

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора физико-математических наук Быкова Виктора Геннадьевича о диссертационной работе Макарова Евгения Олеговича “Отклик в динамике подпочвенного радона на подготовку сильных землетрясений Камчатки и северо-западной окраины Тихого океана”, представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

Диссертационная работа Макарова Е.О. посвящена исследованию особенностей динамики объемной активности радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне, разработке и совершенствованию методики обнаружения и мониторинга геохимических предвестников сильных землетрясений полуострова Камчатка и северо-западной окраины Тихого океана.

АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Диссертационная работа Макарова Е.О. направлена, по сути, на решение двух проблем: выявление особенностей формирования предшествующих землетрясениям геохимических сигналов с целью сейсмического прогноза; выяснение физических механизмов распространения деформационных процессов в блоковой геологической среде, генерирующих аномалии объемной активности подпочвенного радона.

Перспективность мониторинга радоновых эманаций при прогнозе землетрясений и исследовании геодинамических процессов показана давно (Рудаков, 2009). Однако надежность этого метода часто подвергается сомнению вследствие того, что характер вариаций радона, связанных с сильными землетрясениями, неоднозначен и зависит от конкретных геологических условий расположения пунктов наблюдений и полей напряжений в период сейсмической активности. К тому же, анализ ретроспективного прогноза землетрясений по радоновым предвестникам в различных регионах Земли, указывает на их уникальность и невозможность их обобщения на другие районы. Кроме того, зачастую отсутствуют длительные наблюдения за динамикой объемной активности радона, включающие все этапы развития сейсмического процесса, в том числе регистрацию радонового фона до начала сейсмической активности. Хотя такие наблюдения имеют прямое отношение к оценке сейсмической опасности, что особенно важно для территории Камчатки.

Важнейшей проблемой современной геодинамики, непосредственно связанной с сейсмической активностью и генерированием аномалий объемной

активности подпочвенного радона, является выяснение физических механизмов распространения и перераспределения энергии деформационных процессов в геологической среде.

Блоковая структура земной коры и литосферы существенно влияет на деформационные, сейсмические, фильтрационные и другие процессы. Именно блоковая структура геологической среды приводит к генерированию волн различного типа, в том числе, медленных деформационных волн.

Косвенным признаком деформационных волн служит волновой характер миграции эпицентров землетрясений и аномалий геофизических полей (радоновых, электрокинетических сигналов), а к методам регистрации деформационных волн относятся временные вариации параметров сейсмических, геоэлектрических, геохимических полей.

Прямыми деформографическими измерениями во многих регионах мира выявлена миграция деформаций земной коры из зоны субдукции в сторону континента со скоростью порядка 10-100 км/год и 1-10 км/сут (Ishii et al. 1978; Kasahara 1979; Bella et al. 1990; Harada et al. 2003; Reuveni et al., 2014; Yoshioka et al., 2015).

Корреляция сейсмической и радоновой активности подтверждена многочисленными исследованиями и показывает, что сейсмичность и генерирование аномалий объемной активности подпочвенного радона управляются неким внутренним процессом и служат его проявлением на земной поверхности. Этим процессом может быть миграция деформаций в виде медленных волн.

Актуальность темы диссертации поэтому и определяется необходимостью разработки эффективной методики обнаружения и мониторинга предвестников землетрясений геофизическими и геохимическими методами; выявления основных причин, вызывающих аномалии объемной активности подпочвенного радона при подготовке сильных землетрясений полуострова Камчатка и северо-западной окраины Тихого океана; накопления новых фактов, признаков и проявлений миграции деформаций в геологической среде.

Цель диссертации – разработать методику регистрации и мониторинга подпочвенных газов для модернизированной сети пунктов наблюдений Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона и на этой основе исследовать динамику объемной активности радона и ее отклика на подготовку сильных землетрясений полуострова Камчатка и северо-западной окраины Тихого океана; подобрать физико-математические модели, соответствующие механизмам возникновения предвестников сильных землетрясений Камчатки; исследовать зависимость параметров предвестников землетрясений от их магнитуды.

Именно на решение этих и других фундаментальных проблем были направлены усилия автора.

Применение целого комплекса данных сейсмологии (оперативные каталоги землетрясений КФ ЕГС РАН и Национального центра информации о землетрясениях Геологической службы США), статистических методов

анализа временных рядов, методов математического моделирования, современных программных продуктов позволило соискателю разработать эффективную методику исследования вариаций объемной активности подпочвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне и их связи с сильными сейсмическими событиями, провести экспертную оценку этой методики путем сопоставления результатов расчетов с известными данными о сейсмичности, максимально надежно и точно рассчитать геохимические параметры геодинамического процесса, впервые обнаружить последовательное возникновение аномалий радоновых эманаций, вызванных прохождением деформационной волны.

НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ, СФОРМУЛИРОВАННЫХ В ДИССЕРТАЦИИ

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке эффективной методики исследования вариаций объемной активности подпочвенного радона на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне и способа оценки плотности потока радона с поверхности при его пассивной регистрации для оперативного определения чувствительности конкретной точки наблюдений; в выявлении краткосрочных аномалий подпочвенного радона, предшествующих землетрясениям с магнитудами более 5.5 и глубинами очагов менее 90 км. При этом обнаружены характерные относительные сдвиги, которые указывают на прохождение возмущений в виде уединенных волн со скоростью 14-144 км/сутки. Установлено, что скорость распространения деформационной волны в период подготовки Жупановского землетрясения ($M=7.2$; $H=177$ км; 30.01.2016 г.) была равна 250–270 км/сут. По результатам радонового мониторинга удалось дать краткосрочный прогноз времени и магнитуды этого землетрясения.

Обобщение известных и полученных соискателем результатов позволило обосновать вывод о деформационной природе радоновых предвестников сильных землетрясений Камчатки и северо-западной окраины Тихого океана.

В диссертации поставлены и решены конкретные задачи, получен ряд существенных результатов, основными среди которых могут быть выделены следующие.

В I главе дан краткий аналитический обзор исследований предвестниковых аномалий в динамике радона и анализ основных типов радоновых предвестников, рассмотрено влияние изменения напряженно-деформированного состояния геосреды на миграцию радона и механизмы его миграции к земной поверхности, приведены основные данные об особенностях и морфологии радоновых аномалий, их возможной физической природе, перечислены известные модели формирования радоновых предвестников в подземных водах и подпочвенном газе.

На основе этой информации сформулированы цель и задачи исследования.

Во **II главе** содержится описание сети пунктов наблюдений, системы мониторинга и аппаратурного комплекса для регистрации концентрации почвенных газов. Представлена схема сбора, хранения и обработки временных рядов концентрации подпочвенных газов. Обработка временных рядов измеряемых величин выполнялась с применением пакета обработки сигналов НПП “МЕРА” и пакета программ для сопровождения и анализа данных геофизического мониторинга WinABD. Представлены результаты методических и аппаратурных разработок в сети пунктов Петропавловск-Камчатского геодинамического полигона, выполненных соискателем как самостоятельно, так и при его участии. Убедительно показано, что предложенная соискателем методика пассивной регистрации объемной активности радона позволяет надежно выделять предвестниковые аномалии на фоне различных помех.

Наиболее значимые достижения соискателя представлены в **III главе**, где описаны основные результаты исследований отклика поля подпочвенного радона на подготовку сильных землетрясений региона.

На основе экспериментальных данных по морфологическим признакам выделены два основных типа аномалий, имеющих бухтообразную форму с длительностью от 3 до 15 суток или форму ступеньки с длительностью менее 1 суток, которые зарегистрированы перед землетрясениями в районе Авачинского залива. По мнению соискателя, возникновение таких синфазных аномалий объемной активности радона в нескольких пунктах регистрации может быть связано с прохождением уединенных деформационных волн, генерируемых квазипластическим течением геоматериала (крипом) в зоне субдукции.

Обоснованием такой точки зрения служат: а) совпадение рассчитанных моментов прихода вступлений выделенных аномалий с направлениями на эпицентры землетрясений; б) корреляция по времени с миграцией деформаций земной коры, фиксируемой наклономерной станцией.

По данным мониторинга скорость выделенных возмущений напряженного состояния земной коры равна 14 - 144 км/сут и по порядку величины сравнима со скоростью миграции деформаций (от 10 км/сут до 15-150 км/час) в виде крипа или медленного скольжения и сейсмического (тектонического) тремора, обнаруженных другими исследователями в нескольких Тихоокеанских зонах субдукции (Shelly et al., 2007; Shelly, 2010; Beroza, Ide., 2011) или со скоростью миграции деформаций земной коры (10-2000 км/год) из Японско-Курило-Камчатской зоны субдукции в сторону континента (Ishii et al., 1978; Kasahara, 1979; Сапрыгин и др., 1997; Yoshioka et al., 2015).

По результатам радонового мониторинга удалось дать краткосрочный прогноз времени и магнитуды глубокофокусного Жупановского землетрясения ($M=7.2$; $H=177$ км; 30.01.2016 г.). Скорость распространения деформационной волны в период подготовки этого землетрясения была равна 250 - 270 км/сут, что значительно превышает данные для района Авачинского залива.

Обобщение известных и полученных соискателем результатов позволило

прийти к заключению, что аномалии в динамике подпочвенного радона в форме трендов и продолжительных бухт являются следствием изменения напряженно-деформированного состояния геосреды Курило-Камчатского региона, связанного с подготовкой сильных землетрясений ($M > 7.5$) северо-западной окраины Тихого океана.

В IV главе исследована зависимость параметров радоновых предвестников (относительная амплитуда аномалии, длительность аномалии, время упреждения), зарегистрированных на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне в 1997-2015 гг., от магнитуды землетрясений и их эпицентрального расстояния. Сравнительный анализ установленных соискателем корреляционных зависимостей с аналогичными данными других исследователей для различных регионов земного шара, а также с корреляционными зависимостями зоны проявления деформационных предвестников северо-западной части Тихоокеанского сейсмического пояса указывает на связь радоновых предвестников с деформационными процессами.

Большой временной интервал длительности радоновых предвестников (от 0.5 до 1000 суток) и различное соотношение длительности аномалий и времени упреждения предполагают несколько механизмов генерации радоновых предвестников. Проведен подбор физико-математической модели для объяснения зарегистрированных бухтообразных¹ аномалий объемной активности радона. Оказалось, что для этой цели наилучшим образом подходит модель переноса радона в водной среде с полным поперечным перемешиванием (Dubinchuk, 1991). Применение известных решений указанной модели позволило соискателю рассчитать кривые для аномалий в двух пунктах наблюдений и получить методом подбора наилучшее сходство теоретических и экспериментальной кривых.

Отсюда следует, что аномалии такого типа связаны с изменениями пропускной способности гидрогеологической системы отдельного блока земной коры на последней стадии подготовки землетрясения, т.е. выявлен еще один предвестниковый признак.

ЗНАЧИМОСТЬ ДЛЯ НАУКИ И ПРАКТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Макарова Е.О. – заметный вклад в исследование особенностей формирования геохимических индикаторов геодинамических процессов и в развитие методики мониторинга предвестников землетрясений.

Выводы диссертации будут способствовать пониманию физики процесса подготовки сильных землетрясений и дальнейшей разработке физически содержательных моделей волновой динамики медленных деформационных процессов и сопровождающей их миграции естественных геофизических полей.

Практическая значимость научных результатов соискателя определяется возможностью их применения при решении фундаментальных задач

прикладного значения, связанных с оценкой сейсмической опасности, со средне- и краткосрочным прогнозом сильных землетрясений полуострова Камчатка и северо-западной окраины Тихого океана.

Разработанная методика регистрации и мониторинга подпочвенных газов на Петропавловск-Камчатском геодинамическом полигоне может быть с успехом применена в качестве основы для расчета параметров геодинамического процесса в других регионах земного шара.

ЗАМЕЧАНИЯ ПО РАБОТЕ

По тексту диссертации есть замечания, которые не снижают общего положительного впечатления о работе.

1. В диссертационной работе описан и используется только один метод регистрации подпочвенного радона. Известны и другие методы, выполнялось ли сопоставление?

2. Желательно пояснить, почему в поле подпочвенного радона не фиксируется косейсмический эффект.

3. Первый абзац раздела “2.8. Выводы к главе 2” не может быть охарактеризован как вывод квалификационной работы, т.к. не содержит новых научных результатов и научной новизны (С. 57).

4. Затруднительно понять смысл названия раздела 4.2 “Предвестниковые аномалии землетрясений . . .” (С. 110).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертация Макарова Е.О. является законченной научной квалификационной работой с практической значимостью. Содержание диссертации изложено ясно, в логически последовательной форме. Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК Российской Федерации.

В диссертации содержится решение ряда актуальных научных задач, имеющих существенное значение для развития наземных технологий обнаружения и мониторинга предвестников землетрясений; для выявления основных тенденций и особенностей динамики подпочвенного радона при подготовке сильных землетрясений полуострова Камчатка и северо-западной окраины Тихого океана.

Защищаемые положения являются новыми, полностью обоснованы результатами работы и получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии. Достоверность полученных результатов обеспечена корректностью постановки задач, применением современных приборов и технологий при долговременном мониторинге подпочвенного радона, расчетами автора, применением методов математического моделирования и анализа временных рядов, подтверждается сопоставлением с данными

сейсмологических и геофизических наблюдений, с результатами других исследователей.

Полученные в диссертации Макарова Е.О. результаты представлены в 27 публикациях, включая 8 статей в ведущих рецензируемых научных журналах (“Вулканология и сейсмология”, “Доклады Академии наук”, “Сейсмические приборы”) из Перечня ВАК Российской Федерации.

Автореферат диссертации и опубликованные работы достаточно полно отражают содержание диссертации и характеризуют соискателя как квалифицированного специалиста.

Диссертация соответствует критериям, установленным п. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней (утверждено постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842) для учёной степени кандидата наук.

Макаров Евгений Олегович заслуживает присуждения искомой степени кандидата физико-математических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

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

Заместитель директора по научной работе
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт тектоники и
геофизики им. Ю.А. Косыгина
Дальневосточного отделения
Российской академии наук
доктор физико-математических наук



Быков
Виктор Геннадьевич

680000, Хабаровск, ул. Ким Ю. Чена, 65.

Тел: +7 (4212) 22-71-89

E-mail: bykov@itig.as.khb.ru

Шифр специальности: 25.00.10.

12.09.2017г

Подпись д.ф.-м.н. В.Г. Быкова заверяю:

Помощник руководителя
по кадровым вопросам
Федерального государственного бюджетного
учреждения науки Институт тектоники и
геофизики им. Ю.А. Косыгина (ИТиГ)
Дальневосточного отделения
Российской академии наук
Тел: +7 (4212) 22-74-84



Павлова
Антонина Васильевна