

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу

Бориса Аркадьевича Дзедоева «Системно-аналитический метод распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность исследований. Объект и предмет исследований.

Существующие до настоящего времени методы и подходы определения мест возможного возникновения сильных землетрясений являются, с одной стороны, весьма время- и трудозатратными. С другой стороны они базируются на математических идеях начала второй половины XX века. Сегодня для решения задачи установления районов, где могут в будущем возникнуть сильные землетрясения, необходимо создание новых алгоритмических подходов, базирующихся на современных математических взглядах на быстро растущие во времени дискретные множества геофизических данных. В этой связи диссертационная работа Бориса Аркадьевича Дзедоева, посвященная, в первую очередь, разработке и развитию на базе нечеткой математики системно-аналитических методов распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений, является актуальным фундаментальным исследованием.

В диссертационной работе объектом исследований являлись зоны возможного возникновения сильнейших, сильных и значительных землетрясений в ряде горных стран мира.

Значимость полученных в диссертационной работе результатов особо подчеркивается универсальностью разработанных Б.А. Дзедоевым математических методов и алгоритмов. Они описаны в работе в достаточно общем виде, что создает перспективы для их применения в решении подобных задач системного анализа далеко за пределами геофизики и даже наук о Земле.

Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения,

списка литературы из 330 наименований. Работа изложена на 309 страницах машинописного текста, содержит 78 рисунков и 13 таблиц. По теме диссертации Б.А. Дзедбоевым опубликованы 19 научных работ с соавторами, из них 18 статей в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, а также получено 11 свидетельств на РИД.

Согласно тексту диссертационной работы в приложении к проблеме определения мест возможного возникновения будущих землетрясений Б.А. Дзедбоевым созданы два новых инструмента распознавания образов. Это алгоритм «Барьер-3» и метод FCAZ. Они различаются как выбором объектов классификации, так и алгоритмическими принципами, лежащими в основе распознавания.

Разработка алгоритма «Барьер-3» является развитием созданного в 70-х годах XX века ведущими математиками, геологами и геофизиками ряда институтов АН СССР классического подхода ЕРА к распознаванию мест возможного возникновения землетрясений. Принципиальное отличие алгоритма «Барьер-3» от использовавшихся ранее заключается в том, что обучение в нем ведется только по одной обучающей выборке высокосейсмичного класса. Предполагается, что эта выборка не содержит в себе заведомых ошибок классификации. Результаты диссертации показывают, что «Барьер-3» является эффективным алгоритмом, нашедшим свое применение в блоке распознавания подхода ЕРА.

Идейная база математической конструкции алгоритма «Барьер-3» основывается на расширении единственного класса обучения. Для осуществления такого расширения Б.А. Дзедбоевым построена оригинальная мера близости между точечными объектами распознавания, представленными в векторном виде в пространстве их геолого-геофизических характеристик. Эта мера позволяет на строгом языке логических терминов формализовать условие близости объектов к расширяемой обучающей выборке.

В структуре алгоритма «Барьер-3» разработаны оригинальные вычислительные блоки, позволяющие количественно оценивать вклад групп

используемых при распознавании характеристик объектов в формирование результата распознавания. Количественные оценки позволяют формулировать геолого-геофизические критерии высокой сейсмичности изучаемого региона.

Особый интерес представляет метод системного анализа FCAZ. Он базируется на Дискретном математическом анализе (ДМА), который является новым подходом к анализу дискретных данных, созданном и развиваемом в Геофизическом центре Российской академии наук. ДМА возник в результате попытки воспользоваться для анализа дискретных данных классической непрерывной математикой путем замены в ней фундаментальных основ нечеткими моделями их дискретных аналогов.

В диссертационной работе Б.А. Дзедобоев места возможных сильных землетрясений рассматривает как пространственные кластеры в каталоге землетрясений. Единой точки зрения на кластеры не существует. Однако принято считать, что кластеры – это области некоторого пространства с относительно более высокой плотностью точек, отделенные от других таких же областей областями с относительно низкой плотностью точек.

Один из возможных подходов к математической реализации такого понимания кластеров состоит в следующем. Сначала формализуется понятие плотности на общем фоне множества. Далее в исходном пространстве выделяется максимальное такое множество, которое, в свою очередь, разбивается на компоненты связности. Последние и будут плотными областями в исходном пространстве, то есть кластерами.

Алгоритм DPS, представляющий собой ядро метода FCAZ, является ДМА реализацией такого подхода к кластерам. При этом исходное пространство предполагается конечным и метрическим. В нем строится бинарное отношение, характеризующее в шкале отрезка $[0, 1]$ близость между точками. Называется оно мерой близости и является результатом глобального анализа всего пространства, потому что в конечном случае понять близки или нет две точки, зная только расстояние между ними нельзя. В алгоритме DPS мера близости служит основанием для построения меры предельности любого подмножества исходного пространства в любой его точке.

DPS высекает из исходного пространства максимальное совершенное подмножество заданного уровня предельности и разбивает его отношением близости на компоненты связности. Нечеткие сравнения позволяют эффективно выбрать уровень предельности так, чтобы результаты были действительно плотны на общем фоне, то есть являлись кластерами.

Искомые места возможного возникновения сильных землетрясений получаются как плоские непрерывные расширения (оболочки) результата алгоритма DPS применительно к каталогу эпицентров слабых землетрясений. В диссертационной работе построение оболочек реализуется алгоритмом плоского расширения кластеров E^2XT , который также разработан Б.А. Дзедобоевым.

Описание конструкций алгоритма «Барьер-3» и метода FCAZ изложено математически точно и в тоже время наглядно. Нет сомнений, что оригинальные математические идеи диссертанта найдут свое применение за пределами решаемой в диссертации геофизической задачи.

С помощью алгоритма «Барьер-3» и метода FCAZ Б.А. Дзедобоевым определены места возможного возникновения сильнейших, сильных и значительных землетрясений в Северной и Южной Америке, в Евразии и в зонах субдукции Тихоокеанского сейсмического пояса. Полученные результаты представляются оппоненту достоверными и обоснованными. Картированные зоны хорошо согласуются как с эпицентрами исторических землетрясений, так и произошедших после выполнения распознавания и составивших материал чистого экзамена.

Следует отметить, что в диссертационной работе, в том числе, распознаны места возможного возникновения землетрясений, в пределах которых сильные землетрясения ранее не происходили. Так, например, эпицентр землетрясения 06 июля 2019 года с $M=7.1$ в Калифорнии (рис. 9а в автореферате) расположен строго внутри зоны, в которой ранее землетрясения такой энергии не наблюдались.

Защищаемые положения диссертационной работы Б.А. Дзедобоева научно

состоятельны. Результаты диссертации докладывались на крупных российских и международных конференциях. В том числе они представлены на математических конференциях: Systems Analysis 2015 (Лаксенбург, 2015), Systems Analysis: Modeling and Control (Екатеринбург, 2016) и 32-я конференция IUGG по математической геофизике (Нижний Новгород, 2018).

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и ее основные положения, которые опубликованы, в том числе, в необходимых научных изданиях. Диссертация написана Б.А. Дзедобевым самостоятельно простым и ясным для понимания языком.

Диссертация Дзедобова Бориса Аркадьевича выполнена на актуальную тему и обладает научной новизной. Работа содержит решение задачи создания оригинальных математических подходов для определения мест возможного возникновения будущих сильных землетрясений. Это имеет существенное значение для оценки сейсмической опасности.

Диссертационная работа соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени доктора наук, а её автор Б.А. Дзедобов достоин присуждения учёной степени доктора физико-математических наук.

Я, Чубариков Владимир Николаевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент

президент механико-математического факультета,
заведующий кафедрой математических и компьютерных методов анализа
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего образования

«Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»,

доктор физико-математических наук,
профессор



Чубариков Владимир Николаевич

Адрес: 119991, ГСП-1, г. Москва, Ленинские горы, МГУ, д. 1,

Главное здание, механико-математический факультет.

Телефон: 8 (495) 939-12-63.

e-mail: office@mech.math.msu.su.

28 апреля 2021 года

Подпись Чубарикова Владимира Николаевича заверяю:



(А.И. Шарфеева)