ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
ԵՐԿՐԱԲԱՆԱԿԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ղազարյան Արմեն Էդուարդի

ԵՐԿՐԱԴԻՆԱՄԻԿԱԿԱՆ ԵՎ ՍԵՅՍՄԻԿ ԱԿՏԻՎՈՒԹՅԱՆ ԱՐՏԱՑՈԼՄԱՆ ՕՐԻՆԱՉԱՓՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ՏՐԱՆՍԿՈՎԿԱՍՅԱՆ ՏԱՐԱԾԱՇՐՋԱՆԻ ԵՐԿՐԱՔԻՄԻԱԿԱՆ ԴԱՇՏԵՐՈՒՄ

ԻԴ.01.01 «Ռեգիոնալ երկրաբանություն, երկրատեկտոնիկա, հնէաբանություն և շերտագրություն» մասնագիտությամբ երկրաբանական գիտությունների թեկնածուի գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2013

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ АРМЕНИЯ
ИНСТИТУТ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ НАУК

Казарян Армен Эдуардович

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОТРАЖЕНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ И СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПОЛЯХ ТРАНСКАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата геологических наук по специальности 24.01.01 –«Региональная геология, геотектоника, палеонтология и стратиграфия»

ЕРЕВАН-2013

Ատենախոսության թեման հաստատվել է ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտում

Գիտական ղեկավար՝ երկր.-հանք.գիտ. թեկնածու Վ.Ա.Իգումնով

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
երկր.-հանք. գիտ. դոկտոր Ս.Ն.Նազարեթյան
ֆիզ.-մաթ. գիտ. թեկնածու Ա.Ռ.Առաքելյան

Առաջատար կազմակերպություն՝ Թբիլիսիի Ջավախիշվիլու անվան Պետական համալսարան, Երկրաֆիզիկայի ինստիտուտ

Ատենախոսության պաշտպանությունը կայանալու է 2013թ. հունիսի 4-ին, ժամը 13:00, ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի թիվ 054 «Երկրաբանություն» Մասնագիտական խորհրդում:
Հասցեն՝ 0019, Մարշալ Բաղրամյան պող., 24ա:

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ՀՀ ԳԱԱ Երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 03.05.2013թ.

Թիվ 054 «Երկրաբանություն» Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,երկր.-հանք. գիտ. թեկնածու Հ.Վ.Շահինյան

Тема диссертации утверждена в Институте геологических наук НАН РА

Научный руководитель: кандидат геол.-мин. наук В.А. Игумнов

Официальные оппоненты:
доктор геол.-мин. наук С.Н. Назаретян
кандидат физ-.мат. наук А.Р. Аракелян

Ведущая организация: *Тбилисский Государственный университет* им. Джавахишвили, Институт геофизики

Защита диссертации состоится 4 июня 2013 г. в 13:00, на заседании Специализированного совета 054 "Геология" Института геологических наук НАН РА Адрес: 0019, Ереван, пр. Маршала Баграмяна, 24а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ИГН НАН РА.

Автореферат разослан 03.05.2013г.

Ученый секретарь Специализированного совета 054 "Геология", *кандидат геол.-мин. наук* Г.В. Шагинян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Данная работа выполнена на основе наблюдений за изменениями химического состава подземных вод в самоизливающихся скважинах на территории Армении. Наблюдения охватывают период с 1979 по 1994 год. Исследовалась взаимосвязь химического состава воды и сейсмической активности. Изучалась реакция химического состава воды на сильные сейсмические события, произошедшие в период наблюдений в регионе, охватывающем большую часть зоны континентальной коллизии Аравийской плиты и Русской платформы.

На основе анализа статистических характеристик этих измерений выявлены устойчивые геохимические аномалии, предваряющие сильные землетрясения. Выявлено два различных типа геохимических аномалий:

1. Первый тип аномалий описан впервые и назван «геохимическое затишье». Он представляет собой уменьшение дисперсии химических компонентов воды в наблюдаемых скважинах, расчитываемый в скользящим временном окне. Аномалия характеризуется продолжительностью и постоянством проявления перед сильными землетрясениями в регионе.
2. Второй вид геохимических аномалий представлен в виде локальных максимумов содержания гелия в воде наблюдательных скважин и сопряжен с началом появления первого вида аномалий. Установлена устойчивая связь между этими двумя видами аномалий и сильными землетрясениями в регионе.

Проведён анализ сейсмичности региона исследований и выявлен ЦИКлический характер сейсмической активности. Выделены полусуточный, суточный, 14-и и 28-дневные циклы активизации сейсмических событий. Определен характер процессов геодинамической активизации в регионе, предваряющих сильные сейсмические события.

Работы проводились в рамках программы по изучению геохимических предвестников землетрясений в лаборатории Армянской научно-исследовательской Геохимической станции Института геохимии и аналитической химии (ГЕОХИ) АН СССР и продолжились в Национальной службе сейсмической защиты Армении с 1982 по 1994 гг.

Актуальность исследований. Исследования, направленные на выявление связи процессов геодинамической и сейсмической активизации с химическим составом подземных вод являются одной из актуальных задач в исследованиях землетрясений. Эти исследования имеют важное научное и практическое значение в понимании процессов подготовки сильных сейсмических событий. Конечной целью этих исследований является выяснение природы связи между геодинамической активностью и процессом подготовки сильного землетрясения. Результаты подобных исследований могут использоваться в качестве основы для более детального изучения характера природных процессов, сопутствующих подготовке сильного сейсмического события.

В последнее время урон, наносимый землетрясениями, стал особенно ощутимым в связи с возрастающей урбанизацией стран региона. В связи с этим

вопросы изучения процессов подготовки сейсмических событий и сопряжённых с ними изменений геодинамической активности становятся более актуальными. Более глубокое понимание данных процессов поможет приблизиться к конечной цели – возможности предварительных расчётов места, времени и интенсивности предстоящего землетрясения.

Работы по выявлению закономерности отражения процессов геодинамической и сейсмической активизации при гидрогеохимических наблюдениях являются начальной стадией длительного процесса исследований в этом направлении и представляются крайне важной и актуальной задачей.

Методика исследований

Изучались изменения химического состава подземных вод наблюдательных скважин «Каджаран», «Арарат» и «Суренаван», проводилось их сопоставление с сейсмическими событиями. Анализ и отбор гидрохимических проб производился по единой методике в процессе всего исследования. Были осуществлены методические работы по исключению загрязнения отбираемых проб и увеличению точности химического анализа. В число таких работ входили: тщательная промывка и подготовка посуды для пробоотбора, постоянный отбор и анализ контрольных проб, проведение внутрилабораторного и межлабораторного контроля химических анализов, калибровка аналитических приборов по эталонным образцам и др. С помощью этих методических работ точность и воспроизводимость химических анализов была доведена до 2-3%.

В работе использовались различные методы статистического анализа временных изменений геохимических параметров и пространственно-временного распределения сейсмических событий. Построены диаграммы распределения сейсмических и геохимических данных. Для их изучения использовались методы спектрального математического анализа и периодограммы.

В работе впервые были представлены суточные и месячные гистограммы сейсмичности, характеризующие вариации геодинамической и сейсмической активности в течение суток - 24 часов и сидерического месяца - 28 суток.

Для нахождения оптимизированных алгоритмов выявления геохимиических аномалий написаны пакеты прикладных компьютерных программ обработки данных в среде МАТЛАБ. Осуществлены сопоставления гидрогеохимических наблюдений и сейсмичности с целью обнаружения устойчивых, статистически значимых индикаторов изменения характера геодинамической активности.

Цель работы. Целью работы является определение связи между процессами сейсмической и геодинамической активности с изменениями химического состава подземных вод наблюдательных скважин.

Попытки частичного анализа представленного в данной работе фактического материала с целью выявления аномалий, предваряющих сильные землетрясения уже производились рядом исследователей: С. Баласанян (2000), А. Беляев (1993), Войт (2004), А. Игумнов (1995), Леонарди (1997), Г. Петросян (2009), и др. В данной работе сделана попытка выявления и изучения характера

подобных аномалий на основе более глубокого анализа данных, переосмысление собранного материала в более полном объёме и его интерпретация с точки зрения нелинейной динамики процесса подготовки сильных сейсмических событий. Такой подход частично был предложен ранее А. Беляевым (1992), на основе изучения флуктуаций содержания гелия в воде наблюдательных скважин в Средней Азии и Армении. Длительный гидрогеохимический мониторинг наблюдательных пунктов и использование статистических методов для выявления отражения процессов геодинамической активизации в регионе открывают новые возможности для более глубокого понимания их взаимосвязи.

Задачи работы. Для достижения цели работы были решены следующие задачи:

1. Выявление на основе математического анализа геохимических рядов наблюдений статистически значимых закономерностей изменения гидрогеохимических параметров, устойчиво предваряющих сильные землетрясения;
2. Выделение статистически значимых критериев, отражающих динамику процесса сейсмической активизации в регионе в кратковременном масштабе;
3. Представление формальной физической модели связи геодинамической активности с газовым и химическим составом подземных вод;
4. Выделение характерных особенностей геодинамической и сейсмической активизации перед сильными землетрясениями в регионе;
5. Определение перспективных направлений и рекомендаций для продолжения исследований в данном направлении.

В работе также сделана попытка определения природы выделенных предвестниковых флуктуаций и предложено объяснение физического механизма связи наблюдаемых закономерных изменений с процессами подготовки землетрясений.

Научная новизна работы. В итоге проведённых исследований получены следующие новые результаты:

- Выделены два новых типа геохимических аномалий перед сильными землетрясениями:

  1- уменьшение дисперсии макрокомпонентного состава подземных вод в наблюдательных скважинах,

  2- достижение значений содержаний гелия, растворённого в воде наблюдательных скважин до локального максимума.
- Выявлена связь между изменением газового и макрокомпонентного состава воды наблюдательных скважин.
- Выявлена связь между появлением геохимических аномалий и возрастанием сейсмической активности в регионе. Выделена связь между изменением во времени некоторых статистических параметров гидрогеохимического состава воды с сейсмичностью.
- Впервые показано, что сейсмическая активизация в регионе имеет устойчивые - полусуточный и суточный периоды колебаний.

- Впервые показано, что периоды сейсмической активизации связаны также с полупериодом и полным периодом сидерических лунных суток (28 дней).
- Выявлена связь изменения геохимического и газового состава вод наблюдательных скважин с процессами сейсмической и геодинамической активности в регионе.

Новой в работе является также методология графической и статистической обработки рядов сейсмических и гидрогеохимических наблюдений. Впервые использованы суточные гистограммы сейсмической активности для выявления особенностей динамики сейсмического режима в регионе.

Структура работы. Работа состоит из введения и семи глав, а также выводов и заключения, содержит 36 рисунков и 8 таблиц, она представленна на 134 страницах текста с приложением. В первой главе дано краткое описание современного состояния вопроса выделения различных аномалий перед сильными землетрясениями. Во второй и третьей главах дана характеристика всего фактического материала, использованного в работе и краткая геолого-тектоническая характеристика региона исследований. Четвёртая глава посвящена выявлению предвестниковых вариаций в процессе гидрогеохимических наблюдений. В пятой главе представлены результаты исследования закономерностей сейсмической активизации в регионе. Шестая глава посвящена подробному анализу выявленных зависимостей и их интерпретации. Седьмая глава посвящена статистическому анализу собранного фактического материала. В этой главе выделены наиболее информативные признаки - аномалии наблюдаемых параметров, связанные с процессами геодинамической активизации в регионе. Далее следуют дискуссия и заключение, в котором ещё раз изложены основные защищаемые в работе положения. Список использованной литературы содержит 101 наименований. В приложении приведена выборка из сейсмического каталога Национальной службы сейсмической защиты Республики Армения и каталога Геологической Службы США по сильным сейсмическим событиям, произошедшим за период исследования с начала 1983 по 1993 года включительно.

Апробация работы. Основные положения работы были доложены на научных семинарах в Норвежской геологической службе (2007), на Международном совещании по проблеме прогноза землетрясений в Институте теоретической физики при ООН в Триесте, Италия (2009, 2011), а также в Институте геологических наук НАН Армении (2011).

По теме работы опубликованы 3 статьи и тезисы к 4 докладам на международных конференциях. В процессе проведения работы автором разработаны пакеты прикладных компьютерных программ в среде C++ и Матлаб-9. Эти программы могут быть применены для дальнейших исследований в области выявления гидрогеохимических аномалий, предваряющих сильные сейсмические события.

Основные защищаемые положения.

1. Сейсмическая и геодинамическая активизация в регионе находят своё

отражение в изменении химического состава вод наблюдательных станций.

2. Землетрясения Транскавказского региона с магнитудой M>6 имеют стабильные, статистически значимые аномалии-предвестники, появляющиеся за 4,5-5 месяцев до землетрясения в виде геохимического затишья и локального максимума содержания гелия в воде наблюдаемых скважин.
3. Интенсивность сейсмического режима в регионе подвержена выделяемым колебаниям с периодами 12 часов, 24 часа, а также 14 и 28 дней.
4. В качестве устойчивых геохимических аномалий могут рассматриваться рассчитываемые во времени статистические характеристики замеряемых химических компонентов (такие, как значение спектральных характеристик, дисперсии, среднего и т. д., рассчитываемых в плавающем временном окне).
5. Подготовка сильного землетрясения происходит в режиме нарастания воздействия количества окружающих сейсмических событий на очаг будущего землетрясения.

Глава 1. Краткий обзор методов выделения аномалий перед землетрясениями

Основным вопросом в исследовании процессов подготовки сильных землетрясений является выделение статистически значимых аномалий, предваряющих главный толчок.

Выявление отражения процессов геодинамической и сейсмической активности в геохимических полях перед сильными сейсмическими событиями проводится, в основном, в виде поиска так называемых предвестниковых аномалий. Такие аномалии являются отражением процессов геодинамической активизации, происходящих непосредственно перед сейсмическими событиями большой магнитуды. Нахождение устойчивых предвестников землетрясений помогает определить характер геодинамической активности в регионе перед сильными землетрясениями и приблизиться к возможности их прогноза.

Несмотря на продолжительные поиски в этой области и достигнутые в последние десятилетия успехи, задача точной предварительной оценки параметров сильных сейсмических событий пока остается проблемой неразрешенной. Для практически полезного прогноза землетрясения в режиме реального времени необходимо назвать место, время и силу предстоящего события с достоверной точностью и за достаточно долгое время до землетрясения (часы, дни, недели).

Изменение режима геодинамической и сейсмической активности перед сильными землетрясениями имеет самую непосредственную связь с процессами подготовки сильных сейсмических событий. Эти исследования проводятся как на основе изучения изменений химического и газового состава вод на наблюдательных скважинах, так и на основе изучения сейсмических каталогов. При этом, традиционно, в качестве исходных данных выбирались локальные каталоги землетрясений, из которых исключались форшоки и афтершоки. Оставшийся после исключения материал подвергался тщательному анализу на предмет выявления изменения статистически значимых отклонений динамики

ряда от среднего. Выявленные закономерности связывались с изменением геодинамической активизации в эпицентре будущего события (Баласанян и др., 1999). В качестве надежного показателя изменения геодинамической активности принимались также изменения ГГД поля. Данные по изменению уровня подземных вод перед землетрясениями, в частности, обобщены в работах Садовского (1982). Показано, что изменение ГГД поля напрямую связано с процессом подготовки сильных сейсмических событий. В литературе имеется также множество данных по изменению дебита вод минеральных источников и колодцев после сильного землетрясения (Варшал,1985; Петросян, 2009). Подобные исследования различных авторов показывают, что сейсмическая активность имеет непосредственную связь с изменением давления на подземные воды.

Изменения давления происходят как вследствие самого землетрясения, так и непосредственно до него. В некоторых случаях, как например, в приведённых данных по Спитакскому землетрясению 1988 г., изменения затрагивали территорию, охватывающую весь Транскавказский регион, включая северные отроги Большого Кавказа (Баласанян, 2000). Эти площади во много раз превышают размеры сейсмического очага и эпицентральную площадь разрушений.

Такие изменения затрагивают также химический и газовый состав изучаемых вод. Изменения, происходящие в период после землетрясения, можно определить, как влияние сейсмической активизации на газовый и химический состав воды, в то время, как изменения, предваряющие сейсмические события, при отсутствии форшоковой активности, можно отнести к геодинамической активизации. Как показано в данной работе, и те и другие находят закономерное отражение в изменениях химического и газового состава подземных вод.

Глава 2. Краткое описание региона исследований

Территория Армении расположена в зоне континентальной коллизии Аравийской и Евразийской плит. Дрейф Аравийской плиты на север в конкретных структурных условиях трансформируется в дрейф локальных мелких тектонических единиц, что выражается изменением ориентировки тектонических напряжений и типов возникающих разрывов и складок. Такие трансформации определяются неоднородностями геологического строения территории и различиями в состоянии раздробленности пород на разных уровнях литосферы. В абсолютном большинстве случаев землетрясения региона относятся к внутрикоровым, близповерхностным, со средней глубиной гипоцентров от 4 до 15 км. В целом, при рассмотрении карты распределения сейсмических событий, в регионе отчетливо проявляются три различные зоны, выделяемые по повышенной пространственно-временной плотности эпицентров землетрясений. Первая включает раздом Мёртвого моря и Левантскую группу разломов и протягивается по северной и северо-восточной оконечностям Аравийской рья - Северо-Армянскую и Талышскую структурные дуги, Битлиский надвиг, а также Северо-Анатолийский и Восточно-Анатолийский разломы. Данная зона

проходит несколько севернее, субпараллельно первой и тянется от южной оконечности Каспийского моря до Малого Кавказа, захватывая почти полностью территорию Армении. Третья - общекавказского направления, также хорошо выделяется и включает разломы Большего Кавказа, Апшеронского порога и Копет-Дага. Охватывая Большой Кавказ, она пересекает центральную часть Каспийского моря, образуя активный Центрально-Каспийский очаг сейсмической активности и протягивается до Таджикистана. Характерно, что все три зоны, в целом, субпараллельны северо-восточной оконечности Аравийской тектонической плиты, что подтверждает утверждение о её доминирующем положении в становлении основных структурно-тектонических особенностей в регионе. Расположенные к западу от фронта Аравийской плиты сейсмоактивные зоны, в основном, относятся к Северо-Анатолийскому разлому, пересекающему Анатолию с востока на запад, а также к западной части Восточно-Анатолийского разлома, протягивающегося от района города Бингёл до залива Искендерун на Средиземном море.

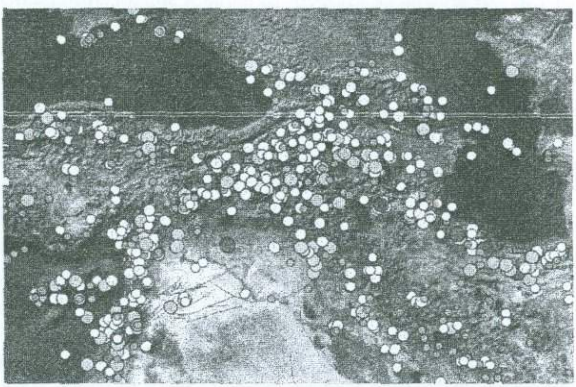

Рис. 1. Схематическая карта распределения эпицентров землетрясений района исследований

Глава 3. Определение сети наблюдений, отбор проб, хранение и анализ

Выбор наблюдательных объектов и размещение наблюдательной сети

Предварительная обработка результатов наблюдений показывает, что наблюдательные скважины, расположенные в непосредственной близости от активных разломов, имеют более динамичную реакцию на сейсмические события. Так, динамика химических компонентов в воде скважины "Каджаран", находящейся в зоне сочленения нескольких разломов, намного активнее динамики вод скважин "Арарат" и "Суренаван", заложенных в относительно внутренней области тектонических микроблоков. Очевидно, что активные разломы, маркируя границы тектонических микроблоков, являются геологическими структурами, больше подверженными динамическим изменениям из-за меняю-

щихся тектонических напряжений. Пункты "Арарат" и "Суренаван" приурочены к оперяющим стуктурам Ереванского разлома, Каджаранский пункт расположен в зоне Таштунского активного разлома.

Пробоотбор и анализ

Пробоотбор со всех наблюдательных пунктов производился ежедневно в полдень по местному времени. Анализ проводился по следующим компонентам: *pH, Eh, Cl, HCO_3, SO_4, Na, K, Mg, Ca, F, He.*

Определение химических компонентов проводилось в интервале концентраций, который соответствует линейной, или близкой к таковой, зависимости аналитического сигнала от концентрации компонента. Внутрилабораторный контроль в АРМНИГС осуществлялся не менее одного раза в месяц. Межлабораторный контроль осуществлялся в ИГН АН Арм.ССР и НИИКИФ Минздрава Арм.ССР не реже 2 раз в год. Калибровочные растворы подбирались таким образом, чтобы проводить прямые измерения в наблюдаемых водах, исключив, по возможности, операции пробоподготовки: разбавление, выпаривание, экстракция и т.д. Этому также способствовала и малая минерализация (до 5 г/л) всех испытуемых вод.

Глава 4. Предварительные наблюдения

Индивидуальные особенности динамики замеряемых признаков

В общем случае на изменение химического состава воды скважины могут воздействовать как изменения механического давления в околоскважинном пространстве, так и смешение различных по составу вод при сильных землетрясениях. Поведение гелия в трех наблюдательных пунктах, на первый взгляд, существенно отличается друг от друга. Однако более детальное рассмотрение выявляет некоторые общие и синхронные изменения во всех трех скважинах.

Для скважин "Арарат", "Суренаван" и "Каджаран" можно заметить некоторые общие синхронные и синфазные изменения, хорошо проявляющиеся при сопоставлении локальных максимумов. Подобная связь в поведении гелия говорит о наличии природных процессов, имеющих региональный характер, и, следовательно, обладающих большой энергией.

Совместное рассмотрение рядов наблюдений показывает, что каждая скважина имеет характерный только для неё способ реагирования на сейсмическое событие. В то же время каждый наблюдаемый пункт, в общем случае, может содержать в явной или неявной форме общие элементы реагирования. На основе их изучения выделяются статистические характеристики рядов наблюдений, отражающие закономерности изменения геодинамического режима в регионе.

Сопоставимость данных геохимического и сейсмического мониторинга

Постоянная частота опроса наблюдательных пунктов (один раз в сутки), а также стандартизация видов химического анализа воды, служат необходимой метрологической основой для сопоставления данных мониторинга. Для сопос-

тавления фактических данных производилась нормализация рядов наблюдений, что позволило сравнивать различные по природе и амплитуде ряды.

Предварительное сравнение наблюдений гелия и сейсмических событий региона в период с 1982 г. по 1994 г.

Для удобства сравнение рядов геохимических наблюдений и сейсмичности начнем с сопоставления наиболее сильных сейсмических событий с динамикой замеряемых в воде параметров. Опишем, для примера, постсейсмические аномалии, выявляемые по Нарманскому - 1983, M_w=6.3 (39.98?СШ, 41.60?ВД), Спитакскому - 1988, M_w=6.9 (40.51?СШ, 44.13?ВД) и Рудбарскому - 1991, M_w=7.8 (39.58?СШ, 49.00?ВД) землетрясениям для Каджаранского наблюдательного пункта на основе анализа совмещённого графика *He* и *Na+K*.

Реакция скважины на эти землетрясения произошла спустя несколько дней после события и проявилась в практически синхронном падении концентраций обоих компонентов. Если принимать начало падения за начальную точку реакции, то время запаздывания реакции по гелию составляет в среднем 7 дней. Если же реакцию на сейсмическое событие принимать по самому низкому содержанию замеряемых компонентов, то время реакции скважины составляет 21 день. Соответственно, протяжённость реакции составляет 14 дней.

Феномен запаздывания реакции скважины на сейсмическое событие мы назвали "геохимической инертностью". Примечательно, что содержание гелия непосредственно после сейсмических событий во всех трех случаях растет в течении 7 дней перед тем, как окончательно упасть. "Геохимическая инертность" определяет факт запаздывания реакции химического состава воды наблюдательной скважины на сейсмическое событие и отражает то обстоятельство, что даже при немедленном изменении состава подземной воды всегда требуется некоторое время для того, чтобы она достигла устья скважины, где производится пробоотбор.

Из сопоставления содержаний *He* и *Na+K*, с сильными сейсмическими событиями в регионе следует, что воздействие землетрясений на геохимический состав воды скважины является более или менее постоянной составляющей. Флуктуации химического состава в результате воздействия от одного землетрясения часто накладываются на воздействие от другого. Частным и хорошо характеризующим примером такого влияния является реакция скважины в период афтершоковой активности землетрясений. В результате такого воздействия количество практически всех компонентов в воде скважины остаётся стабильно низким.

Таким образом, анализ реакции скважины "Каджаран" показывает, что химический состав воды резко меняется после землетрясений. Суммарное воздействие землетрясений на геохимический состав воды скважины является более или менее постоянной составляющей, определяющей её динамику во времени.

Глава 5. Геохимические аномалии, возникающие перед сильными землетрясениями по наблюдениям скважины "Каджаран"

Нарманское землетрясение, Турция, 1983, M_w=6.0. Нарманское землетрясение с координатами 39.98?СШ, 41.60?ВД произошло в самый начальный период проводимых наблюдений - 30.10.1983. Очаг землетрясения располагался на расстоянии 230 км от Каджаранской скважины в зоне Северо-Анатолийского разлома с механизмом левостороннего взбросо-сдвига. Землетрясение сопровождалось поверхностным разрывом. Визуальный анализ собранных данных позволяет выявить реакцию состава воды скважины на это землетрясение, как в виде предвестниковой аномалии, так и в виде постсейсмической реакции. Концентрация замеряемых геохимических компонентов в воде скважины начинает резко падать через 7 дней после землетрясения и через 21 день достигает минимального уровня. Восстановление значений наблюдаемых параметров достигается только в течение интервала времени длиной почти в год и происходит после П-образной аномалии. Такое поведение характерно для всех элементов, за исключением *Cl* и *He*. Отчётливо прослеживается еще один феномен, который выражается в резком падении дисперсии замеряемых компонентов за 4 месяца до главного события. Мы отнесли такой феномен к предвестниковым и назвали его "геохимическое затишье".

Геохимическое затишье проявляется в виде стабилизации короткопериодных флуктуаций химического состава воды. Проявление данного вида предвестника существенно отличается от других тем, что он имеет продолжительный характер и остается постоянным практически до самого главного события. Время появления предвестника в виде геохимического затишья соответствует времени локального максимума на графике гелия, что показывает возможность использования абсолютной величины дисперсии гелия в скважине "Каджаран" в качестве дополнительного предвестника для сильных сейсмических событий.

Особенностью выделенного предвестника типа "геохимическое затишье" является его появление задолго до землетрясения (120 дней), что говорит о длительном периоде активизации геодинамических процессов перед сильными событиями.

Интересна характерная ступенчатость динамики поведения гелия в период непосредственно после главного события, которая, наиболее вероятно, определяется относительно повышенной сейсмической активностью региона в период афтершоков непосредственно после сильного землетрясения. Весь процесс реакции на Нарманское сейсмическое событие занимает 6 месяцев. Завершающая общую реакцию П-образная аномалия знаменательна тем, что поведение замеряемых параметров после неё такое же, как и при реакции состава воды на само Нарманское землетрясение.

Поведение гелия перед землетрясением и после него отличается повышенной динамикой, в виду специфичности данного компонента. Детальный анализ графика поведения геохимических компонентов в период после Нарманского землетрясения показывает, что П-образная аномалия фактически

является предвестником типа «геохимическое затишье» на другое землетрясение силой M=6.4, произошедшее в 1984 году несколько севернее Нарманского. Это обстоятельство выводится по отсутствию заметных короткопериодных флуктуаций на протяжении всего плато П-образной аномалии.

Сравнение геохимических рядов с сейсмическим рядом показало, что время наступления геохимического затишья связано с наблюдающимся увеличением сейсмической активности в Урмийском очаге и с уменьшением сейсмической активности на Джавахетском нагорье, которые отличаются постоянной повышенной сейсмической активностью. Данное обстоятельство свидетельствует о том, что для более корректной интерпетации данных геохимического мониторинга необходимо располагать данными детального мониторинга по более сгущенной сети наблюдений слабых сейсмических событий

Спитакское землетрясение, Армения, 7.12.1988, M_w=6.9. Спитакское землетрясение с координатами эпицентра 40.51?СШ, 44.13?ВД произошло 7 декабря 1988 г. Очаг землетрясения располагался на растоянии 200 км от Каджаранской скважины, в зоне Памбак-Севан-Сюникского разлома, имеющего механизм правостороннего взбросо-сдвига. Землетрясение сопровождалось поверхностным разрывом длиной 32 км. При исследовании графика поведения геохимических компонентов во времени в период Спитакского землетрясения четко прослеживается период возмущения динамики замеряемых химических компонентов после основного события.

В период релаксации скважины, непосредственно после сейсмического события, поведение гелия также, как и в предыдущем случае, приобретает характерную ступеньчатость, известную в информатике, как "скважность", тогда как непосредственно до события подобная ступеньчатость не наблюдается. Скважность - один из классификационных признаков импульсных систем, определяющий отношение его периода следования (повторения) к длительности импульса. Величина, обратная скважности и часто используемая в англоязычной литературе, называется коэффициентом заполнения (англ. Dutycycle). В данном случае особенно хорошо скважность проявляется при наблюдении за графиком гелия. Она выделяется относительно большей высотой динамических ступенек при относительно низком значении короткопериодных флуктуаций внутри самой ступеньки. Также характерно, подобное предыдущему случаю с Нарманским землетрясением, завершение возмущения "постсейсмического" периода, отчётливо маркируемое П-образной аномалией.

Изучение ряда геохимических наблюдений показало аналогичное предыдущему случаю резкое понижение средней концентрации содержания химических компонентов в воде скважины. Такое понижение сопровождает весь период афтершоковой активности после Спитакского землетрясения и имеет тенденцию к увеличению среднего значения содержания компонентов по мере спадания афтершоковой активности. При внимательном рассмотрении нетрудно заметить, что и в этом случае хорошо прослеживается ранее замеченный феномен геохимического затишья, как предвестник данного события, проявляемый до землетрясения по всем параметрам, за исключением гелия. Время

появления геохимического затишья, как предвестника, так же, как и в случае с Нарманским землетрясением, соответствует локальному максимальному значению гелия на графике. Продолжительность предвестника и его временное упреждение в данном случае составляет 4.5 месяца (135 суток) до события.

Очевидно, что эти два события (Нарманское и Спитакское) имеют сходство в реакции скважины "Каджаран" как в смысле появления предвестников, так и в смысле постсейсмической реакции скважины на само событие. Прослеживается ступеньчатость в поведении гелия в период релаксации скважины непосредственно после Спитакского землетрясения. Схожи также общие тренды динамики содержания химических компонентов до и после события. Такое сходство поведения химических компонентов в воде скважины может указывать на универсальный характер геодинамической активизации как непосредственно перед землетрясением, так и после него.

Детальный анализ данных показывает также присутствие геохимического затишья на следующее после Спитакского - Эрзинджанское землетрясение с M_w=6.6. (1992.03.17). Присутствие П-образной аномалии фактически является предвестником Эрзинджанского землетрясения. Эта аномалия имеет продолжительность и характеризуется падением дисперсии замеряемого компонента в течении всего плато П-образной части графика. Анализ времени появления геохимического затишья, как предвестника на Спитакское землетрясение, показывает, что оно сопряжено с увеличением сейсмической активности, в близко расположенном к Каджаранской скважине, Урмийском очаге землетрясений. Примечательно, что в течение всего времени между Спитакским и Эрзинджанским землетрясениями количество гелия в воде наблюдаемой скважины остаётся относительно низким и имеет тенденцию к постепенному увеличению своего среднего содержания. Таким образом, и в этом случае с помощью гидрогеохимического мониторинга выявляется некая связь между Спитакским и Эрзинджанским землетрясениями.

Рудбарское землетрясение, Иран, 20.06.1990, M_w=7.8. Рудбарское землетрясение является наиболее сильным землетрясением в регионе. Оно произошло 20 июня 1990 года, имело магнитуду M=7.8 и координаты эпицентра 39.58?СШ, 49.00?ВД. Очаг землетрясения располагался на расстоянии 350км от Каджаранской скважины, в зоне состыковки Эльбурских разломов с разломами Талышской структурной дуги. Землетрясение имело механизм надвига и сопровождалось поверхностными разрывами. Геохимический образ Рудбарского землетрясения полностью повторяет предыдущие два, как в смысле предвестника землетрясения, так и в смысле реакции на само сейсмическое событие.

Детальный анализ серии наблюдений по Рудбарскому землетрясению показывает наличие предвестника в виде геохимического затишья также и на землетрясение с магнитудой M=6.6, 6.11.1990 на севере Персидского залива (28.25?СШ, 55.46°ВД). Присутствие выявленного предвестника "геохимическое затишье" на это землетрясение после Рудбарского события также вносит определённые элементы сходства "сценариев" возникновения этих сейсмичес-

ких событий.

Приведенные примеры поведения геохимических параметров свидетельствуют об их устойчивом характере и об отражении единого механизма геодинамической активизации непосредственно перед сильными землетрясениями. Наличие во всех случаях признака в виде "геохимического затишья", предваряющего сильные землетрясения в регионе, показывает его перспективность для использования в качестве надёжного индикатора готовящегося сейсмического события.

Данный вид предвестника проявляется за 4-5 месяцев до сильного землетрясения и остается практически постоянным вплоть до самого сейсмического события. Характер проявления предвестника выражается в резком падении дисперсии замеряемых компонентов. Продолжительность выделенного предвестника свидетельствует о его неслучайности. Время прихода данного предвестника соответствует максимальному значению гелия в ряду наблюдений. Факт совпадения начала предвестника типа "геохимическое затишье" с локальным максимумом гелия может рассматриваться, как основа для выделения локального максимума гелия, как альтернативного предвестника для сильных землетрясений в регионе.

При сопоставлении сейсмических событий с содержанием гелия отмечено, что, в среднем, увеличение сейсмической активности, происходящее в южной части региона – от Персидского залива до северной оконечности озера Урмия – отражаются в скважине «Каджаран» в виде повышения содержание гелия. Обратный эффект уменьшения количества гелия наблюдается при сильных землетрясениях и увеличении афтершоковой активности после сильных событий, расположенных ближе и севернее и северо-восточнее к наблюдаемой скважине "Каджаран". Следующее за этим увеличение количества гелия наблюдается также при последующем относительном уменьшении афтершоковой активности.

Интересной особенностью является "ступеньчатое" повышение содержания гелия после сильных сейсмических событий. Подробный анализ графиков динамики поведения *He* и *Na+K* и остальных замеряемых компонентов в период наблюдений за 1982-1994 годы показывает неслучайную связь динамики поведения замеряемых компонентов в воде скважины "Каджаран" и режима сейсмической активности в регионе.

Глава 6. Динамика сейсмических событий во времени

Исследование динамики сейсмических процессов в регионе предполагает выявление закономерностей пространственно-временной активизации сейсмичности. Приведённое на гистограмме (рис. 2) поминутное распределение частоты возникновения землетрясений региона в окне за одни сутки показывает статистически неслучайную привязанность сейсмических событий к полудню по местному времени.

Для построения гистограммы повторяемости по горизонтальной оси отложено суточное время, считая от полуночи, в минутах (60?24=1440 минут),

а по вертикальной оси - абсолютное количество событий без учета магнитуды. Так, первое значение на графике соответствует количеству всех сейсмических событий, произошедших от 12:00 ночи до 12:01, второе значение от 12:01 до 12:02 и т. д. Гистограмма построена по данным о сейсмических событиях за весь инструментальный период наблюдений с 1962 по 2007г. каталога НССЗ (всего -15730 событий).

На приведенной гистограмме отчетливо видна полуденная активность сейсмических событий и, в то же время, прослеживается небольшая их активизация, приуроченная к полуночи. Минимальные величины наблюдаются при значениях, соответствующих 180 и 900 минутам что, в свою очередь, соответствует 3 часам утра и 3 часам дня местного времени.

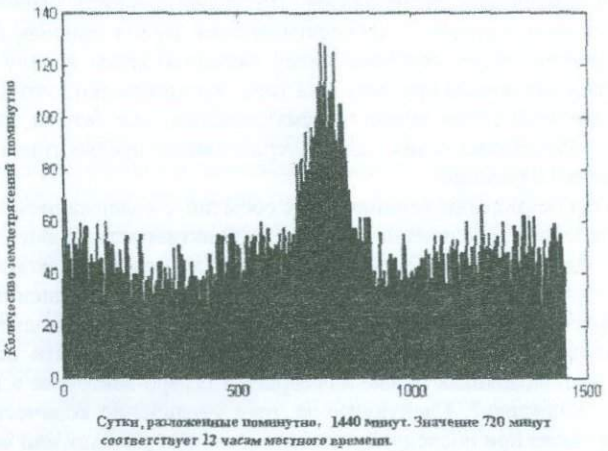

Рис. 2. Гистограмма поминутного распределения землетрясений в течение суток по территории Армении с 1962 по 2007 гг. На основе данных по 15730 событиям

Заметим, что подобная закономерность прослеживается и по данным каталога землетрясений по территории Турции, содержащего 64000 сейсмических событий, что говорит о региональном характере данного феномена.

Разрушительное Спитакское землетрясение также произошло в близкое к полудню - местное время 11 часов 41 мин. Анализ астрономического времени, проведенный для Спитакского землетрясения 1988 года, показал, что это событие произошло в момент, когда солнце по отношению к эпицентральной точке находилось в 55 минутах до своего истинного зенита, а луна - уже 40 минут как прошла точку своего апогея. Фактически само землетрясение по времени произошло в момент, когда воздействие совокупных гравитационных сил луны и солнца достигло максимума. Это обстоятельство показывает важность учета комбинированного влияния как солнечного, так и лунного (лунные сутки) пе-

риода на цикличность сейсмических событий. Изучение данных распределения сейсмических событий по Армении с помощью гистограммы, в пределах сидерического лунного месяца, также показывает повышенную повторяемость сейсмических событий, имеющую 14-дневный и 28-дневный циклы (рис. 2).

Продолжительность сейсмической активизации, когда происходит наибольшее количество землетрясений в единицу времени, равна примерно 14-ти суткам и привязана к полнолунию и новолунию, когда соответствующие позиции луны и солнца либо находятся в противофазе, либо синфазны. Физическое объяснение этого феномена может быть в том, что планетарные силы играют не последнюю роль в подготовке и реализации сейсмических событий.

Наиболее важным выводом, который можно сделать из приведённых гистограмм суточного и сидерического лунного распределения сейсмической активности, является то, что природа сил, ответственных за возникновение землетрясений, имеет периодичный характер. Причём периоды этих сил соответствуют периодам сейсмической активности и хорошо выявляются с помощью временных гистограмм. Результаты исследований, проведенных греческими исследователями по сейсмической активности территории Эгейского моря (Thanassoulas, 2007) также показывают зависимость распределения землетрясений от времени и характера морского прилива. Основная фаза активности сейсмических событий приходится на время минимальной амплитуды расчетного прилива.

Таким образом, анализ сейсмичности района исследований выделяет пять циклических периодов относительной активизации землетрясений:

1, 2 – полу-суточный и суточный, равные, примерно, 12 и 24 часам

3, 4 – полу-лунный и лунный сидерический, равные, примерно, 14 и 28 дням

5 – годовой, равный, примерно, 365 дням.

Выделенные циклы сейсмической активизации свидетельствуют о том, что механическое "сотрясение" условно выбранной точки геологического пространства (как, например, изучаемой скважины) может носить явно выраженный квази-периодический характер. Данное обстоятельство помогает лучше понять причины динамики периодического поведения гидрогеохимического состава наблюдаемых скважин.

Для того чтобы проследить возрастание количества воздействующих землетрясений по пространству при удалении от наблюдательного пункта мы произвели подсчет увеличения их количества от удалённости по радиусу. Оценка данной зависимости показала экспоненциальный характер увеличения количества землетрясений независимо от магнитуды. Данные подсчёта приведены в таблице 1.

Таким образом подтверждается, что при увеличении консолидации геологического пространства перед сильным землетрясением суммарное воздействие близлежащих землетрясений на гипоцентр готовящегося землетрясения должно иметь характер экспоненциального нарастания.

Таблица 1

Зависимость количества землетрясений от удаленности от наблюдательной точки "Каджаран" с 1962 по 2010 гг. согласно каталогу USGS

Магнитуда / Дистанция, км	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	Всего
150	12	50	39	4	0	0	0	105
300	79	182	165	34	6	4	2	472
450	202	465	448	89	21	8	7	1240
600	380	722	696	136	31	14	13	1992
750	465	940	921	193	48	15	13	2595
900	561	1177	1133	237	56	17	14	3195
1050	676	1425	1321	276	67	20	15	3800
1200	875	1737	1565	323	78	23	15	4616
1350	1333	2274	1780	391	95	28	21	5922
1500	1968	2930	2179	487	115	30	29	7738

Глава 7. Статистический анализ фактического материалла

Методы статистической обработки

Наиболее достоверные сведения о рядах наблюдений большой длительности можно получить лишь в результате их статистической обработки. Предварительный визуальный анализ рядов наблюдений, используемых в данной работе, выявил аномалии-индикаторы активизации геодинамических процессов в регионе в виде как геохимического затишья, так и реакции газового компонента (относительные максимумы соержания гелия). Это позволяет сразу сузить комплекс математических средств, применяемых для более детального изучения связи геохимического состава вод с процессами геодинамической активизации в регионе. Формально «геохимическое затишье» означает более стабильное среднее значение замеряемых признаков при практическом отсутствии разброса или, что тоже самое, при нулевой дисперсии каждого замеряемого признака в плавающем временном окне. Вода скважины «Каджаран» формируется в околоскважинном пространстве посредством смешения различных по составу вод, что продемонстрировано в работах Войта, Чао и др. (Woith H., Milkereit C., Zschau J., Igumnov V., Balassanian S. and Avanessian A., 1998). Геохимическое затишье означает уменьшение такого смешения перед сильными событиями. Это утверждение относится к макрокомпонентам и не затрагивает газовую фазу изучаемых подземных вод, которая, в общем случае, ведет себя различным образом.

Для выявления этих влияний необходимо применение статистических методов обработки, сводящихся к следующей процедуре вычисления: вычисляются статистические характеристики по всему временному ряду в плавающем окне с различной апертурой. Дисперсия ряда σ в окне N отсчётов равна:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{x})^2}, \tag{7}$$

где $\overline{x}$ арифметическое среднее значение x_i, определенное как:

$$\overline{x} = \frac{1}{N}(x_1 + x_2 + \cdots + x_N) = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i. \tag{8}$$

где N – количество отсчетов во временном ряду.

Непосредственно перед вычислением величины дисперсии в плавающем временном окне, исследуемый временной ряд подвергается медианной фильтрации. Основной недостаток медианного сглаживания состоит в том, что при отсутствии явных выбросов, он приводит к более "пилообразным" кривым, чем при сглаживании скользящим средним. Однако, в наших исследованиях этот недостаток превращается в преимущество в результате того, что мы используем остаточный график после вычитания из искомой кривой значений, кривую медианы. Медианная фильтрация позволяет в более полной мере сохранять информацию при статистической обработке и удалении шумовых факторов.

Дисперсия временного ряда представляет собой величину среднего разброса значений замеряемых параметров относительно среднего, вычисленную в скользящем окне по всему временному ряду. Из соображения сокращения процедуры вычислений расчет производился лишь на двух компонентах – *He* и *Na+K*, принимая во внимание тот факт, что остальные замеряемые макрокомпоненты ведут себя субпараллельно графику динамики поведения *Na+K*.

Расчетная экспериментальная часть

Учитывая характер исследуемого фактического материала, преобразование временного ряда выполнялось с помощью последовательного сглаживания медианой до нулевой точки медианной фильтрации. Последнее условие помогает сохранить в более полном объеме информативность остаточного временного ряда, получаемого после обработки скользящей медианой. Таким образом, в значительной степени удаётся избежать влияния вышеупомянутых "ступенек". При обработке временных рядов в скользящем окне наиболее важной характеристикой становится апертура скользящего окна, которая, в основном, и определяет величину среднего, вычисленного в этом окне, а также величину дисперсии. Длина апертуры подбиралась методом постепенных приближений так, чтобы не потерять информативность признака и, по возможности, более точно локализовать его во времени. При подборе апертуры скользящего окна также учитывалась выявленная ранее периодичность сейсмичности региона (14

дней). Выходное вычисляемое значение приписывалось при каждом шаге вычислений последнему дню апертуры скользящего окна (физически реализуемый фильтр).

Наблюдаемый нами предвестниковый сигнал по гелию проявляется в виде увеличения дисперсии замеряемого компонента. В отличие от него предвестниковый сигнал по макрокомпонентам ($Na+K$) состоит в падении дисперсии содержания замеряемого параметра и поэтому имеет определенную специфику. Так, в случае с $Na+K$ возможное максимальное значение признака (в период его активного проявления) будет равняться нулю. Поэтому для сравнения геохимического и сейсмического рядов после нормирования обоих, производился также расчёт значения дисперсии гелия в скользящем временном окне с апертурой 14 дней. Расчёт показал, что максимальные пики расчетных компонентов приходятся на самые сильные землетрясения в регионе. Это хорошо видно, на примере Нарманского, Спитакского и Рудбарского землетрясений.

Как показали проведённые исследования, практически все относительно сильные сейсмические события в регионе имели предваряющие их флуктуации дисперсии гелия. Приведенные нами результаты наблюдений показывают также, что газовый и макрокомпонентный состав вод наблюдаемых скважин хорошо реагирует на относительно сильные землетрясения. При этом важно отметить, что скважина "Каджаран" реагирует на землетрясения, происходящие на разных активных разломах с различными геодинамическими механизмами и расположенных на разном удалении от самой скважины. Это указывает на прямую связь сейсмической и геодинамической активизации с изменением химического и газового состава вод наблюдательных скважин.

Амплитуда реакции, а также длительность реакции от землетрясений, в общем, зависят от удаленности, силы и фокального механизма влияющих событий. Так, наиболее значимые пики дисперсии гелия наблюдались после наиболее сильных и близких сейсмических событий.

Для определения эффекта нарастания частоты в колебаниях содержания гелия, растворенного в воде скважины перед сильными землетрясениями, нами были построены периодограммы для гелия. Детальный разбор периодограмм также показал нарастание частоты и амплитуды колебаний гелия при приближении к моменту сильного землетрясения. Продолжительность выявленного эффекта говорит о его неслучайности. Необходимо отметить, что в высокочастотной части спектра подобный эффект зачастую менее выражен.

Этот может быть прямым следствием как лимитирующего фактора принципа Нейквиста, вследствии относительно редкого шага опроса наблюдательных пунктов, так и следствием "зашумления" полезного сигнала "фоновыми", появляющимися ввиду увеличения "чуствительности" наблюдательного пункта перед сильными сейсмическими событиями. Такое увеличение "чуствительности" по-видимому происходит из-за увеличения количества воздействующих на наблюдательный пункт относительно далёких и слабых землетрясений вследствие консолидации коры в эпицентральной зоне. При этом общее количество сейсмических событий перед сильными землетрясениями может оста-

ваться неизменным или даже уменьшаться, как это происходит, к примеру, в случае с сейсмическим (выше было геохимическое) затишьем.

Учитывая различие реакций каждого наблюдательного пункта, для получения прогностических параметров данные с различных скважин должны выводится для каждого наблюдательного пункта отдельно и быть интерпретированны различным образом. /каким/ Одновременно с этим, учитывая "подобие" в динамике поведения гелия во всех трех скважинах, можно говорить, что данный замеряемый параметр является более универсальным для использования в качестве индикаторного, чем использование изменений макрокомпонентного состава воды.

Заключение и выводы

Результаты исследований процессов геодинамической активизации перед сильными землетрясениями в Транскавказском регионе показали тесную связь между этими процессами и химическим и газовым составом воды наблюдательных скважин. Выше было показано, что для сильных землетрясений наиболее надежным информационным признаком изменения геодинамической активности является изменение разброса (дисперсии) некоторых химических компонентов ("геохимическое затишье") в воде скважины "Каджаран". Отмечено, что локальные экстремумы количества растворённого в воде гелия также совпадают со временем начала предвестников типа "геохимическое затишье". Время появления геохимических предвестников соответствует времени появления средних и сильных землетрясений в регионе. Таким образом, намечается определенная связь между содержанием химических компонентов в воде наблюдательных скважин и сейсмическими событиями. Эта связь позволяет использовать первые в качестве индикатора стрессового состояния геолого-тектонической среды околоскважинного пространства.

Динамика сейсмического режима в регионе наряду с суточной и лунной сидерической периодичностью, проявляет ступеньчатый характер, приуроченный к сильным сейсмическим событиям. Это определяется различием в уровне интенсивности средней сейсмической активности между сильными землетрясениями.

В результате исследований выделен новый тип геохимической аномалии, названный "геохимическим затишьем". Выявлена устойчивая связь этого предвестника с сейсмическими событиями в регионе. Показан экспоненциальный характер суммарного воздействия землетрясений, окружающих очаговую область будущего события на состав воды наблюдаемой скважины. Показана необходимость выявления предвестников землетрясений, имеющих длительный характер.

Ввиду резкого увеличения консолидации в очаговой области перед сильным событием, частота землетрясений, влияющих непосредственно на очаг растет, что затрудняет разделение реакции отдельного события на состав воды скважины от шумового фона. Очевидно, что шумовой фон будет создаваться комплексным влиянием всех землетрясений в регионе, происходящих в одно и

то же время.

Динамика как газового, так и макрокомпонентного состава воды скважины подвержена определенным, статистически надежным, предвестниковым флуктуациям в период, предшествующий сильным землетрясениям, что позволяет использовать их **для прогноза** /в качестве предвестниковых параметров/ сильных сейсмических событий.

Наблюдательная скважина находится на достаточно большом удалении от изучаемых землетрясений (сотни километров), что позволяет утверждать, что процесс перераспределения потенциальной механической энергии перед сильными землетрясениями охватывает большие пространства и является региональным. При достаточной площадной развитости и правильном выборе сети наблюдательных скважин данный процесс может быть надёжно зафиксирован.

Наши исследования по выбранному региону полностью подтверждают явление перераспределения тектонического стресса посредством землетрясений, обнаруженное ранее Стейном. Согласно нашим данным, процесс накопления тектонического стресса в очаге готовящегося землетрясения на конечной фазе подготовки крупного сейсмического события, контролируется удаленными сейсмическими событиями. Это хорошо подтверждается приуроченностью начала появления геохимического затишья к землетрясениям средней силы в регионе. Отслеживая скорость процесса накопления, можно будет более точно оценивать место, время и магнитуду предстоящих сильных землетрясений.

Геологическая среда, обладая ограниченным диссипативным свойством, может приводить, с течением времени, к постепенной диссипации накопленной потенциальной энергии. Отношение скоростей двух смежных процессов: накопления тектонического стресса и его частичной диссипации может во многом регулировать появление сильного землетрясения.

Проведенный эксперимент на основе статистического анализа временного ряда содержания гелия в плавающем окне с апертурой 14 дней показал, что практически все сильные сейсмические события в регионе сопровождаются геохимическими аномалиями на скважине "Каджаран". Практически все сильные землетрясения в регионе имели также предваряющие их предвестники типа "геохимическое затишье" по макрокомпонентному составу воды. Синхронность появления некоторых флуктуаций гелия на всех трех представленных скважинах ("Каджаран", "Арарат", "Суренаван"), позволяет предположить, что выявленные сигналы имеют более универсальный характер и, при корректной статистической обработке, могут выявляться также и на других скважинах.

Тот факт, что выявленные геохимические аномалии предваряют практически все сильные землетрясения в регионе, может явиться хорошей основой для их дальнейшего изучения. Комплексный анализ всех прогностических параметров по широкой сети наблюдений позволяет приблизиться к более детальному пониманию процесса нуклеации и эволюции сейсмического очага. Наблюдения показывают, что динамика геохимических параметров подземных вод хорошо отражает этот процесс. Выявленная продолжительность "видимой" части этого процесса позволяет утверждать, что предварительную оценку

времени, места и магнитуды готовящегося сильного землетрясения можно будет рассчитывать, используя не амплитуду отдельной аномалии, а наблюдая за характером динамики длительного изменения в процессе развития сейсмического очага готовящегося события.

Изложенные выше данные и результаты анализа приводят к следующим выводам:

1. Сейсмическая и геодинамическая активизация в регионе находит своё отражение в изменении геохимического состава вод наблюдаемых станций /наблюдательных скважин/.
2. Изменения динамики поведения химического состава наблюдаемых вод происходят как в результате произошедшего землетрясения, так и в течение времени, предваряющем главный толчок.
3. Землетрясения Транскавказского региона с магнитудой M>6.0 в наблюдаемых рядах имеют стабильные, статистически значимые аномалии-предвестники, появляющиеся за 4,5-5 месяцев до землетрясения и проявленные в виде геохимического затишья и локального максимума содержания гелия в воде наблюдаемой скважины.
4. Интенсивность сейсмического режима в регионе подвержена четко выделяемым колебаниям с периодами 12 часов, 24 часа, а также 14 и 28 дней.
5. В качестве устойчивых геохимических аномалий перед сильными землетрясениями могут рассматриваться измеряемые в длительные промежутки времени статистические характеристики временного ряда замеряемых химических компонентов (таких, как значение спектральных характеристик, дисперсии, среднего и т. д., рассчитываемых в плавающем временном окне).
6. Подготовка сильного землетрясения происходит в режиме нарастания воздействия количества окружающих сейсмических событий на очаг будущего землетрясения.

Рекомендации к практическому применению

Результаты, приведённые в данной работе, могут явиться хорошей базой для проведения дальнейших исследований, касающихся активизации геодинамических и сейсмических процессов перед сильными землетрясениями. В качестве рекомендаций, для увеличения информативности текущих исследований, можно предложить уменьшение шага опроса наблюдательных пунктов до одного замера в 3 часа. Для корректного сопоставления геохимических наблюдений и сейсмических событий необходимо составление сводного каталога землетрясений с удалением до 1500 км от наблюдательных пунктов. Выявленный перед сильными землетрясениями геохимический предвестник «геохимическое затишье», а также сопряжённые с ним локальные максимумы содержания гелия во ряду наблюдений скважины "Каджаран" могут служить научной основой для разработки систем геохимического контроля за текущим уровнем сейсмической опасности. Рекомендуем увеличение количества наблюдательных пунктов и расширение их географии.

Методология приводимых в работе исследований по выявлению геохимических аномалий используется впервые и может быть применена также при изучении динамики непосредственно самих сейсмичесских событий для выявления процессов изменения геодинамической активности перед сильными землетрясениями.

Список опубликованных работ по теме диссертации

1. Igumnov V., Kazarian A. The geochemical precursors to earthquakes and the relaxation of geochemical parameters.Proceeding Scientific meeting on the sulla protezione sismica Palazzo Balbi, Regione, 1995, p. 148-151.
2. Казарян А.Э. Анализ сейсмического состояния территории Армении, как одного из факторов оценки текущей сейсмической опасности.// Изв. НАН РА сер. Науки о Земле. -2011, № 2.- С.- 29-42.
3. Казарян А.Э. Гидрогеохимические предвестники сильных землетрясений по результатам наблюдений в скважине "Каджаран"и их связь с процессом подготовки землетрясения.// Изв. НАН РА сер. Науки о Земле. -2011, № 3.- С. 3-13.

ԱՍՓՈՓՈՒՄ

Այս հետազոտությունը քննարկում է Տրանսկովկասյան տարածաշրջանի երկրա-քիմիական դաշտերում երկրաղինամիկական եվ սեյսմիկ ակտիվության արտացոլման օրինաչափությունների հարցերը: Այն հիմնված է ստորերկրյա ջրերի քիմիական կազմի փոփոխությունների ուսումնասիրության վրա: Հետազոտություններն իրականացվել են "Քաջարան", "Արարատ" և "Սուրենավան" դիտակայաններից ստացված տվյալների և նրանց համեմատության հիման վրա սեյսմիկ ժամանակային շարքերի հետ: Արդյունքում Հայաստանում հայտնաբերվել է երկրաշարժերի կայուն երկրաքիմիական կանխանշան, որն անվանվել է "երկրաքիմիական անոդոր": Համեմատելով ջրերի քիմիական կազմը ջրի մեջ լուծված հելիումի քանակության հետ հայտնաբերվել է ևս մեկ կանխանշան, որն իրենից ներկայացնում է ջրում տարալուծված հելիումի արժեքի լոկալ մաքսիմում: Սահմանվել է կապը սեյսմիկ ակտիվության և ստորերկրյա ջրերի հիդրոքիմիական բաղադրության միջև: Տարածաշրջանի սեյսմիկ ակտիվության վերլուծության հիման վրա հայտնաբերվել է վերջինիս պարբերական բնույթը՝ 12 և 24 ժամ, 14 և 28 օր պարբերություններով: Հայտնաբերված օրինաչափությունները կարող են հիմք հանդիսանալ տարածաշրջանում երկրաշարժերի կանխատեսման ցանցի ստեղծման համար:

Աշխատանքներն իրականացվել են 1982-1994թ.թ. "ԳԵՈՔԻ" գիտահետազոտական ինստիտուտի կայանում և հետագայում՝ ՍՊԱԾ-ի երկրաքիմիական բաժնում:

Կատարվել է.

- Առկա երկրաքիմիական տվյալների ամփոփում և վերլուծություն:
- Դիտարկվող հորատանցքերի ջրերի քիմիական կազմի փոփոխության վերլուծության հիման վրա հայտնաբերվել է երկրաշարժերի նախապատրաստման բնույթը:
- Հայտնաբերվել է երկրաշարժի կապը դիտարկվող երկրաքիմիական շարքերի վիճակագրական բնութագրերի հետ:
- Որոշվել է կապը տարածաշրջանի սեյսմիկ ակտիվության և մակընթացային ուժերի միջև:
- Նախապատրաստվել է տեսական և գործնական հիմք երկրաշարժերի տեղի, ուժի և ժամանակի կանխատեսման համար:

Հիմնական պաշտպանվող դրույթները

1. Տրանսկովկասյան տարածաշրջանի ուժեղ երկրաշարժերից 4,5-5 ամիս առաջ ի հայտ են գալիս կայուն կանխանշաններ:
2. Որպես կանխանշան կարող են դիտարկվել երկրաքիմիքական ժամանակային շարքերի այնպիսի հաշվարկային բնութագրեր, ինչպիսիք են դիսպերսիան և նրա սպեկտրալ բնութագրերը:

3. Տարածաշրջանի սեյսմիկ ռեժիմի ինտենսիվությունը ենթակա է պարբերական տատանումների 12 և 24 ժամ, 14 և 28 օր պարբերություններով:
4. Երակրաշարժի նախապատրաստումը կատարվում է հիպոկենտրոնի վրա սեյսմիկ իրադարձությունների ազդեցության ուժեղացման պայմաններում:
5. Ստորերկրյա ջրերի քիմիական կազմի փոփոխության դինամիկան արտացո-լում է տարածաշրջանում երկրաշարժերի նախապատրաստման երկարատև գործընթացը:

Գործնական օգտագործման հնարավորություններ

Տվյալ ուսումնասիրությունը կարող է հիմք հանդիսանալ երկրաշարժերի տեղի, ժամի և ուժի որոշման հետագա աշխատանքների համար: Տվյալների հստակեցման համար խորհուրդ է տրվում փոքրացնել դիտարկման քայլը դիտակայաններում, հասցնելով այն 3-ի անգամի մեկ ժամվա ընթացքում: Երկրաքիմիական և սեյսմիկ շարքերի ճշգրիտ համեմատության համար անհրաժեշտ է կազմել դիտակայաններից մինչև 1500 կմ շառավղով հեռավորությամբ տեղի ունեցած երկրաշարժերի կատալոգ: Հայտնաբերված "երկրաքիմիական անդորր" կանխանշանը և ինչպես նաև հելիումի արժեքների լոկալ մաքսիմումները կարող են օգտագործվել որպես երկրաշարժերի կանխանշան-ցուցիչներ: Առաջարկվում է ավելացնել դիտակայանների քանակը և լայնացնել նրանց տարածական բաշխումը տարածաշրջանում, որպես երկրաշարժերի կանխանշանների հավաստիությունը բարձրացնելու ուղիներից մեկը:

RESUME

This research is devoted to earthquake prediction since this scientific discipline is one of the most interesting problems of seismology. The research was made on the basis of studying the changes in the chemical composition of groundwater observation wells : "Kajaran", "Ararat" and "Surenavan" and their comparison with the seismic time series. Based on the analysis of continuous time series of the chemical content of water from observation wells in Armenia derived stable geochemical precursors of earthquakes a new type of precursor was identified, which was called the "geochemical quiescence". And also a new type of geochemical precursor was identified in the form of local maxima of the helium content in the water of monitoring wells. A sustainable relationship between the two precursors of earthquakes was established. The analysis of the seismicity of the region identified research and cyclical activation of seismicity. The relationship between seismic activity and the statistical characteristics of hydrogeochemical time series was established by the semidiurnal, diurnal, 14 and 28 day cycles of seismicity. The patterns can be the basis for creating an integrated system of earthquake prediction in the region.

The nature of the preparation of seismic events was observed and described by tracking the dynamics of the observed chemical composition of water wells. The dependence of the magnitude, time and distance of the seismic events on the statistical characteristics of the observed geochemical time series was established. The nature of seismic activity in the region and its relation to tidal forces and the relationship between seismic activity in the region and the chemical composition of water in monitoring wells was established. the practical and theoretical basis for the calculation of space-time and magnitude of the forthcoming seismic event was prepared.

A predictive variation of "geochemical quiescence" was identified. It shows that in the search of earthquake precursors a selection of anomalies is not a sufficient condition. Study of seismic activation processes is conducted on the basis of constructing the distribution histograms by minute per day, sidereal month. These histograms are recommended for similar studies. Cycles of seismic activity in the region with periods of 12 hours, 24 hours, 14 and 28 days are found. a periodic nature of forces responsible for the occurrence of earthquakes in the region is identified. a comprehensive geochemical earthquake stable precursor to all strong earthquakes in the region is identified. A periodic and cumulative process of preparation of the strong seismic event is identified.

The main defended theses are the following:

1. Seismic and geodynamic activation in the region are reflected in the changes of chemical composition of water in observed wells.
2. Transcaucasus region earthquakes with M>6 magnitude have stable, statistically significant precursors, which appear 4,5-5 month in advance the earthquake as a geochemical quietness, and maximum composition of helium in

3. the water of the wells.
4. The intensity of the seismic regime in the region is clearly marked as subject to fluctuations with a period of 12 hours, 24 hours, 14 and 28 days.
5. Statistical characteristics of the measured chemical components such as: knowledge of spectral characteristics, dispersion, average and so on, calculated in floating windows may be regarded as stable geochemical anomalies.
6. The preparation of strong earthquake occurs in the increasing mode of the impact of seismic events on the epicenter of upcoming earthquake.
7. The research of connection between the chemical composition of water and seismic activizatuion is held in the region , which covers the major part of continental collision of Arabic and Russian plate.

The results of this work can form the basis for the design and development of predictive geochemical network of observation wells in the territory of the Republic of Armenia and adjacent areas of Georgia, Azerbaijan, Iran and Turkey.

2018