

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
динамики геосфер имени академика
М.А. Садовского Российской академии наук,
доктор физико-математических наук

_____ С.Б. Турунтаев

«30» апреля 2021 г



Отзыв ведущей организации

на диссертационную работу Дзедоева Бориса Аркадьевича

«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 месторождений
полезных ископаемых.

Диссертационная работа Дзедоева Бориса Аркадьевича представляет собой изложение совокупности результатов, полученных автором в ходе работы над созданием и модернизацией методов распознавания мест возможного возникновения сильных землетрясений. Как известно, свыше 25 % площади России относится к сейсмоопасным зонам, при этом некоторые такие регионы имеют довольно высокую плотность населения и развитую инфраструктуру. На этих территориях расположено множество инженерных объектов, включая предприятия повышенной опасности такие, как атомные станции, химические производства, участки захоронения радиоактивных отходов и т.д. Снижение ущерба от природных катастроф является одной из приоритетных проблем наук о Земле, а задача прогнозирования землетрясений позиционируется как важная составляющая этого научного направления. Надежное определение зон вероятной локализации очагов значительных и сильных землетрясений является неотъемлемой составляющей оценки сейсмической опасности. Все это определяет **актуальность** диссертационной работы,

цель которой заявлена автором, как «создание системно-аналитического подходов и развитие существующих методов распознавания для повышения достоверности решения проблемы идентификации мест возможного возникновения сильных землетрясений по комплексу геолого-геофизических, геоморфологических, сейсмологических и других данных». (Не вполне понятно о каких «других» данных идет речь.)

Сформулированный автором список конкретных задач, поставленных и решенных в диссертации, весьма обширен и, возможно, слишком детализирован. Основными следует считать:

- разработку метода классификации объектов с обучением по одному классу;
- создание новой системно-аналитической версии алгоритмической системы FCAZ для распознавания зон с повышенной вероятностью возникновения крупных землетрясений на базе анализа расположения эпицентров слабых землетрясений;
- применение разработанных методов для определения участков возможного возникновения землетрясений значительной магнитуды в нескольких сейсмоактивных регионах.

Цель работы соответствует современным тенденциям развития методов геофизических исследований, а задачи исследования логично вытекают из поставленной цели.

Диссертационная работа Б.А. Дзебоева развивает созданные его предшественниками (В.И. Кейлис-Борок, И.М. Гельфанд, А.Д. Гвишиани, А.А. Соловьев, В.Г. Кособоков и другие) подходы к решению задач прогноза возможных мест расположения землетрясений и/или времени их возникновения на основе комплексного анализа геоморфологических параметров, коррелированности сейсмической активности, регулярности землетрясений, плотности событий в пространстве и во времени, а также ряда более сложных параметров, определяемых на основе исследований вариаций микросейсмического шума (А.А. Любушин, Г.А. Соболев). В значительной степени работа является продолжением исследований, проведенных автором в кандидатской диссертации.

Цели и задачи исследования определили структуру и логику диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, семи глав, заключения и списка литературы. Текст работы занимает 309 страниц, включая 78 рисунков, 13 таблиц и 30 страниц библиографии, состоящей из 330 позиций.

Во введении дается общая характеристика работы и обосновываются обязательные для диссертации позиции - актуальность темы, научная новизна, практическая значимость полученных результатов.

В первой главе приведен обзор истории развития методов использования алгоритмов распознавания образов для поиска мест возможного возникновения сильных землетрясений. Детальное рассмотрение истории вопроса является важным достоинством диссертации и свидетельствует об эрудиции диссертанта. В конце раздела обосновывается необходимость разработки системно-аналитического подхода для распознавания зон возникновения очагов сильных землетрясений и методов, позволяющих автоматизировать процесс распознавания, и формулируются основные задачи исследования.

Вторая глава посвящена решению одной из основных задач диссертации – созданию нового алгоритма для классификации объектов с обучением по единственному классу. С использованием алгоритма «Барьер-3» в качестве блока распознавания метода ЕРА выполнено распознавание мест возможного возникновения землетрясений с $M \geq 6.0$ в нескольких регионах. В силу меньшего количества свободных параметров, разработанный алгоритм оказывается более удобным при практическом применении по сравнению с ранее существовавшими. Можно отметить, что в силу хорошей согласованности результатов распознавания, выполненных разработанным алгоритмом «Барьер-3» и широко применяемым алгоритмом дихотомии «Кора-3», представленные во второй главе результаты можно считать достоверными.

В третьей главе работы описывается, пожалуй, центральный результат диссертации – созданная автором новая версия алгоритмической системы FCAZ, являющаяся частью методологии перспективного системного анализа. Система FCAZ базируется на двух алгоритмических компонентах – инновационном алгоритме топологической фильтрации, выделяющий кластеры как собственные подмножества во множестве объектов распознавания, и алгоритме преобразования выделенных кластеров в плоские зоны мощности континуум на плоскости. Наличие алгоритма отображения дает возможность рассматривать FCAZ в качестве метода системного анализа. Автор развивает новый подход к распознаванию мест возможного возникновения крупных землетрясений, основанный на выявлении участков значительной плотности эпицентров слабых землетрясений.

В четвертой главе проведена апробация разработанной алгоритмической системы – выполнено распознавание мест возможного возникновения землетрясений в трех регионах

с очень высокой сейсмической активностью - на западном побережье Южной Америки, Тихоокеанском побережье Камчатки, на Курильских островах.

Пятая глава посвящена дальнейшему развитию алгоритмической системы FCAZ – распознаванию для нескольких значений пороговых магнитуд путем повторного применения алгоритма к данным, сформировавшим кластеры определенного порога магнитуды. При этом зоны возможного возникновения более высокомагнитудных событий оказываются вложенными в соответствующие зоны меньшего порога значений магнитуд. Алгоритм обработки применен к пяти регионам.

В шестой главе автором проведены контрольные вычислительные эксперименты для нескольких регионов, а также выполнено сравнение результатов, полученных FCAZ с зонами, распознанными другими методиками. Данные этого раздела обосновывают достоверность результатов диссертации в целом и воспроизводимость полученных результатов.

Седьмая глава посвящена рассмотрению FCAZ-распознавания как проблемы теоретического системного анализа.

Выводы диссертации сформулированы по главам и в несколько вольном виде изложены в **Заключении**.

Работа, выполненная Б.А. Дзедобевым, плотно связана с исследованиями предшественников и во многом основывается на методах, развитых коллегами. Тем не менее, и диссертация в целом, и полученные результаты, несомненно, обладают необходимой **научной новизной**. В работе развит системно-аналитический подход, в рамках которого созданы новые методы распознавания образов. Следует отметить создание новой версии алгоритмической системы FCAZ, являющейся частью методологии перспективного системного анализа, разработку оригинального метода SFCAZ, создание и реализацию нового алгоритма распознавания объектов с обучением по единственному классу, создание ГИС-базы карт зон возможного возникновения землетрясений для изученных в диссертации регионов.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что предложенный метод решения проблемы определения сейсмоопасных районов впервые сделал распознавание мест возможного возникновения землетрясений задачей системного анализа. Разработанный алгоритм, основанный на топологической фильтрации и учитывающий плотность расположения точечных объектов, является устойчивым к зашумленности исходных данных.

Практическая значимость диссертации состоит во внедрении современных методов системного анализа в решение уже во многом разработанной, но все еще не вполне решенной проблемы распознавания мест возможного возникновения землетрясений. Можно надеяться, что развитые диссертантом методы и подходы приведут к повышению надежности и, возможно, точности прогноза. Полученные результаты, несомненно, будут использованы академическими институтами (ИФЗ РАН, ИТПЗ РАН, ИДГ РАН и др.), причем не только в части прогноза мест возникновения крупных сейсмических событий, но и при обработке больших массивов данных. Созданные ГИС-базы карт зон возможного возникновения землетрясений будут полезны Геофизической службе РАН, специалистам МЧС России, госкорпорации Росатом и другим ведомствам при организации и модификации систем сейсмического мониторинга.

Автореферат соответствует тексту диссертационной работы. **Публикации** автора отражают содержание диссертации. Основные результаты исследований по теме диссертационной работы опубликованы в 18 статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в список ВАК РФ (16 в журналах, индексируемых в международных системах Web of Science и Scopus, 2 в журналах из списка Russian Science Citation Index). Получено 11 патентов. Личный вклад автора в решение задач, поставленных в работе, сформулирован в диссертации и не вызывает сомнений. Работы Б.А. Дзезбоева известны научному сообществу. Основные положения диссертации неоднократно обсуждались и докладывались на многочисленных всероссийских и международных совещаниях и конференциях.

Замечания по диссертации.

1. Диссертанту не всегда удается быть аккуратным при описании методов и подходов. Так, например, при описании вариативного метода ЕРА (2 глава) отмечается, что «Радиус окрестности объектов распознавания $w \in W$, где вычисляются значения геолого-геофизических и геоморфологических характеристик, зависит от магнитуды распознаваемых землетрясений» (стр.77 диссертации). При этом автор ссылается на работу [Соловьев и др., 2014]. Проводя расчеты для порога магнитуды $M_0 = 6.0$ в нескольких регионах для распознавания использовались круги радиусом 25 км. Почему принято такое значение, в диссертации не указано. Кстати, нигде не упоминается о какой шкале магнитуд идет речь. Далее, на стр. стр.234 отмечается «Как правило, он (радиус) выбирается пропорционально порогу магнитуды M_0 ». Между тем, в упомянутой работе [Соловьев и др., 2014] принимаемые для различных регионов значения никак не пропорциональны ни магнитуде, ни, как можно было бы ожидать, корню кубическому из

энергетической характеристики (излученная энергия или сейсмический момент). Так для Тянь-Шаня $M_0=6.5$, $r=40$ км, для Балкан, соответственно, $M_0=6.5$ и $r=40$ км, для Калифорнии $M_0=6.5$ и $r=25$ км, Италии $M_0=6$ и $r=35$ км, для западного побережья Южной Америки $M_0=7.75$ и $r=75$ км. Таким образом, для Калифорнии отношение радиуса окрестности объектов распознавания к характерному размеру очага землетрясения с магнитудой M_0 примерно втрое выше, чем для Южной Америки. Диссертанту в процессе работы над улучшением и модификацией методов стоило бы не просто использовать величины из работ предшественников, а подвергнуть их ревизии, либо обосновать корректность именно таких значений. Кроме того, в тексте диссертации не удалось обнаружить информации об алгоритме выбора значений свободных параметров s и q при использовании алгоритма «Барьер-3».

2. На стр.121 диссертации отмечено, что при использовании алгоритма «Барьер-3» в композиции с алгоритмами дихотомии и конструкцией нечеткого множества на Кавказе высокосейсмичными объявлены 59.9% объектов. В этом же абзаце автор подчеркивает, что «результат считается нетривиальным, если не более 60% объектов классифицированы как высокосейсмичные». Хотя формально условие нетривиальности результата выполнено, возникает сомнение в значимости расхождения с критерием на 0.1%.

3. При описании новой версии алгоритмической системы FCAZ диссертант отмечает, что метод опирается на «объекты распознавания, для которых существует **априорная связь** с эпицентрами сильных землетрясений. В диссертационной работе в качестве объектов распознавания используются эпицентры землетрясений с магнитудой $M \geq M_R$ » (стр.123 диссертации). Хотя сгущение мест расположения эпицентров слабых землетрясений действительно является частым спутником участков крупных землетрясений, здесь не стоило бы говорить об **априорной связи**. Хорошим примером являются участки ползучести по разлому, где плотность очагов землетрясений с магнитудой до 3.5-4 довольно высока, а участки их сгущения (так называемые “repeaters”) интерпретируются как вероятные зоны особенных свойств разлома. При этом более крупные землетрясения там крайне редки. Так, например, для региона Калифорнии в качестве потенциально возможного участка локализации очагов землетрясений с $M \geq 6.5$ в диссертации выделен, в том числе, участок стабильного крипа разлома Сан-Андреас к югу от San Juan Bautista.

4. Рассматривая сейсмичность западного побережья Южной Америки, автор называет этот участок «...горный пояс Анд». Между тем, крупнейшие землетрясения в каталоге относятся к зоне субдукции Чили (megathrust earthquakes) и их, равно как и их

форшоки, афтершоки, более мелкие события, сложно отнести к «... горному поясу Анд». Последний является скорее поверхностным проявлением субдукции. К тому же межплитные и внутриплитные землетрясения представляют собой уж очень различающиеся и по физике, и по НДС, и по Р-Т условиям последовательности событий. Их объединение в единый ансамбль требует, с нашей точки зрения, дополнительного обоснования. Кстати, эпицентр землетрясения Iquique Mw 8.1 2014 г. был расположен к северо-западу от побережья Чили, а не к северо-востоку, как ошибочно указано на стр.153 и в Википедии (см., например, каталог USGS, а также публикации по меганадвиговым землетрясениям Чилийской зоны).

5. Некоторые положения, содержащиеся в диссертации, неудачно сформулированы, либо требуют пояснения и обоснования. Так, например, неясно, что имел в виду автор, написав: «Такой выбор объектов обоснован их **глубокой тектонической связью** с сильными землетрясениями» (стр. 12 автореферата). Или «Результаты диссертации показывают и то, что слабая сейсмичность на самом деле может «проявлять» свойства геофизических полей...».

Сделанные замечания не являются определяющими и не снижают общего положительного впечатления от работы. Диссертация Б.А. Дзедоева, представленная на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, является завершённым исследованием, которое можно классифицировать как решение задачи, внесшей значительный вклад в создание системно-аналитических подходов и развитие существующих методов распознавания, направленных на прогноз возможных мест расположения эпицентров крупных сейсмических событий.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК России, предъявляемым к докторским диссертациям, соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено Постановлением Правительства РФ №842 от 24.09.2013 г.), а соискатель Дзедоев Борис Аркадьевич заслуживает присуждения ему ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 25.00.10 — Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Диссертация и отзыв обсуждены на геофизическом семинаре ИДГ РАН, который состоялся в режиме видеоконференцсвязи «26» апреля 2021 года. Семинар одобрил настоящий документ в качестве официального отзыва ведущей организации (протокол № 2/21).

Авторы отзыва согласны на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой Дзедоева Б.А. в диссертационном совете Д002.001.01, и их дальнейшую обработку.

Заместитель директора ИДГ РАН по научной работе, доктор физ.-мат. наук, профессор

Г.Г. Кочарян

28.04.2021

Тел. +7 (499) 1376611

Почтовый адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 38, корпус 1
e-mail: geospheres@idg.chph.ras.ru

Ведущий научный сотрудник лаборатории «Деформационных процессов в земной коре» ИДГ РАН, кандидат физ.-мат. наук

А.А. Остапчук

28.04.2021

Тел. +7 (499) 9397511

Почтовый адрес: 119334, г. Москва, Ленинский проспект, 38, корпус 1
e-mail: ostapchuk.aa@idg.ras.ru

Подпись Г.Г. Кочаряна и А.А. Остапчука удостоверяю

Ученый секретарь ИДГ РАН кандидат физ.-мат. наук

Локтев Д.Н.