

## GEOMETRIC FEATURES A SWARM OF EARTHQUAKES IN NEVADA

N. S. Buktukov, G. P. Metaksa

Mining institute of D. A. Kunaev, Almaty, Kazakhstan

**Keywords:** swarm of earthquakes, relaxation, discharge, response, histogram.

**Abstract.** In the article the analysis of the cause - effect relationships swarm of earthquakes in Nevada (4 ÷ 11.11.2014), which led to the following conclusions:

1. Stress relaxation in mineral substances Nevada mountain range obeys a linear law and characteristic of the intra- and intergranular equations consideration, as evidenced by the coincidence with the calculated values of the frequency of recurrence of aftershocks earthquake swarm.

2. To review intraplanetary level best results indicate volume ratios obtained in the framework of solving the Kepler problem on sublatitudinal and a north-south extent of the grounds for major irregularities inherent in a particular area of the mountain range.

3. It is shown that the flow stress relaxation occurring during the course of a swarm of earthquakes can trigger earthquakes excitation mechanism of self-focusing ring structures for sublatitudinal manifestations, and for submeridional uneven terrain.

УДК 622.652.528

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РОЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НЕВАДЫ

Н. С. Буктуков, Г. П. Метакса

Институт Горного дела им. Д. А. Кунаева, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** рой землетрясений, релаксация, разрядка, отклик, гистограмма.

**Аннотация.** В статье рассмотрен анализ причинно-следственных взаимосвязей роя землетрясений в Неваде (4 ÷ 11.11.2014), который позволил сделать следующие выводы:

1. Релаксация напряжений в минеральном веществе горного массива Невады подчиняется линейному закону и характерна для внутрикристаллического и межзеренного уравнений рассмотрения, о чем свидетельствуют совпадения с расчетными значениями периодичности повторения толчков роя землетрясений.

2. Для внутрипланетного уровня рассмотрения наилучший результат показывают объемные соотношения, получаемые в рамках решения Кеплеровых задач по субширотному и субмеридиональному признакам для масштабов крупных неоднородностей, присущих конкретной области горного массива.

3. Показано, что протекание разрядки напряжений, происходящих в процессах протекания роя землетрясений, может инициировать возбуждение землетрясений по механизму самофокусировки кольцевых структур как для субширотных проявлений, так и для субмеридиональных неоднородностей ландшафта.

В начале ноября 2014 года в гористой местности Невады (41–42° N, 119 – 120°W) наблюдали рой землетрясений, происходивших с разной периодичностью. На рисунке 1 приведена гистограмма распределения землетрясений, проявлявшихся в этой местности.

Из рисунка видно, что наибольшее их количество повторялось через малые промежутки времени 2–5 минут, 10–15 минут, а доля долгопериодных процессов разрядки деформационных напряжений не превышала 20%. Не вникая в первопричину появления роя землетрясений, можно

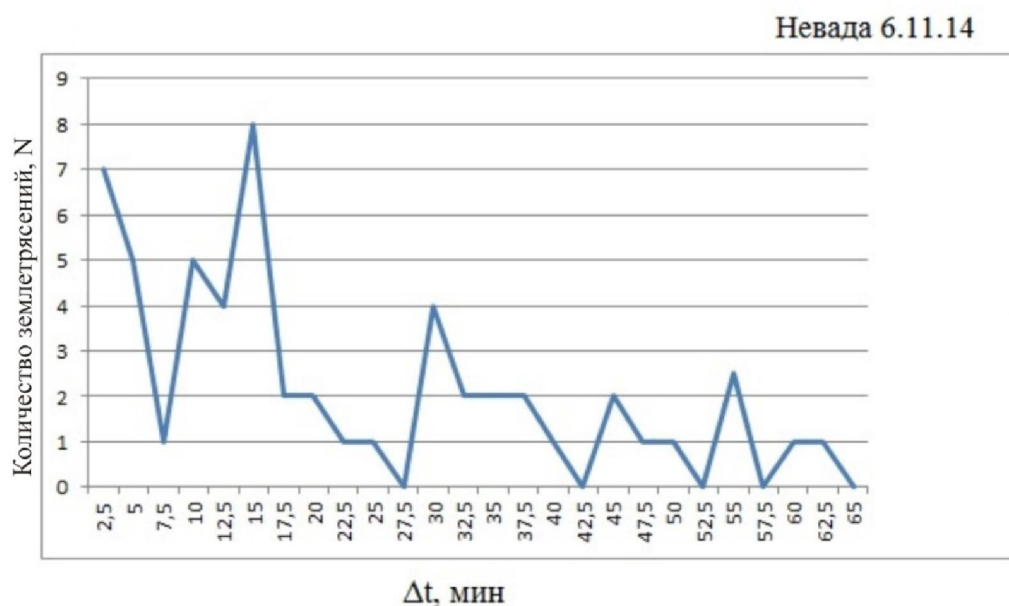


Рисунок 1 – Гистограмма распределения землетрясений по времени

анализировать последствия разрядки возникающих напряжений, используя разные физические модели, отличающиеся между собой для каждого уровня рассмотрения. Для структурного уровня основным показателем отклика на внешнее воздействия является скорость релаксации.

Известно, что скорость релаксации  $V_p$  для всех горных пород равна  $V_p = 2 \cdot 10^{-8}$  м/с [1]. Это означает, что каждый уровень рассмотрения для минерального вещества должен соответствующим образом отреагировать на внешние воздействия. Так на уровне строения кристаллической решетки мы должны получить релаксационный процесс, определяемый параметром кристаллической решетки (3–6 ангстрем), что при известной скорости релаксации вызовет колебания на частотах 30–70 Гц.

Наличие трещиноватости в минерале вызовет отклик на инфранизких частотах в пределах  $0,3 - 0,7 \cdot 10^{-2}$  Гц. Тектурные особенности межзернового строения минерала приведут к отклику с еще более низкими частотами  $< 0,7 \cdot 10^{-5}$  Гц. В таблице 1 приведены расчетные данные по частотному спектру и длительности каждого цикла разрядки напряжений (релаксации) для каждого уровня рассмотрения.

Таблица 1 – Параметры процессов релаксации для минерального вещества на разных уровнях рассмотрения

| Уровень рассмотрения               | Размер структурного элемента, м | Частота релаксационного процесса, Гц | Период его повторения, с                   |
|------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|
| Структурный (кристаллический)      | $< 6 \cdot 10^{-10}$            | 30÷70                                | $\sim 1,5 \cdot 10^{-2}$                   |
| Внутрикристаллический (дислокации) | $< 3 \cdot 10^{-6}$             | $0,3 - 0,7 \cdot 10^{-2}$            | $\sim 2,5 - 3$ мин                         |
| Межзеренный (трещиноватость)       | $< 3 \cdot 10^{-3}$             | $< 0,7 \cdot 10^{-5}$                | $\sim 15 \div 20$ мин                      |
| Макроскопический (неплотности)     | 1,0                             | $2 \cdot 10^{-8}$                    | $0,5 \cdot 10^8$ с = 15,8 лет              |
| Геометрический (фокусировка)       | 1000                            | $2 \cdot 10^{-11}$                   | $0,5 \cdot 10^{11}$ с = $15 \cdot 850$ лет |

Сопоставляя данные, приведенные в таблице, можно заметить, что разрядка напряжений в виде роя землетрясений по порядку величин соответствует первым трем уровням рассмотрения, связанным с изменениями в кристаллическом строении минерального вещества. Так максимум вблизи 3–5 минут соответствует внутрикристаллическому уровню рассмотрения, в котором отклик на внешние воздействия реализуется за счет дислокационных перемещений внутри кристаллов. А максимум при 10–15 минут интервалах между землетрясениями связан с трещиноватостью минеральных пород, емкость которых обусловлена геометрией межзерных структур. Остальные

землетрясения, периодичность которых превышает 20 минут, связаны, по-видимому, с существованием несплошностей разного калибра, размер которых менее 1 м. Релаксационный процесс для них составляет по данным таблицы годы и десятки лет. Для несплошностей техногенного происхождения (подземный ядерный взрыв 1968 г.) уровень повторяемости релаксационных процессов составляет десятки тысяч лет и находится за пределами существующих возможностей их обнаружения.

Здесь поиск причинно-следственных связей приводит к необходимости анализа циклических взаимодействий планетарного уровня рассмотрения. В этой связи полезна информация о преобладающих глубинах возникновения очагов землетрясений (рисунок 2).

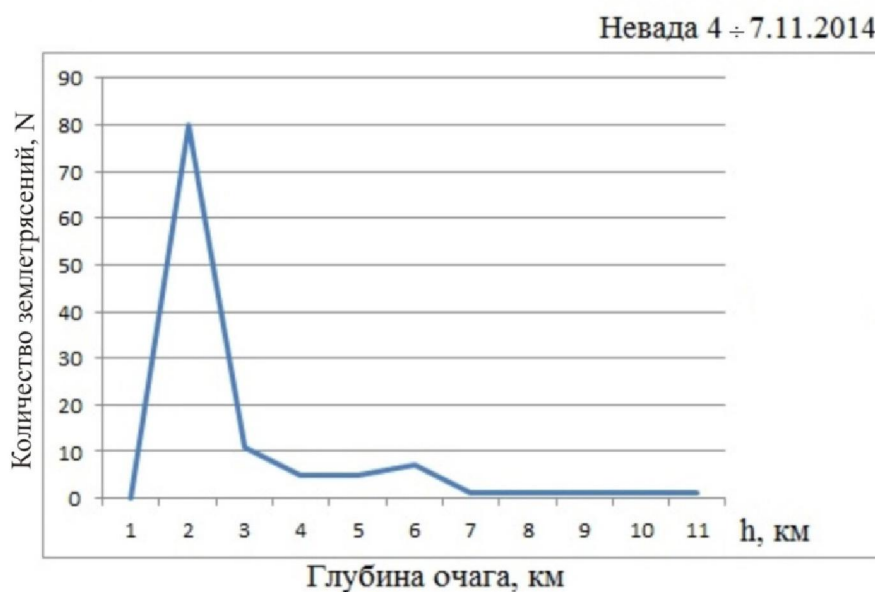


Рисунок 2 – Гистограмма распределения землетрясений Невады по глубине очага

На этой гистограмме хорошо выявляется максимум откликов на глубине 1000 м. В сейсмологии такие проявления классифицируются как поверхностные эффекты, периодичность которых зависит от пространственно-временных параметров вращения круглых тел, т.е. находится в пределах решения Кеплеровских задач [2].

В таблице 2 приведены расчетные значения постоянной К для основных ритмов планеты.

Таблица 2 – Расчетные значения Кеплеровского соотношения для основных ритмов Земли

| Наименование цикла | К, м <sup>3</sup> /с <sup>2</sup> | Периодичность для R = 1000 м, Т, с |
|--------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| Суточный           | $3,477 \cdot 10^{10}$             | 0,16 с (V = 6,25 Гц)               |
| Лунный             | $3,767 \cdot 10^7$                | 4,5 с (V = 0,22 Гц)                |
| Годовой            | $2,6 \cdot 10^5$                  | 62 с                               |
| Солнечный (12 лет) | $1811 = 1,811 \cdot 10^3$         | 741 с = 12 мин                     |
| Солнечный (11 лет) | $2150 = 2,15 \cdot 10^3$          | 682 с = 11 мин                     |

Расчетные данные свидетельствуют о том, что для каждого цикла этот коэффициент имеет конкретное значение и в зависимости от вида взаимодействия меняется на 2–3 порядка по мере возрастания продолжительности цикла рассмотрения. А для километровой глубины очага землетрясения периодичность в зависимости от рассматриваемого цикла колеблется от 0,16 с до 12 минут. Факт совпадения этого расчетного параметра с реально наблюдаемыми явлениями в Неваде указывает на то, что существуют граничные условия для перехода одного вида релаксации напряжений в другой, т.е. перехода от линейных соотношений к объемным (Кеплеровским).

В этой связи представляют интерес гистограммы объемного распределения роя землетрясений по субширотному и субмеридиональному признакам (рисунки 3, 4).

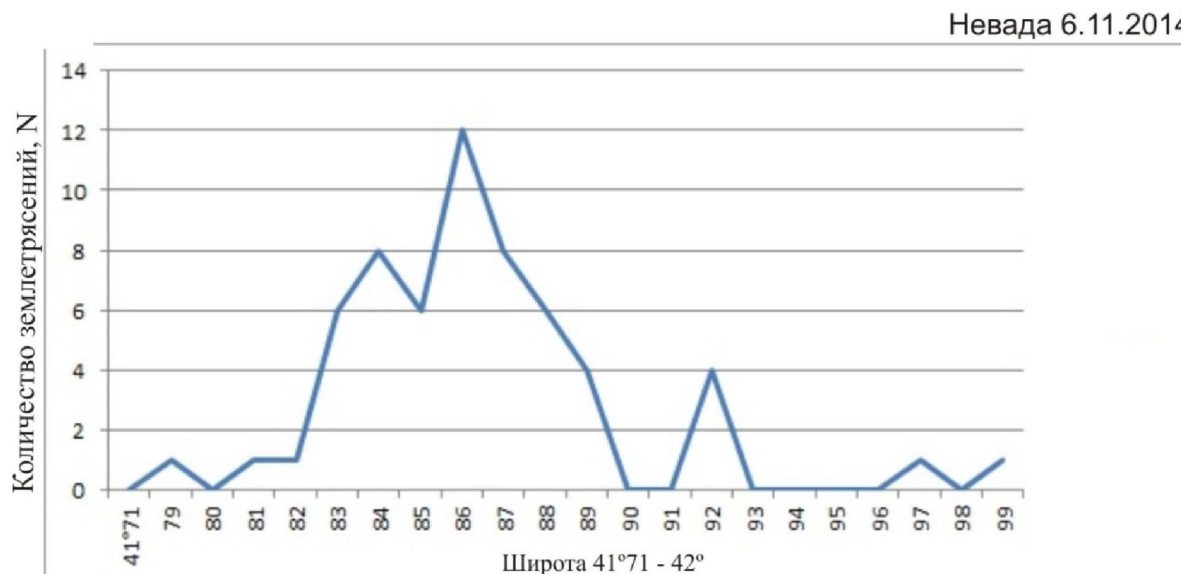


Рисунок 3 – Субширотное распределение роя землетрясений Невады, 6.11.2014 г.

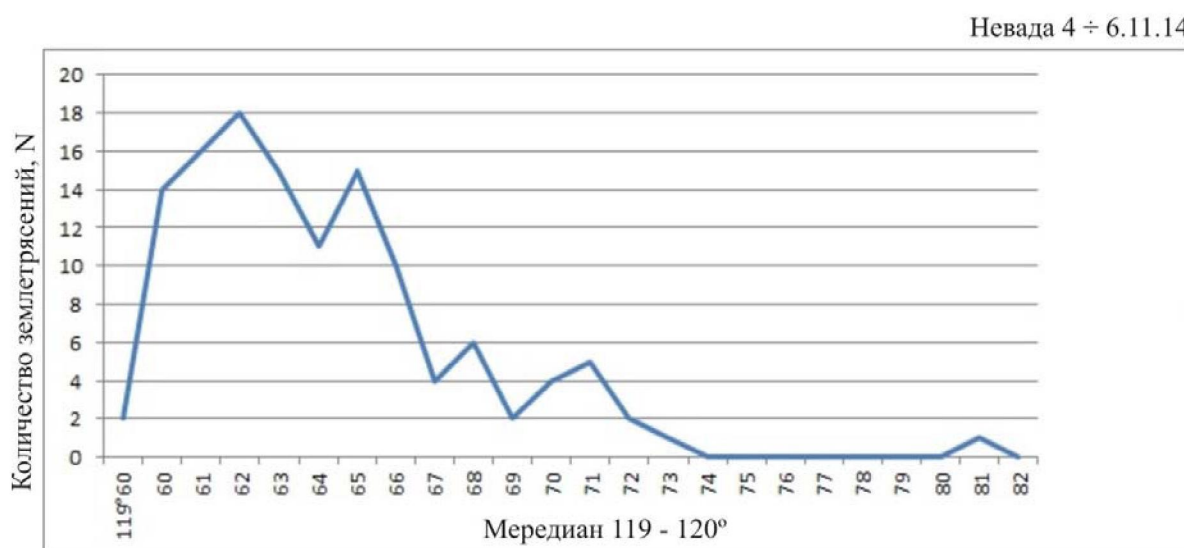


Рисунок 4 – Субмеридиальное распределение роя землетрясений Невады, 4÷6.11.14

Здесь видно, что существует несколько максимумов на гистограммах распределения землетрясений по пространственному признаку. Математически этот факт свидетельствует о проявлении разных причинных признаков. Так по субширотному признаку (рисунок 3) большинство землетрясений распределено между широтами  $41^{\circ}84'$  и  $41^{\circ}90'$ . На этих широтах каждый градус соответствует примерно 110 км. Для разницы в  $6'$  это расстояние составит около 6–7 км. Другой максимум, значительно меньший по абсолютной величине, приходится на расстояние, соответствующие глубине очага землетрясений, т.е. 1000 м. Главным причинным источником для субширотных проявлений является суточное вращение планеты вокруг своей оси. Напряжения, накапливаемые в различных неоднородностях литосферы, имеют неодинаковые значения и должны разряжаться последовательно в зависимости от размера неоднородности. Так неоднородность размером 6000 м по третьему закону Кеплера имеет собственное время равновесного существования, равное в пределах суточного ритма 6,21 с. С такой периодичностью эти неоднородности накапливают и разряжают напряжения от суточного вращение планеты. Соответственно меньше периодичность для малых масштабов неоднородности.

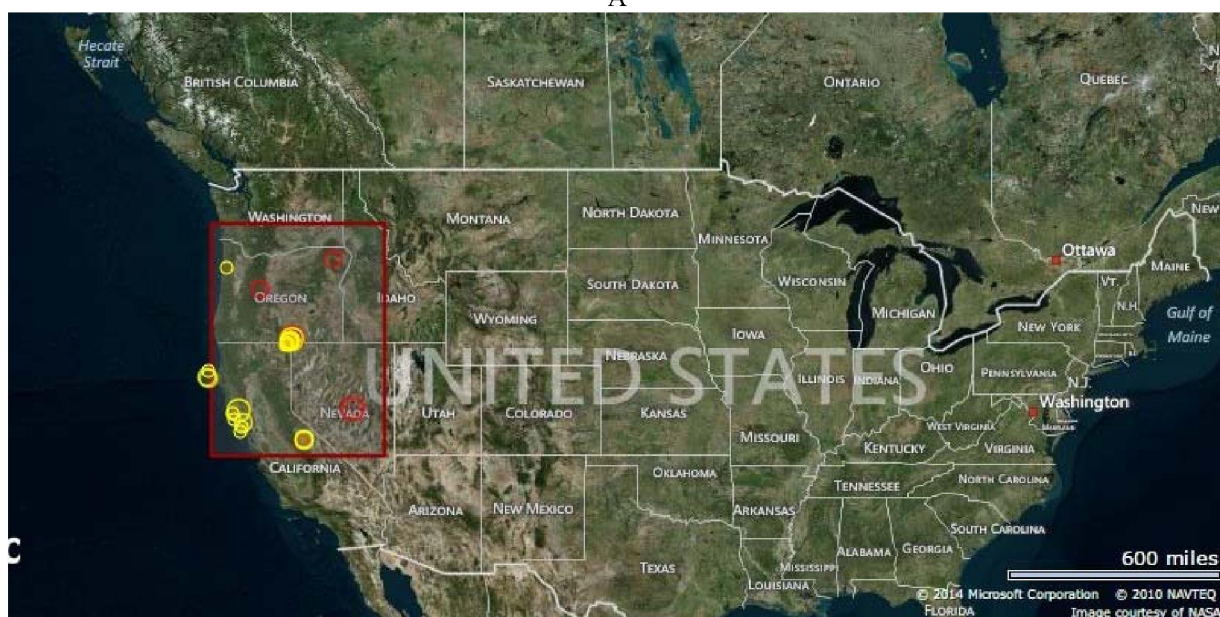


Такого же порядка для данного роя землетрясений и субмеридиональное распределение толчков разрядки, т.е. оно находится в пределах  $119^{\circ}60' \div 119^{\circ}65'$ ,  $119^{\circ}66' \div 119^{\circ}68'$ ,  $119^{\circ}70' \div 119^{\circ}72'$ . Количество максимумов на рисунке 4 значительно больше, что свидетельствует о влиянии других механизмов внешнего воздействия, связанных с перемещением солнечной системы в сторону северного полюса. Порядок величин для периодичности откликов на воздействие почти такой же как и субширотных проявлений.

Как следует из приведенных данных, рой землетрясений Невады может быть квалифицирован как поверхностные, так как большинство из них имеют глубину очага (около 1000 м) и малую интенсивность ( $m \sim 2-3$ ). На рисунке 5 приведены данные Европейского сейсмологического центра по распределению землетрясений по поверхности планеты на этот период.



A



C



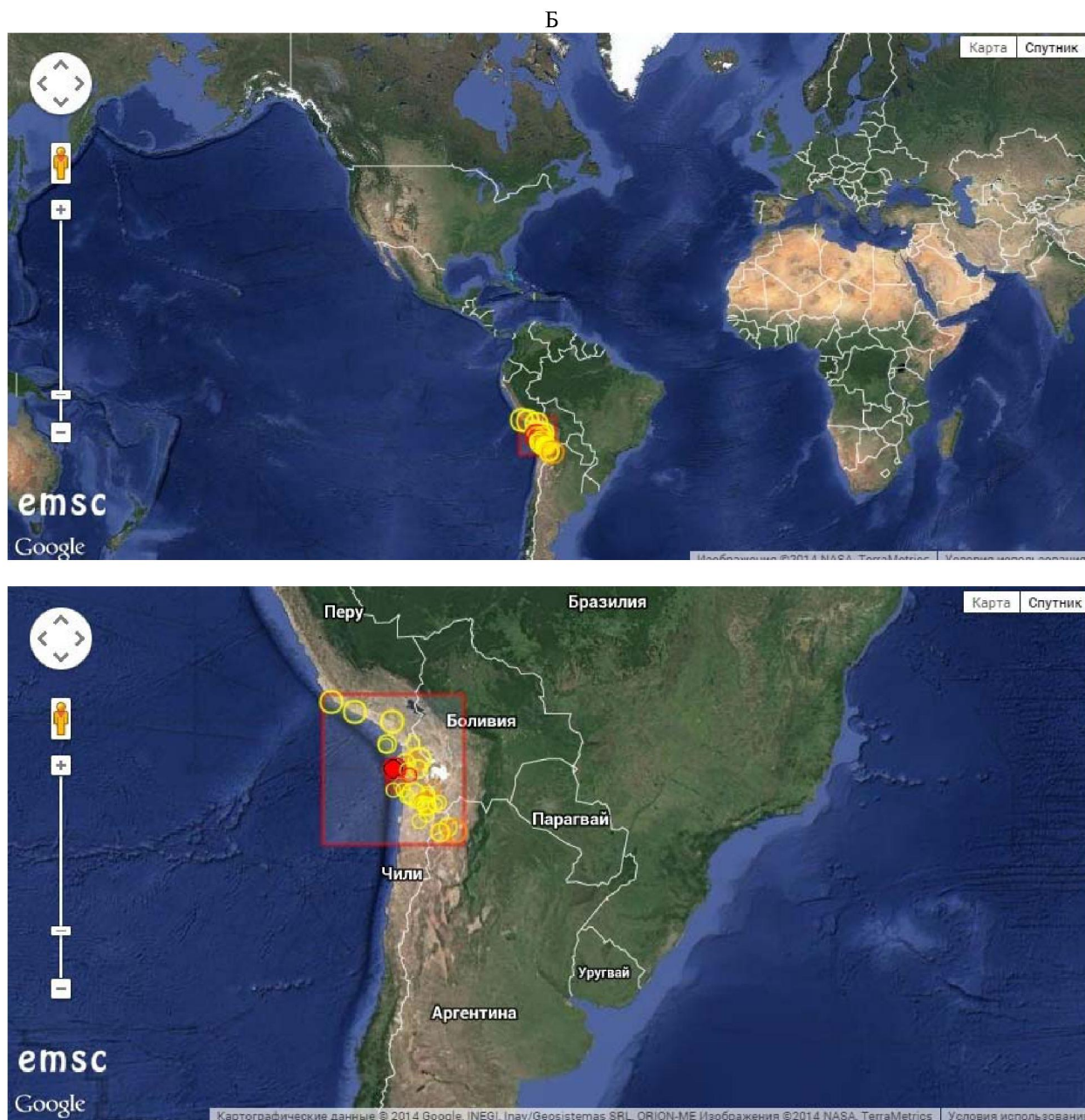


Рисунок 5 – Распределение землетрясений на поверхности планеты по данным спутниковой связи [3]:  
А – Северная Америка, Б – Южная Америка

Здесь хорошо видно как инициировалась волна землетрясений субширотного направления от Невады. Эта волна прокатилась по всем материкам вплоть до Японии.

В субмеридиональном направлении откликом на внешнее воздействие от Невады являются подобные события в Чили (рисунок 5, Б), локализация которых определяется полукольцевой формой прибрежного ландшафта. По состоянию на 6.11.2014 количество их соотносится 72:12, периодичность следования Чилийских событий чаще всего превышает один час. Этот факт свидетельствует о том, что они являются наведенными, т.е. обусловленными другой причиной – следственной связью. Эта «наводка» вполне может быть результатом распространения волн растяжения – сжатия, генерацию которых обеспечивает полигон Невада. Субмеридионально они распространяются по воде Тихого океана, а встретив преграду в виде кольцевой структуры подводного ландшафта, начинают его раскачивать по механизму кольцевой фокусировки. В этом

случае они приобретают поперечную составляющую, т.е. соучаствуют в суточном (широтном) движении планеты, обеспечивая появление импульсов сжатия и растяжения.

Анализ причинно – следственных взаимосвязей роя землетрясений в Неваде (4÷ 11.11.2014) позволяет сделать следующие выводы:

1. Релаксация напряжений в минеральном веществе горного массива Невады подчиняется линейному закону и характерна для внутрикристаллического и межзеренного уравнивания, о чем свидетельствуют совпадения с расчетными значениями периодичности повторения толчков роя землетрясений.

2. Для внутрипланетного уровня рассмотрения наилучший результат показывают объемные соотношения, получаемые в рамках решения Кеплеровых задач по субширотному и субмеридиональному признакам для масштабов крупных неоднородностей, присущих конкретной области горного массива.

3. Показано, что протекание разрядки напряжений, происходящих в процессах протекания роя землетрясений, может инициировать возбуждение землетрясений по механизму самофокусировки кольцевых структур как для субширотных проявлений, так и для субмеридиональных неоднородностей ландшафта.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Хаджи В.Е. Синтез минералов. – Т. 1. – М.: Недра, 1987. – 487 с.
- [2] Метакса Г.П., Буктуков Н.С. Виды равновесия внутрипланетных циклов. – Берлинский дом книги. – 2014. – 160 с. (в печати).
- [3] Centre Seismology Euro – Mediterranean in 2014.

#### REFERENCES

- [1] Hadzhi V.E. Sintez mineralov. T. 1. M.: Nedra, 1987. 487 s.
- [2] Metaksa G.P., Buktukov N.S. Vidy ravnovesija vnutriplanetnyh ciklov. Berlinskij dom knigi, 2014, 160 s. (v pechati).
- [3] Centre Seismology Euro – Mediterranean in 2014.

### НЕВАДАНЫҢ ЗІЛЗАЛАСЫНЫҢ ОРДАСЫНЫҢ ГЕОМЕТРИЯЛЫҚ ӨЗГЕШЕЛІКТЕРІ

Н. С. Буктуков, Г. П. Метакса

Д. А. Қонаеватындағы Тау-кенісі институты, Алматы, Қазақстан

**Тірек сөздер:** зілзаланың ордасы, релаксация, бәсеңдік, лебіз, гистограмма.

**Аннотация.** Мақалада Невададағы зілзаланың (4÷11.11.2014) себеп-салдарлық байланыстарына жасалған талдаудың нәтижелері көрсетілген:

1. Неваданың таулы массивінің минералдық заттарындағы қысымның релаксациясы сызықтық заңға бағынады және ішкікристалдық пен аралықбидай теңдеуіне сәйкес келеді. Оған зілзаланың қайталану жиіліктерінің есептік көрсеткіштерінің құастығы дәлел.

2. Белгілі бір ауданның таулы қыраттарына сай келетін ірі масштабтағы Кеплер тапсырмаларын шешу барысында алынған біртекті субмеридионалдық және субендік ерекшеліктер ішкіпланеталық деңгейдегі қарастыруда ең жақсы ірі көлемді қатынастарды көрсетуде.

3. Жер сілкінісі кезінде жүретін қысымның бәсеңдеуі біртекті жерде субмеридионалдық және субендік шеңберлі құрылымдардың өзіндік тұйықталу механизмін іске қосуға итермелеуі мүмкін екендігі көрсетілген.

Поступила 20.03.2015 г.