

## ОТЗЫВ

Официального оппонента

**Писецкого Владимира Борисовича**

на диссертационную работу

Бирюлина Сергея Викторовича

### **«ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ОБЪЁМНОЙ АКТИВНОСТИ РАДОНА ПЕРЕД ТЕКТОНИЧЕСКИМИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯМИ В РАЙОНЕ ЮЖНЫХ КУРИЛ»**

Представленной к защите по специальности 25.00.10 — «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых».

Автором предоставлены диссертация и автореферат на соискание учёной степени кандидата геолого-минералогических наук. Автореферат объёмом 14 страниц включает введение, четыре главы и заключение. Автореферат чётко структурирован. Информация представлена последовательно, в явном виде обозначены предмет и объект исследования, цель и задачи.

**Цель выполненной диссертационной работы** заключалась в выявлении пространственно-временных закономерностей и связей между сейсмической активностью и предшествующими аномалиями объёмной активности радона (ОАР), выделенных на основе данных анализа данных полученных на станциях мониторинга, располагающихся на территории Южно-Курильского геодинамического полигона.

**Автором были поставлены следующие задачи:**

- разработка методики выделения аномалий радона и обработки результатов мониторинга ОАР с учетом геодинамических условий Южно-Курильского полигона
- выполнение ретроспективного статистического анализа аномалий радона, полученных с 2011 по 2018 гг. и сопоставление их с тектоническими событиями, произошедшими за аналогичный период в выделенной эпицентральной зоне
  - поиск и анализ закономерностей между землетрясениями и аномалиями кривых ОАР
  - оценка связи времени проявления землетрясений и кривых аномалий ОАР
  - оценка связи землетрясений и кривых аномалий ОАР в зависимости от расстояния между станцией мониторинга и эпицентром.

### **Актуальность исследования:**

Актуальность выполненного исследования не вызывает сомнений. Радон может рассматриваться, как вероятный предвестник землетрясения, и имеющий для этого физическое обоснование и ряд преимуществ по сравнению с другими вероятными предвестниками. На сегодняшний день результаты выполненных ранее радоновых исследований не могут чётко позиционировать радон, как вероятный предвестник тектонического землетрясения. С одной стороны, приведённые примеры показывают, что проявление сейсмического события в кривых объёмной активности радона зависит от геологических и геодинамических условий конкретного региона, а с другой, существенную роль, при интерпретации полученных результатов, играют применяемая методика измерений и аппаратура. Поэтому актуальной становится задача анализа результатов длительных мониторинговых радоновых наблюдений для районов с одинаковыми геологическими и геодинамическими условиями, по которым можно определить пространственные и временные закономерности отражения тектонических событий в поле радона.

Для получения статистически значимых пространственных и временных закономерностей поведения ОАР перед землетрясениями, в рамках диссертационной работы проводился анализ результатов многолетних мониторинговых наблюдений ОАР с адвективного способа доставки почвенного воздуха к детектору, который имеет целый ряд несомненных преимуществ, в одном из самых сейсмоактивных районов мира — Южные Курилы.

### **Научная новизна**

Для интерпретации полученных результатов была разработана методика выделения аномалий и их сопоставления с землетрясениями. При анализе всех наблюдаемых аномалий с применением разработанной методики получен высокий процент отражения землетрясений в кривых аномалий ОАР — 89% (148 из 166).

В ходе исследования установлено, что события происходят только после экстремума аномалии ОАР. Время от экстремума аномалии ОАР до момента землетрясения зависит от расстояния точки наблюдения до эпицентра. Данное обстоятельство позволяет оценивать опасности возможного землетрясения.

Установленная диссертантом зависимость между аномалиями радона (ОАР) и землетрясениями объясняет, полученную многими учёными, неоднозначную связь между радоном и сейсмическими событиями. Выполненные исследования показали, что для получения достоверных результатов, шаг измерений объёмной активности радона не должен превышать нескольких часов.

Показана применимость, выдвинутых ранее для горных ударов, предположений о наличии изгибовых деформаций в процессе подготовки землетрясений.

### **Теоретическая и практическая значимость работы.**

Автором получены результаты длительного мониторинга ОАР, которые подтверждают прогностические возможности радона, как предвестника землетрясений. Разработка эффективной методики наблюдения и интерпретации радоновых аномалий в перспективе позволит увеличить вероятность успешного прогноза землетрясений в комплексе с другими методами.

### **Содержание, оформление и автореферат**

Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка литературы из 271 наименования. Основное содержание изложено на 137 страницах. В работе 59 рисунков и 4 таблицы.

**В первой главе** приводится обзор ранее выполненных исследований, основной целью которых являлся поиск взаимосвязи между землетрясениями и предшествующими аномалиями радона, и обзор известных представлений о процессе подготовки землетрясений.

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

**В третьей главе** описана методика проведения радоновых наблюдений на территории Южно-Курильского полигона, разработанная методика выделения аномалий ОАР и их сопоставление с зафиксированными землетрясениями. Приведены результаты сопоставления радоновых аномалий и землетрясений, удовлетворяющих различным геодинамическим критериям (отношения магнитуды события к логарифму расстояния до эпицентра). Выявлен наиболее подходящий геодинамический критерий для радонового мониторинга:  $M/\lg R \geq 2.2$ . Рассматриваются теоретические основы генерации радона и его миграции в земной коре, математические модели диффузии  $R_n$ , гипотезы образования радоновых аномалий, их типы и ранее полученные прогнозные отношения, связывающие различные параметры землетрясений. По ранее разработанной методике исследования распределения землетрясений по времени подтверждена закономерность между наблюдаемыми тектоническими событиями и предшествующими радоновыми аномалиями. Показано, что все рассмотренные землетрясения, удовлетворяющие геодинамическому критерию больше 2 произошли после экстремума предшествующей аномалии, при применении разработанной методики сопоставления.

**В четвёртой главе** автором приводится оценка проявления тектонических событий на различных участках кривой аномалии ОАР в зависимости от расстояния между

эпицентром и станцией мониторинга и азимутальная оценка распределения землетрясений, которым предшествовали радоновые аномалии.

**В заключении** приводятся полученные результаты и их возможные применения:

Изучение аномалий почвенного радона представляет особый интерес, как вероятный предвестник сейсмических землетрясений. Разработка эффективной методики наблюдения и интерпретации радоновых аномалий в перспективе позволит увеличить вероятность успешного прогноза землетрясений в совокупности с другими методами.

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.

С точки зрения перспектив проведённого исследования дальнейшая работа в направлении мониторинга ОАР может быть улучшена организация передачи данных по удалённым каналам связи в режиме онлайн, что позволит оперативно оценивать изменяющуюся тектоническую ситуацию. Также увеличение частоты опробования ОАР позволит эффективнее отслеживать изменения с большей детализацией, с учётом того, что такую возможность обеспечивает применение адвективного способа доставки  $R_n$  к детектору.

Ещё одним важным шагом является расширение сети наблюдательных станций, что возможно позволит получить дополнительную информацию о направлении на эпицентр готовящегося события и его магнитуде.

#### **Замечания по работе**

В качестве замечаний к представленной работе следует отметить следующее:

1. Недостаточно проанализированы выполненные ранее работы по прогнозу землетрясений применительно к Курильским островам, в частности исследования Монахова. По его инициативе была создана сеть наблюдательных скважин на Курильских

островах. Стоило упомянуть и работы Павленко, Чеботаревой и Николаева (ИФЗ РАН им О.Ю. Шмидта) по микросейсам и, в основном, направление Мячкина от туда же, связанное с моделью деструкции очага землетрясений.

2. В работе не проанализированы результаты исследований, выполненных в Петропавловске-Камчатском, где радоновые измерения проводятся достаточно давно и получены оригинальные результаты применительно к Камчатскому региону.

3. Автор практически не затронул результаты сейсмических методов для целей прогноза землетрясений. В Институте морской геологии и геофизики ДВО РАН работает компетентный коллектив исследователей, занимающихся вопросами прогноза сейсмических событий. В частности, используется метод соморазвивающихся процессов (СРП), разработанный Малышевым А.И.

4. Автор, при выборе радиуса охвата зарегистрированных событий, использовал отношение магнитуды к логарифму расстояния больше или равно 2.5. Но по его исследованиям для радоновых исследований в условиях Южных Курил предпочтительнее отношение больше или равно 2. Тем более, что для варианта дискретной структуры земной коры на разных масштабных уровнях блоковых схем (Садовский), вполне возможно, что при таком критерии увеличится радиус и соответственно количества рассматриваемых землетрясений. Тогда возможно процент отражения землетрясений в кривых ОАР будет больше, чем 89 процентов, хотя опыт функционирования сети сейсмического и газового мониторинга в Калифорнии за последние 15 лет составил уровень детерминации 53%.

Представленные замечания не являются критическими и несколько не снижают ценности работы, выполненной соискателем.

#### **Общее заключение**

Представленная на отзыв диссертация является законченным актуальным и оригинальным исследованием, которое полностью соответствует паспорту специальности 25.00.10 «Геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых», по пунктам: 14. методы обработки и интерпретации результатов измерения геофизических полей; 22. теоретическое и экспериментальное исследование связей петрофизических и физических свойств горных пород с результатами измерения геофизических полей. По моему мнению автор работы Бирюлин Сергей Викторович заслуживает присвоения учёной степени кандидата геолого-минералогических наук.

Заведующий кафедрой геоинформатики  
Уральского государственного горного университета  
Заслуженный геолог Российской Федерации  
Доктор геолого-минералогических наук

Писецкий В.Б.

15.06.2022

Я, Писецкий Владимир Борисович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой Диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.

Писецкий В. Б.

Подпись Писецкого В.Б. заверяю:

Нач. ОК УГГУ



15.06.2022