

УДК 550.348.436:681.3(-925.16)

© А.В. Новопашина

А.В. Новопашина

МЕТОДИКА ВЫЯВЛЕНИЯ МИГРАЦИЙ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПРИБАЙКАЛЯ СРЕДСТВАМИ ГИС

Введение

Моделирование сейсмического режима с использованием геоинформационных технологий эффективно для изучения истории развития сейсмичности, что является важной составляющей средне- и долгосрочного прогноза землетрясений и относится к статистическим методам поиска их предвестников.

Сейсмической активности свойственно явление миграции, представляющее собой закономерное перемещение во времени и пространстве сгущений очагов землетрясений разной силы. Наглядным способом представления сейсмического процесса, позволяющим выявить миграции вдоль заданного направления и определить их скорости, является пространственно-временная развертка.

В данной работе описан реализованный метод построения пространственно-временных диаграмм параметра эпицентрального поля «суммарная выделившаяся при землетрясениях энергия» ($\lg E_{\text{sum}}$). Прослеживая смещение максимумов такого параметра со временем, можно зафиксировать миграцию и определить ее скорость. Аналогичная методика была использована К. Моги [14], получившим скорости миграций сильных землетрясений побережья Тихого океана на основе анализа пространственно-временных диаграмм суммарных магнитуд. Моделирование проведено для территории Прибайкалья по макросейсмическим данным для временного интервала 1964-2002 гг., так как за этот период возможно получить однородные выборки представительных данных.

Методика исследования миграционных процессов

Трехмерная пространственно-временная диаграмма образована координатными осями: «направление», «время», «параметр $\lg E_{\text{sum}}$ » (рис. 1). Отношение проекции осей максимумов используемого параметра на оси расстояния (L) и времени (T) является скоростью прохождения миграции сейсмической активности (L/T). На диаграммах условными знаками также отмечены сильные сейсмические события (с энергетическим классом $K \geq 11,5$).

Эпицентрально поле землетрясений Байкальской рифтовой системы (БРС) характеризуется наличием протяженных линейных скоплений эпицентров, направленных вдоль основных рифтовых структур – впадин и поднятий, вытянутых вдоль простирания Байкальской рифтовой системы на первые сотни километров.

Для каждой из таких сейсмоактивных зон задается область проецирования сейсмических данных (рис. 2), представляющая собой прямоугольную вращающуюся полосу, пересеченную перпендикулярными элементарными ячейками размером $\Delta L = 0,1^\circ$, в которых отображается суммарная сейсмическая энергия, выделившаяся в отдельные промежутки времени. Величина ΔL обусловлена максимальной погрешностью определения эпицентра в данном регионе. Область проецирования задается в геоинформационной системе с открытым исходным кодом Quantum GIS (<http://www.qgis.org>), координатами точки центра

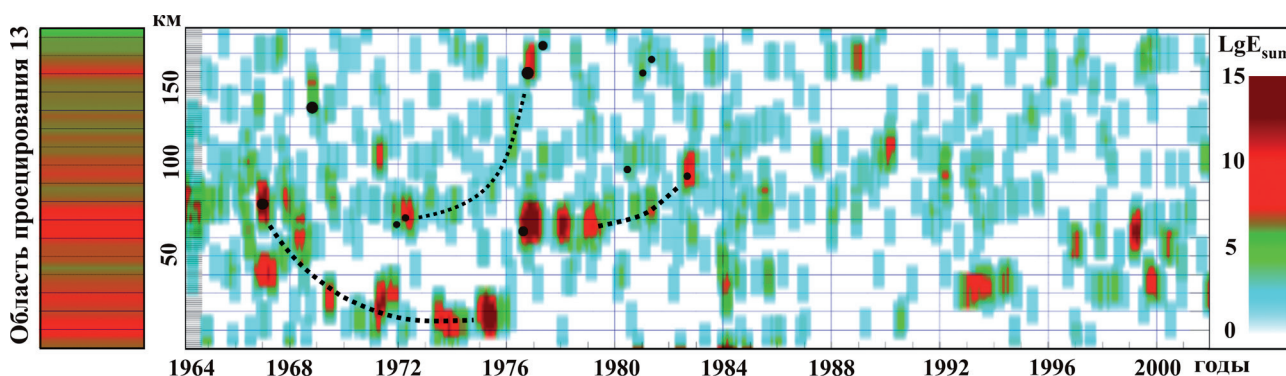


Рис. 1. Пространственно-временная диаграмма, включающая зону проецирования 13 (пунктиром показаны условные оси максимумов $\lg E_{\text{sum}}$)

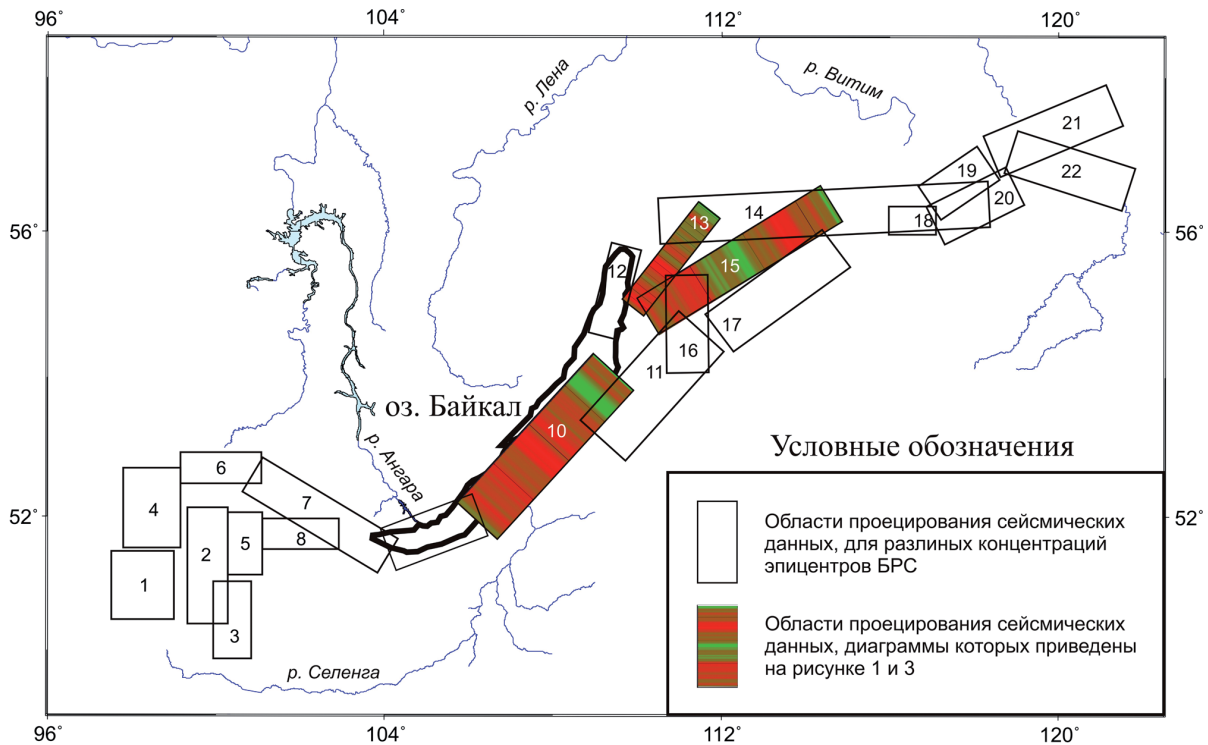


Рис. 2. Области проецирования сейсмических данных

и азимутом наклона оси проецирования поворачивающейся относительно точки центра (табл. 1). Инструментарий Quantum GIS существенно дополнен за счет расширения GRASS GIS (<http://grass.itc.it>). Простирание полос максимально приближено к осям концентраций эпицентров, а ширина и длина определены размером областей сгущения сейсмических очагов. Параметр LgE_{sum} получен по данным Байкальского филиала геофизической службы СО РАН для представительных землетрясений (энергетический класс $K \geq 8$), энергия которых суммировалась за период времени $\Delta T = 1$ месяц в пределах каждой ячейки проецирования. Полученные значения LgE_{sum} передаются в программу построения графиков MathGL, где интерполируются в радиусе $3 \cdot \Delta T$ на $3 \cdot \Delta L$ методом линейной интерполяции (рис. 1, 3). Таким образом были построены двадцать две диаграммы для двадцати двух зон проецирования.

Используемая методика позволяет выделять медленные миграции землетрясений, скорости которых приходится на часть спектра скоростей, измеряемых километрами – первыми десятками километров в год. Значения скоростей миграций строго привязаны к простиранию проекционных прямоугольников. Варьирование азимута простирания области проецирования приведет к получению иных значений скоростей, поэтому в работе подразумевается, что сейсмическая активность мигрирует вдоль линейно вытянутых скоплений эпицентров. При этом не исключена возможность получения значений скоростей миграций по другим направлениям,

включая поперечные. В данной работе приведены результаты исследования продольных миграций как наиболее показательные.

Результаты исследований

Анализ полученных диаграмм показал, что существуют четко выраженные продольные миграционные последовательности сейсмических событий, проходящие вдоль некоторых концентраций эпицентров (см. рис. 1, 3). Зачастую миграции носят циклический характер, являясь маятниковыми [8, 11] или односторонними [8]. Цепочки максимумов используемого параметра образованы как слабыми сейсмическими событиями ($11,5 \geq K \geq 8$), так и сильными ($15,9 \geq K \geq 11,5$). В основном, миграции хорошо видны в областях с относительно высоким числом слабых событий. На рис. 3 приведены примеры диаграмм для сейсмоактивных областей БРС: района Средне-Байкальской впадины (рис. 3А), соответствующей области проецирования 10 на рис. 1, и одного из районов северо-восточного фланга БРС, соответствующего области проецирования 15 на рис. 1 (рис. 3Б). Анализ двадцати двух диаграмм показал, что отдельным зонам свойственны определенные моды скоростей миграций. Скорости меняются в узком интервале в пределах одной сейсмоактивной зоны и могут сменить диапазон значений при переходе в соседнюю зону.

Основной части сейсмических зон юго-западного и северо-восточного флангов Байкальского рифта свойственны скорости до 20 км/год. Мода

Таблица 1

Параметры областей проецирования, диаграммы которых представлены на рис. 1, 3

№	Координаты центра		h, км	a, км	Аз.
	λ	φ			
10	108,05°	53,3°	400	110	55°
13	110, 85°	55,75°	175	50	30°
15	112,5°	55,65°	350	70	65°

№ – номер области проецирования, λ – долгота; φ – широта; h, a – высота и ширина области проецирования соответственно; Аз. – азимут простирания области проецирования

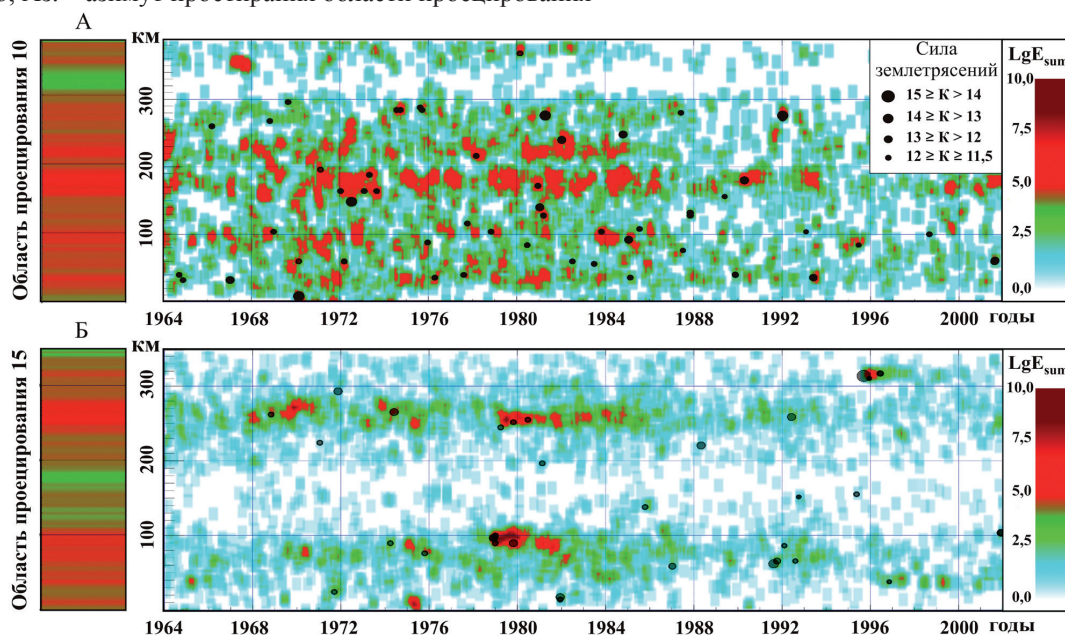


Рис. 3. Примеры пространственно-временных диаграмм: А – для зоны проецирования 10, Б – для зоны проецирования 15

30-35 км/год, среднее значение 34 ± 2 км/год, а также скорости 35-70 км/год характерны для района Средне-Байкальской впадины. Скорости медленных продвижений фронтов деформаций вдоль активных разломов (2-30 км/год), полученные С.И. Шерманом [12] для района Центральной Азии, близки к скоростям миграций, полученным используемым в данной работе методом.

В районе Южно-Байкальской впадины зафиксированы миграции, проходящие со скоростью 15-20 км/год, некоторые из которых накладываются на тренд $3,4 \pm 0,4$ км/год, представляющий собой закономерное длительное (39 лет) смещение сейсмического процесса с северо-востока на юго-запад, включающее землетрясения энергетических классов $15,9 \geq K \geq 14$. Скорость миграции сильных землетрясений Южно-Байкальской впадины приходится на диапазон скоростей 2-6 км/год – характерный для сильнейших землетрясений района Средней Азии [7].

Длины зафиксированных миграционных цепочек, обусловленные блочной делимостью земной коры и соответствующие длинам сегментов активных раз-

ломов [5], ответственных за генерацию землетрясений, принимают характерные значения 50, 70, 160 ± 10 км на северо-восточном фланге Байкальского рифта и до 50 ± 10 км – на юго-западном. В центральной части миграционные расстояния самые различные: 30-100, с преобладанием длин траекторий до 50 км (± 10 км), соответствующих так называемым внутренним разломам Байкальской рифтовой зоны, не проникающим ниже подошвы земной коры [4]. Это те разломы, которые расчленяют впадины на более мелкие блоки. В центральной части миграционные расстояния самые различные: от 25 до 100 км, с преобладанием длин траекторий 40-50 км. Те миграционные последовательности, длины траекторий которых превышают 60-70 км, приурочены к краевым разломам [4], т.е. к ограничивающим рифтовые впадины. Хорошим примером служит интенсивная миграция, зафиксированная в районе Верхнеангарской впадины (см. рис. 1). Длина интенсивной миграции, проходящей со скоростью примерно 12 км/год, более 70 км. Можно предположить, что физической средой прохождения миграции является Верхнеангарский разлом, являющийся краевым.

Используемая методика пространственно-временной развертки сейсмического процесса позволяет увидеть, что миграция землетрясений, является единым процессом смещения сейсмической энергии в пространстве со временем, так как сильные землетрясения и совокупность слабых сейсмических событий чаще всего – звенья одной цепи. Возможно, это свидетельство распространения фронта деформации вдоль определенного направления, перераспределяющего напряжения в разломных зонах. На сегодняшний день среди исследователей нет единого мнения относительно природы распространения такого фронта. Миграции сейсмической активности, как отражения изменения напряженно-деформированного состояния земной коры, интерпретируются по-разному. Распространенной является точка зрения о волновой природе таких миграций [1, 2, 3, 6, 11, 12]. Такие волны регистрируются деформометрами, гравиметрами, гидрогеологическими и геофизическими методами [13], выявляются по результатам многократного нивелирования [10].

Заключение

С использованием Quantum GIS с расширением GRASS GIS реализована разработанная методика проецирования сейсмических данных с последующей передачей в систему построения графиков MathGL. Это позволило зафиксировать медленные миграции землетрясений, свойственные сейсмоактивным областям БРС. Скорости миграций на флангах Байкальского рифта принимают, за некоторым исключением, значения в диапазоне 10-20 км/год, а в центральной его части в 2-3 раза больше.

Исследования более высокоскоростных миграций сейсмического процесса (выше 100 км/год), которые, скорее всего, также присутствуют в Прибайкалье [9], требуют более детальной временной развертки пространственно-временных диаграмм.

Возможность учитывать закономерности смещения сильных землетрясений сейсмоактивных областей, расположенных вблизи социально-значимых территорий, может быть использована для определения не только времени, но и места будущих сильных землетрясений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке проекта программы Президиума РАН № 4.1.

Ключевые слова: землетрясение, миграция сейсмической активности, энергия землетрясений, Прибайкалье.

ЛИТЕРАТУРА

1. Быков В.Г. Деформационные волны Земли: концепция, наблюдения и модели // Геология и геофизика. – 2005. – Т. 46. – № 11. – С. 1176-1190.

2. Викулин А.В. Физика волнового сейсмического процесса. – Петропавловск-Камчатский : КОМСП ГС РАН ; КГПУ, 2003. – 151 с.

3. Левина Е.А., Ружич В.В. Миграция землетрясений как проявление волновых деформаций твердой оболочки Земли // Триггерные эффекты в геосистемах : материалы Всероссийского семинара-совещания. – М. : ГЕОС, 2010. – С. 71-78.

4. Лобацкая Р.М. Структурная зональность разломов. – М. : Недра, 1987. – 128 с.

5. Мишарина Л.А., Солоненко А.В. Влияние блоковой делимости земной коры на распределение сейсмичности в Байкальской рифтовой зоне // Сейсмичность Байкальского рифта. Прогностические аспекты. – Новосибирск : Наука, 1990. – С. 70-78.

6. Николаевский В.Н. Математическое моделирование уединенных деформационных и сейсмических волн // Доклады АН. – 1995. – Т. 341. – № 3. – С. 403-405.

7. Никонов А.А. Миграция сильных землетрясений вдоль крупнейших зон разломов Средней Азии // Доклады АН СССР. – 1975. – Т. 225. – № 2. – С. 306-309.

8. Ружич В.В., Хромовских В.С., Перязев В.А. Анализ глобальной пространственно-временной миграции очагов сильных землетрясений с геотектонических позиций // Инженерная геодинамика и геологическая среда. – Новосибирск : Наука, 1989. – С. 72-81.

9. Саньков В.А., Буддо В.Ю., Зуев Ф.Л. Монголо-Байкальская сейсмоактивная система как саморазвивающаяся диссипативная структура // Теория диссипативных структур в геологическом анализе : материалы IV конференции по геологической синергетике. – Апатиты : Изд-во Кольского научного центра РАН, 1998. – С. 83-84.

10. Кузьмин Ю.О. Деформационные автоволны в разломных зонах // Физика земли. – 2012. – № 1. – С. 3-19.

11. Шерман С.И. Тектонофизический анализ сейсмического процесса в зонах активных разломов литосферы и проблема среднесрочного прогноза землетрясений // Геофизический журнал. – 2005. – Т. 27. – № 1. – С. 20-38.

12. Шерман С.И., Горбунова Е.А. Вариации и генезис сейсмической активности разломов Центральной Азии в реальном времени // Вулканология и сейсмология. – 2011. – № 1. – С. 63-76.

13. Khalilov E.N. Forecasting of earthquakes: the reasons of failures and the new philosophy // Science without borders : Transactions of the International Academy of Science H & E. – V. 3. – 2007/2008. – Innsbruck : SWB, 2008. – P. 300-315.

14. Mogi K. Migration seismic activity // Bull. of the Earthquake. Res. Inst. – 1968. – Vol. 46. – P. 53-74.