

ОТЗЫВ

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»

Наукой установлено, что планета Земля неоднородна и слоиста. Она состоит из земной коры, Верхней и Нижней мантий, Внешнего и Внутреннего ядер. Земная кора также слоистая. Земная кора в совокупности с частью Верхней мантии до Астеносферы образует Литосферу. Литосфера глубинными разломами разбита на отдельные блоки, которые называются Литосферными плитами. Наиболее крупными литосферными плитами являются: Евразийская, Африканская, Тихоокеанская, Индо-Австралийская, Аравийская, Северо-Американская, Юго-Американская и др.. Установлено, что сильные землетрясения происходят на стыке смежных литосферных плит. Армения находится в зоне взаимовлияния Евразийской и Аравийской плит. Из-за происходящих внутри Земли различного рода процессов, с годами в Литосферных плитах и их отдельных блоках возникают деформации и напряжения, которые достигая критических значений приводят к глобальному разрушению — землетрясению. Определение напряжений, перемещений точек, накопленной энергии деформаций и слежение за изменением их значений во времени являются основными проблемными задачами физики Земли, сейсмологии и возможного прогноза возникновения землетрясений.

Поскольку возникающие трехмерные задачи математической физики и теории упругости до последнего времени оказались трудно решаемыми, сейсмологи сосредоточили свое внимание на накопление измерительных квазистатических и динамических статистических данных, их анализе и возможных вероятностных выводах. Это направление нашло эффективное развитие в научных работах Джона Карапетяна. Впервые для территории

Республики Армения в рамках единого методологического комплекса поставлены и решены актуальные прямые и обратные задачи сейсмологии на основе данных принципиально новой комплексной сейсмогеодинамической наблюдательной сети нового поколения, отвечающей международным стандартам наблюдательной сейсмологии.

В первой главе научного доклада соискателем заданы основные начальные и граничные условия всей физико-математической постановки: заложена наблюдательная основа работы — создана и введена в эксплуатацию комплексная сейсмогеодинамическая инфраструктура нового поколения, объединившая широкополосные велосиметры с собственным периодом 120 с, акселерометры сильных движений и перманентные GNSS-станции геодинамического класса. Это не вспомогательный, а самостоятельный научно-практический результат: впервые на территории республики внедрена наблюдательная инфраструктура, обеспечивающая непрерывную регистрацию полей смещений, скоростей, ускорений и квазистатических поверхностных деформаций среды. Принципиально, что фундаментальной наблюдаемой величиной в сейсмологии служит само смещение среды: в созданном комплексе впервые объединены в единую систему сейсмологические и геодинамические данные, приведённые к общему полю смещений — динамического по сейсмическим записям и квазистатического по непрерывным GNSS-наблюдениям, — так что весь диапазон деформационного отклика среды, от сейсмического до геодинамического, регистрируется как единое поле смещений деформируемого массива. Измерительная система доведена до точности, при которой обратные задачи для литосферы региона становятся корректно разрешимыми. Существенно и то, что созданная инфраструктура формирует именно ту базу первичных данных, на которой в дальнейшем становится возможным построение и калибровка прогнозных моделей сейсмического процесса; тем самым осуществлён переход от эпизодических наблюдений к непрерывному

мониторингу деформационного поля, имеющему прямое прогностическое содержание.

Во второй главе соискателем получен один из наиболее значимых результатов работы. Сопоставив на едином декластеризованном каталоге методологически независимые алгоритмы и привлекая методы машинного обучения, автор установил количественную закономерность разрядки поля тектонических напряжений в дублетных последовательностях: после реализации второго события дублета число афтершоков в области первого события сокращается шестикратно. Этот эффект, прослеженный соискателем на дублете Кахраманмараш 6 февраля 2023 г. ($M_w = 7,8$ и $7,5$) и опубликованный им в качестве первого автора в *Bulletin of the Seismological Society of America*, вскрывает ранее не описанную закономерность перераспределения напряжений в очаговых зонах коллизионных областей. Основным же результатом главы следует признать выявленное различие геометрических образов кластеров сейсмичности: афтершоки дублетных событий формируют линейную структуру, вытянутую вдоль плоскости магистрального разрыва, тогда как афтершоки одиночных событий образуют кольцевую структуру вокруг очага. Эти геометрические образы в наглядной форме отражают динамику разрывообразования и в перспективе могут служить важным диагностическим материалом для прогноза самой динамики формирования разрывов, что прямо отвечает центральной задаче прогноза землетрясений — слежению за накоплением и разрядкой упругих напряжений в коллизионной среде.

В третьей главе впервые установлена дифференциация литосферы Большого Кавказа с запада на восток. Эта структура задаёт реологическую стратификацию литосферного пакета — расслоённую модель деформируемой среды. Полученные томографические модели представляют собой и самостоятельный геофизический результат — уникальный массив данных о глубинном строении литосферы региона,

который в дальнейшем может быть использован как ценная основа для уточнения геодинамических и сеймотектонических моделей.

В четвёртой главе соискателем решена прямая динамическая задача, завершающая единую расчётную цепь работы. Основной её результат — установленная для вулканических областей обратная (в сравнении с классической) корреляционная связь между топографическим градиентом и параметром $Vs30$, независимо подтверждённая на острове Хайнань и потому носящая фундаментальный, а не региональный характер; на этой основе впервые построена общенациональная карта $Vs30$ территории Республики Армения. Параметр $Vs30$ выступает здесь характеристикой модуля сдвига приповерхностного слоя ($\mu = \rho Vs^2$), управляющего грунтовым откликом.

Второй существенный результат — количественная характеристика котловинных эффектов Ширакской впадины (резонансное усиление, фокусировка энергии, удлинение колебательного процесса). В известной мере именно эти результаты дают научно-практическое объяснение ряду особенностей разрушений, наблюдавшихся в Ленинакане (Гюмри) при Спитакском землетрясении 1988 г. и не выводимых из одних лишь параметров очага: пространственная неоднородность и нехарактерные формы повреждений закономерно связываются со строением и сейсмическим откликом приповерхностной толщи и седиментационной котловины.

Необходимо отметить методическую цельность работы с точки зрения физико-математической постановки задачи. Четыре главы доклада образуют не набор частных исследований, а единую и логически замкнутую последовательность.

В первой главе заданы основные начальные и граничные условия задачи — непрерывно регистрируемые на поверхности деформируемой среды поля смещений, скоростей, ускорений и квазистатических деформаций.

Во второй главе вскрыты феноменологические особенности сейсмического процесса и обеспечено слежение за динамикой разрывообразования через геометрические образы кластеров сейсмичности.

В третьей главе на этой основе восстановлены глубинная структура и реологическая стратификация среды и зафиксирован косейсмический и постсейсмический деформационный отклик коры, то есть определены коэффициенты и текущее состояние модели.

В четвёртой главе построение завершено локальными задачами о приповерхностном сдвиге и расчётном сейсмическом воздействии. Такая взаимоувязка — от начально-граничных условий через строение и состояние среды и закономерности разрывообразования к локальному отклику и проектной нагрузке — представляется мне физически последовательной и методически безупречной.

Достоверность результатов не вызывает сомнений: они опираются на метрологически однородные данные международного стандарта, получают подтверждение при сопоставлении принципиально различных алгоритмов и независимую верификацию на материале сопредельных провинций, а ключевые положения опубликованы в ведущих рецензируемых изданиях высшей международной категории. Внутренняя непротиворечивость всех звеньев — от реологической модели среды до расчётной акселерограммы — свидетельствует о методической зрелости и самостоятельности научной позиции автора.

Высокий уровень работы не исключает некоторых пожеланий дискуссионного характера, не влияющих на её итоговую положительную оценку:

Количественная характеристика котловинных эффектов носит преимущественно эмпирико-спектральный характер; её сопоставление с модельной краевой задачей о собственных колебаниях слоистой Ширакской впадины замкнуло бы наблюдаемое усиление на собственные частоты резонатора и придало бы оценкам предсказательную силу.

Научный доклад Карапетяна Джона Костиковича представляет собой завершённое научно-квалификационное исследование высокого уровня, в котором на единой наблюдательной основе решён методически целостный комплекс прямых и обратных задач сейсмологии коллизионной области — от восстановления напряжённо-деформированного состояния и реологической стратификации литосферы до количественных закономерностей разрядки тектонических напряжений и расчёта проектного сейсмического воздействия. Тем самым решена крупная научная проблема, имеющая как фундаментальное значение для физики сейсмогенной среды и прогноза землетрясений, так и прямой выход в практику сейсмостойкого проектирования.

Официальный оппонент, академик НАН РА,
доктор физико-математических наук, профессор,
заведующий отделом Института механики
Министерства образования, науки, культуры,
спорта (МОНКС)РА

«30» июня 2026 г.

ՀՀ գլխավոր տնտեսագետ, Ֆ. Տ. Գ. Գ. պատվոգրի և Ն. Ն. Գ. Գ. պատվոգրի համար՝ 155:

ՀՀ գլխավոր տնտեսագետի Բաժնի պատվոգրի և Ֆ. Տ. Գ. Գ. պատվոգրի համար՝ 155:

