



УТВЕРЖДАЮ
Врио директора ФИЦ ЕГС РАН,
Канд. физ.-мат. наук


Р.А. Дягилев

«19» ноября 2020 г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба Российской академии наук" на диссертационную работу

Павлова Алексея Владимировича «Прогностические оценки области и временного периода ожидания сильных Камчатских землетрясений по данным сейсмического мониторинга и ионосферным аномалиям», представленную на соискание учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Актуальность темы исследований

Полуостров Камчатка является северным звеном Курило-Камчатской островной дуги, где происходит более трети от всех землетрясений в России, в т.ч. сильнейшие землетрясения с магнитудами более 8. В течение периода детальных сейсмологических наблюдений (1961-2020 гг.) этом регионе произошло более 160 землетрясений с локальной магнитудой $M_L \geq 6.0$ ($K_S \geq 13.5$), из них 8 событий имели магнитуду $M_L \geq 7.0$ и сопровождалась в континентальных районах полуострова Камчатка сотрясениями интенсивностью до 9 баллов по шкале MSK-64.

Опасность катастрофических последствия сильнейших землетрясений, включая цунами, для населения и инфраструктуры Камчатского края достигает в районах Восточного побережья полуострова Камчатка наивысшего на Земле уровня. Одним из методов обеспечения безопасности населения и уменьшения материального ущерба от негативных проявлений сильных землетрясений является проведение работ по прогнозу сильных землетрясений.

Работа А.В. Павлова посвящена разработке методов среднесрочного и краткосрочного прогнозирования сильных ($M_L \geq 6.0$ ($K_S \geq 13.5$)) землетрясений в районе полуострова Камчатка на основе данных пополняемого регионального каталога землетрясений КФ ФИЦ ЕГС РАН,

и данных регулярных наблюдений ИКИР ДВО РАН за вариациями параметров ионосферы. Актуальность темы диссертационного исследования определяется необходимостью развития работ по прогнозированию сильных землетрясений в Камчатском крае для обеспечения сейсмопрогностическими данными экспертных советов по прогнозу землетрясений, действующих в Камчатском крае, включая Камчатский филиал Российского экспертного совета по прогнозу землетрясений, оценке сейсмической опасности и риска (КФ РЭС) при КФ ФИЦ ЕГС РАН.

Структура и содержание работы

Диссертация А.В. Павлова объемом 161 страница включает 123 рисунка, 23 таблицы и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 177 наименований и двух приложений. Работа хорошо структурирована и изложена.

Во **введении** охарактеризована актуальность научной проблемы и степень ее разработанности, определены цель и задачи исследования; сформулированы четыре защищаемых положения, обладающие научной новизной; определены теоретическая и практическая значимость работы и личный вклад автора.

В **главе 1** приводится обзор широко известных методов среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений КН, М8, RTL и КОЗ на основе данных каталогов землетрясений. Представлено описание сейсмичности Камчатского региона в целом и его отдельных тектоно-географических зон за период детальных наблюдений. Показано, что аксиоматика А.Н. Колмогорова может применяться для среднесрочного прогнозирования времен возникновения сильных землетрясений для каждого из выделенных 12-ти районов Камчатской сейсмоактивной области.

В качестве краткосрочных предвестников сильных землетрясений рассмотрены ионосферные возмущения, формирующиеся в разных областях ионосферы и магнитосферы и возникающие за несколько дней или часов перед сильными землетрясениями. Автором также приводится обзор современных представлений о литосферно-ионосферных связях и механизмах передачи возмущений от литосферных источников к ионосфере.

В **главе 2** рассмотрена вероятностная модель сейсмического режима Камчатского региона, на основе которой предложен способ расчета сейсмического параметра ξ_P и его аномальных значений, предшествующих землетрясениям с энергетическим классом $K_S \geq 13.5$. Выполнена оценка прогностической эффективности параметра ξ_P (надежность $R=0.8$, достоверность $V=0.42$ и эффективность по методике А.А. Гусева $J_G=1.66$), показывающая, что

этот параметр является полезным среднесрочным предвестником сильных землетрясений. Оценены периоды ожидания сильных землетрясений для 12-ти отдельных зон в пределах Камчатской сейсмоактивной области, составляющие первые годы.

В главе 2 рассматривается предложенная соискателем методика сейсмического прогноза, позволяющая на основе Байесовского подхода оценивать вероятность возникновения землетрясений с $K_S \geq 13.5$ и области их ожидания, определённые по результатам анализа аномальных значений параметра ζ_P для 12-ти областей. Материалы, представленные в главе 2, в полной мере обосновывают защищаемые положения 1 и 2.

В главе 3 на основе анализа поведения ионосферных параметров в течение часов – первых суток перед землетрясениями с $K_S \geq 13.5$ в радиусе до 500 км от пункта наблюдений выделен комплекс аномальных ионосферных возмущений, в т.ч. высыпание заряженных частиц из радиационных поясов в ионосферу (образование К-слоя), формирование диффузионного спорадического слоя Es-spread и спорадического слоя Es типа r, превышение значений критической частоты foF2 ионосферного слоя F2 над медианными значениями в периоды возмущённого состояния магнитосферы (определяемыми по магнитным измерениям), формирование диффузионного слоя F2 (F2-spread) и расслоение слоя F2 по частоте и высоте. С использованием сравнительного анализа оценок прогностической эффективности каждого из указанных параметров были выбраны четыре предвестника с наибольшими эффективностями. Проявление на близком временном интервале как минимум трёх из четырёх рассматриваемых ионосферных параметров было выбрано в качестве условия для объявления начала периода ожидания сильного землетрясения в течение времени до пяти суток.

Совместный анализ проявления аномалий сейсмического параметра и комплекса ионосферных предвестников в весенние и осенние сезоны за период $T1=2013-2018$ гг. и за полный период $T2=2015-2018$ гг. показал, что эффективность прогноза землетрясений с $K_S \geq 13.5$ за периоды $T1$ и $T2$ составили соответственно $J_G = 2.25$ и $J_G = 2.74$. Полученные величины J_G свидетельствуют о том, что прогноз сильных землетрясений по данной методике является статистически значимым и более чем в два раза превышает результативность случайного угадывания землетрясений для заданного пространства и энергетического уровня сейсмических событий. Это позволяет использовать предложенную автором методику для прогноза сильных землетрясений в пределах большей части Камчатской сейсмоактивной зоны в совокупности с другими сейсмопрогностическими данными.

Материалы, представленные в главе 3, в полной мере обосновывают защищаемые положения 3 и 4.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационного исследования.

Научная новизна и практическая значимость результатов диссертационного исследования не вызывает сомнений.

На основе вероятностного представления каталога землетрясений полуострова Камчатка получен новый сейсмический прогностический признак, позволяющий выделять аномалии сейсмического режима, произведена оценка его прогностической эффективности. На основе вероятностной модели сейсмического режима и Байесовского подхода с использованием распределения сейсмического прогностического признака построены карты ожидания и оценки вероятностей возникновения землетрясений с энергетическим классом $K_5 \geq 13.5$ для 12 районов Камчатской сейсмоактивной зоны.

Впервые для Камчатского региона произведена оценка прогностической эффективности ионосферных параметров и определено их наиболее информативное сочетание, которое может использоваться для уточнения времени сильных землетрясений с заблаговременностью до первых суток.

В работе А.В. Павлова обоснована целесообразность комплексирования вероятностного сейсмического признака подготовки сильных землетрясений с проявлениями информативных краткосрочных ионосферных предвестников, позволяющих уточнять расположение областей ожидания сильных Камчатских землетрясений по сейсмологическим данным, а также время их возникновения в рамках краткосрочного прогноза с заблаговременностью до первых суток.

Все четыре научных положения, выносимые на защиту, обоснованы в достаточной степени, подтверждаются фактическим материалом многолетних сейсмологических и ионосферных наблюдений, которые были соискателем корректно систематизированы, обработаны и проинтерпретированы с использованием разработанного им программного обеспечения. Достоверность результатов не вызывает сомнений и подтверждается достаточным объемом используемых данных, выполненными расчетами статистической значимости результатов ретроспективного прогнозирования сильных землетрясений Камчатки на основе сейсмического признака, ионосферных предвестников и их совокупности.

Замечания по диссертационной работе:

1. К недостаткам работы можно отнести не вполне корректную работу с литературой. В ряде случаев автор цитирует цитирующего автора, без указания первоисточников. Например, упоминая одно из положений современной тектоники плит, автор ссылается на кандидатскую диссертацию [Давиденко, 2013], которая точно не касается вопросов выделения основных литосферных плит.
2. Не вполне обоснованным является комплексирование землетрясений в прогнозные события в таблице 3.12 на странице 107. Например, события 4–6 могли бы с полным правом быть объединены в одно. То же самое касается событий 9–10, 11–12, 23–24. Все эти события произошли в течение одного периода ожидания с заданной продолжительностью 5 суток. Также не прояснен вопрос с учетом форшоков и афтершоков при ретроспективном анализе прогноза. Это должно сказаться на оценке эффективности.
3. При оценке диапазона периодов ожидания землетрясений (табл. 2.5, стр. 69) использовался, очевидно, некорректный статистический метод. Что привело к таким некорректным формулировкам как «период ожидания землетрясения ... составил 2.59 ± 2.91 лет», то есть нарушается принцип причинности, отрицательные значения времени ожидания недопустимы.
4. Досадным недостатком работы является отсутствие физического обоснования для предположения о равномерном распределении ионосферных предвестников с учетом их возможной миграции во времени и пространстве.
5. При разбиении исследуемого сейсмоактивного региона на элементарные ячейки (рис. 2.8), автор обоснованно объясняет выбор размера. Однако не объяснена сама схема деления, в которой нет привязки, например, к геологическим или тектоническим особенностям, или же к ярко выраженным особенностям сейсмического режима. Автор обходит стороной вопрос, как статистически обрабатывать события, размер очаговой области которых превышает размер элементарной ячейки. Не обсуждается вопрос о том, как обходиться с событиями вблизи границ ячеек, очаговая область которых может лежать в нескольких ячейках.
6. В литературном обзоре автор несколько увлекся подробным описанием сведений и положений, доступных в учебниках. В частности, подробного изложения аксиоматики Колмогорова следовало бы избежать и ограничиться ссылкой.

Несмотря на высказанные замечания, научный уровень работы соответствует предъявляемым требованиям.

Заключение

Диссертация Павлова Алексея Владимировича «Прогностические оценки области и временного периода ожидания сильных Камчатских землетрясений по данным сейсмического мониторинга и ионосферным аномалиям» является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, связанную с развитием методов среднесрочного и краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений в районе Камчатки с использованием комплекса данных сейсмического и ионосферного мониторинга.

В диссертации, автореферате и публикациях соискателя в достаточной степени аргументированы и обоснованы основные научные положения и выводы. Полученные результаты обладают научной новизной. Представленное исследование имеет прикладное значение в области среднесрочного и краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

Полученные результаты Павлова А.В. прошли апробацию на двадцати пяти всероссийских, международных научных конференциях и совещаниях. По теме диссертационной работы опубликованы 32 статьи, среди которых 3 статьи в научных рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК (из них 1 статья – по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых), 5 свидетельств программ ЭВМ, 1 свидетельство о регистрации баз данных, 1 монография, 5 статей в изданиях, индексируемых в базах WoS и Scopus, 16 статей, опубликованных в других изданиях и материалах конференций.

Эти научные публикации в полной мере отражают содержание исследований, основные выводы и защищаемые положения диссертации.

Таким образом, диссертационная работа Павлова А.В. соответствует критериям п. 9 - 11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842), «О внесении изменений в Положение о присуждении ученых степеней» (Постановление Правительства РФ от 21.04.2016 г. № 335), предъявляемым к кандидатским диссертациям, и является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение научной задачи, имеющей существенное значение для повышения уровня надежности прогноза землетрясений. Павлов Алексей Владимирович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв составлен и утвержден на заседании Ученого Совета ФИЦ ЕГС РАН 09 ноября 2020 г. (протокол №10).

Маловичко Алексей Александрович,
член-корреспондент РАН, д.т.н.,
научный руководитель ФИЦ ЕГС РАН



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр "Единая геофизическая служба Российской академии наук".

Адрес: 249035 Калужская обл., г. Обнинск, пр. Ленина, 189.

Тел.: +7(495) 912-68-72, +7(484) 393-14-05

Сайт: www.gstras.ru

Юджинь Алексей Александрович Маловичко
подтверждаю.
Начальник отдела кадров
Левин

