

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию

Богинской Натальи Владимировны

«Закономерности вариаций потока сейсмических событий на о. Сахалин перед сильными землетрясениями как основа методов среднесрочной оценки сейсмической опасности

LURR и СРП»,

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность темы исследований

Актуальность исследования определяется тем, что Сахалин является одним из самых сейсмоопасных регионов России с относительно высокой плотностью населения и развитой промышленностью. Три разрушительных землетрясения за последние 30 лет продемонстрировали недооценку сейсмической опасности региона в картах ОСР-97 и инициировали развитие сети сейсмических станций. Активизация сейсмической активности, наблюдаемая на Сахалине в последнее время, делает исследования по изучению сейсмической опасности особенно актуальными.

Тематика выполненных исследований соответствует приоритетным направлениям фундаментальных исследований в области наук о Земле: Постановление Президиума РАН № 233 от 01.07.2003 г. в части исследований физических полей Земли, а также современной геодинамики, сейсмичности и сейсмического прогноза; программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2008-2012 годы по направлению № 64, катастрофические процессы природного и техногенного происхождения, сейсмичность – изучение и прогноз, разработка принципов и систем параметризации природных опасностей, методов мониторинга природных опасностей и системы мониторинга, осуществление комплексного мониторинга, прогнозы времени и магнитуды ожидаемых разрушительных землетрясений; предназначенные для использования органами власти с целью уменьшения ущерба; программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013-2020 годы по направлению № 70, выяснение механизмов преобразования и взаимодействия физических полей Земли на границе земная кора-атмосфера, оценки корреляционных связей вариаций геофизических полей с барическими вариациями в атмосфере. Проведенные исследования поддерживались грантом РФФИ.

Цель исследований. Научная и практическая значимость диссертации

Цель работы в диссертации определена как «поиск устойчивых среднесрочных пространственно-временных закономерностей потока сейсмических событий на о. Сахалин перед сильными землетрясениями для разработки методологии и алгоритмов... прогноза сейсмических событий».

Для достижения этой цели в работе Н.В. Богинской анализируются изменения сейсмического режима на о. Сахалин перед 8 сильными землетрясениями с $M \geq 5.5$ за период с 1988 по 2017 гг. В качестве индикаторов предвестниковых изменений свойств потока сейсмических событий использованы методы LURR, СРП, а также их комбинация.

На защиту вынесены три основных положения:

1. Аномальные значения параметра LURR наблюдались на территории Сахалина в шести областях с линейными размерами не более 200 км за 1-2 года до сильных землетрясений ($M \geq 5.5$) в период с 1988 по 2017 гг.
2. Определены универсальные параметры для обработки сейсмических каталогов, при которых аномалии LURR не обнаружены в спокойные периоды, а в качестве предвестников зарегистрированы в 75% случаев (6 из 8 землетрясений с $M \geq 5.5$).
3. После появления предвестника LURR в течение 1-2 лет в сейсмическом процессе наблюдаются режимы с обострением (определяемые как саморазвивающиеся процессы), последний из которых реализуется от недели до 2.5 месяцев до сильного землетрясения, при том, что общее число таких режимов в 100% случаев не превышает двух.

Обоснование этих положений строится на экспериментальных данных – результатах сейсмического мониторинга территории Сахалина за указанный период. Теоретические основы методов, по которым в потоке случайных событий (Пуассоновского типа) выделяются информативные неоднородности, взяты из известных работ китайских сейсмологов (LURR) и предшествующих работ Малышева А.И. и Тихонова И.Н. (СРП). Диссертанту удалось адаптировать эти методы для исследуемого региона за счет подбора параметров. Обоснование защищаемых положений, как и их формулировки, вынужденно ограничиваются пространственно-временными рамками. В связи с этой особенностью работы ниже выскажу ряд замечаний. Тем не менее стоит отметить «соискательский аспект»: степень обоснованности и достоверности изложенных в работе результатов и защищаемых положений обеспечивается большим объемом обработанных данных и их согласованностью с предшествующими результатами других исследователей, в частности с трудами сейсмологов из Дальневосточного региона России.

Итогом и основным результатом диссертационной работы, определяющим ее ценность для науки, следует считать отработку новых подходов к динамической оценке сейсмической опасности на основе методики LURR. Благодаря этому продолжен ряд примеров оправдавшихся сейсмических прогнозов в Сахалинской области: сделанных в ИТПЗ РАН прогнозов Шикотанского землетрясения 1994 г., Симуширских землетрясений 2006-2007 гг, прогноза Невельского землетрясения 2007 г. Тихоновым И.Н. Это продолжение сделано

впервые, оно свидетельствует, что ранее сделанные успешные прогнозы не являются случайными исключениями из парадигмы непредсказуемости сильных землетрясений.

Научная новизна и значимость работы определяются именно этим результатом. По признаку научной новизны также можно выделить результат о малом количестве ложных тревог при применении метода LURR. Ведь по оригинальным работам Yin, аномалии параметра LURR (отношение выделившейся сейсмической энергии или прироста деформации Беньоффа на разных фазах лунно-солнечных приливов) отражает просто переход к неупругому деформированию для большого объема среды вокруг очага готовящегося землетрясения. Переход к стадии неупругости – необходимое, но не достаточное условие какого-либо разрушения. Поэтому отсутствие пропусков цели вполне естественно, а вот малое количество ложных тревог - весьма нетривиально. Представляет интерес обобщающее положение из работы, что «снижение параметра LURR после своего максимального показателя, свидетельствует о переходе геосреды в состояние неустойчивости...». Вероятно, автор подразумевает под неустойчивостью локализацию неупругих процессов в объеме, гораздо меньшем, чем тот объем, в котором перед этим происходит увеличение параметра. Тогда сохраняется логика подхода LURR: снижение параметра LURR отражает частичную разгрузку среды в большей части первоначально рассматриваемого объема при локализации неупругой деформации в относительно малой области. К сожалению, в диссертации не обсуждаются ни наблюдения, подтверждающие такую стадию деформационного процесса, ни его модели, выходящие за рамки первоначальных предложений методики LURR. А они представляются не менее интересными с практической точки зрения, чем попытки подключения оценок времени по методу СРП. Проявления всплесков сейсмичности в период тревоги по LURR могут быть случайными. Необходим детальный анализ, который показал бы неслучайность всплесков, рассматриваемых в СРП. А с практической точки зрения значимым результатом могут считаться только прогнозы в реальном времени, а они в данной диссертационной работе сделаны по методу LURR.

Практическая значимость работы определяется возможностью применения полученных результатов для разработки информационных систем по оценке сейсмической опасности на о. Сахалин. Некоторые методические результаты, в частности, опыт прогнозов по методу LURR в реальном времени, могут быть использованы в работе Сахалинского филиала РЭС при решении вопросов об информировании МЧС и местной администрации о возможности возникновения сильных землетрясений.

Оценка публикаций диссертанта

Результаты выполненной работы освещены с достаточной полнотой в 8 публикациях автора, среди которых 1 проиндексирована – в реферативной базе WOS, 1 – в реферативной

базе SCOPUS, 4 – в изданиях, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией, и 2 – в научных журналах из списка РИНЦ. По теме диссертации опубликовано 8 статей в сборниках материалов всероссийских и международных конференций.

Структура и содержание работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем диссертационной работы составляет 115 страниц. Библиография содержит 192 наименования.

Во введении обосновывается актуальность темы исследований, характеризуются научная новизна и практическая значимость полученных результатов, их достоверность. Формулируются защищаемые положения, а также цель и задачи диссертационного исследования, приводятся сведения об апробации и структуре работы.

В первой главе рассматриваются общие представления о сейсмическом процессе, основных режимах накопления и диссипации тектонических напряжений, базовых моделях механики сплошной среды, на которые эти представления опираются. Дается краткий обзор работ по выявлению признаков подготовки сильных землетрясений на заключительных этапах в режимах развития сейсмического процесса.

Вторая глава посвящена анализу последовательностей сейсмических событий методами LURR и СРП. Теоретические основы каждого из методов транслированы из оригинальных работ. Показано, что имеется ряд параметров, которые могут вносить значительный вклад в окончательный результат при расчетах по этим методам. Поэтому важен выбор параметров, определяющих состав событий в выборке, и «настройки» математической обработки. Обсуждается стержневая идея о неизменности таких параметров для всех расчетных действий. Предложены принципы выбора оптимальных значений параметров расчёта, а также количества расчетных областей и их раздел. Описаны алгоритмы, реализованные в компьютерных программах, используемых для расчетов.

В третьей главе приводятся результаты расчетов методами LURR и СРП. Исследование по методу LURR проведено для всей территории о. Сахалин в период с 1988 по 2017 гг. Метод СРП несколько модифицирован и рассмотрен ретроспективно на примере Невельского землетрясения 2007 г. Отличие модификации СРП от ранее используемой в работах Тихонова И.Н. сводится к проведению расчетов на больших периодах времени (до года) без попыток идентифицировать только последний период активизации, который наблюдался непосредственно перед Невельским землетрясением. Обозначена проблема ложных тревог, когда за полгода до землетрясения зафиксировано множество случаев прироста активности, распознаваемых как СРП. При этом авторы признают бесполезность использования СРП-

алгоритма как самостоятельной прогнозной методики. Указано, что только последний всплеск активности может быть предвестником времени землетрясения.

В четвертой главе рассматриваются результаты двухэтапного анализа методами LURR и СРП для пяти сильных землетрясений, произошедших на о. Сахалин. Расчеты проведены для периода с 2004 по 2018 гг. Предполагается, что при такой последовательности в период после завершения аномалии параметра LURR спонтанные всплески сейсмичности (ложные СРП) не успеют проявиться, и появление СРП становится краткосрочным предвестником. Однако это предположение не может быть доказано на имеющемся ограниченном объеме фактических материалов.

Автореферат полно и правильно отражает содержание диссертации.

Замечания

1. Описание расчета параметра LURR по формуле 2.6 оставляет вопросы, как воспроизвести в точности все этапы расчета для нахождения аномальных значений этого параметра, фигурирующих в первом защищаемом положении. Мне не удалось найти в работе точного определения, к какому периоду (добавки нагрузки, вызванной солнечно-лунными приливами или разгрузки) относится каждое землетрясение, учитываемое в формуле 2.6. Для этого, как следует из работы, необходимо знать, во-первых, значения тензора приливных напряжений для момента каждого землетрясения, и, во-вторых, ориентацию плоскости разрыва при землетрясении. В работе не приведены формулы для пересчета тензора напряжений от приливов в нормальное и касательное к плоскости разрыва напряжения и не указана модель, на основе которой рассчитывается тензор напряжений от приливов. Не указывается, какое из двух решений механизма очага, используется в расчетах. Вместо этого делается ссылка на программный комплекс руководителя диссертационной работы, а в разделе, где описывается комплекс Seis-ASZ, приводится схема с описанием некоторых (но не всех) деталей применения расчетного алгоритма. При описании расчетов, результаты которых составили первое защищаемое положение, стоило собрать в один блок все «тонкости» такого рода, чтобы они были на виду и не приходилось дополнительно выяснять отдельные моменты. Например, что деформация Беньоффа, по которой проводится вычисление параметра LURR, соответствует значению коэффициента $m=1/2$ в формуле (2.6).

2. Для обоснования универсальности параметров обработки каталогов по методу LURR во втором защищаемом положении следовало бы провести анализ устойчивости результатов в зависимости от выбора положения эллипса. Удобным для этого является аппарат диаграммы ошибок (Молчан, 1991), но можно при определенных условиях использовать и критерий Гусева (формула 4.1 в диссертации). Диаграмма ошибок несет больше информации по сравнению с критерием Гусева, поскольку с ее помощью можно оценить также устойчивость результатов к

выбору порогового значения параметра LURR. Параметры можно считать универсальными, если при варьировании положения центра эллипса точки на диаграмме ошибок ниже диагонали, соответствующей случайному прогнозу, или если критерий Гусева устойчиво больше единицы.

3. Аналогично предвестнику LURR, в диссертации не приведена точная формулировка параметра СРП, используемого в третьей и четвертой главах. Не указано, какая именно из трех величин (число событий, накопленная энергия или накопленные деформации по Бенъофу) используется для расчетов, какой метод аппроксимации применяется (для степенных функций разные методы могут давать значительные различия). Фактически, в диссертации используется просто наличие активации сейсмичности, которые «ловятся» алгоритмом СРП. Но вполне естественно, что после проявления предвестника LURR за определенный период времени происходит несколько всплесков сейсмичности, не обязательно связанных с будущим землетрясением. Не удивительно, что «двухэтапный» метод прогноза, использующий сначала LURR, а затем СРП, опробован лишь ретроспективно. Нужны дополнительные тесты, подтверждающие неслучайность всплесков сейсмичности перед сильными землетрясениями.

4. Материалы работы показывают, что предвестник СРП на Сахалине не работает, поскольку «взрывной» рост параметра происходит вовсе не непосредственно перед сильными землетрясениями. Предвестник СРП является аналогом предвестника AMR (Accelerated seismic moment release), предложенного Bufe и Varnes в 1993 г., и детально исследованного в зарубежной литературе. Хорошо известно, что после большого числа публикаций по применению AMR в ведущих изданиях David Bowman в 2007 г. публично признал, что наблюдаемый эффект AMR – результат подгонки данных, пусть даже и не осознанной. К сожалению, в диссертации нет обсуждения взаимосвязи результатов применения метода СРП с этими работами, отсутствуют ссылки на указанных авторов.

5. Третий и четвертый выводы по работе фактически являются интерпретацией результатов. Вместо таких «выводов» в журнальных публикациях обычно пишут о направлениях дальнейших исследований, а диссертациях, т.е. законченных работах, повторяют характеристику новизны результатов.

6. Диссертация также содержит ряд неточностей и непонятных формулировок, например:

Стр. 35. Фразы «Самой важной характеристикой упругого режима является его обратимость; т.е. положительный процесс и обратный процесс обратимости. Другими словами, модуль нагрузки и разгрузки одного равен другому» - непонятны. Что такое «положительный процесс» и «обратный процесс»? Стр. 46. Фраза «Процессы, при протекании которых изменение уровня активности зависит от текущего состояния, можно выполнить зависимость $d^2x/dt^2=F(dx/dt)$ » - непонятна.

Направление диссертационной работы и публикаций соответствует паспорту специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых: пункту 3 (в части «Сейсмология»); пункту 4 («Исследование природы, свойств и геодинамической интерпретация деформационных характеристик и естественных геофизических полей, источники которых располагаются в недрах Земли. Взаимодействие деформационных и геофизических полей»); пункту 6 («Математическое моделирование геодинамических процессов любых пространственных и временных масштабов. Изучение земной коры в рамках упругих, упругопластических, упруго-хрупких, вязко-упругих и т.п. моделей»).

С учетом актуальности и большого объема проделанной работы можно сделать заключение, что диссертация «Закономерности вариаций потока сейсмических событий на о. Сахалин перед сильными землетрясениями как основа методов среднесрочной оценки сейсмической опасности LURR и СПП» удовлетворяет требованиям и критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), а ее автор – Богинская Наталья Владимировна – заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

**Доктор физико-математических наук,
член-корреспондент РАН, директор
Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Институт
теории прогноза землетрясений и
математической геофизики
Российской академии наук**

Шебакин Петр Николаевич
117997, Москва, ул. Профсоюзная, 84/32,
тел.: +7 (495) 333-1112,
e-mail: p.n.shebalin@gmail.com

П.Н. Шебалин

Даю согласие на включение моих персональных данных в документы, связанные с работой
Диссертационного совета и их дальнейшую обработку

Подпись заверяю

Губернатору с/м
по кадрам

