

УТВЕРЖДАЮ

Директор КФ ФИЦ ЕГС РАН,

канд. физ.-мат. наук

Д.В. Чебров

«12» июня 2022 г.



## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

Камчатского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра "Единая геофизическая служба Российской академии наук" (КФ ФИЦ ЕГС РАН) на диссертационную работу

Бирюлина Сергея Викторовича

**«Пространственно-временные закономерности проявления аномалий  
объемной активности радона перед тектоническими землетрясениями в  
районе Южных Курил»,**

представленную на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 - Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

### **Актуальность темы исследований**

Диссертация Бирюлина Сергея Викторовича посвящена разработке методов прогнозирования землетрясений в районе Южных Курильских островов. Для этого автором диссертации используется метод мониторинга подпочвенного радона.

**Целью** диссертационного исследования С.В. Бирюлина является выявление пространственно-временных закономерностей связи между сейсмической активностью и предшествующими аномалиями объёмной активности радона. Аналогичные исследования, основанные на данных мониторинга вариаций различных геофизических и геохимических полей, включая радоновый мониторинг, широко проводятся в сейсмоактивных регионах мира. Полученные в мировой практике результаты позволяют рассматривать данные мониторинга

объемной активности радона (ОАР) в качестве перспективного метода поиска предвестников землетрясений.

Поэтому тема диссертационной работы Бирюлина С.В., несомненно, является актуальной, а решаемые в работе задачи представляют научный и прикладной интерес.

### **Структура и содержание работы**

Диссертация С.В. Бирюлина объемом 137 страниц включает 59 рисунков, 4 таблицы, состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 177 наименований. Работа хорошо структурирована и изложена.

Во **введении** приводится характеристика диссертации, определяется актуальность исследований, сделан обзор опубликованных работ предшественников в области поиска взаимосвязей между землетрясениями и предшествующими аномалиями радона, а так же обзор известных представлений о процессе подготовки землетрясений. Сформулированы цель и задачи исследования.

**В первой главе** представлен достаточно подробный обзор ранее выполненных исследований, основной целью которых являлся поиск взаимосвязей между землетрясениями и предшествующими аномалиями радона, и обзор известных представлений о процессе подготовки землетрясений. В результате анализа большого числа публикаций автором диссертации для своей работы выбран и обоснован метод поиска аномальных вариаций концентрации радона в почвенном воздухе.

**Во второй главе** рассмотрены геодинамическая, геофизическая и геологическая характеристики Южно-Курильского региона.

**Третья глава** посвящена описанию аппаратного и методологического обеспечения исследований. Приводится методика проведения радонового мониторинга, основанная на принудительной откачке почвенного воздуха, содержащего радон, в камеру детектора. Путем сопоставления диффузионного и адвективного способа измерений радона в почвенном воздухе показана обоснованность выбора метода регистрации.

Подробно рассмотрены причины возникновения радоновых аномалий по данным литературных источников.

В четвертой главе рассмотрены пространственные закономерности проявления землетрясений в сопоставлении с эволюцией аномалий ОАР. Так же автором, на основе эксперимента, показано, что породы андезит-базальтового состава наиболее пригодны для проведения длительного мониторинга ОАР с точки зрения изменения их проницаемости при возникновении деформаций, сопровождающих развитие очага землетрясения.

В заключении приводятся выводы по результатам исследования.

#### **Научная новизна исследований и основных результатов**

К научным результатам, обладающим новизной и практической значимостью, можно отнести:

- оценку радиуса зоны проявления предвестников в изменениях ОАР и применения геодинамического критерия  $K=M/\lg R \geq 2.5$ , где  $M$  – магнитуда землетрясения,  $R$  – расстояние от эпицентра землетрясения до станции мониторинга, км;

- разработку методики выделения предвестниковых аномалий в изменениях ОАР, в которой в качестве аномального рассматривается временной интервал, содержащий не менее трех последовательных значений ОАР (при четырехчасовых измерениях), превышающих предшествующий аномалии фоновый уровень более чем в два раза;

- результаты сопоставления данных мониторинга ОАР за более чем семилетний период с сейсмическими событиями, произошедшими на расстояниях до 500 км от станции мониторинга Южно-Курильск, показывают:

- всем 36 землетрясениям, соответствующим геодинамическому критерию  $K \geq 2.5$ , предшествовали аномалии ОАР;

- большое количество землетрясений с  $M < 5.6$  на расстоянии  $< 200$  км от станции мониторинга и землетрясений с  $M > 6$  на расстоянии свыше 200 км не соответствуют критерию  $\geq 2.5$ , вместе с тем таким землетрясениям также предшествовали радоновые аномалии: для критерия  $K \geq 2.2$ , аномалиями ОАР предварялись 88 из 90 произошедших землетрясений., для геодинамического

критерия  $K \geq 2$ , перед 89% произошедших землетрясений (148 из 166) в изменениях ОАР наблюдались аномалии;

- наиболее предпочтительным при анализе аномалий ОАР использовать критерий  $K \geq 2$ ;

- сейсмические события происходят только после экстремума аномалии ОАР, при этом время от экстремума аномалии ОАР до момента землетрясения зависит от расстояния места мониторинга до эпицентра, что позволяет оценивать опасность возможного землетрясения.

**Достоверность** выполненной работы обеспечена корректностью постановки задач, обоснована большим объёмом данных, полученных в результате проведения мониторинга, лабораторных и натурных экспериментов, их соответствием известным теоретическим представлениям, использованием современных методик, аппаратуры и средств, адекватных поставленным целям и задачам.

**Значимость для науки и практики результатов, полученных автором диссертации**, связана с подтверждением прогностических возможностей метода длительного мониторинга радона для поиска предвестников землетрясений. Разработка эффективной методики наблюдения и интерпретации радоновых аномалий в перспективе позволит увеличить вероятность успешного прогноза землетрясений в комплексе с другими методами.

Исследования связи динамики ОАР с сейсмичностью представляет научный и практический интерес для понимания физики возникающих радоновых аномалий, а так же является важной основой для разработки методов прогноза сильных землетрясений. Полученные соискателем закономерности позволяют оценивать отражение процесса подготовки тектонических землетрясений в вариациях ОАР в зависимости от расстояния между станцией мониторинга и будущим эпицентром, что, несомненно, очень важно для практики прогноза.

**Автором на защиту вынесены следующие положения:**

1. Разработана методика сопоставления радоновых аномалий, полученных с применением адвективного способа доставки почвенного воздуха к детектору, с произошедшими тектоническими землетрясениями в радиусе 500 км от станции мониторинга в Южно-Курильске;

2. Для геолого-тектонических условий Южных Курил, установлено, что тектонические землетрясения, для которых отношение магнитуды к логарифму расстояния до эпицентра больше или равно 2 отмечаются в аномалиях объёмной активности радона (ОАР) после экстремума, что можно рассматривать в качестве прогностического критерия;

3. Для геолого-тектонических условий Южных Курил островов, установлено, что рассмотренные тектонические землетрясения: «ближней зоны» (расстояние от эпицентра до станции мониторинга <130 км) и «дальней зоны» (расстояние от эпицентра до станции мониторинга >180 км), отражаются на разных участках аномалии ОАР.

#### **Замечания по диссертационной работе:**

1. Во введении автор пишет: *«Неоднозначные результаты получены по времени проявления радоновых аномалий, предшествовавших землетрясениям. Перед землетрясением Тохоку аномалии ОАР наблюдались за несколько недель, а перед сейсмическим событием в Л'Акуиле за сутки»*. Из текста введения неясно, в чем именно неоднозначность и почему автор это выделяет. В случае этих совершенно разных по своим энергетическим масштабам событий аномальные вариации в ОАР, несмотря на удаленность точки наблюдений от эпицентра землетрясения Тохоку, могли возникнуть за недели до события. А перед землетрясением в Италии за сутки. В работах (Tsunomori et al., 2011; Фирстов, Макаров, 2018) приведены примеры долго и среднесрочных радоновых аномалий перед мегаземлетрясением Тохоку с временем упреждения 28 суток, 4.5 месяца и 8 месяцев.

2. В третьей главе автором закономерно отмечено, что при анализе данных и попытках выделения аномальных участков на кривых ОАР, перед исследователем возникает очень сложная задача отбраковки ложных аномалий. Такие аномалии могут быть связаны с изменениями условий регистрации, воздействием метеопараметров, изменениями в работе регистрирующей аппаратуры. К сожалению, в работе не исследовано влияние вариаций метеорологических величин на динамику подпочвенного радона для выбранных пунктов регистрации. Нет анализа сезонных вариаций, оценок влияния вариаций атмосферного

давления, температуры, ветровой нагрузки на кривые ОАР. Подобный анализ мог бы продемонстрировать преимущества или недостатки адвективного метода регистрации радона в сопоставлении с диффузионным.

3. Еще одним замечанием к главе 3 является некоторая небрежность оформления, проявившаяся в черно-белых рисунках в диссертации, тогда как в тексте автор указывает на разный цвет участков кривой ОАР. Это затрудняет восприятие сведений, приведенных в главе.

4. Некоторые выделенные автором аномалии сложно считать таковыми, например, участок кривой под номером 2 на рисунке 31. Подобные малоамплитудные вариации ОАР, в случае отнесения их к аномальным, необходимо подтвердить параметрами аномалии (превышение фона и т.д.), что не сделано.

5. В четвертой главе выполнены оценки времени проявления тектонического события после максимума регистрируемой аномалии ОАР, выделены условные «ближняя», «дальняя» и «промежуточная» зоны. Механизмы возникновения радоновых аномалий, по мнению автора, определяются для ближней зоны вытеснением дополнительного (аномального) радона из порового пространства, а в дальней зоне наоборот, выходом избыточного радона вследствие растяжения и трещинообразования в породах. Можно предположить, что такие разные процессы, приводящие к возникновению аномалий, должны по разному отражаться в их длительности, но этот вопрос не рассмотрен в диссертации.

6. В диссертационной работе при анализе данных используются лишь эпицентральные расстояния. Однако, для тектонических землетрясений в зоне субдукции возможны ситуации, когда возникают большие расхождения между эпицентральным и гипоцентральным расстояниями. В частности, появление землетрясения под пунктом регистрации радона, когда эпицентральное расстояние ничтожно мало, а гипоцентральное определяется большой глубиной ( $> 130$  км). Данная проблема в диссертации не отражена.

7. В качестве общего замечания следует указать на большое количество орфографических и пунктуационных ошибок, затрудняющих восприятие материала. Вместе с тем, указанные замечания не снижают научной и практической значимости исследования.

## **Заключение**

Диссертация Бирюлина Сергея Викторовича «Пространственно-временные закономерности проявления аномалий объёмной активности радона перед тектоническими землетрясениями в районе Южных Курил» является законченным научным исследованием, выполненным на актуальную тему, связанную с поиском предвестников сильных землетрясений в районе Южных Курил.

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. Автореферат полностью и правильно отражает основное содержание диссертации.

Диссертация оформлена в соответствии с требованиями ВАК Российской Федерации. В работе 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 почвенного радона при подготовке землетрясений. Защищаемые положения являются новыми, полностью обоснованными результатами работы и получены автором самостоятельно или при его непосредственном участии.

Полученные результаты С.В. Бирюлина прошли апробацию в рамках девяти региональных, всероссийских, международных научных конференций и совещаний. По теме диссертации опубликовано 14 статей, 6 из которых в журналах, входящих в перечень рекомендуемых ВАК Российской Федерации. Эти научные публикации в полной мере отражают содержание исследований, основные выводы и защищаемые положения диссертации.

Таким образом, диссертационная работа С.В. Бирюлина «Пространственно-временные закономерности проявления аномалий объёмной активности радона перед тектоническими землетрясениями в районе Южных Курил» 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. Бирюлин Сергей Викторович, заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых.

Отзыв составлен и утвержден на заседании Ученого совета Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской Академии наук» 29 июня 2022 г., протокол № 89.

Старший научный сотрудник Камчатского филиала Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН»,  
кандидат физ.-мат. наук

**Макаров Евгений Олегович**

683006, г. Петропавловск-Камчатский,

Б-р Пийпа Б.И., д. 9

Тел.: 8-(4152) 43-18-03

E-mail: ice@emsd.ru

Подпись сотрудника Е.О. Макарова заверяю  
Начальник отдела кадров Камчатского филиала  
Федерального исследовательского центра  
«Единая геофизическая служба РАН»,

**Т.Л. Мамонова**



29 июня 2022 г.