

УДК 551.24+550.34

Омуралиев М., Омуралиева А., Ачакеев Э.
Институт сейсмологии НАН КР
г. Бишкек, Кыргызстан

ДИНАМИКА РАЗЛОМОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ЗЕМЛИ И ЕЁ ЧАСТЕЙ

Аннотация: В работе изложены методика и результаты ежедневного изучения динамики разломов землетрясений Земли, Америки (Южной, Северной Америки) и Азии за 2012-2015 гг.

Ключевые слова: динамика разломов, динамическая сегментация, накопление подвижек, длина разлома, тип подвижки, магнитуда, сейсмический момент, период сейсмической активизации, период сейсмического затишья, кумулятивная (суммарная) длина, кумулятивная (суммарная) подвижка, верхний и нижний пределы флуктуации.

ЖЕРДИН ЖАНА АНЫН БӨЛҮКТӨРҮНҮН ЖЕР ТИТИРӨӨЛӨР ЖАРАҢКАЛАРЫНЫН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну: Макалада 2012-2015-жылдардагы Жер, Америка (Түштүк жана Түндүк Америка) жана Азиядагы жер титирөөлөр пайда болгон жаракалардын динамикасын күн сайын изилдөө методикасы жана жыйынтыктары баяндалган.

Негизги сөздөр: жердин жаракаларынын динамикасы, динамикалык сегменттөө, жылыштын чогулуусу, жараканын узундугу, жылыштын тиби, магнитуда, сейсмикалык момент, сейсмикалык активдештирүүнүн мезгили, сейсмикалык басандоо мезгили, топтолгон (кошулмаланган) узундук, топтолгон (кошулмаланган) жылыш, флуктуациянын үстүнкү жана астынка чектери.

DYNAMICS OF FAULTING OF THE EARTHQUAKES IN THE EARTH AND ITS PARTS

Abstract: The method and results of the daily study of faulting dynamics of the earthquake in the Earth, America (South, North America) and Asia in 2012-2015 are presented in the paper.

Keywords: dynamics of faulting, dynamic segmentation, displacement accumulation, fault length, displacement type, magnitude, seismic moment, seismically active period, seismically calm period, cumulative (total) length, cumulative (total) displacement, upper and lower limits of fluctuation.

Введение

Землетрясения, особенно мелкофокусные – коровые, являются следствием образования трещин или разломов [1]. В разломе землетрясения происходит распространение разрушения [2, 3] по мере его развития. Разломы землетрясений приурочены к зонам активных разломов, где имеются следы (разломы, оползни) сильных доисторических (палео-) и исторических землетрясений и происходит динамическая сегментация [4]. Развитие активных разломов традиционно изучается по геодезическим, геомагнитным, геолого–геоморфологическим, палеосейсмологическим данным. Накопление (аккумуляция) подвижки по разломам землетрясений впервые рассмотрена в работах зарубежных учёных [5-7]. Так, Брюн [7] определил аккумуляцию подвижек в системе разлома Сан-Андреас за период 1934-1963 гг. по формуле:

$$\sum \langle U \rangle = \frac{1}{\mu A_0} \sum M_0, \quad (1)$$

где – $\sum \langle U \rangle$ - накопление (сумма) подвижек по разлому событий, A_0 – площадь разлома, μ – жёсткость среды, $\sum M_0$ – сумма сейсмических моментов событий. Величина накопления подвижек за 29-летний период составляла 93 см. Здесь скорость накопления подвижек равна 2.3 см/год. В таблице 1 приведены рассчитанные скорости подвижек для зон больших разломов [7, 8].

Таблица 1.

Рассчитанные скорости подвижки для зон больших разломов [7, 8]

| Зона | Период (годы) | L (км) | D (км) | $\sum M_0$ (дин·см) | Скорость подвижки* (см/год) |
|------------------------------|---------------|--------|--------|---------------------|-----------------------------|
| Южная Калифорния | 1934-1963 | | | | |
| Импириал-Вэлли | | 120 | 20 | | 3.2 |
| Малый разлом Сан-Андреас | | 130 | 20 | | 0.03 |
| Керн-Каунти | | 134 | 20 | | 17 |
| Вся область | | 754 | 20 | | 5.8 |
| Разлом Сан-Джасинто | 1912-1963 | 280 | 20 | | 1.5 |
| Южно-калифорнийская область | 1912-1963 | 754 | 20 | | 3.7 |
| Малый разлом Сан-Андреас | 1800-1867 | 1240 | 20 | | 6.6 |
| Новая Зеландия | 1914-1948 | 1350 | 20 | | 7.2 |
| Турция (Анатолийский разлом) | 1939-1967 | 1240 | 20 | | 11 |
| Основные дуги: | | | | | |
| Тонга (глубина 0-60 км) | 1920-1954 | 1500 | 85 | | 5.2 |
| Тонга (глубина 100-700 км) | 1920-1954 | 1500 | 800 | | 0.23** |
| Япония | 1905-1955 | 800 | 60 | | 15.7 |
| Алеутские острова | 1905-1967 | 3200 | 85 | | 3.8 |

* $\mu=3.3 \cdot 10^{11}$ дин/см²

** $\mu=6.6 \cdot 10^{11}$ дин/см².

Параметрами разлома землетрясения являются: длина L , величина подвижки U , типы подвижки (взбросовый, надвиговый, сбросовый, сдвиговый и их комбинации). Канамори и Андерсон [9] предположили, что величина $U/L = \text{const}$. Величины длины – L разлома и подвижки – U разлома связаны с магнитудой – M или сейсмической энергией – E [10 -14], например:

$$\lg L = 0.5M - 1.75, \quad (2)$$

$$\lg U = 0.57M - 3.19, \quad (3)$$

где M -магнитуда, L – длина разлома (км), U – подвижка по разлому (м).

Соотношение между L , U и сейсмическим моментом M_0 связано формулой [15]:

$$M_0 = \mu UA, \quad (4)$$

где M_0 – сейсмический момент (дин·см), U – подвижка (м), A – площадь (длина L х глубина D) разлома (км²), μ – жёсткость среды (дин/см²). В таблице 2 приведены основные параметры

ряда землетрясений Земли [8, 16, 17]. Следует отметить, что фактические данные по длине разломов, величине подвижки по разломам и типам подвижки разломов многих землетрясений отсутствуют. Часто практикуется проходка траншей для определения параметров разлома землетрясения. Во многих случаях типы подвижек определяются при исследовании механизмов очагов землетрясений по вступлениям продольных сейсмических волн.

Таблица 2.

Основные параметры разломов ряда землетрясений Земли [8, 16, 17]

| Землетрясение | Дата | M | $M_0 10^{27}$ (дин см) | L (км) | U (м) | Тип подвижки |
|----------------|------------|-----|---------------------------|-------------|------------|--------------------------------|
| Сан-Франциско | 18.04.1906 | | 10 | 430 | 5-7 | Сдвиг правосторонний |
| Канто | 1.09.1923 | 7.9 | 7.6 | 130 | 2.1 | Взбросо - сдвиг правосторонний |
| Танго | 27.03.1927 | 7.5 | 0.46 | 35 | 3 | Сдвиг левосторонний |
| Сев. Идзу | 25.11.1930 | 7.0 | 0.2 | 20 | 3 | Сдвиг левосторонний |
| Сайтама | 21.09.1933 | 7.0 | 0.068 | 20 | 1 | Сдвиг левосторонний |
| Санрику | 2.03.1933 | 8.3 | 43 | 185 | 3.3 | Сброс |
| Лонг-Бич | 11.03.1933 | | 0.028 | 30 | 0.2 | Сдвиг правосторонний |
| Импириэл-Вэлли | 19.05.1940 | | 0.48 | 70 | 2 | Сдвиг правосторонний |
| Тоттори | 10.09.1943 | 7.4 | 0.36 | 33 | 2.5 | Сдвиг правосторонний |
| Тонанкай | 7.12.1944 | 7.0 | 15 | 120 | 3.1 | Взброс |
| Микана | 12.06.1945 | 7.1 | 0.087 | 12 | 2.2 | Взбросо-сдвиг правосторонний |
| Нанкай | 20.12.1946 | 8.1 | 15 | 120 | 3.1 | Взброс |
| Фукуи | 28.01.1948 | 7.3 | 0.33 | 30 | 2 | Сдвиг левосторонний |
| Токати-Оки | 4.03.1952 | 8.1 | 17 | 180 | 1.9 | Взброс |
| Керн-Каунти | 21.07.1952 | | 2 | 60 | 4.6 | Взбросо-сдвиг левосторонний |
| Фэйрвью | 16.12.1954 | | 0.13 | 36 | 2 | Сбросо- сдвиг правосторонний |
| Чили | 22.05.1960 | | 2400 | 800 | 21 | Взброс |
| Китамино | 19.08.1961 | 7.0 | 0.09 | 12 | 2.5 | Взбросо-сдвиг правосторонний |
| Васака бэй | 27.03.1963 | 6.9 | 0.033 | 20 | 0.6 | Сдвиг правосторонний |
| Сев. Атлантика | 3.08.1963 | | 0.12 | 32 | 1 | Сдвиг правосторонний |
| Курилы | 13.10.1963 | | 75 | 250 | 3 | Взброс |
| Сев. Атлантика | 17.11.1963 | | 0.038 | 27 | 0.48 | Сдвиг правосторонний |
| Испания | 15.03.1964 | | 0.13 | 95 | 0.42 | Взброс |
| Аляска | 28.03.1964 | | 520 | 500 | 7 | Взброс |
| Ниигата | 16.06.1964 | 7.5 | 3.2 | 80 | 3.3 | Взброс |
| Рэт-Айланд I | 4.02.1965 | | 140 | 500 | 2.5 | Взброс |
| Рэт-Айланд II | 30.03.1965 | | 3.4 | 50 | 1.2 | Сброс |

| | | | | | | |
|-------------------------------|------------|-----|--------|-----|------|------------------------------|
| Паркфилд | 28.06.1966 | | 0.032 | 26 | 0.6 | Сдвиг правосторонний |
| Алеутские о-ва | 4.07.1966 | | 0.226 | 35 | 1.6 | Сдвиг правосторонний |
| Траки | 12.09.1966 | | 0.0083 | 10 | 0.3 | Сдвиг правосторонний |
| Перу | 17.10.1966 | | 20 | 80 | 2.6 | Взброс |
| Турция | 22.07.1967 | | 0.83 | 80 | 1.7 | Сдвиг правосторонний |
| Боррего | 9.04.1968 | | 0.063 | 33 | 0.58 | Сдвиг правосторонний |
| Токати-Оки | 16.05.1968 | 7.0 | 28 | 150 | 4.1 | Взбросо-сдвиг правосторонний |
| Сайтама | 1.07.1968 | 6.1 | 0.019 | 10 | 0.92 | |
| Иран | 31.08.1968 | | 1 | 80 | 2.1 | Сдвиг левосторонний |
| Португалия | 28.02.1969 | | 5.5 | 80 | 2.5 | Взброс |
| Курилы | 11.08.1969 | | 22 | 180 | 2.9 | Взброс |
| Гифу | 9.09.1969 | 6.6 | 0.035 | 18 | 1 | Сдвиг левосторонний |
| Перу | 31.05.1970 | | 10 | 130 | 1.6 | Сброс |
| Сан-Фернандо | 9.02.1971 | | 0.12 | 20 | 1 | Взбросо-сдвиг левосторонний |
| Нэмуру-Оки | 17.06.1973 | 7.4 | 6.7 | 60 | 1.6 | Взброс |
| Китай | 27.07.1976 | | 2 | 150 | 2.7 | Сдвиг правосторонний |
| Кеминское, Кыргызстан [16] | 3.01.1911 | 8.2 | 7.5 | 200 | 8.5 | Взбросо-сдвиг |
| Суусамырское, Кыргызстан [17] | 19.08.1992 | 7.3 | 0.76 | 25 | 3.8 | Взбросо-сдвиг правосторонний |

Исходные данные, методика и результаты

За основу наших исследований взят ежедневный каталог землетрясений ($M \geq 2.5$) Геофизической службы Соединенных Штатов (USGS) за период с августа 2012 г. по февраль 2015 г. [18]. Длина разломов и подвижки по разломам определялись с использованием эмпирических формул Иида [10, 11] и Бонилла [14], соответственно, с определённой точностью. В качестве параметров динамики разломов землетрясений конкретного региона, отдельно взятой сейсмической зоны и зоны разлома на начальном этапе исследований нами предлагаются нижеследующие: 1- последовательность (временного) проявления длины разломов; 2 – последовательность проявлений подвижек по разломам; 3- накопление длины разломов – изменение кумулятивной (суммарной) длины во времени; 4- накопление подвижек по разломам – изменение кумулятивной (суммарной) подвижки во времени.

Динамика разломов землетрясений Земли в целом. Последовательность длины разломов землетрясений Земли за рассматриваемый период приведена на рисунке 1. На графике видны периоды активизации и затишья процесса образования разломов. Этим периодам свойственны своеобразные разломные ассоциации. В периодах активизации проявляются в основном крупные разломы землетрясений, а в периодах затишья – сравнительно мелкие разломы.

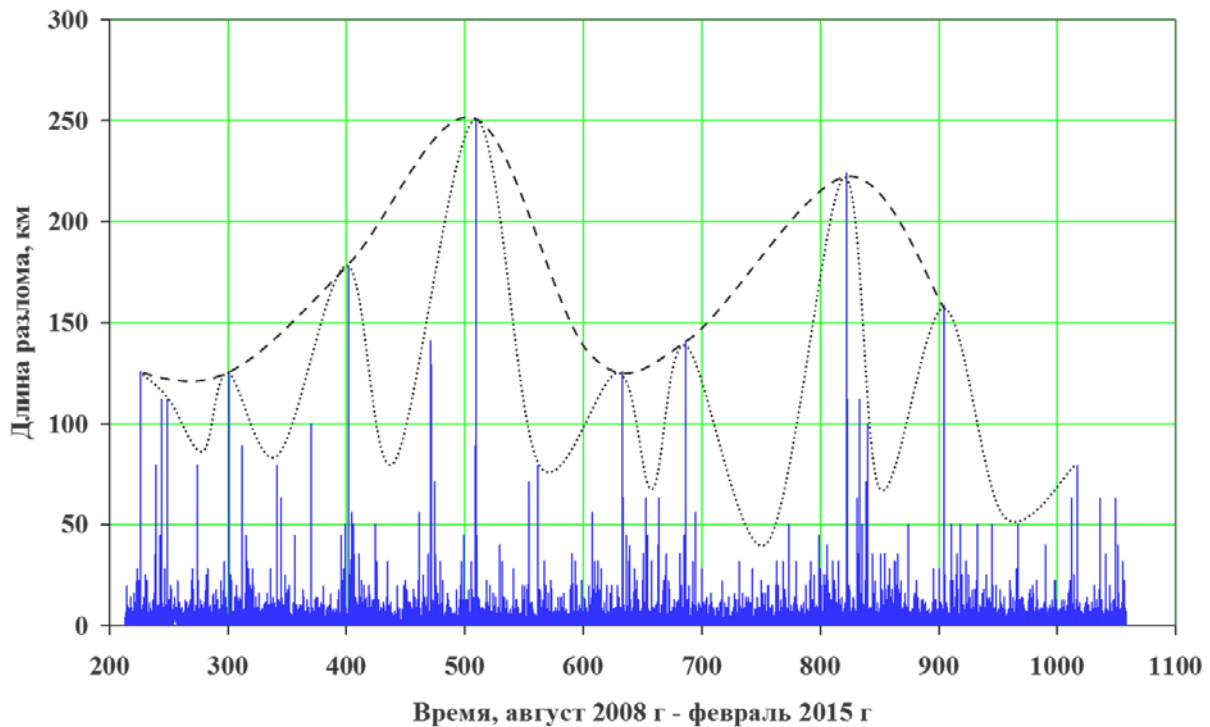


Рисунок 1. Последовательность проявления длины разломов землетрясений ($M \geq 2.5$) Земли целом с августа 2012 г. по февраль 2015 г. Периоды активизации и затишья обозначены пунктирной линией, локальные периоды активизации и затишья — точечной линией.

С августа 2012 г. по январь 2013 г. наблюдался период затишья. С 6 февраля наступил период активизации, образовался разлом землетрясения с магнитудой $M=8.0$ (на островах Санта-Крус). Пик активизации проявился 24 мая 2013 г. возникновением разлома землетрясения $M=8.3$ ($\varphi = 54.874$, $\lambda=153.28$). Длина разлома составляла около 250 км. После пика активизации резко наступил период затишья. С 8 ноября 2013 г. снова наступил период активизации, образовался разлом землетрясения $M=7.8$. Затем проявился пик активизации 1 апреля 2014 г. с образованием разлома землетрясения $M=8.2$ в Чили длиной около 224 км. После наблюдался спад активизации. 23 июня 2014 г. на острове Малый Ситкин (Аляска) образовался разлом землетрясения $M=7.9$. Далее снова отметился период затишья. Длительность времени между пиками активизации (от 24.05.2013 г. по 01.04.2014 г.) составила около 312 суток. На фоне периодов активизации и затишья наблюдались локальные периоды активизации и затишья. Длительность времени между экстремумами локальных периодов активизации колеблется от 54 суток до 135 суток.

Характер накопления длины разломов землетрясений Земли в целом выражен на графике изменения кумулятивной (суммарной) длины (рисунок 2). График представлен неровной ступенчатой линией. Средняя линия (тренд) выражена формулой:

$$L_k = 100.33t - 20650, \text{ (км)} \quad (5)$$

где L_k — кумулятивная длина разломов (км), t — время (сутки), коэффициент 100.33 имеет единицу измерения — км/сутки и представляет собой скорость накопления длины разломов. Нижний и верхний пределы флуктуации суммарной длины разломов землетрясений ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуации

(расстояние между верхним и нижним пределами, обозначенные пунктирными линиями) суммарной длины составляет 4000 км, что представляет собой возможную максимальную суммарную длину разломов всех землетрясений Земли в целом в определенное время.

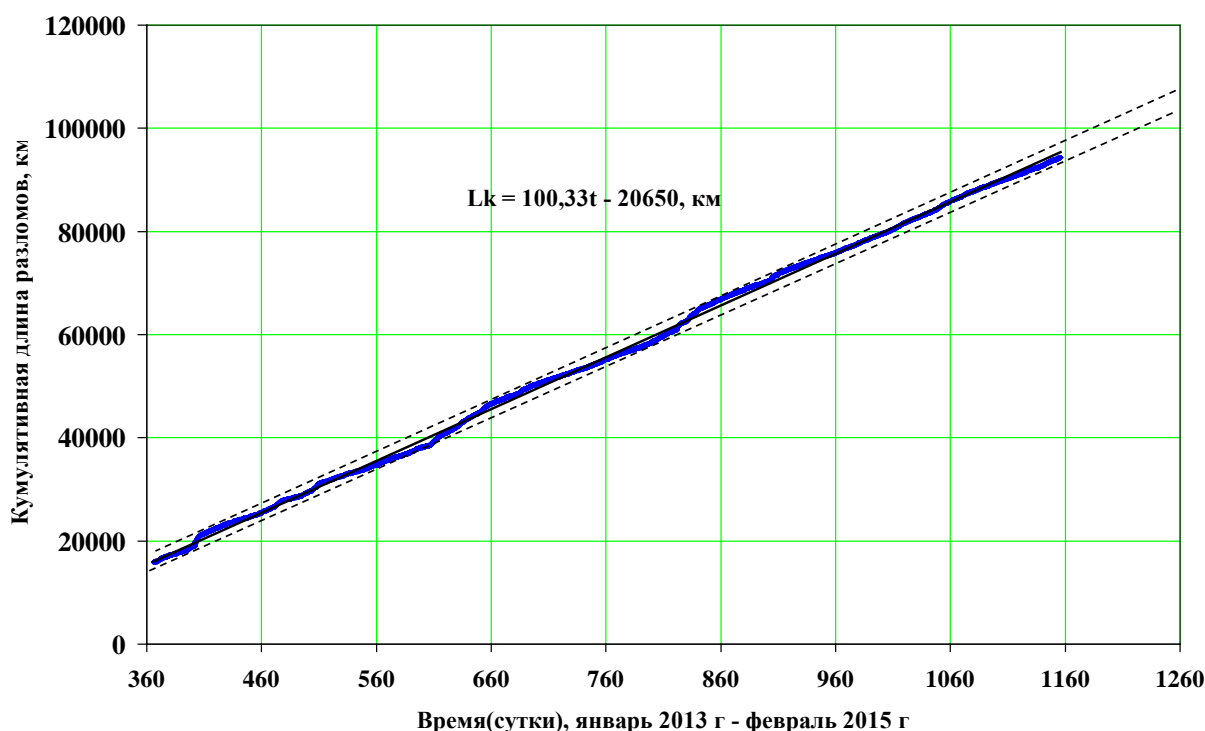


Рисунок 2. Кумулятивная длина разломов землетрясений с магнитудами $M \geq 2.5$ Земли в целом с января 2013 г. по февраль 2015 г. Средняя линия (тренд) обозначена сплошной линией, пунктирными линиями — нижний и верхний пределы флуктуации.

Следует отметить, что на графике кумулятивной длины разломов землетрясений выделяются периоды активизации и затишья, отмеченные в последовательности проявления землетрясений (см. рисунок 1) соответственно с относительно большой и малой скоростью накопления длины разломов. График суммарной длины разломов в последнее время приближается к нижней линии флуктуации. На этой основе можно предположить, что в апреле - мае 2015 г., вероятно, наступит период активизации проявления разломов большой длины.

Накопление подвижек по разломам землетрясений с $M \geq 2.5$ Земли в целом приведено на рисунке 3. График изменения суммарной подвижки неровный. Средняя линия (тренд) выражена эмпирической формулой:

$$U_k = 8.161t - 1664.2, \quad (\text{м}) \quad (6)$$

где U_k — кумулятивная подвижка (м), t — время (сутки), коэффициент 8.161 имеет единицу измерения — м/сутки и представляет собой скорость накопления подвижек по разломам. Нижний и верхний пределы флуктуации суммарной подвижки ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуации суммарной подвижки (между верхним и нижним пределами) составляет 300 м.

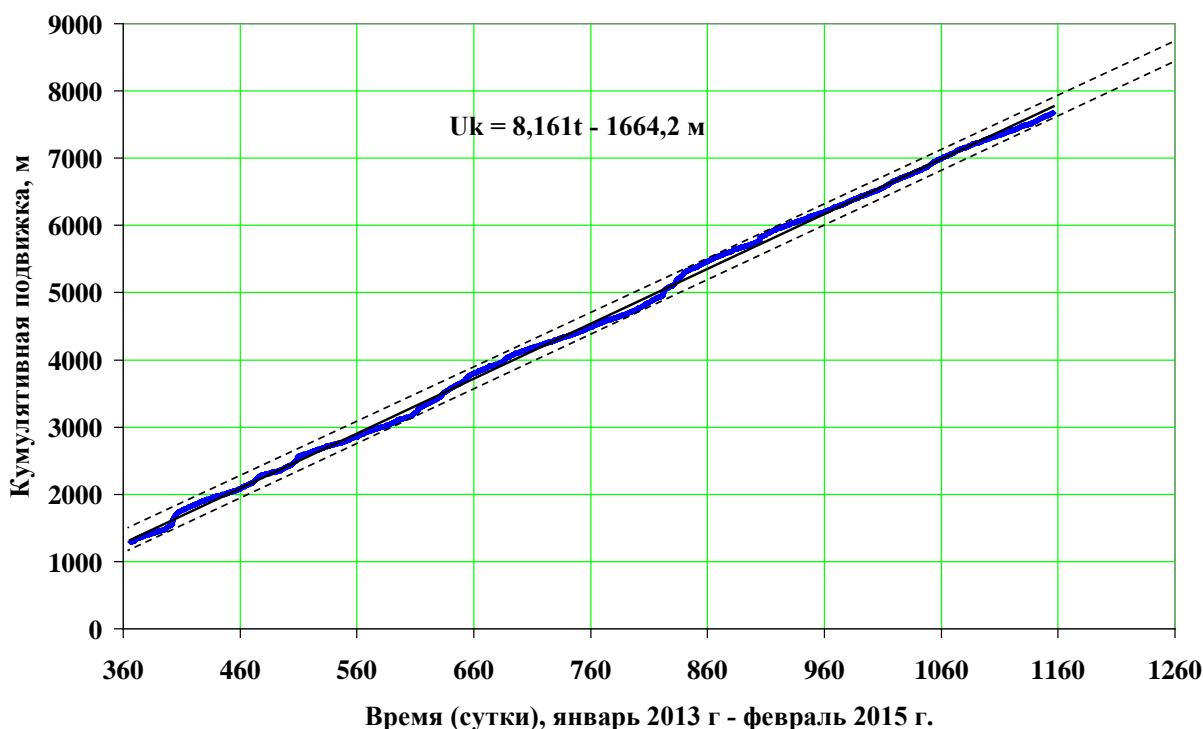


Рисунок 3. Кумулятивная подвижка по разломам землетрясений с магнитудами $M \geq 2.5$ Земли в целом с января 2013 г. по февраль 2015 г. Средняя линия обозначена сплошной линией, пунктирными линиями - нижний и верхний пределы флуктуации.

Важно отметить, что на графике кумулятивной подвижки по разломам землетрясений выделяются периоды активизации и затишья с относительно большой и малой скоростью накопления подвижек, соответственно. График суммарной подвижки при большой скорости накопления приближается к верхнему пределу флуктуации, а при малой скорости накопления приближается к нижнему пределу флуктуации и указывает на близость наступления ожидаемого периода активизации проявления подвижек по разломам. Так, в последнее время отмечается приближение графика суммарной подвижки к нижней линии флуктуации и предполагается наступление периода активизации примерно в апреле-мае 2015 г. Время может быть локализовано в дальнейшем по ходу ежесуточного мониторинга разломов землетрясений.

Динамика разломов землетрясений Америки (Южной, Северной Америки) и её окрестности. Последовательность длины разломов землетрясений Америки за август 2012 г. – февраль 2015 г. приведена на рисунке 4. На графике отмечаются периоды активизации и затишья процесса образования разломов.

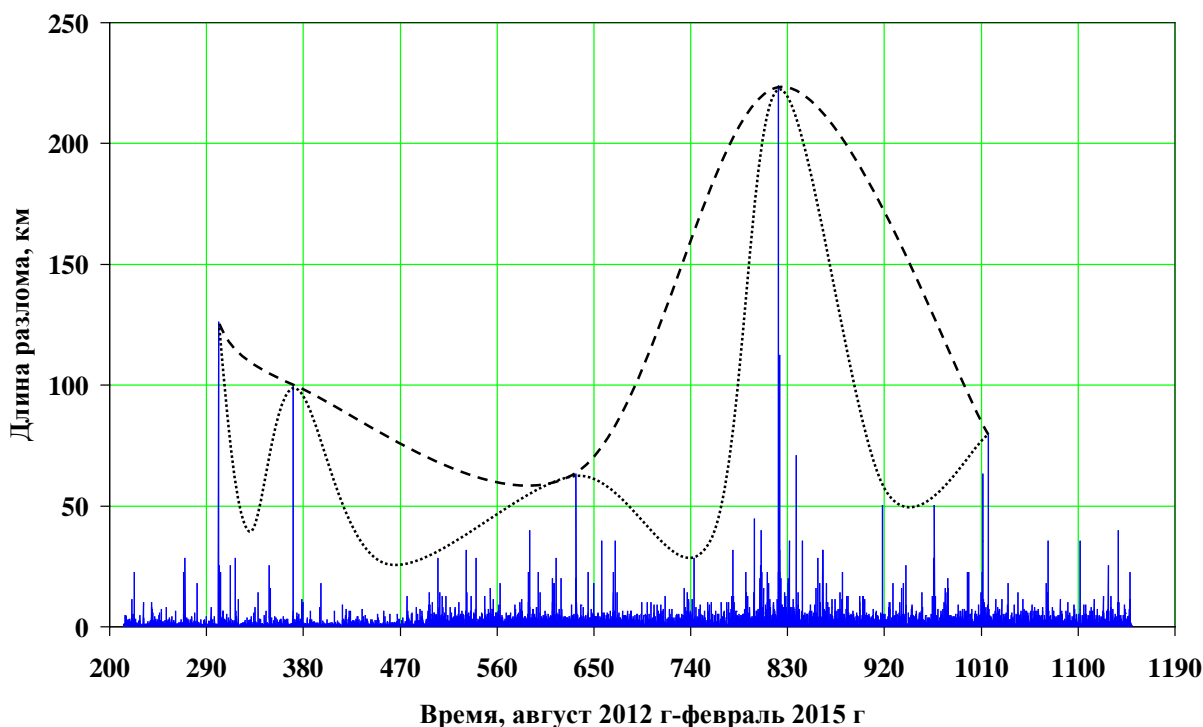


Рисунок 4. Последовательность проявления длины разломов землетрясений ($M \geq 2.5$) Америки с августа 2012 г. по февраль 2015 г. Периоды активизации и затишья обозначены пунктирной линией, локальные периоды активизации и затишья — точечной линией

28 октября 2012 г. образовался разлом землетрясения $M=7.7$ (Метлакатла) длиной около 125 м. Данная длина разлома является пиком периода активизации после периода затишья с 2008 г. Далее наступил период затишья. С 25 сентября 2013 г., вероятно, наступил период активизации, при котором образовался разлом землетрясения $M=7.8$. Пик активизации проявился 1 апреля 2014 г. образованием разлома землетрясения $M=8.2$ в Чили. Длина разлома составляла около 224 км. После наблюдался спад активизации. 14 октября 2014 г. в Никарагуа образовался разлом землетрясения $M=7.3$. Далее снова отмечен период затишья. Длительность времени между моментами образования разломов 28.10.2012 г. и 01.04.2014 г. (пики активизации) составила около 520 суток. На фоне периодов активизации и затишья наблюдались локальные периоды активизации и затишья. Длительность времени между экстремумами локальных периодов активизации колеблется от 69 суток до 263 суток.

Характер накопления длины разломов землетрясений Америки выражен на графике изменением кумулятивной (суммарной) длины (рисунок 5). График его неровный. Средняя линия (тренд) выражена эмпирической формулой:

$$L_k = 27.164t - 7344.5, \quad (\text{км}) \quad (7)$$

где L_k — кумулятивная длина разломов (км), t — время (сутки), коэффициент 27.16 имеет единицу измерения — км/сутки и представляет собой скорость накопления длины разломов.

Нижний и верхний пределы флуктуации суммарной длины разломов землетрясений ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуации (расстояние между верхним и нижним пределами, обозначенные пунктирными линиями) суммарной длины составляет 3000 км, что представляет собой возможную максимальную суммарную длину разломов всех землетрясений Америки в определённое время.

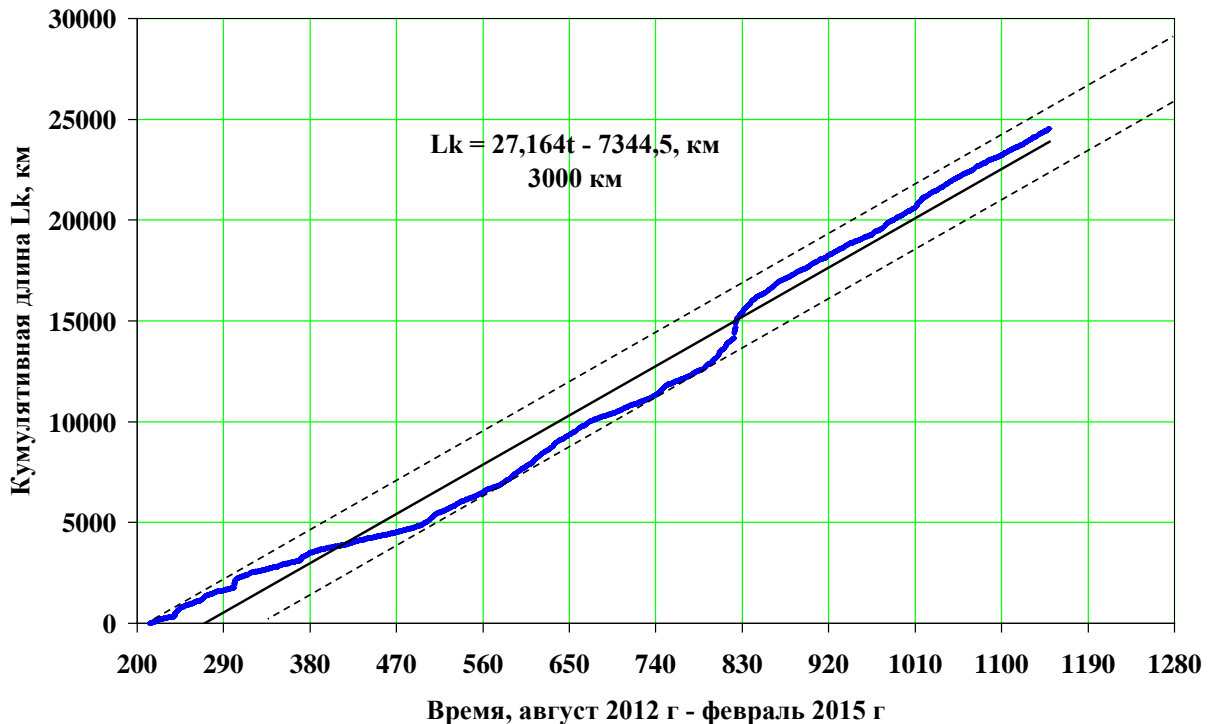


Рисунок 5. Кумулятивная длина разломов землетрясений с магнитудами $M \geq 2.5$ в Америке с августа 2014 г. по февраль 2015 г. Средняя линия (тренд) обозначена сплошной линией, пунктирными линиями - нижний и верхний пределы флуктуации.

Следует отметить, что на графике кумулятивной длины разломов землетрясений выделяются периоды активизации и затишья, отмеченные также в последовательности проявлений землетрясений (см. рисунок 4), с относительно большой и малой скоростью накопления длины разломов, соответственно. Положение графика за последнее время позволяет сказать, что образование крупных разломов в ближайшие месяцы 2015 г. маловероятно.

Накопление подвижек по разломам землетрясений с $M \geq 2.5$ Америки приведено на рисунке 6. График изменения суммарной подвижки неровный. Средняя линия (тренд) выражена эмпирической формулой:

$$U_k = 2.0499t - 574.34, \text{ (м)} \quad (8)$$

где U_k – кумулятивная подвижка (м), t - время (сутки), коэффициент 2.0499 имеет единицу измерения - м/сутки и представляет собой скорость накопления подвижек по разломам. Нижние и верхние пределы флуктуации суммарной подвижки ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуации суммарной подвижки (между верхним и нижним пределами) составляет 280 м.

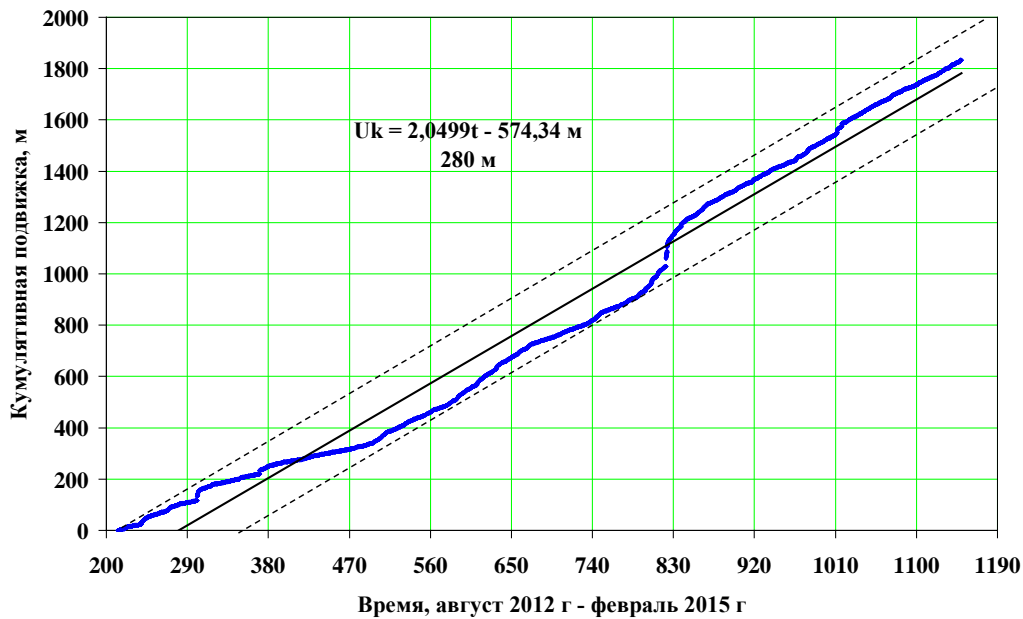


Рисунок 6. Кумулятивная подвижка по разломам землетрясений с магнитудами $M \geq 2.5$ в Америке за период с августа 2014 г. по февраль 2015 г. Средняя линия обозначена сплошной линией, пунктирными линиями - нижний и верхний пределы флуктуации.

На графике кумулятивной подвижки по разломам землетрясений выделяются периоды активизации и затишья с относительно большой и малой скоростью накопления подвижек соответственно. Скорость накопления подвижек по разломам ожидаемых землетрясений Америки в ближайшие месяцы 2015 г., вероятно, останется близкой к её средней скорости накопления - около 2 м/сутки и большие подвижки не ожидаются.

Динамика разломов землетрясений Азии. Последовательность длины разломов землетрясений Азии за август 2012 г. – февраль 2015 г. приведена на рисунке 7. На графике отмечаются периоды активизации и затишья процесса образования разломов.

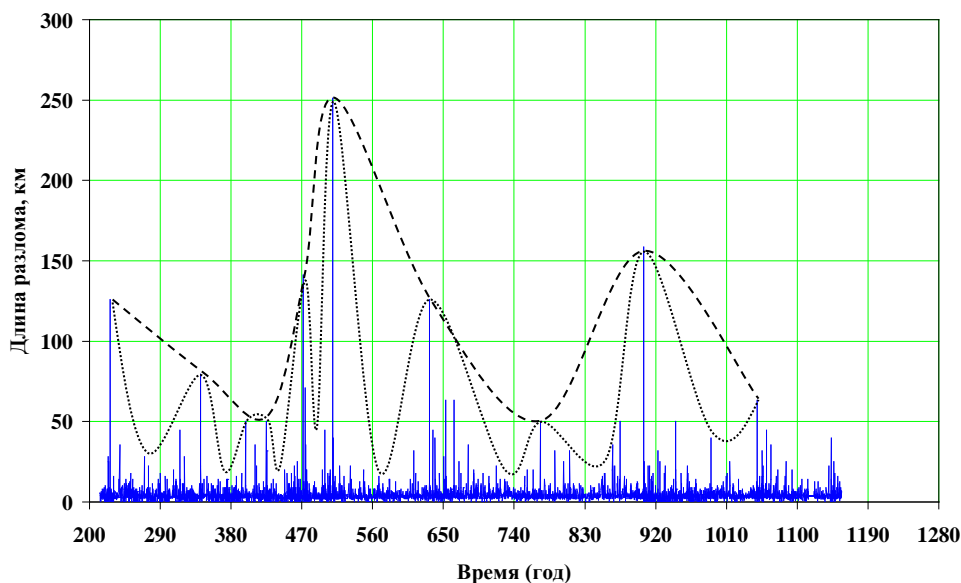


Рисунок 7. Последовательность проявления длины разломов землетрясений ($M \geq 2.5$) Азии с августа 2012 г. по февраль 2015 г. Периоды активизации и затишья обозначены

пунктирной линией, локальные периоды активизации и затишья - точечной линией.

Пиком активизации был разлом землетрясения с $M=9.0$, произошедшего 11 марта 2011 г. (Тохоку, Японии). 14 августа 2012 г. отмечался спад активизации, образовался разлом землетрясения $M=7.7$ (Охотское море). Длина разлома составляла около 125 км. После наступил период затишья, а с 16 апреля 2013 г. наступил - период активизации и образовался разлом землетрясения $M=7.8$ (Иран-Пакистан), длиной около 141 км. 24 мая 2013 г. проявился пик активизации с образованием разлома землетрясения $M=8.3$ в Охотском море. Длина разлома составляла около 251 км. После наблюдался спад активизации. Затем - 24 сентября 2013 г. в Пакистане образовался разлом землетрясения $M=7.7$. Далее снова отметился период затишья. 23 июня 2014 г. образовался разлом землетрясения $M=7.9$ на острове Малый Ситкин (Аляска). Длина его составляла около 158 км, которая представляет собой либо пик периода активизации, либо наступление периода активизации. После наблюдался спад активизации и 15 ноября 2014 г. образовался разлом землетрясения $M=7.1$ длиной около 63 км. Далее наступил период затишья. Промежуток времени между разломами 24 мая 2013 г. и 23 июня 2014 г. Азии составляет около 395 суток.

На фоне этих периодов активизации и затишья наблюдаются локальные периоды активизации и затишья. Длительность времени между экстремумами локальных периодов активизации колеблется от 18 суток до 141 суток.

Характер накопления длины разломов землетрясений Азии выражен на графике изменения кумулятивной (суммарной) длины (рисунок 8). График его неровный. Средняя линия (тренд) выражена эмпирической формулой:

$$L_k = 31.577t - 6709.6, \quad (\text{км}) \quad (9)$$

где L_k – кумулятивная длина разломов (км), t – время (сутки), коэффициент 31.577 имеет единицу измерения - км/сутки и представляет собой скорость накопления длины разломов. Нижний и верхний пределы флуктуации суммарной длины разломов землетрясений ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуации (расстояние между верхним и нижним пределами, обозначенные пунктирными линиями) суммарной длины составляет 1900 км, что представляет собой возможную максимальную суммарную длину разломов всех землетрясений Азии в определенное время.

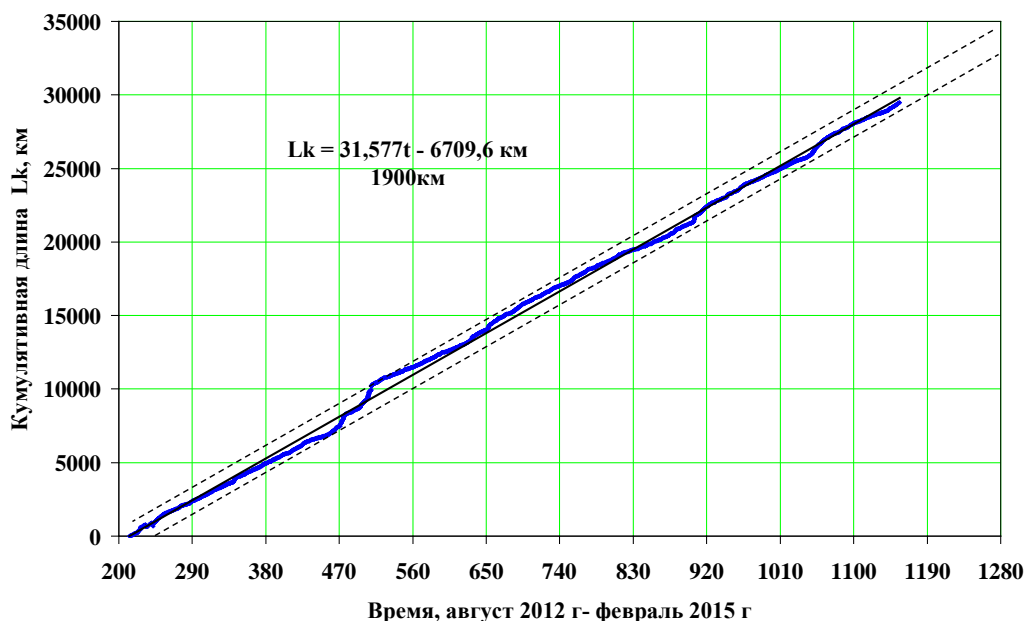


Рисунок 8. Кумулятивная длина разломов землетрясений с магнитудами $M \geq 2.5$ в Азии с августа 2014 г. по февраль 2015 г. Средняя линия обозначена сплошной линией, пунктирными линиями - нижний и верхний пределы флуктуации.

Следует отметить, что на графике кумулятивной длины разломов землетрясений выделяются периоды активизации и затишья, отмеченные также в последовательности проявлений землетрясений (см. рисунок 7), с относительно большой и низкой скоростью накопления длины разломов соответственно. График суммарной длины разломов землетрясений в последнее время приближается к нижней линии флуктуации. Это позволяет предположить, что в ближайшие месяцы апрель-май 2015 г. возможно образование крупных разломов землетрясений.

Накопление подвижек по разломам землетрясений с $M \geq 2.5$ Азии приведено на рисунке 9. График изменения суммарной подвижки неровный. Средняя линия (тренд) выражена эмпирической формулой:

$$U_k = 2.6278t - 553.54, \text{ (м)} \quad (10)$$

где U_k – кумулятивная подвижка (м), t – время (сутки), коэффициент 2.62 имеет единицу измерения - м/сутки и представляет собой скорость накопления подвижек по разломам. Нижние и верхние пределы флуктуации суммарной подвижки ограничиваются прямыми линиями, параллельными к средней линии. Размах флуктуаций суммарной подвижки (между верхним и нижним пределами) составляет 170 м.

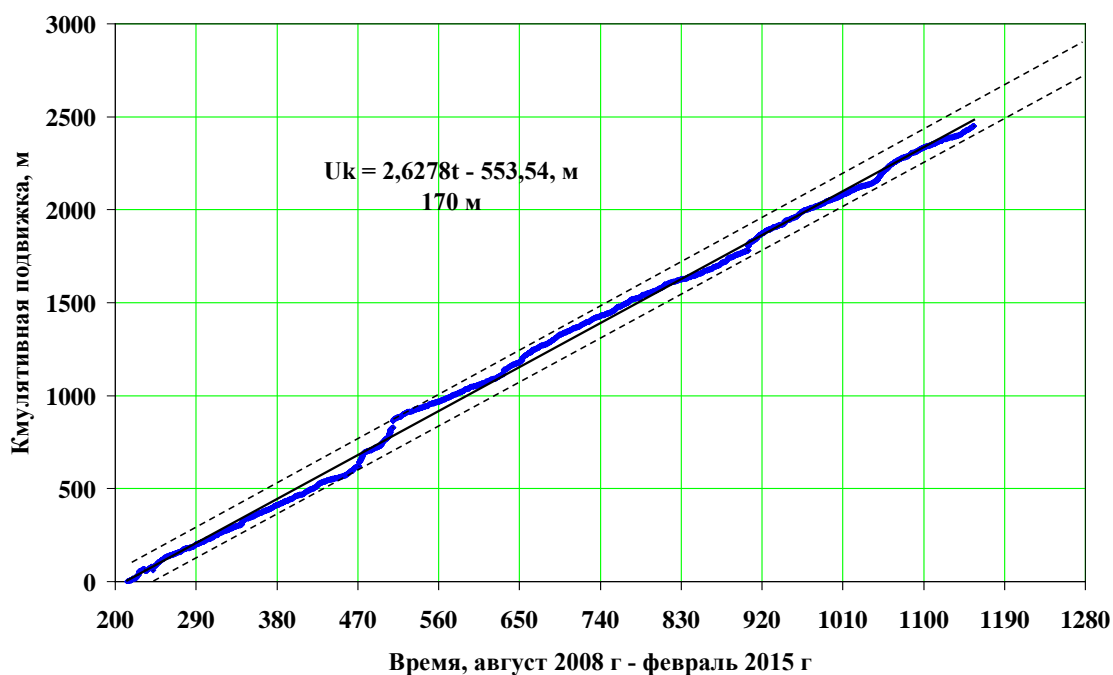


Рисунок 9. Кумулятивная подвижка по разломам землетрясений с магнитудой $M \geq 2.5$ в Азии с августа 2014 г. по февраль 2015 г. Средняя линия (тренд) обозначена сплошной линией, пунктирными линиями – нижний и верхний пределы флуктуации.

На графике кумулятивной подвижки по разломам землетрясений выделяются периоды активизации и затишья с относительно большой и малой скоростью накопления подвижек соответственно. Положение графика суммарной подвижки в последнее время позволяет предположить, что в апреле-мае 2015 г. наступит активизация и возможны большие подвижки по разломам землетрясений Азии.

В таблице 3 приведено время пиков периода активизации в последовательности разломов землетрясений Земли в целом, а также Америки и Азии.

Таблица 3.

Время пиков (периода) активизации разломов землетрясений

| | Время пиков (периода активизации) образования разломов землетрясений | | | | |
|---------------|--|------------|------------|------------|--------------------|
| Земля в целом | 11.03.2011 | | 24.05.2013 | 01.04.2014 | 04.2015 –05. 2015? |
| Америка | | 28.10.2012 | | 01.04.2014 | |
| Азия | 11.03.2011 | | 24.05.2013 | | 04.2015 –05. 2015? |

В проявлении пиков активизации разломов землетрясений отмечается своеобразный цикл с определённой длительностью. Пики активизации Азии в большинстве случаев совпадают с пиками активизации Земли в целом. Пики активизации Америки иногда совпадают с пиками активизации Земли в целом.

В таблице 4 приведена рассчитанная скорость накопления длины разломов и подвижек по разломам землетрясений Земли, Америки, Азии.

Таблица 4.

Рассчитанная средняя скорость накопления длины разломов и подвижек по разломам

| | Скорость накопления длины разломов землетрясений, км/сутки | Скорость накопления подвижек по разломам землетрясений, м/сутки |
|---------------|--|---|
| Земля в целом | 100.3 | 8.6 |
| Америка | 27.16 | 2.0 |
| Азия | 31.7 | 2.6 |

Скорость накопления длины разломов и скорость накопления подвижек по разломам в Америке и Азии около трёх раз меньше, чем скорость накопления длины разломов и скорость накопления подвижек по разломам в Земле в целом.

Размах нижнего и верхнего пределов флуктуации кумулятивной (суммарной) длины разломов землетрясений и суммарной подвижки по разломам землетрясений Земли, Америки, Азии приведены в таблице 5.

Таблица 5.

Размах (расстояние между нижним и верхним пределами) флуктуации кумулятивной (суммарной) длины разломов землетрясений и подвижек по разломам землетрясений

| | Размах флуктуации длины разлома, км | Размах флуктуации подвижки по разлому, м |
|---------------|-------------------------------------|--|
| Земля в целом | 4000 | 300 |
| Америка | 3000 | 280 |
| Азия | 1900 | 170 |

Из таблицы видно, что размах флуктуации (расстояние между верхним и нижним пределами) суммарной длины, т.е. возможная максимальная суммарная длина, разломов всех землетрясений Америки и Азии в определённое время разный.

Заключение

1. Изучена динамика разломов землетрясений Земли в целом, Америки, Азии. В последовательности образования длины разломов землетрясений и проявления подвижек по разломам Земли в целом, Америки, Азии выделяются периоды активизации и затишья, которые выражают динамику разломов. На пиках активизации проявляются крупные разломы и большие подвижки. По пикам активизации отмечаются циклы различной длительности.

2. Средняя скорость накопления длины разломов составляет около 100.3 км/сутки на Земле целом, 27.1 км/сутки в Америке, 31.5 км/сутки в Азии. Средняя скорость накопления подвижек по разломам землетрясений составляет около 8.6 м/сутки на Земле в целом, 2.0 м/сутки в Америке, 2.6 м/сутки в Азии.
3. Динамика разломов землетрясений играет преопределяющую роль в геодинамических и сейсмических процессах.
4. Графики кумулятивной длины разломов и кумулятивной подвижки по разломам позволяют предположить, что в апреле-мае 2015 г. наступит период активизации образования разломов землетрясений на Земле, а именно в Азии. Время может быть локализовано в дальнейшем по ходу ежесуточного мониторинга разломов землетрясений.

Литература

1. Reid H.F. The elastic-rebound theory of earthquakes. University of California Publ.Geol.Sci., 6, 1911. PP. 413-44.
2. Benioff H., Press F., Smith S.W. Excitation of the free oscillations of the earth by earthquakes. // J.Geophys. Res., 66, 1961. PP. 605-18.
3. Brune J. N. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. // J.Geophys. Res., 75, 1970. PP. 4997-5009.
4. Omuraliev M. Dynamic segmentation of the active faults and model of the earthquake focus development in the Tien Shan. Japan Geoscience Union Meeting, 17 may 2009.
5. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena. 2nd edition, Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1954. 295 p.
6. Richter C.F. Elementary seismology. San Francisco: W.H.Freeman & Co., 1958. 768 p.
7. Brune J. N. Seismic moment, seismicity and rate of slip along major fault zones. // J.Geophys.Res. 73, 1968. pp.777-784.
8. Касахара К. Механика землетрясений. М.: Мир, 1985. 264 с.
9. Kanamori H., Anderson D.L. Theoretical basis of some empirical relations in seismology. // Bull. Seismol. Soc. Am., 65, 1975. PP. 1073-95.
10. Iida K. Earthquake energy and earthquake fault. J. Earth. Sci., Nagoya University, 7, 1956. PP. 98-107.
11. Iida K. Earthquake magnitude, earthquake fault and source dimensions. // J. Earth. Sci., Nagoya University, 13, 1965. PP.115-32.
12. Otsuka M. Earthquake magnitude and surface fault formation. // Zisin, J. Seismol. Soc. Japan, 2nd Series, 18, 1965. PP. 1-8.
13. Chinnery M.A. Earthquake magnitude and source parameters. // Bull. Seismol. Soc. Am., 59, 1969. PP.1969-82.
14. Bonilla M.G. Surface faulting and related effects. In Earthquake Engineering, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, 1970.
15. Aki K. Generation and propagation of G waves from the Niigata earthquake of June 16 1964. Part 2 Estimation of earthquake moment, released energy, and stress-strain drop from the G-wave spectrum. Bull. Earthq. Res. Inst., Tokyo University, 44, 1966. PP.73-88.
16. Богданович К.И., Карк И.М., Корольков Б.Я., Мушкетов Д.И. Землетрясение в северных цепях Тянь-Шаня, 22 декабря 1910 (4 января 2011). –СПб., 1914. 270 с.
17. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek:Илим, 2004. 166 p.
18. Каталог землетрясений Геологической службы США / USGS <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>>.

Рецензент: д.г.-м.н. Абдрахматов К.Е.