

«УТВЕРЖДАЮ»



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

2026 г.

**ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ
Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института земной коры Сибирского отделения Российской академии
наук на диссертационную работу Найли Абдулловны Сычевой
«Очаговые параметры землетрясений и сеймотектонические
деформации Северного Тянь-Шаня», представленную на соискание
ученой степени доктора физико-математических наук по специальности
1.6.9. «Геофизика»**

Диссертационная работа Найли Абдулловны Сычевой посвящена изучению очаговых параметров землетрясений Северного Тянь-Шаня и реконструкции на основе данных о механизмах очагов землетрясений сеймотектонических деформаций (СТД) земной коры рассматриваемого региона. В мировой практике подобные темы исследований являются ключевыми для понимания геодинамических процессов в литосфере, источников тектонических напряжений в земной коре, особенностей напряженно-деформированного состояния и оценки сейсмической опасности сейсмоактивных территорий. Так, информация о механизмах очагов землетрясений, подготовленная большим коллективом авторов, явилась основой для создания общедоступной базы пополняемых данных о действующих в Земле напряжениях и построения глобальных карт напряжений *World Stress Map* (WSM) [Heidbach et al., 2018]. Существенный прогресс в развитии очаговой сейсмологии отражен и в многочисленных отечественных публикациях [Костров, 1975; Ризниченко, 1985; Лукк, Юнга,

1988; Юнга, 1990; Ребецкий, 2007 и многие другие], упомянутых в диссертационной работе соискателя.

Стоит отметить, что лично Н.А. Сычева внесла весомый вклад в решение задач, связанных с оценкой напряжений и деформаций в земной коре Северного и Центрального Тянь-Шаня, а также соседних территорий. Активное участие в формировании банка данных по механизмам очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня, изучение кинематических и динамических характеристик волновых форм, а также разработка соответствующего программного обеспечения, позволили соискателю сформулировать круг научно-исследовательских задач, решение которых легло в основу диссертационной работы.

Актуальность исследования

К настоящему времени в развитии очаговой сейсмологии Тянь-Шаня достигнуты определенные успехи [Муралиев, 2010 и многие другие], вместе с тем, накопление новых данных и совершенствование методических подходов к анализу сейсмологического материала позволяют Н.А. Сычевой ставить и решать актуальные задачи современной сейсмологии. К таким задачам, в первую очередь, относится количественная оценка параметров напряженно-деформированного состояния земной коры и литосферы, определение динамических характеристик сейсмических волн и, в конечном итоге, определение основных закономерностей распределения сейсмотектонических деформаций и параметров поля напряжений Северного Тянь-Шаня. Стоит отметить, что детальное изучение сейсмичности территории Северного Тянь-Шаня стало возможным благодаря сейсмологической сети KNET (Kyrgyz Network), обеспечивающей уверенную регистрацию землетрясений в пределах Бишкекского геодинимического полигона (территория БГП: 41.5–43.5° с.ш. и 73–77° в.д.). Актуальность и востребованность исследований, проведенных соискателем, не вызывают сомнений, поскольку полученные результаты являются основой мониторинга сейсмической активности региона и изучения

иерархической структуры напряженно-деформированного состояния земной коры.

Цель и задачи исследования

Цель исследований, выполненных Н.А. Сычевой на основе большого объема данных о кинематических и динамических параметрах очагов землетрясений, заключалась в установлении закономерностей распределения сеймотектонических деформаций и параметров поля напряжений Северного Тянь-Шаня. Для достижения поставленной цели соискатель решал следующие задачи:

1. Создание аналитического обзора состояния изученности сеймотектоники и сейсмичности Тянь-Шаня.
2. Разработка методики и алгоритмов для мониторинга сейсмичности БГП и углубленной обработки полученных данных.
3. Определение кинематических параметров очагов землетрясений и на их основе расчет и построение карт распределения различных параметров напряженно-деформированного состояния земной коры Северного Тянь-Шаня, выполнение их анализа и сравнение моделей деформации земной коры на основе сейсмологических и ГНСС-данных.
4. Получение зависимости добротности от частоты для земной коры и верхней мантии Северного Тянь-Шаня (БГП). Построение модели затухания сейсмических волн для приповерхностного слоя земной коры (0–15 км).
5. Построение очаговых спектров, определение характеристик (спектральной плотности и угловой частоты), расчет динамических параметров очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня и выявление закономерностей в их распределении.

Решение указанных выше задач позволило соискателю достичь поставленных в диссертации целей и обеспечить изучение сейсмичности и напряженно-деформированного состояния земной коры Северного Тянь-Шаня на новом уровне представительности и детальности.

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

Научная новизна диссертационной работы Н.А. Сычевой заключается в получении новых результатов изучения сейсмических проявлений и особенностей напряженно-деформированного состояния земной коры и литосферы Северного Тянь-Шаня. В рамках выполненных исследований:

1. определена оптимальная скоростная модель (из существующих) для земной коры Северного Тянь-Шаня, позволяющая улучшить точность расчета параметров гипоцентров землетрясений по данным сети KNET;
2. впервые сформированы банки данных большого объема по фокальным механизмам очагов (1770 событий) и тензорам сейсмического момента (334 события) землетрясений Северного Тянь-Шаня;
3. для расчета сеймотектонических деформаций применена методика усреднения параметров фокальных механизмов отдельных землетрясений, использующая региональную весовую функцию и позволяющая вовлечь данные по сравнительно слабым землетрясениям;
4. впервые построены карты распределения интенсивности и режимов СТД, включая распределение вертикальной компоненты СТД и коэффициента Лоде – Надаи, для территории Северного Тянь-Шаня;
5. проведен расчет среднегодовой скорости СТД на исследуемой территории. Выполнено детальное сопоставление горизонтальных компонент деформаций, определенных по сейсмическим и ГНСС-данным, включая численный анализ азимутов осей укорочения;
6. впервые построены разрезы поля затухания сейсмических волн и получены функции зависимости добротности от частоты для территории БТП;
7. впервые сформирован банк данных динамических параметров очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня со статистически значимым числом записей;

8. впервые установлены скейлинговые зависимости динамических параметров очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня: радиуса очага, сброса касательных напряжений и приведенной сейсмической энергии – от скалярного сейсмического момента;

9. проведено сопоставление площадных распределений сброшенных напряжений и коэффициента Лоде – Надаи.

Научная значимость и практическая ценность полученных результатов обусловлены наличием в диссертационной работе соискателя обширной информации об очаговых параметрах землетрясений, сейсмотектонических деформациях и типе геодинамического режима для территории Северного Тянь-Шаня. Все эти данные крайне востребованы в связи с необходимостью решения целого комплекса задач, связанных с оценкой сейсмической опасности как рассматриваемой, так и прилегающих территорий. Практическая ценность работы определяется возможностью использования новых данных в тектонофизическом районировании как сейсмоактивной территории Тянь-Шаня, в целом, так и отдельных участков активных разломов, а также в очаговых зонах сильных землетрясений и в различных геодинамических построениях. Кроме того, программы и алгоритмы, разработанные соискателем для обработки больших массивов сейсмологических данных, могут быть востребованы для исследований закономерностей напряженно-деформированного состояния земной коры и верхней мантии в других сейсмически активных регионах. Следует отметить, что тема исследований, представленная соискателем в диссертационной работе, относится к классическим задачам сейсмологии и, безусловно, соответствует запросам современности. Перспективы в развитии очаговой сейсмологии в ближайшем будущем, вероятно, связаны с дальнейшим изучением физики очага землетрясения и с количественной оценкой тонкой структуры пространственно-временного распределения полей напряжений и деформаций в земной коре и литосфере сейсмоактивных территорий.

Обоснованность и достоверность научных результатов и выводов.

Диссертационная работа Н.А. Сычевой выполнена на обширном сейсмологическом материале, обработка которого сопровождалась тщательным отбором и контролем качества исходных данных. Достоверность полученных результатов обеспечивалась дополнительными исследованиями свойств геологической среды в районе исследования – добротности и подстанционных условий. Учет этих параметров улучшил качество расчета кинематических и динамических характеристик землетрясений Северного Тянь-Шаня. Обоснованность научных результатов и выводов подтверждалась использованием протестированных современных программных продуктов и сравнением результатов расчетов, полученных разными методами. Стоит отметить, что пять защищаемых положений отражают решения поставленных в работе задач и оригинальные научные выводы, обоснованные точностью и детальностью проводимых исследований.

Структура, содержание и объем диссертационной работы

Диссертационная работа Н.А. Сычевой состоит из введения, шести глав, заключения и списка литературы из 385 наименований. Полный объем диссертации составляет 269 страниц машинописного текста, включая 125 рисунков и 38 таблиц.

Во **Введении** обосновывается актуальность исследований, описываются степень разработанности указанной темы и методы исследования, формулируются цели и научные задачи, представлены защищаемые научные положения, новизна работы, её теоретическая и практическая значимость, а также личный вклад соискателя.

Глава 1 посвящена довольно широкому кругу вопросов, связанных с обзором состояния сейсмологических исследований. В трех разделах главы соискатель приводит объемную информацию о тектонических особенностях и сейсмической активности Северного и Центрального Тянь-Шаня, кратко описывает модель блокового строения верхней части земной коры

Бишкекского геодинамического полигона и представляет обзор работ по очаговым параметрам землетрясений, предшествующих диссертационному исследованию. В конечном итоге, соискатель акцентирует внимание на необходимости создания банка данных о землетрясениях широкого энергетического диапазона, а также массового определения кинематических и динамических параметров землетрясений. Перспективным с точки зрения геодинамических исследований, по мнению соискателя, является сопоставление сейсмологических данных и результатов наблюдений сети глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) на территории Бишкекского геодинамического полигона.

В Главе 2 описываются особенности первичной обработки сейсмологических данных и подготовки локального каталога землетрясений. Четыре раздела главы посвящены: 1) краткой истории развития сети KNET (начало работы в августе–сентябре 1991 г.); 2) выбору скоростной модели среды (из существующих) и описанию программ, используемых при локализации землетрясений; 3) описанию каталога землетрясений и результатам анализа сейсмичности на основе данных KNET; 4) оценкам количественных характеристик сейсмичности. В итоге проведенных исследований установлен малый уровень шума на станциях сети KNET, выбрана скоростная модель среды [Roecker et al., 1993] и оценена представительность сейсмических событий ($M \geq 1.8$, $K \geq 7.2$).

В Главе 3 исследуются характеристики сейсмических волн, распространяющихся в геологической среде. В частности, в трех разделах главы рассматриваются итоги изучения добротности среды, описываются методика и результаты расчета поля затухания на территории БГП и станционных поправок станций сети KNET. Выводы к Главе 3, касающиеся оценок добротности среды, доказывают *третье защищаемое положение*.

В Главе 4 соискатель в трех разделах рассматривает методы расчета механизмов очагов землетрясений в условиях размещения станций сети

KNET. В первом и втором разделах главы описана стандартная методика, основанная на квадрантном распределении знаков первых смещений в продольных сейсмических волнах (P), и графическое представление распространенного метода определения механизма очага землетрясения. В этих разделах представлены также итоги расчета фокальных механизмов. В третьем разделе главы обсуждаются теоретическая часть волнового моделирования и вопросы расчета TCM применительно к условиям сети KNET. Результаты проведенного исследования, касающиеся представительности полученных данных и выявления преобладающих направлений в ориентации главных осей напряжений – сжатия (P) и растяжения (T), легли в основу *второго защищаемого положения*.

В **Главе 5**, состоящей из двух разделов, представлены результаты изучения динамических параметров (ДП) очагов землетрясений. В первом разделе описываются теоретические основы определения искомых параметров, во втором – исходные данные, методика построения очагового спектра и результаты расчета ДП очагов 187 землетрясений ($2.2 \leq M \leq 6.0$) Северного Тянь-Шаня. В итоге, сформирован представительный банк данных о динамических параметрах землетрясений, включающий скалярный сейсмический момент (M_0), радиус очага (r), сброс касательных напряжений ($\Delta\sigma$), сейсмическую энергию (E_S) и приведенную сейсмическую энергию (e_{PR}). Результаты исследования, отраженные в Главе 5, используются в формулировке *четвертого защищаемого положения*.

Глава 6 посвящена изучению напряженно-деформированного состояния земной коры Северного Тянь-Шаня. В двух разделах главы детально рассматриваются два методических подхода к оценке искомых характеристик: метод сеймотектонических деформаций [Юнга, 1990] и метод катакластического анализа разрывных нарушений [Ребецкий, 1997, 2007]. Третий раздел включает обсуждение результатов исследования напряженно-деформированного состояния земной коры рассматриваемого района,

полученных двумя методами. В конечном итоге, тектонофизическая реконструкции напряжений и деформаций в земной коре Северного Тянь-Шаня показала, что для его центральной части типичен режим горизонтального сжатия, для районов Суусамырской и Кочкорской впадин – режим горизонтального сдвига, а для восточного окончания Чуйской впадины – режим горизонтального растяжения. На основе материалов, изложенных в шестой главе, сформулированы *первое и пятое защищаемые положения*.

В **Заключении** диссертационной работы формулируются основные выводы, полученные в результате обработки и анализа большого объема данных о кинематических и динамических параметрах очагов землетрясений Северного Тянь-Шаня. Рассматривая итоги выполненной работы, соискатель подчеркивает следующие важные результаты:

- создание представительного банка данных по фокальным механизмам землетрясений и определение ориентации главных осей напряжений в различных геоструктурах исследуемого района.
- оценку основных закономерностей пространственного распределения сейсмотектонической деформации земной коры Северного Тянь-Шаня, выполненную на основе обширного объема полученной информации об очаговых параметрах слабых и умеренных землетрясений.
- получение компактных моделей распределения параметров поля напряжений в земной коре Северного Тянь-Шаня
- расчет динамических параметров очагов землетрясений слабой и умеренной силы с учетом параметров затухания и стационарных поправок для станций сети KNET.

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

Результаты, описанные в работе, нашли свое отражение в 39 научных публикациях и одной монографии. 24 статьи опубликовано в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК РФ, 6 публикаций проиндексированы в международных базах Scopus и Web of Science. Соискателем получено 6 свидетельств о государственной регистрации программ для ЭВМ.

Замечания к диссертационной работе Н.А. Сычевой

При высокой общей оценке диссертационного исследования, по материалам диссертации необходимо высказать следующие принципиальные замечания и дискуссионные вопросы:

1. **Отсутствие четкого описания разработанных методик и алгоритмов.** В списке основных задач диссертации декларируется, что автором «Разработаны методики и алгоритмы для мониторинга сейсмичности БГП и углубленной обработки полученных данных». Однако в самом тексте работы суть, математическая основа и принципиальные отличия этих оригинальных разработок от существующих стандартных решений (в частности, пакетов *Antelope* и *Hypocenter*, упомянутых в работе) четко не описаны, что затрудняет оценку личного вклада автора в развитие алгоритмической базы сейсмологического мониторинга.

2. **Отсутствие конкретики по методу инверсии ТСМ.** В четвертой главе при описании расчета тензоров сейсмического момента (ТСМ) автор ограничивается общим указанием на использование метода волновой инверсии с привлечением отраженных фаз pP и sP . Из текста диссертации остается неясным в каком частотном диапазоне производились фильтрация и моделирование волновых форм.

3. **Критерии оценки качества решений.** В работе представлен колоссальный массив данных (1770 механизмов по полярности первых вступлений и 334 ТСМ по инверсии волн). Однако в диссертации качество

полученных решений указывается формально (стр. 128), без ссылок на конкретные примеры. Не совсем понятно и по каким критериям производилась отбраковка решений перед тем, как вовлечь эти данные в процедуры расчета STD и катакластического анализа. Данный аспект критически важен для оценки достоверности итоговых деформационных моделей.

4. Отсутствие описания характеристик регистрирующей аппаратуры. В пятой главе проводится расчет динамических параметров очагов землетрясений на основе анализа спектральной плотности смещения волновых форм. При этом в диссертации полностью отсутствует даже краткое техническое описание характеристик регистрирующей аппаратуры станций сети KNET (типы сейсмометров, регистраторов, их частотные полосы пропускания и динамические диапазоны). Поскольку корректный учет передаточных функций приборов (деконволюция) критичен для надежного выделения угловой частоты и низкочастотного уровня спектра, данное упущение снижает проверяемость расчетных динамических параметров.

5. Физическое различие параметров STD и МКА. Автор использует для оценки состояния земной коры метод сеймотектонических деформаций (STD) и метод катакластического анализа разрывных нарушений (МКА). Однако в тексте диссертации должным образом не акцентируется внимание на том, что данные методы рассчитывают физически разные параметры: STD определяет кинематические характеристики (тензор скоростей деформации среды), в то время как МКА реконструирует динамические характеристики (тензор действующих тектонических напряжений). В условиях реальной трещиноватой и анизотропной среды направления осей этих тензоров могут не совпадать, что требовало более глубокого физического комментария при сопоставлении результатов двух подходов.

6. Отсутствие независимой верификации томографических моделей. В третьей главе приведены результаты томографической инверсии и построены модели затухания и скоростей сейсмических Р- и S-волн. При этом

полученные автором распределения скоростей в коре и верхней мантии не сопоставляются с независимыми геофизическими данными для исследуемого региона – например, со скоростными разрезами, полученными методом приемных функций (*receiver functions*) для станций сети KNET. Подобное сравнение позволило бы существенно повысить степень достоверности результатов томографии.

7. *Отсутствие наглядного сравнения с результатами других авторов.*

В тексте диссертации приводится широкий аналитический обзор и упоминаются принципиальные исследования Тянь-Шаньского орогена, выполненные ранее. При этом в результатах работы декларируется общее согласие с выводами предшественников. Однако в работе полностью отсутствует прямое графическое или табличное сопоставление полученных автором детальных деформационных карт и полей напряжений с аналогичными схемами и моделями указанных исследователей, что затрудняет объективную оценку степени преемственности и масштаба уточнений.

8. *Отсутствие верификации по базам данных World Stress Map.*

Важнейшим инструментом независимого контроля региональных тектонофизических реконструкций является сопоставление полученных данных с международным проектом *World Stress Map* (WSM). В работе сформирован уникальный региональный каталог, однако в тексте диссертации полностью отсутствует компаративный анализ или кросс-валидация авторских решений по ориентации главных осей напряжений с глобальной базой данных WSM для Тянь-Шаньского региона.

9. *Фрагментарность структуры и слабая взаимосвязь разделов диссертации.*

При анализе общей структуры работы обращает на себя внимание слабая логическая интеграция её ключевых блоков. Диссертация содержит мощный приборно-алгоритмический блок, детальные разрезы поля затухания,

томографические модели для скоростей волн P и S и тектонофизические реконструкции полей деформаций и напряжений. Тем не менее, эти разделы выглядят обособленными: в работе не показано, как именно выявленные скоростные и томографические неоднородности коры физически или пространственно соотносятся с границами квазиоднородных доменов напряжений по МКА или типами деформаций по СТД. Отсутствие синтеза этих разнородных результатов в рамках единой комплексной геодинамической (или геомеханической) модели региона снижает концептуальную целостность докторского исследования.

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

Диссертационная работа Найли Абдулловны Сычевой «Очаговые параметры землетрясений и сейсмотектонические деформации Северного Тянь-Шаня», 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 соискателем были решены важнейшие научные и практические задачи, связанные с изучением сейсмотектонических процессов в земной коре района Северного Тянь-Шаня, характеризующегося высокой тектонической и сейсмической активностью. Весомых результатов исследований диссертанту удалось добиться благодаря локальной системе наблюдений (сейсмологической сети KNET), использованию современных технологий и программных продуктов, созданных, в том числе, автором работы, а также многолетнему кропотливому труду и непосредственному участию автора в обработке и анализе огромного сейсмологического материала.

Основные результаты работы соискателя являются новыми и ориентированы как на познание природы землетрясений, так и на обеспечение

безопасности промышленных и гражданских объектов, а также районов разработки месторождений полезных ископаемых на территории Северного Тянь-Шаня.

Рассматриваемая диссертационная работа соответствует паспорту специальности 1.6.9 «Геофизика» (отрасль науки – физико-математическая). По актуальности, новизне и научной значимости диссертация 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.)). В связи с этим, автор работы Найля Абдулловна Сычева 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.

Отзыв на диссертационную работу Н.А. Сычевой рассмотрен и утвержден в качестве официального отзыва ведущей организации на заседании Ученого Совета ИЗК СО РАН от 12 августа 2026 г., протокол № 9.

Председатель Ученого Совета ИЗК СО РАН,
член-корр. РАН



Гладкочуб Д.П.

Секретарь Ученого Совета ИЗК СО РАН,
к.ф.-м.н.



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 24.1.132.01, и их дальнейшую обработку.

12.08.2026 г.



Мельникова В.И.

