

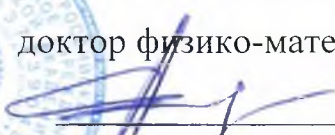
УТВЕРЖДАЮ

Директор Геофизического центра

Российской академии наук,

член-корреспондент РАН, профессор РАН,

доктор физико-математических наук

 А. А. Соловьев

« 26 » июня 2026 г.



ОТЗЫВ

ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Геофизического центра Российской академии наук (ГЦ РАН) на научный
доклад **Карапетяна Джона Костиковича** «Актуальные для территории
Республики Армения решения прямых и обратных задач сейсмологии»,
представленный на соискание учёной степени доктора физико-
математических наук по специальности 24.01.08 — «Геофизика, методы
поиска полезных ископаемых»

Актуальность

Изучение зон континентальной коллизии, в особенности их сейсмогенных сегментов, относится к приоритетным направлениям современной физики Земли. Территория Республики Армения, расположенная в пределах Альпийско-Гималайского складчатого пояса, характеризуется активной конвергенцией Аравийской и Евразийской литосферных плит, что формирует сложное поле тектонических напряжений, нелинейно сопряжённое с вулканическими и мантийными процессами. Это обуславливает высокую структурно-вещественную гетерогенность геологической среды и многообразие сценариев сейсмогенеза, требующих разработки комплексных

физико-математических подходов для корректной постановки как обратных задач восстановления глубинного строения и очаговых параметров, так и прямых задач прогнозирования сейсмических воздействий.

Центральное положение Республики Армения в данной коллизионной структуре предопределяет её принадлежность к регионам с экстремально высоким уровнем сейсмической опасности. Катастрофическое Спитакское землетрясение 7 декабря 1988 г. ($M_W = 6.8$, $M_S = 7.0$) со всей очевидностью вскрыло методологические недостатки региональной наблюдательной сейсмологии того периода, включая несоответствие станций международным стандартам, отсутствие современной аппаратуры и ограниченность данных для построения достоверных карт сейсмической опасности. Эти обстоятельства определили фундаментальную необходимость перехода от эпизодических наблюдений к системному сейсмогеодинамическому мониторингу на основе единой инструментальной базы нового поколения.

Диссертационная работа Джона Костиковича Карапетяна представляет собой именно такое системное решение обозначенной научно-практической проблемы. В работе впервые для территории Республики Армения создана и введена в эксплуатацию комплексная сейсмогеодинамическая сеть международного метрологического стандарта, включающая широкополосные сейсмические станции, акселерометры сильных движений и постоянно действующие ГНСС-приёмники. На ее основе разработан и реализован единый методологический комплекс, охватывающий весь спектр задач – от первичной обработки данных и статистического анализа до томографической инверсии, идентификации дублетных землетрясений, построения региональных карт V_{S30} и генерации синтетических акселерограмм. Совокупность полученных результатов обеспечивает переход к количественно обоснованной оценке сейсмической опасности, сейсмостойкому проектированию и долгосрочному прогнозированию сильных событий, что имеет как фундаментальное значение для развития

геофизики коллизионных зон, так и непосредственную практическую ценность для обеспечения сейсмической безопасности Республики Армения и сопредельных регионов.

Таким образом, диссертационная работа Дж.К. Карапетяна, направленная на системное физико-математическое решение совокупности актуальных прямых и обратных задач сейсмологии, является актуальной для современной геофизики зон континентальной коллизии и вносит существенный вклад в развитие соответствующих направлений фундаментальной и прикладной науки.

Научная новизна

Принципиальная научная новизна работы состоит не в совокупности отдельных частных решений, а в их системной интеграции в единый методологический комплекс, в рамках которого литосфера региона впервые рассматривается как связанная сейсмогеодинамическая система. К числу основных оригинальных результатов, обладающих новизной, относятся:

- Для Тавро-Кавказского региона построен унифицированный декластеризованный сейсмологический каталог за период 1961–2023 гг. и установлены его параметры, что обеспечивает статистическую корректность последующих оценок сейсмической опасности.
- Установлено, что дублетный режим сейсмичности в Тавро-Кавказском регионе реализуется на всех энергетических уровнях – не только при сильных, но и при относительно слабых событиях, проявляющихся во временном интервале от 15 минут до одного часа и характеризующихся миграцией гипоцентров в интервале глубин до ≈ 20 км. Данный результат расширяет классические представления о дублетных землетрясениях как о редком явлении, присущем исключительно сильным событиям.
- Выявлен новый физический механизм релаксации тектонических напряжений в очаговых зонах: после второго события дублета количество

афтершоков в области первого события сокращается в шесть раз. Установлено, что пространственно-временная структура афтершокового процесса качественно различна для дублетных и одиночных событий.

- Для зоны коллизии Аравийской и Евразийской плит выявлена устойчивая трёхуровневая структура скоростных аномалий с глубинным охватом до ≈ 200 км. Подтверждено существование вертикально протяжённой низкоскоростной аномалии под северо-западным склоном вулкана Арагац как магматического канала коро-мантийного происхождения. Установлена физико-геодинамическая дифференциация литосферы Большого Кавказа с запада на восток.
- Для вулканических областей установлена обратная корреляционная связь между топографическим градиентом и параметром V_{S30} , что противоречит классической модели, разработанной для невулканических территорий.
- Для территории Республики Армения построена карта параметра V_{S30} , демонстрирующая доминирование грунтов с высокими скоростями сейсмических волн и количественно обосновывающая методологическую непригодность глобальных моделей для региональных условий Армении.
- Разработана методология построения синтетических акселерограмм, согласованных с нормативными спектрами реакции, адаптированная к условиям дефицита инструментальных записей сильных движений и реализованная в виде специализированного программного обеспечения.
- Показано, что широкополосные длиннопериодные станции позволяют надёжно дифференцировать тектонические и вулкано-тектонические события по совокупности волновых форм, спектрально-временных характеристик и параметров тензора сейсмического момента.

Теоретическая значимость

Диссертационное исследование Дж.К. Карапетяна имеет существенное теоретическое значение, поскольку его результаты развивают фундаментальные представления о физике сейсмогенеза, глубинном строении и геодинамической эволюции зон континентальной коллизии. В работе на основе комплекса современных инструментальных, аналитических и численных методов получены новые знания о трёхуровневой скоростной структуре литосферы в зоне сочленения Аравийской и Евразийской плит, выявлены физические механизмы релаксации тектонических напряжений при дублетных землетрясениях, установлена фундаментальная закономерность – обратная корреляция между топографическим градиентом и параметром V_{s30} для вулканических областей, расширяющая теоретические представления о связи морфометрических характеристик рельефа со скоростным строением приповерхностной части разреза. Кроме того, разработанные автором методологии расширяют теоретический аппарат анализа сейсмологических каталогов и могут быть экстраполированы на другие орогенные области. В совокупности полученные результаты формируют научную основу для понимания геодинамической эволюции литосферы, кинематики разрывных нарушений и динамики сейсмического режима в зоне коллизии Альпийско-Гималайского пояса.

Практическая значимость

Диссертационное исследование обладает высокой практической значимостью, поскольку его результаты непосредственно ориентированы на решение прикладных задач сейсмического районирования, инженерного проектирования и мониторинга природных опасностей на территории Республики Армения.

Ключевым практическим результатом является создание на территории Армении и ввод в полномасштабную эксплуатацию сети высокоточных комплексных станций сейсмогеодинамического мониторинга, являющейся

уникальной для всего региона Южного Кавказа. Каждая станция представляет собой высокотехнологический комплекс последнего поколения, оснащенный современными широкополосными сейсмографами с высокой динамической диапозонностью, прецизионными ГНСС-приемниками с возможностью непрерывной регистрации, а также вспомогательными датчиками для комплексного анализа геодинамических процессов. Особую ценность созданной сети придает развернутый специализированный центр сбора и обработки данных, позволяющий в режиме реального времени анализировать поступающую со станций информацию с использованием современных алгоритмов машинного обучения и нейросетевых технологий.

Охватывающая всю территорию Республики Армения сеть сейсмических станций позволяет регистрировать в ее пределах сейсмические события начиная с магнитудного порога $M=1.5$, что существенно лучше регистрационных возможностей сейсмических сетей многих развитых государств. В свою очередь чувствительность сети к землетрясениям, происходящим на телесеизмических расстояниях, позволит в ближайшее время накопить уникальных массив волновых форм. Этот массив станет эксклюзивным набором данных для проведения фундаментальных и прикладных исследований на территории Армении, направленных на изучение состава и строения земной коры, построение скоростных моделей геологической среды и др.

Построенная общенациональная карта V_s30 и количественные оценки котловинных эффектов непосредственно применимы для инженерно-сейсмологического микрорайонирования урбанизированных территорий и калибровки региональных уравнений прогноза параметров грунтовых колебаний, что критически важно для уточнения вероятностных оценок сейсмической опасности и пересмотра нормативных спектров реакции. Унифицированный декластеризованный каталог Тавро-Кавказского региона служит эмпирической основой для долгосрочного прогноза сильных

землетрясений и обновления национальных карт общего сейсмического районирования. Разработанная методология генерации синтетических акселерограмм, адаптированных к региональным условиям, обеспечивает корректную оценку динамического отклика зданий и сооружений при расчётных воздействиях и может быть интегрирована в различные нормативные системы.

В совокупности полученные результаты создают научно-методологическую основу для перехода к системному сейсмогеодинамическому мониторингу с целью повышения уровня сейсмической безопасности Республики Армения, а также обладают структурной адаптируемостью для применения в других орогенных областях Альпийско-Гималайского пояса.

Содержание диссертационной работы

Научный доклад состоит из введения, четырех глав, заключения, перечня публикаций автора по теме диссертации и библиографического списка. Структурно работа выстроена в соответствии с методологической логикой сейсмологического исследования: на первом этапе обосновывается и вводится в эксплуатацию инструментально-наблюдательная база, обеспечивающая метрологическую корректность последующих построений; на её основе последовательно решаются обратные задачи – восстановление глубинной скоростной структуры литосферы, идентификация сейсмических кластеров и дублетных событий, расчёт фокальных механизмов – и прямые задачи инженерной сейсмологии, включающие оценку локальных грунтовых условий, моделирование синтетических акселерограмм и количественную характеристику котловинных эффектов. Такая композиция отражает естественный переход от регионального глубинного строения к локальным параметрам сейсмических воздействий.

Во введении содержится развёрнутое обоснование актуальности темы диссертационного исследования, сформулированы цель и научные задачи,

определены объект и предмет исследования. Изложены основные положения, выносимые на защиту, раскрыты научная новизна полученных результатов, их теоретическая и практическая значимость, охарактеризована методологическая основа работы, включающая комплекс современных физико-математических подходов, а также отражён личный вклад автора в достижение представленных результатов.

В первой главе представлено обоснование архитектуры и практической реализации комплексной сейсмогеодинамической наблюдательной сети нового поколения. Создание сети трактуется автором не как инженерно-техническая, а как методологическая задача: наличие метрологически выверенной наблюдательной базы рассматривается в качестве необходимого условия корректной постановки прямых и обратных задач сейсмологии. Таким образом, первая глава выполняет базовую методологическую функцию, закладывая инструментальный фундамент для всех последующих решений.

Интеграция в единой конфигурации широкополосной сейсмометрии, акселерометрии сильных движений и непрерывных ГНСС-наблюдений позволяет интерпретировать созданную сеть как многопараметрический геодинамический полигон, обеспечивающий регистрацию процессов накопления и релаксации деформаций в их физическом единстве. Тем самым реализован переход от эпизодических наблюдений к непрерывному системному мониторингу.

На основе системной интеграции национальных и международных каталогов автором сформирован унифицированный декластеризованный каталог землетрясений Тавро-Кавказского региона за период 1961–2023 гг. На примере активизации центрального сегмента Эгейской вулканической дуги показано, что широкополосные длиннопериодные станции, регистрируя полный спектр волнового поля, позволяют надежно дифференцировать события тектонической и вулкано-тектонической природы. Ключевым фактором идентификации служит совместный анализ спектрально-временных

характеристик и параметров тензора сейсмического момента.

Во второй главе решены взаимосвязанные обратные задачи формализованного распознавания сейсмических группировок и потенциально сейсмоопасных зон в Тавро-Кавказском регионе. На примере катастрофических дублетных землетрясений в феврале 2023 г. в Турции установлен физический механизм релаксации тектонических напряжений, проявляющийся в шестикратном сокращении афтершоков первого события после реализации второго. Принципиально, что машинное обучение применено автором не как формальный классификатор, а как средство раскрытия физических закономерностей: дублетность переведена из разряда исключительного свойства в регулярное свойство всех энергетических уровней, а пространственно-временная структура афтершоковых полей дублетных событий качественно отличается от таковой у одиночных.

В третьей главе для зоны коллизии Аравийской и Евразийской тектонических плит в рамках единого подхода решены три взаимосвязанные обратные задачи: 2D-поверхностно-волновая томография с глубинным охватом до 200 км; количественный анализ современной геодинамики по данным непрерывных ГНСС-наблюдений; расчёт фокальных механизмов землетрясений за 2002–2022 гг. Томографическая инверсия выявила трёхуровневую структуру скоростных аномалий, признаки литосферной деляминации на глубинах 180–200 км и магматический канал под вулканом Арагац. Обработка ГНСС-данных установила косейсмический отклик коры на расстоянии ~1000 км от эпицентра землетрясения Кахраманмараш. Инверсия фокальных механизмов позволила построить внутренне согласованную модель поля тектонических напряжений с преобладающим субгоризонтальным сжатием северо-восточного простирания, что согласуется с независимо определяемой скоростью конвергенции Аравийской плиты. Установлена дифференциация литосферы Большого Кавказа по простиранию (запад – восток) и экспериментально подтверждён интегральный характер

геодинамической реакции литосферы на крупномасштабные разрывные нарушения.

Четвёртая глава посвящена решению прямых задач инженерной сейсмологии – прогнозу параметров сейсмического воздействия с учётом локальных грунтовых условий. К числу наиболее значимых результатов относятся: установление обратной корреляционной связи топографического градиента и скорости сдвиговых волн в верхних слоях (V_{S30}) для вулканических областей, что противоположно известным глобальным регрессиям для платформенных территорий; построение для территории Республики Армения карты V_{S30} с отдельной обработкой вулканогенных и невулканических доменов; количественная характеристика резонансного усиления, фокусировки и временного удлинения колебаний в Ширакской седиментационной впадине; а также разработка методики генерации синтетических акселерограмм, согласованных с региональными нормативными спектрами. Принципиальная новизна заключается в том, что вместо эмпирической подгонки предложено физически обоснованное решение: обнаруженная инверсия корреляционной зависимости V_{S30} от рельефа независимо подтверждена на материале другой вулканической провинции, что придаёт результату не региональный, а общегеологический характер.

В совокупности глава завершает формирование методологического комплекса, в котором литосфера региона трактуется как связанная сейсмогеодинамическая система, а все решённые прямые и обратные задачи выступают взаимно обусловленными звеньями единой цепи «глубинное строение – напряжённое состояние – сейсмический источник – локальные грунтовые условия – расчётное воздействие».

В заключении изложены основные научные результаты и выводы, показана методологическая взаимосвязь решённых прямых и обратных задач в едином комплексе, обозначено прикладное значение для

сейсмогеодинамического мониторинга, микрорайонирования, оценки сейсмической опасности и сейсмостойкого проектирования.

Замечания:

1. В силу того, что созданный унифицированный каталог землетрясений Тавро-Кавказского региона имеет важное значение для получения существенной части результатов диссертационного исследования было бы весьма правильным в тексте научного доклада подробно описать процесс интегрирования воедино национальных и международных каталогов, включая выбор параметров функции близости и процесс унификации магнитудных шкал.
2. При поверхностно-волновой томографии правильно было бы указать выбранный параметр регуляризации и оценить устойчивость решения при его вариации, что количественно подтвердило бы надёжность полученной трёхуровневой структуры скоростных аномалий.
3. Автору следовало бы более аккуратно использовать понятие Big Data по отношению к сейсмологическим данным, в частности каталогу землетрясений.
4. Подписи к рисункам 1 и 2 перепутаны местами.

В связи с тем, что диссертационная работа представлена в форме научного доклада по совокупности опубликованных трудов, следует особо отметить высокий уровень публикационной активности Дж.К. Карапетяна. По теме диссертации автором опубликовано 54 журнальные статьи, из которых 30 индексируются в международных базах данных Web of Science и Scopus, причём 8 из них относятся к первому и второму квартилям. Заслуживает отдельного внимания публикация в журнале «Earth-Science Reviews» (Q1), обобщающая результаты многолетних фундаментальных исследований геологии, геодинамики, магматизма, теплового потока, активной тектоники,

тектонических напряжений, гравитационного поля и плотности земной коры Кавказского региона и сопредельных территорий, выполненных ведущими научными коллективами. Важно отметить, что Дж.К. Карапетян выступает единственным представителем Республики Армения в авторском коллективе данной статьи, что свидетельствует о его признании в международном научном сообществе.

Заключение

Диссертационная работа Джона Костиковича Карапетяна «Актуальные для территории Республики Армения решения прямых и обратных задач сейсмологии», представленная в форме научного доклада по совокупности опубликованных работ, представляет собой завершённое самостоятельное исследование, содержащее принципиально новые научные результаты, образующие целостную научно-методологическую базу для системного решения совокупности актуальных прямых и обратных задач сейсмологии в пределах Республики Армения – ключевого сегмента зоны континентальной коллизии Аравийской и Евразийской литосферных плит.

Совокупность полученных автором результатов представляет собой решение крупной научной проблемы в области физики Земли, наблюдательной сейсмологии и геодинамики коллизионных тектонических обстановок, вносящее существенный вклад в развитие соответствующих разделов фундаментальной геофизики и обладающее высокой практической ценностью для оценки сейсмической опасности, сейсмостойкого проектирования и долгосрочного прогноза сильных землетрясений.

По объёму, научному уровню, обоснованности, новизне и практической значимости диссертационная работа Джона Костиковича Карапетяна в полной мере соответствует критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней для докторских диссертаций по специальности 24.01.08 – «Геофизика, методы поиска полезных ископаемых», а её автор,

Джон Костикович Карапетян, заслуживает присуждения учёной степени доктора физико-математических наук.

Диссертационная работа рассмотрена и обсуждена на семинаре Геофизического центра Российской академии наук.

Отзыв подготовили:

Гвишиани Алексей Джерменович



академик Российской академии наук (РАН), профессор, доктор физико-математических наук,

действительный член Европейской академии наук (Academia Europaea),

научный руководитель, Председатель Ученого совета, главный научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН),

заместитель академика-секретаря Отделения наук о Земле РАН,

Председатель Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики,

заместитель председателя научного совета РАН «Окружающая среда и транспорт»,

председатель Национального геофизического комитета РАН,

заместитель председателя Комитета по системному анализу РАН,

председатель Российского национального комитета CODATA,

главный редактор журнала «Russian Journal of Earth Sciences»

Дзедобов Борис Аркадьевич

доктор физико-математических наук,

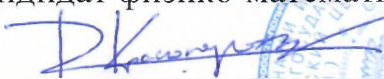


заместитель директора по науке, заведующий лабораторией геоинформатики и Больших данных Арктики Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН),

заместитель главного редактора журнала «Russian Journal of Earth Sciences»,
член редакционной коллегии журнала «Вулканология и сейсмология»,
ученый секретарь Научного совета РАН по изучению Арктики и Антарктики

Подписи Гвишиани Алексея Джерменовича и Дзедоева Бориса Аркадьевича
заверяю.

Учёный секретарь Геофизического центра РАН,
кандидат физико-математических наук


Р. И. Красноперов

«26» июня 2026 г.



Полное наименование ведущей организации:

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Геофизический центр Российской академии наук (ГЦ РАН)

Адрес: 119296, г. Москва, ул. Молодёжная, д. 3

Тел.: +7 (495) 930-05-46

E-mail: gcras@gcras.ru

Сайт: <https://gcras.ru>