приводится (Белин-Бий-Хемское, 2008 г., $M_W = 5.7$; Хубсугульское, 2021 г., $M_W = 6.7$ [GCMТ], а для других – Чуйское, 2003 г., $M_W = 7.2$; Цаган-Шибэтинское, 2022 г., $M_W = 5.5$; Саянское, 2011 г., $M_W = 5.5$; Тувинские события 2011 г. и 2012 г. с $M_W = 6.7$; Бусингольское, 1991 г., $M_W = 6.3$ [GCMТ], не приводится.

5.3. В тексте автор часто не указывает, по какому источнику приведена та или иная магнитуда, например – Урэг-Нурское землетрясение 16.05.1970, $M_s = 7.0$ (Стр. 85. Раздел 3.2.1), Чуйское землетрясение 27.09.2003 г., $M_s = 7.3$ (Стр. 97. Раздел 3.2.2). В некоторых случаях не указан также тип магнитуды сейсмических событий (например, для землетрясений, зарегистрированных в очаговой зоне Урэг-Нурского землетрясения в 2006 г., см. стр. 94), что некорректно.

6. Подраздел, посвященный Чуйскому землетрясению (3.2.2), далее в тексте подразделяется еще на несколько мелких подразделов (3.2.2.1 – 3.2.2.4), которые не указаны в Оглавлении.

7. В качестве общих замечаний к диссертационной работе следует отметить наличие ошибок и стилистических неточностей в тексте, что мешает восприятию, в целом, важной и актуальной работы.

8. К сожалению, в списке литературы отсутствуют работы автора в международных журналах, индексируемых в крупнейших наукометрических базах данных – Scopus и Web of Science. Наличие таких публикаций расширило бы международное признание результатов выполненных исследований.

Сделанные замечания не отменяют главных достоинств диссертационной работы и не влияют на общую положительную оценку результатов проведенного научного исследования.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения ученых степеней

Диссертация Алексея Александровича Еманова на тему «Закономерности развития природной и наведенной сейсмичности в Алтае-Саянском регионе по данным плотных сейсмических сетей», представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика», является самостоятельной и законченной научно-квалификационной работой.

В процессе диссертационного исследования на основе современных технологий и программных продуктов соискателем создана результативная автоматизированная система мониторинга сейсмических проявлений, позволяющая в оперативном режиме осуществлять качественную обработку и дальнейший анализ экспериментальных данных. Это дало возможность А.А. Еманову решить актуальные и практические задачи, связанные с

обеспечением изучения природной и техногенной сейсмичности Алтае-Саянской горной области на высоком научном уровне.

Основные результаты работы соискателя являются новыми, имеют несомненную практическую значимость для оценки потенциальных природно-технических рисков и обеспечения безопасности промышленных объектов и крупных месторождений полезных ископаемых рассматриваемого региона. Научно обоснованные подходы к решению проблемных сейсмологических задач могут быть востребованы при создании будущих поколений карт общего сейсмического районирования.

Диссертационная работа А.А. Еманова соответствует паспорту специальности 1.6.9 «Геофизика» (отрасль науки – физико-математическая). По новизне, научной и практической значимости работа полностью отвечает критериям, указанным в п. 9 и п. 24 Положения о присуждении ученых степеней (утверждено Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25 января 2024 г.), а автор работы Алексей Александрович Еманов заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.6.9. «Геофизика».

Отзыв подготовлен главным научным сотрудником лаборатории комплексной геофизики Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН), доктором геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых» Мельниковой Валентиной Ивановной и главным экспертом лаборатории тектонофизики ИЗК СО РАН, доктором геолого-минералогических наук по специальности 1.6.1 «Общая и региональная геология и геотектоника» Ружичем Валерием Васильевичем.

Отзыв на диссертационную работу А.А. Еманова рассмотрен и принят в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого Совета ИЗК СО РАН от 12.08.2026 г., Протокол № 9

Председатель Ученого Совета ИЗК СО РАН,
Член-корр. _____ / Гладкочуб Д.П.

Секретарь Ученого Совета ИЗК СО РАН,
к.ф.-м. наук _____ / Добрынина А.А.

Сведения о ведущей организации

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт земной коры Сибирского отделения Российской академии наук (ИЗК СО РАН). Почтовый адрес: 664033, Иркутская обл., г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 128. Официальный сайт в сети «Интернет»: <https://www.crust.irk.ru>, электронная почта: log@crust.irk.ru, телефон: +7 (3952) 427000 (приемная).

Я, Мельникова Валентина Ивановна, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 24.1.087.02, и их дальнейшую обработку.

дата 12.08.26 подпись _____

Я, Ружич Валерий Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета 24.1.087.02, и их дальнейшую обработку.

дата 12.08.2026 подпись _____



Подпись <u>Мельниковой В.И.</u>	заверяю
<u>Ружич В.В.</u>	
Отдел управления кадрами и трудовыми отношениями Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института земной коры Сибирского отделения Российской академии наук	
Зав. отделом <u>Суботко О.В.</u>	
"12" августа 2026 г.	