

Долгая А.А.^{1,2}, Викулин А.В.¹, Герус А.И.^{1,3}

¹*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, adolgay@kscnet.ru*

²*Камчатский государственный технический университет, г. Петропавловск-Камчатский*

³*Камчатский государственный университет им. Витуса Беринга, г. Петропавловск-Камчатский*

Введение: моделирование волнового геодинамического процесса.

Анализ работ, посвященных исследованию временных, пространственных и энергетических закономерностей геодинамического (сейсмического и вулканического) процесса [3], позволил сформулировать следующие основные выводы. 1. «Региональный» подход к проблеме часто не позволяет видеть всю картину в целом и ограничивает возможности интерпретации следствий моделей, построенных в рамках такого подхода. Во избежание вызванных таким подходом ложных выводов целесообразно рассматривать закономерности геодинамического процесса с достаточно общих позиций, что позволит на новом качественном и количественном уровне подойти к постановке и решению геодинамических задач. 2. Для реализации такого «глобального», планетарного подхода исследование необходимо проводить на основании максимально полных списков событий в широком энергетическом диапазоне. 3. Данные, полученные многими исследователями, позволяют предположить, что закономерности пространственного, временного и пространственно-временного распределения очагов землетрясений и вулканических извержений имеют волновую природу [1]. 4. Исследования волновых закономерностей геодинамического процесса следует проводить в рамках блоковых представлений о строении геосреды [1]. 5. Представляется, что исследование таких «глобальных», построенных с использованием данных о сейсмических и вулканических событиях, пространственного, временного и энергетического распределений, реализуемых в пределах вращающейся блоковой геосреды, целесообразно проводить на примере геодинамически активных регионов Земли, имеющих «линейную» протяженность: окраина Тихого океана, Альпийско-Гималайский пояс и Срединно-Атлантический хребет.

База данных сейсмических и вулканических событий

Были составлены в едином формате максимально полные списки землетрясений и извержений вулканов планеты в пределах окраины Тихого океана, Альпийско-Гималайского пояса и Срединно-Атлантического хребта. Для хранения такого большого объема информации и удобства ее обработки была разработана и зарегистрирована база данных [4], позволившая перевести созданные списки событий в формат, доступный для обработки средствами вычислительной техники. Для организации работы с базой данных была разработана и зарегистрирована информационно-вычислительная система (ИВС) «EQV» [9], реализующая все основные функции обработки и хранения данных. Созданная база данных и разработанное программное обеспечение позволяет исследовать особенности распределений сейсмической и вулканической активности в больших пространственном и временном масштабах и в широком энергетическом диапазоне в рамках единых представлений и с использованием различных методов.

Методы и алгоритмы моделирования временных, пространственно-временных и энергетических закономерностей сейсмической и вулканической активности

Исследование временных закономерностей геодинамической активности. При изучении закономерностей временного распределения очагов землетрясений и извержений вулканов применялись методы спектрального, спектрально-корреляционного анализа и разработанный авторами метод «квазифазовой плоскости».

Метод спектрального анализа временных рядов предполагает решение задачи линейной множественной регрессии с помощью преобразований Фурье [5]. Метод спектрально-корреляционного анализа временных рядов (СКАВРя) основан на равносильности представления функций во временной и частотной областях с помощью преобразований Фурье [5]. Для проведения вычислительных экспериментов указанными методами была разработана специализированная информационно-вычислительная система [6]. При проведении исследований для оценки «устойчивости» выявленных периодов исходные выборки событий изменялись по регионам,

энергетической характеристике (магнитуда M – для землетрясений, индекс эксплозивной активности W – для извержений вулканов), временному интервалу и масштабу усреднения. Все полученные значения периодов затем группировались и наносились на частотную диаграмму. Значимыми признавались периоды, соответствующие локальным максимумам на итоговой диаграмме.

Полученные данные позволили выявить общие для сейсмического и вулканического процесса периоды (рис. 1): $T_0 \approx 250 \pm 30$, $2T_0 \approx 450 \pm 50$, $4T_0 \approx 1000 \pm 100$ и $8T_0 \approx 2000 \pm 200$. Все тектонические пояса Земли, имеющей примерно шарообразную форму, замкнуты друг на друга. Для протекающего в пределах таких поясов геодинамического процесса должны быть характерными только четные периоды. Таким образом, проведенный анализ временных «сейсмических» и «вулканических» рядов позволяет сделать вывод о том, что сейсмический и вулканический процессы, имеющие близкие значения основного периода и кратных ему четных периодов и протекающие в пределах трех мощнейших тектонических поясов планеты, могут являться проявлениями единого волнового геодинамического процесса.

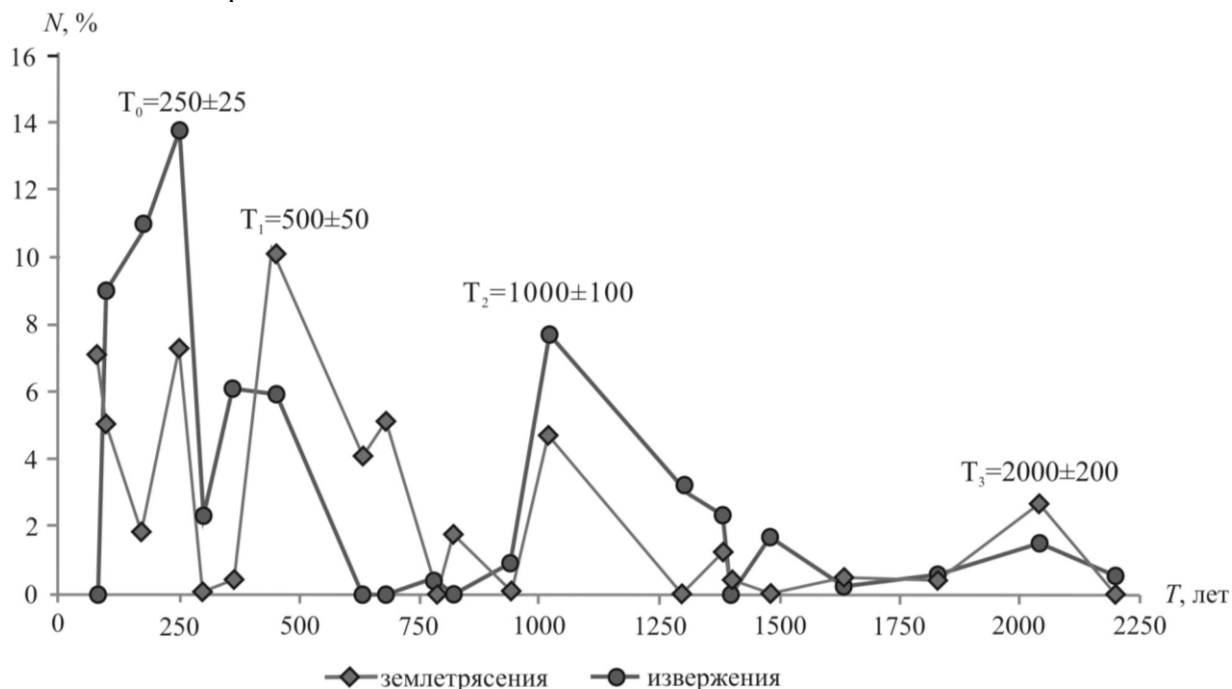


Рис. 1. Периоды геодинамического процесса, выявленные с помощью методов спектрального и спектрально-корреляционного анализа временных рядов.

Авторами была разработана [7] и программно реализована [12], позволившая адаптировать достаточно общий метод [1] фазовых плоскостей, применяемый в механике, к исследованию закономерностей геодинамического процесса (прежде всего, сейсмической его составляющей). Близкий по сути подход к исследованию закономерностей геологического процесса предложен в работах Захарова [13]. «Фазовыми» координатами при наших геодинамических построениях являются энергии землетрясений, их магнитуды M , и временные интервалы ΔT между исследуемыми событиями. Выполненные расчеты показали, что на плоскостях $M - \Delta T$ выявляются системы замкнутых изолиний, которые для сейсмического процесса в пределах окраины Тихого океана могут быть интерпретированы как определяющие их циклические (квазипериодические) движения с периодом $T_1 \approx 230 \div 270$ лет.

Полученное значение близко периоду T_0 , что позволяет сейсмический процесс считать циклическим (квазипериодическим). Существование для сейсмического и вулканического процессов общих периодов, выявленных независимыми методами, дает основание предположить, что они могут являться составными частями (единого) геодинамического процесса, имеющего, таким образом, квазипериодическую волновую природу.

Исследование пространственно-временных закономерностей геодинамической активности. В рамках теории Марковских цепей предложена модель пространственно-временного распределения (миграции) очагов землетрясений и вулканических извержений планеты. На возможность такого подхода указывают следующие данные. Во-первых, учитывая большой территориальный и временной масштаб рассматриваемых процессов (совокупностей событий), и большие значения магнитуд (энергий), можно принять тезис об отсутствии последствия между ближайшими

событиями каталога. Во-вторых, события распределены в пределах всего земного шара, тем не менее количество возможных мест в пределах активных поясов планеты, в которых, в основном, располагаются очаги землетрясений и действующие вулканы, хотя и велико, но конечно. В-третьих, временные интервалы между событиями подчиняются законам распределения случайных величин (Пуассона, Парето, Вейбулла и др.) [11].

Подавляющее большинство очагов сильных землетрясений и извержений вулканов распределено вдоль длинных узких поясов, окаймляющих планету. Это позволяет при исследовании закономерностей распределения событий перейти от трехмерного распределения (географические широта и долгота и время) к двумерному (время и расстояние вдоль линии). Для изучения пространственно-временных распределений очагов землетрясений и извергавшихся вулканов в рамках предложенного «двухмерного» подхода был разработан и программно реализован вычислительный метод исследования миграции сейсмической и вулканической активности (ИМСИВА) [10].

Особенности энергетического распределения геодинамической активности. Результаты проведенного нами исследования показали, что скорости миграции V сейсмической и вулканической активности зависят от энергетических характеристик геодинамического процесса M – магнитуда для землетрясений и W – индекс вулканической активности для извержений [8]:

$$\begin{aligned} M &\approx (7.6 \pm 1.0)LgV; & M &\approx (6.7 \pm 0.5)LgV; & M &\approx (-4.6 \pm 0.2)LgV & (1 \text{ а, б, в}) \\ W &\approx (-3.1 \pm 0.6)LgV; & W &\approx (-3.9 \pm 1.0)LgV; & W &\approx (-0.8 \pm 0.2)LgV & (1 \text{ г, д, е}) \end{aligned}$$

Видно, что параметр p , характеризующий наклон зависимостей $LgV(M)$ и $LgV(W)$, «чувствителен» к тектоническим обстановкам в поясах [14]: положителен для областей сжатия – окраины Тихого океана и Альпийско-Гималайского пояса (1а, б), и отрицателен для областей растяжения – Срединно-Атлантического хребта и всех вулканических поясов (1в-е).

Верификация полученных данных. На основании списка сейсмических событий на примере Срединно-Атлантического хребта было создано два искусственных каталога. В первом реальная последовательность дат в каталоге заменялась аналогичной по параметрам случайной последовательностью; во втором каталоге генерировались случайные значения координат событий вдоль осевой линии [10]. Для обоих искусственных каталогов строились миграционные цепочки и итоговые графики зависимостей логарифма скорости от магнитуды. Полученные «искусственные» графики, в отличие от «реального» (1 в), характеризуются малыми значениями коэффициента корреляции (порядка 0.1), отсутствием зависимости скорости миграции событий от их магнитуды. Аналогичные выводы можно сформулировать и относительно остальных зависимостей (1 а, б, г, д, е). Это может являться подтверждением того, что выявленные с помощью метода ИМСИВА зависимости скорости миграции от магнитуды (1) являются не случайными «артефактами», а отражают реальные временные, пространственные и энергетические свойства геодинамического процесса и являются достаточно «чувствительными» к геодинамической обстановке в активных поясах и вблизи них.

Волновая модель геодинамического процесса

Анализ значений коэффициентов «наклона» p показал, что сумма значений наклонов всех сейсмических (1 а-в) и вулканических (1 г-е) зависимостей с учетом точности их определения близка нулю при примерно равных по модулю средних «положительных» $p_+ = \{p_{M1,2} > 0\}$ и «отрицательных» $p_- = \{p_{W1,2,3,M3} < 0\}$ их значениях [8]. Возможность такого разбиения коэффициентов p , «чувствительных» к геодинамическим обстановкам в регионах, т.е. к направлению течения процесса (сжатию или растяжению), позволяет интерпретировать их в совокупности как векторную сохраняющуюся геодинамическую величину.

Для вращающейся блоковой среды – геосреды, предложена модель волнового геодинамического процесса [1, 2], в основе которой заложены обобщенные представления о периодичности сейсмического и вулканического процессов и их пространственно-временных свойствах, определяемых закономерностями миграции сейсмических и вулканических событий. В рамках такой ротационной блоковой модели геосреды и протекающего в ней геодинамического процесса физическим аналогом векторной сохраняющейся геодинамической величины p может являться момент импульса.

Заключение

В ходе проведенных исследований были получены следующие основные результаты:

1. Построена математическая, основанная на теории Марковских процессов, модель процесса миграции очагов землетрясений и извержений вулканов.

2. Разработаны численные методы исследования пространственно-временных закономерностей распределения (миграции) сейсмической и вулканической активности (метод ИМСиВА) и временных закономерностей сейсмического процесса – метод «квазифазовая плоскость».

3. Осуществлена алгоритмическая и программная реализация совокупности используемых вычислительных методик, ориентированная на кратковременные компьютерные расчеты, что позволяет использовать обычные пользовательские вычислительные ресурсы для решения рассматриваемых в исследовании геодинамических задач.

Предложенная модель и разработанные методы и программы позволили получить данные, объясняющие имеющиеся данные о закономерностях временного, пространственно-временного (миграции) и энергетического распределений сейсмической и вулканической активности в пределах тектонически активных поясов Земли.

4. Предложена физическая модель геодинамического процесса как волнового процесса, в основе которой заложены представления как о миграции и цикличности (квазипериодичности) сейсмической и вулканической активности, так и о геодинамическом параметре, чувствительном к тектоническим обстановкам в активных поясах и вблизи них. Следствия модели подтверждаются данными физики твердого тела, физической (нелинейной) акустики и материаловедения [2].

Список литературы

1. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГПУ, 2003. 151 с.
2. Викулин А.В., Иванчин А.Г. О современной концепции блочно-иерархического строения геосреды и некоторых ее следствиях в области наук о Земле // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2013. №3. С.67-84.
3. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Информационно-вычислительная система моделирования сейсмического и вулканического процессов как основа изучения волновых геодинамических явлений // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. №3. С 34-54.
4. Викулин А.В., Мелекесцев И.В., Акманова Д.Р. и др. Каталог сейсмических и вулканических событий // База данных № гос. рег. 2014620569 от 17.04.2014.
5. Долгая А.А., Акманова Д.Р., Викулин А.В. О периодичности геодинамического процесса // Тектоника складчатых поясов Евразии: сходство, различия, характерные черты новейшего горообразования, региональные обобщения. Материалы XLVI Тектонического совещания. Том I. М.: ГЕОС, 2014. С. 124-128.
6. Долгая А.А., Анкваб А.А. Информационно-вычислительная система «Периодичность» // Программа для ЭВМ № гос. рег. 2013661747 от 16.12.2013.
7. Долгая А.А., Викулин А.В. Квазипериодичность геодинамического процесса и законы сохранения // Академический журнал Западной Сибири. 2013. Том 9. № 6(49). С. 6–7.
8. Долгая А.А., Викулин А.В. О моделировании закономерностей геодинамического процесса // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т.10. №6 (55). С. 30-31.
9. Долгая А.А., Лобанов Е.Ю. Информационно-вычислительная система «EQV» // Программа для ЭВМ № гос. рег. 2014610119 от 09.01.2014.
10. Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И. Моделирование пространственно-временных закономерностей геодинамического процесса методом ИМСиВА // Вулканизм и связанные с ним процессы. XVIII ежегодная научная конференция, посвящённая Дню Вулканолога. Тезисы докладов. Петропавловск-Камчатский, 2015. С.135-139.
11. Долгая А.А., Викулин А.В., Герус А.И. Моделирование пространственных, временных и энергетических закономерностей геодинамической (сейсмической и вулканической) активности // Материалы конференции. Геодинамические процессы и природные катастрофы. Опыт Нефтегорска. В 2-х томах. Владивосток: Дальнаука, 2015. Том 2. С. 65-69.
12. Долгая А.А., Николаев А.Н. Информационно-вычислительная система «Квазипериодичность» // Программа для ЭВМ № гос. рег. 2013661748 от 16.12.2013.
13. Захаров В.С. Поиск детерминизма в наблюдаемых геолого-геофизических данных: анализ корреляционной размерности временных рядов // Современные процессы геологии. Сборник научных трудов. М.: Научный мир, 2002. С. 184-187.
14. Vikulin A.V., Akmanova D.R., Vikulina S.A., Dolgaya A.A. Migration of seismic and volcanic activity as display of wave geodynamic process // Geodynamics & Tectonophysics. 2012. V. 3. № 1. P. 1–18.