

УДК 550.34

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

ДИНАМИКА СЕЙСМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СОПРЯЖЕНИИ ТИХООКЕАНСКОЙ, ЕВРАЗИЙСКОЙ И ИНДО-АВСТРАЛИЙСКОЙ ПЛИТ ЛИТОСФЕРЫ

Аннотация. В статье приведены результаты изучения сейсмических процессов на сочленении трёх литосферных плит (Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской), которые представляют собой активные структуры второго порядка в иерархии Земного шара и где происходят землетрясения с $M \geq 9.0$.

Ключевые слова: последовательность проявления землетрясений, повторяемость землетрясений, периоды сейсмической активизации и затишья, иерархия сейсмических циклов, кумулятивная сейсмическая энергия, скорость высвобождения сейсмической энергии, миграция сейсмической активизации по глубинам.

ТЫНЧ ОКЕАН, ЕВРАЗИЯ ЖАНА ИНДО-АВСТРАЛИЯ ЛИТОСФЕРАЛЫК ПЛИТАЛАРДЫН КОШУЛГАН ЖЕРИНДЕГИ СЕЙСМИКАЛЫК ПРОЦЕССТЕРДИН ДИНАМИКАСЫ

Кыскача мазмуну. Макалада үч литосфералык плиталардын (Тынч Океан, Евразия жана Индо-Австралия) кошулган жердеги сейсмикалык процесстерди изилдөөнүн жыйынтыктары келтирилген. Алар жер шарынын иерархиясында экинчи тартиптеги активдүү түзүмдөр болуп эсептелинет. Ошондой эле бул түзүмдөрдө жер титирөөлөрдүн магнитудасы $M \geq 9.0$ болот.

Негизги сөздөр: жер титирөөлөрдүн удаалаштыгы, жер титирөөлөрдүн кайталануусу, сейсмикалык активдештирүү жана басандоо мезгилдери, сейсмикалык циклдердин иерархиясы, топтолгон (кошулмаланган) сейсмикалык энергия, сейсмикалык энергиянын бошонуу ылдамдыгы, сейсмикалык активдештирүүнүн терендиктер боюнча миграциясы.

DYNAMICS OF SEISMIC PROCESSES AT THE JUNCTION OF THE PACIFIC, THE EURASIAN, AND THE INDO-AUSTRALIAN PLATES

Abstract. Results of the study on seismic processes at the junction of three tectonic plates (Pacific, Eurasian, and Indo-Australian) are presented in the paper. These tectonic plates are second-order active structures in the hierarchy of the globe, where $M \geq 9$ earthquakes occur.

Keywords: sequence of earthquakes, earthquakes' recurrence, seismically active and calm periods, hierarchy of seismic cycles, cumulative seismic energy, seismic energy release rate, migration of seismic activation by depth.

Введение

Тихоокеанская, Евразийская и Индо-Австралийская плиты являются активными структурами второго порядка в иерархии структур Земли (рис.1) [1]. На сопряжении Тихоокеанской плиты, с одной стороны, Евразийской и Индо-Австралийской плит с другой, образовалась зона субдукции (желоба Алеутский, Курило-Камчатский, Японский, Марианский, Новогейбридский, Кармадек-Тонга), а на сопряжении Евразийской и Индо-Австралийской плит – Предгималайская зона разломов и Яванский (Зондский) желоб. В данных зонах и внутри плит часто проявляются разрушительные землетрясения. Сейсмические процессы этого обширного региона определяют сейсмическую опасность многих стран, в том числе и Кыргызстана,

расположенного в пределах активного блока - Тянь-Шань, Евразийской плиты. В связи с этим изучение сейсмичности, динамики сейсмичности региона на основе современных данных является актуальной проблемой науки о земле, в частности сейсмологии. В последние годы отмечено [2], [3], [4], что динамика сейсмичности и сейсмические процессы могут быть более достоверно изучены в результате одновременного исследования иерархии активных плит литосферы, блоков разного порядка и иерархии сейсмических циклов с различной длительностью (интервалом повторяемости).

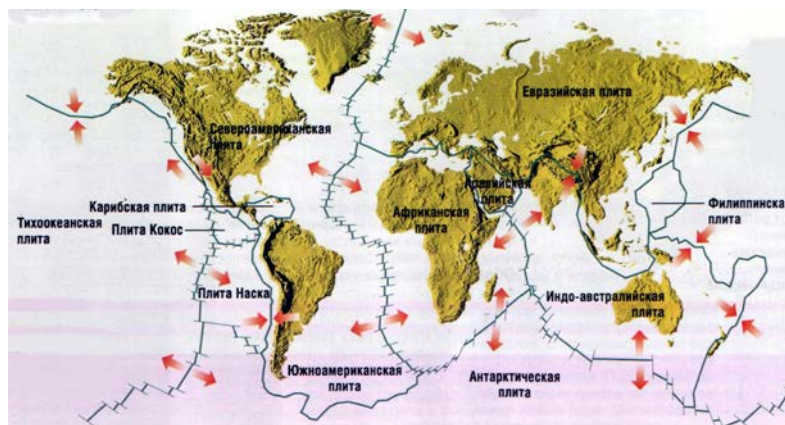


Рис.1. Литосферные плиты Земли и направления (дивергентные, конвергентные и сдвиговые) движения плит на их границах [1].

Исследование динамики сейсмичности на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит литосферы

Основой исследований стали ежесуточные каталоги землетрясений [5] за 2012-2017 гг. на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит литосферы. В последовательности землетрясений за 2012-2017 гг. проявлены 13 циклов третьего порядка (рис.2, табл.1) с продолжительностью $T=44-200$ суток, в среднем 130 суток и 4 циклов второго порядка (табл. 2) с продолжительностью $T=305-395$ суток, в среднем 334 суток.

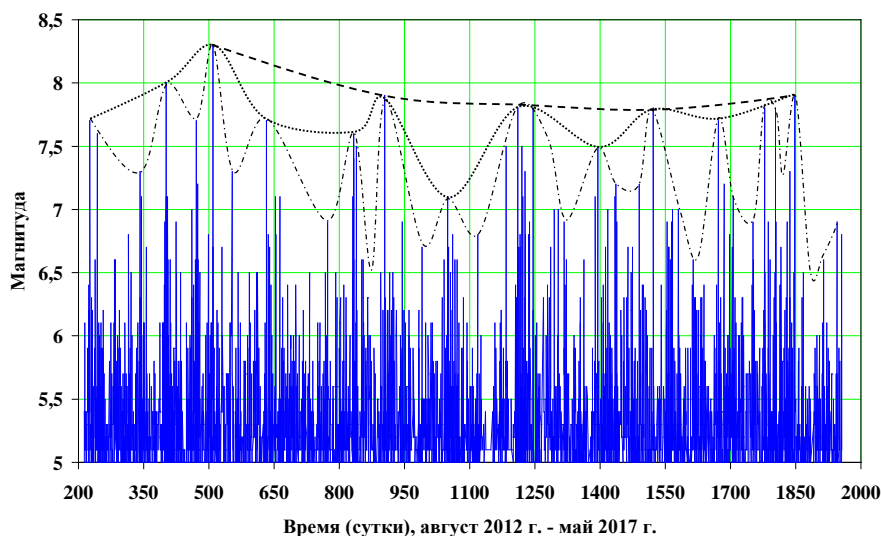


Рис.2. Последовательность проявления землетрясений с $M \geq 5.5$ на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит литосферы за 2012-

2017 гг. Сейсмические циклы третьего порядка обозначены штрихпунктирной линией, циклы второго порядка – точечной линией, циклы первого порядка – пунктирной линией. Сейсмические циклы третьего порядка находятся при $M > 6.5$, циклы второго порядка – $M \geq 7.1$, циклы первого порядка – $M \geq 7.8$.

Таблица 1.

Пики сейсмической активизации циклов 3-го порядка в последовательности проявления землетрясений $M \geq 6.5$ на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за 2012-2017 гг.

№ пп	Время, сутки	Год	Месяц	Число	Географическое место	Глубина	Магнитуда
1	226.1247	2012	08	01	Охотское море	583.2	7.2
2	402.0502	2013	02	06	Соломоновы острова	24.0	8.0
3	509.2394	2013	05	24	Охотское море	598.1	8.3
4	632.4790	2013	09	24	Пакистан	15.0	7.7
5	832.8435	2014	04	12	Соломоновы острова	22.6	7.6
6	904.8702	2014	06	23	Остров Малый Ситкин, Аляска	109.0	7.9
7	1049.1053	2014	11	15	Индонезия	45.0	7.1
8	1210.2579	2015	04	25	Непал	15.0	7.8
9	1245.4743	2015	05	30	Япония	677.6	7.8
10	1522.5345	2016	03	02	Индонезия	24.0	7.8
11	1671.8877	2016	07	29	Северные Марианские Острова	212.4	7.7
12	1778.4604	2016	11	12	Новая Зеландия	23.0	7.8
13	1803.7352	2016	12	08	Соломоновы острова	41.0	7.8
14	1848.1877	2017	01	22	Папуа-Новая Гвинея	136.0	7.9

Сейсмический цикл второго порядка (табл.2) мигрировал от территории Охотского моря (2013 г.) в северо-восточном направлении к Аляске (2014 г.) и в юго-западном направлении к Непалу (2015 г.), далее - в юго-восточном направлении к Индонезии (2016г.), после - в восточном, юго-восточном направлении к Папуа Новой Гвинеи (2017 г.). По пикам циклов третьего порядка проходят циклы второго порядка, а по пикам циклов второго порядка – циклы первого порядка.

Таблица 2.

Пики сейсмической активизации циклов 2-го порядка в последовательности проявления землетрясений $M \geq 7.1$ на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за 2012-2017 гг.

	Время, сутки	Год	Месяц	Число	Географическое место	Глубина	Магнитуда
1	509.2394	2013	05	24	Охотское море	598.1	8.3
2	904.8702	2014	06	23	Остров Малый Ситкин, Аляска	109.0	7.9
3	1210.2579	2015	04	25	Непал	15.0	7.8
4	1522.5345	2016	03	02	Индонезия	24.0	7.8
5	1848.1877	2017	01	22	Папуа-Новая Гвинея	136.0	7.9

Изменение магнитуды землетрясений сейсмического цикла первого порядка (с 24.05.2013 г.) нелинейное и выражается эмпирической формулой (рис.2):

$$M(t) = 7E - 07t^2 - 0.0012t + 8.2886, R^2 = 0.99, \quad (1)$$

где M – магнитуда, t – время (сутки), R^2 – достоверность аппроксимации.

График ожидаемого подъёма сейсмической активизации после 22.01.2017 г. (1848,1877 суток) по расчётным данным на основе формулы (1) на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы приведён на рис.3. Можно предположить, что вероятная магнитуда $M \approx 8.3$ ожидаемого землетрясения может быть при значении времени $t = 1725$ суток, т. е. через $1725 - 1339 = 386$ суток (рис.4).

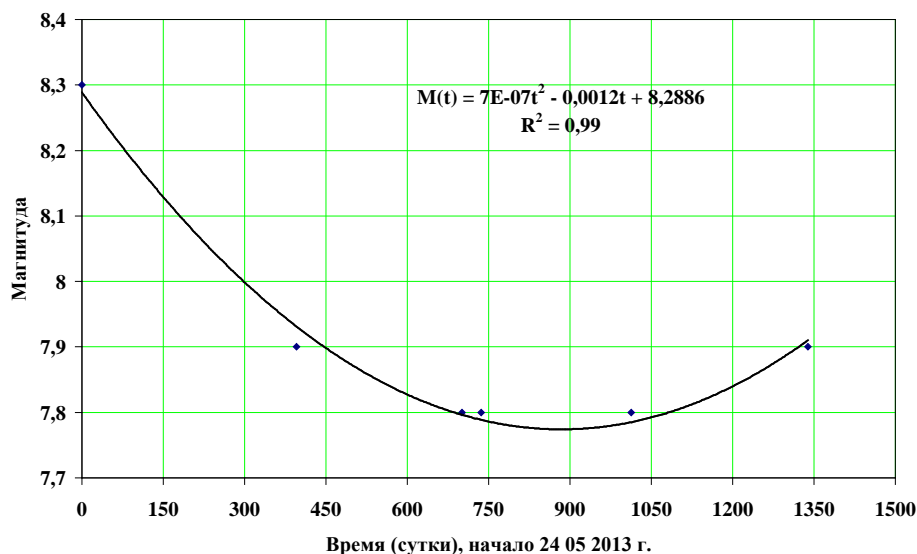


Рис.3. Полиномиальная линия тренда сейсмического цикла первого порядка с 24.04.2013 г. до подъёма сейсмической активизации 22.01.2017 г. на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы.

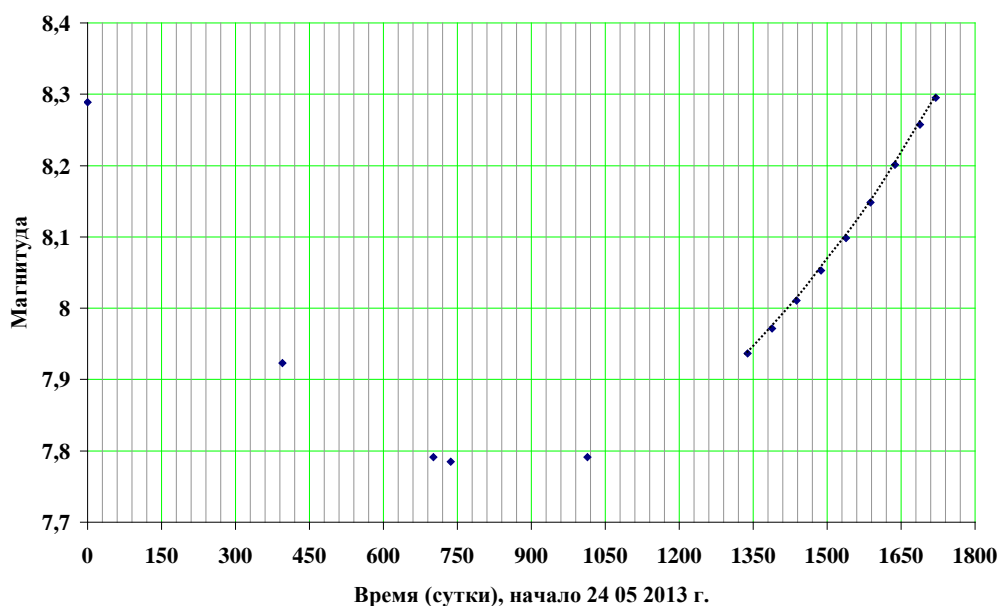


Рис.4. График ожидаемого подъёма сейсмической активизации после 22.01.2017 г. по расчётным данным на основе формулы (1) на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы.

Изменение кумулятивной сейсмической энергии выражает проявление сейсмических циклов (рис.5). График кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый. Линейный тренд его представлен эмпирической формулой:

$$E_k = (0.0458t - 1.014) \times 10^{23}, \quad (2)$$

где E_k - кумулятивная сейсмическая энергия (эрг), t - время (сутки), коэффициент 0.0458×10^{23} имеет размерность эрг/сутки и представляет собой скорость высвобождения энергии.

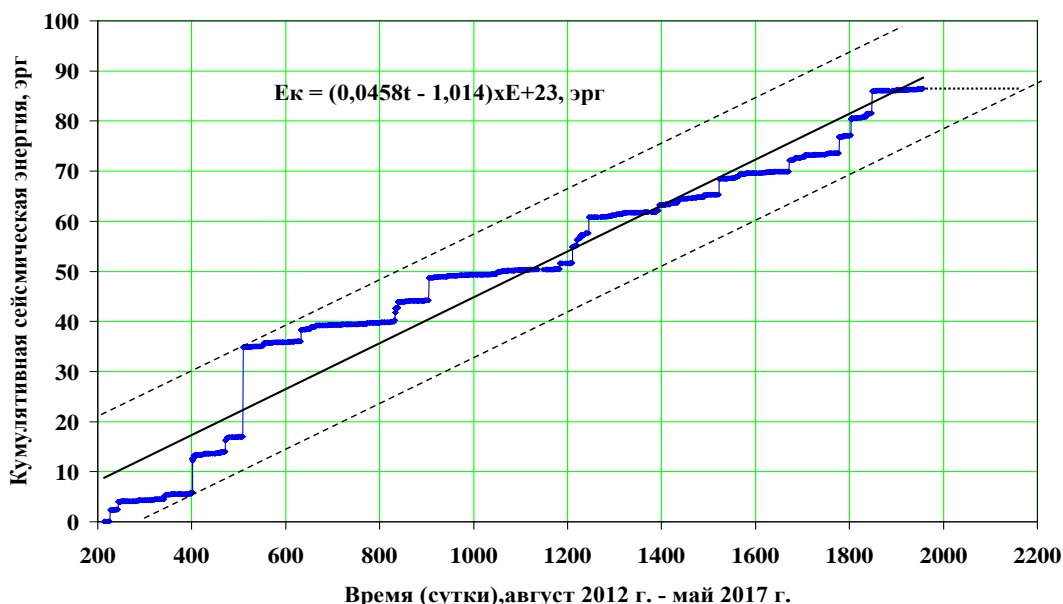


Рис.5. Кумулятивная сейсмическая энергия, высвобожденная при землетрясениях с магнитудами $M \geq 5.5$ на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за 2012-2017 гг. Пределы флуктуации кумулятивной сейсмической энергии обозначены пунктирными линиями. Ожидаемое время наступления сейсмической активизации обозначено точечной горизонтальной линией.

Флуктуация кумулятивной сейсмической энергии очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду, которые могут быть описаны эмпирическими формулами:

$$E_k = (0.0458t - 12.5849) \times 10^{23} \text{ (эрг)} \quad (3)$$

и

$$E_k = (0.0458t + 11.4975) \times 10^{23} \text{ (эрг)}, \quad (4)$$

соответственно. Разница сейсмических энергий между этими линиями составляет 2.5×10^{24} эрг, что представляет собой возможную максимальную сейсмическую энергию ожидаемого землетрясения.

Интервал времени от конечной точки графика кумулятивной сейсмической энергии ($t=1956.007$ сутки, $E_k=86.5331 \times 10^{23}$ эрг) до нижней линии ($t=2164.14$ сутки) представляет собой ожидаемое время сейсмической активизации $(2164.14.23 - 1956.00) = 208$ сутки, т. е. ноябрь-декабрь 2017 г.

Распределение глубины землетрясений на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы во времени за август 2012 г. – май 2017 г. приведено на рис.6. Землетрясения за рассматриваемый период имеют глубину до 678 км. Высокая плотность очагов землетрясений отмечается на глубинах около 5-70 км. Концентрация их уменьшается с глубиной и на глубинах 250-500 км

наблюдается незначительное количество очагов землетрясений. Далее на глубинах около 500-678 км плотность очагов становится сравнительно большой. Здесь можно отметить, что модель внутреннего строения Земли отражается на распределении глубины землетрясений ([5], [6]).

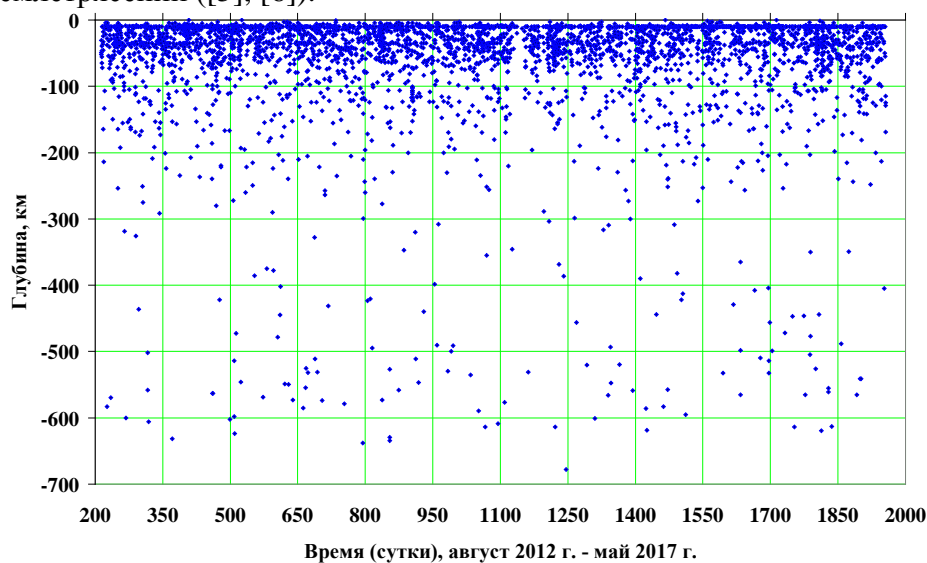


Рис.6. График изменения глубины землетрясений на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы во времени за август 2012 г. – май 2017 г.

На рис.7 приведено распределение очагов землетрясений во времени на глубинах 0-250 км. Здесь проявляются периодические своеобразные «вспышки» (далее вспышки) очагов, которые на графике выделяются как висячие вертикальные «цепочки» (далее цепочки). Вместе с тем, на глубинах 10 км и 35 км отмечаются поверхности сейсмической среды в виде горизонтальных непрерывных цепочек частых очагов землетрясений (рисунки 8, 9).

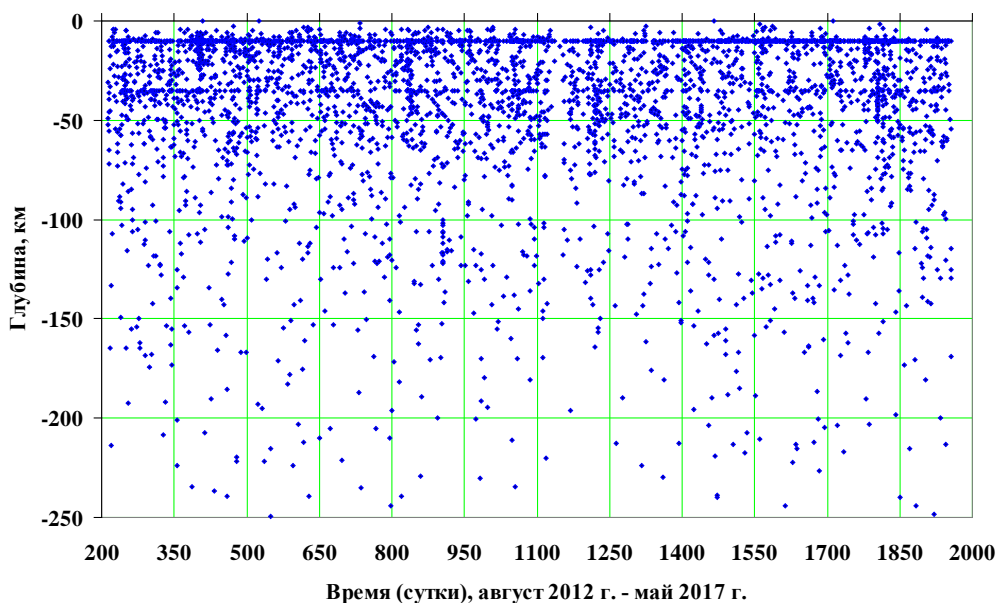


Рис.7. Распределение очагов землетрясений на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы во времени на глубинах 0-250 км за август 2012 г. – май 2017 г.

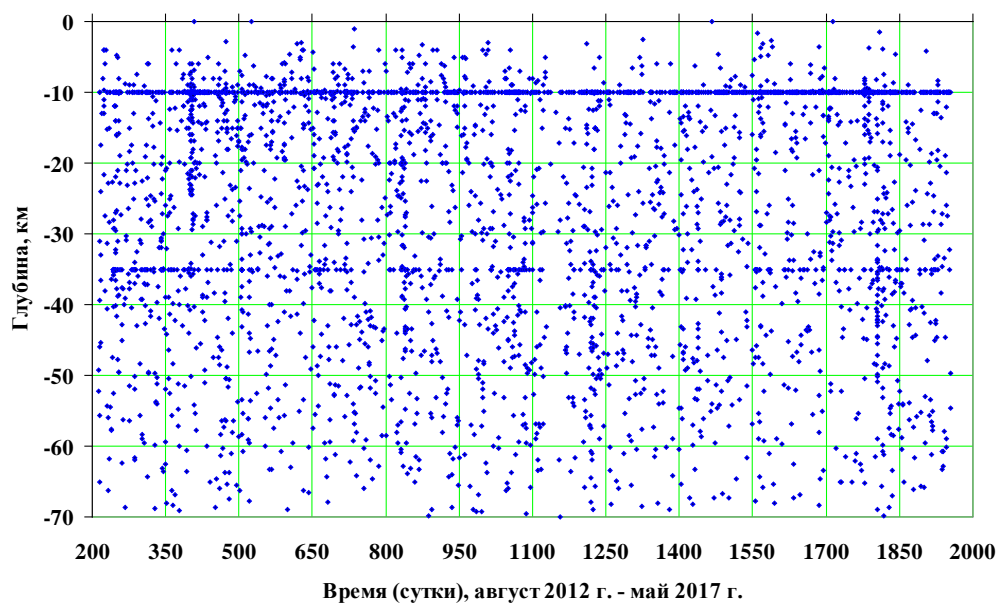


Рис.8. Распределение очагов землетрясений на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы во времени на глубинах 0-70 км за август 2012 г. – май 2017 г.

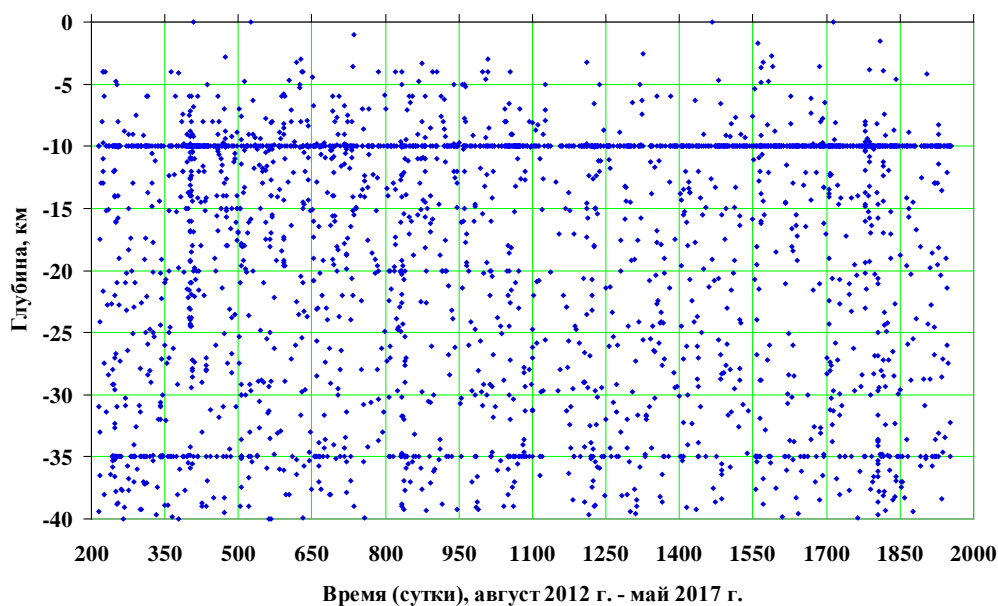


Рис.9. Распределение очагов землетрясений на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы во времени на глубинах 0-40 км за август 2012 г. – май 2017 г.

В последовательности проявления землетрясений в промежутках глубины сейсмической среды, представленными сейсмогенными слоями, наблюдается чередование периодов сейсмической активизации и затишья. Так, на глубинах 0-10 км (рис. 10) проявились четыре пика ($M=6.9-7.2$) сейсмической активизации (табл.3). Промежуток времени между пиками составляет 251-371 суток.

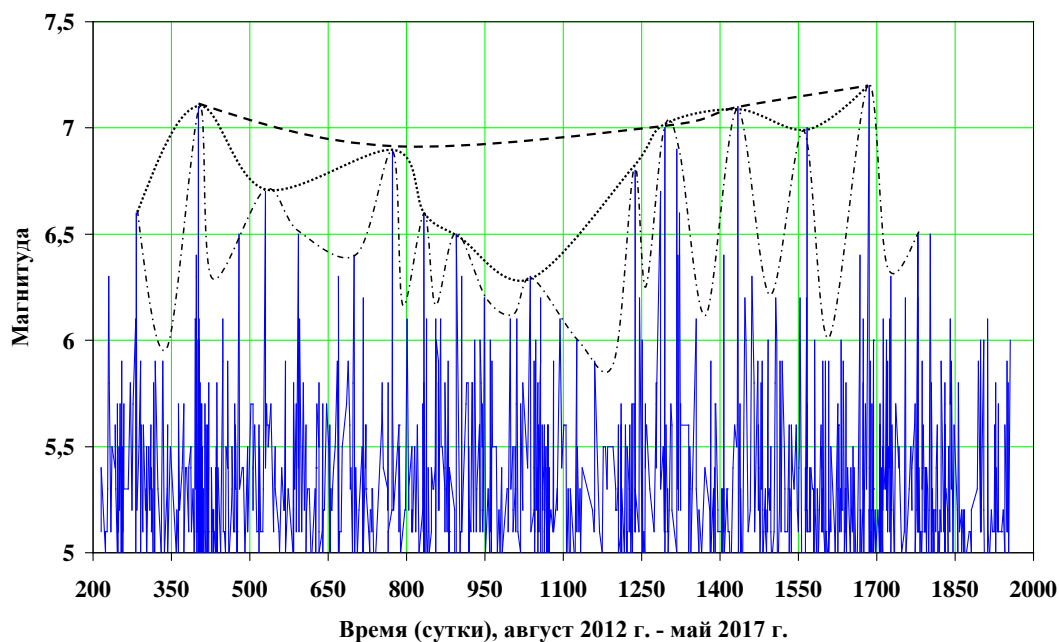


Рис.10. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 0-10 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной, точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 3.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 0-10 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуда	Географическое место	Глубина, км
1	2013	02	06	402.057	7.1	Соломоновы острова	10.0
2	2014	02	12	773.388	6.9	Китай	10.0
3	2015	12	04	1433.933	7.1	Центральноиндийский хребет	10.0
4	2016	08	12	1685.060	7.2	Новая Каледония	9.9

На глубинах 10-35 км отмечались шесть пиков ($M=7.6-8.0$) сейсмической активизации (рис.11, табл.4). Промежуток времени между пиками составляет 200-337 суток.

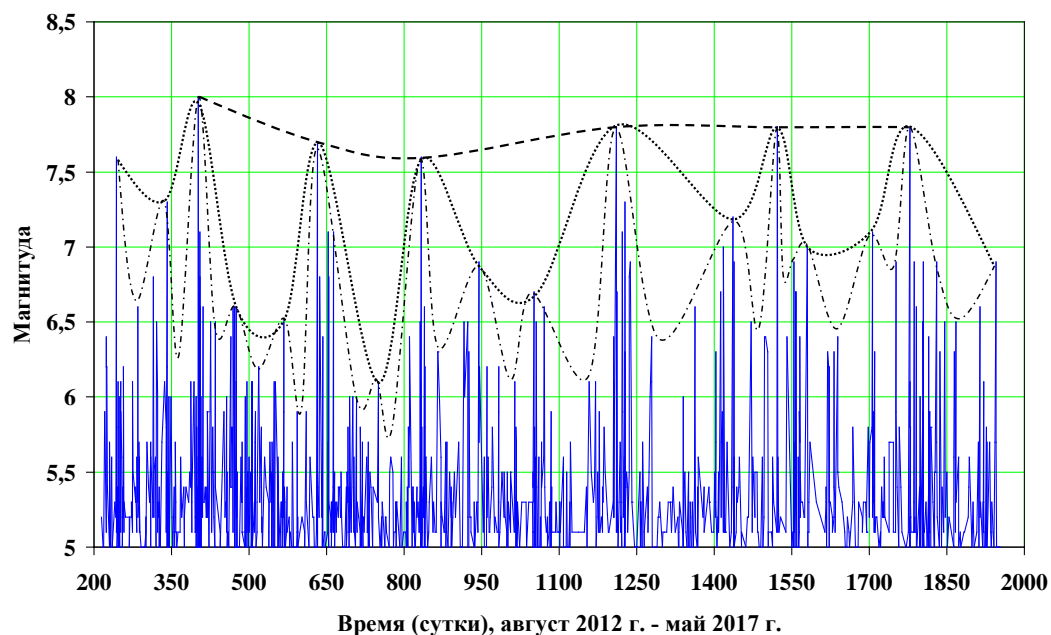


Рис.11. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 10-35 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной, точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 4.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 10-35 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуд а	Географическое место	Глубина, км
1	2013	02	06	402.050	8.0	Соломоновы острова	11.0
2	2013	09	24	632.479	7.7	Пакистан	15.0
3	2014	12	04	832.843	7.6	Соломоновы острова	22.6
4	2015	04	25	1210.258	7.8	Непал	15.0
5	2016	03	02	1522.534	7.8	Индонезия	24.0
6	2016	11	13	1778.460	7.8	Новая Зеландия	23.0

На глубинах 35-70 км проявились четыре пика ($M=7.0-7.8$) сейсмической активизации (рис.12, табл.5) в основном в пределах Папуа Новой Гвинеи и Соломоновых островов. Промежуток времени между пиками составляет 350-583 суток.

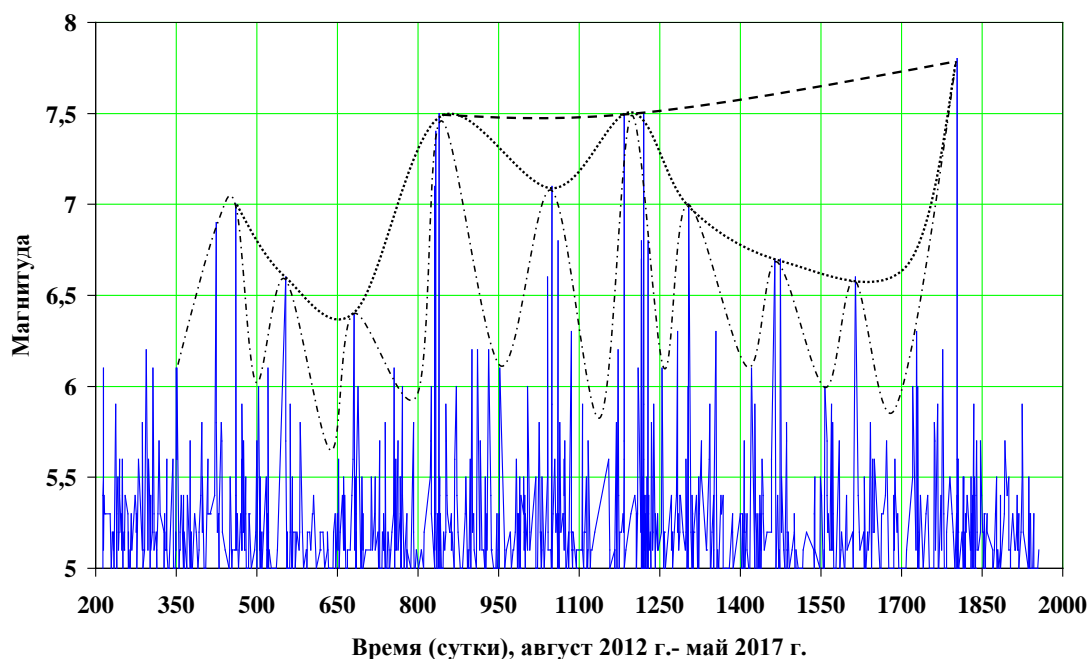


Рис.12. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 35-70 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной, точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 5.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 35-70 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуда	Географическое место	Глубина, км
1	2013	04	06	461.196	7.0	Индонезия	66.0
2	2014	04	13	833.525	7.4	Соломоновы острова	39.0
3	2014	04	19	839.561	7.5	Папуа-Новая Гвинея	43.4
4	2015	03	29	1183.992	7.5	Папуа-Новая Гвинея	41.0
5	2015	05	05	1220.072	7.5	Папуа-Новая Гвинея	42.0
6	2016	12	08	1803.735	7.8	Соломоновы острова	41.0

На глубинах 70-250 км отмечались пять пиков ($M=7.5-7.9$) сейсмической активизации (рис.13, табл.6). Промежуток времени между пиками составляет 176-489 суток.

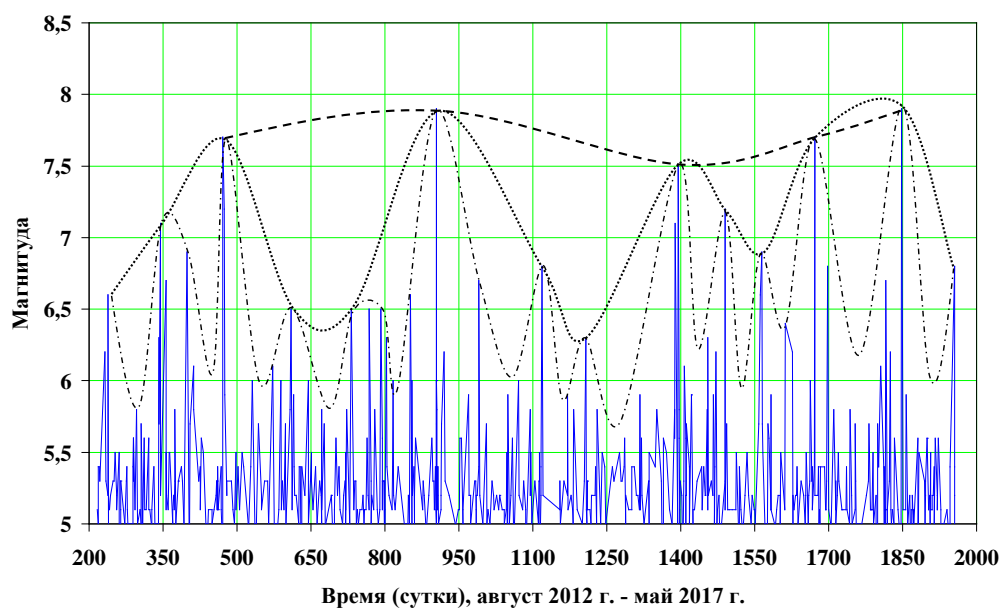


Рис.13. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 70-250 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной, точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 6.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 70-250 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуда	Географическое место	Глубина, км
1	2013	04	16	471.447	7.7	Иран	80.0
2	2014	06	23	904.870	7.9	Остров Малый Ситкин, Аляска	109.0
3	2015	10	26	1394.381	7.5	Алакандари	212.5
4	2016	07	29	1671.887	7.7	Северные Марианские Острова	212.4
5	2017	01	22	1848.187	7.9	Папуа-Новая Гвинея	136.0

На глубинах 250-500 км проявились три пика ($M=6.3-7.3$) сейсмической активизации (рис.14, табл.7) в пределах Папуа - Новой Гвинеи. Промежуток времени между пиками составляет 431-742 суток.

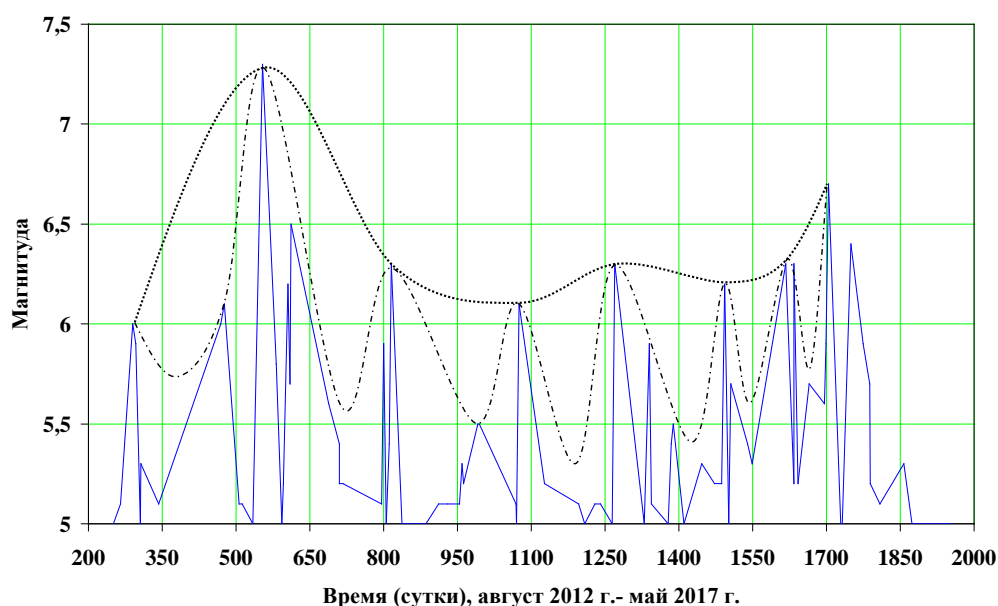


Рис.14. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 250-500 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 7.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 250-500 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуда	Географическое место	Глубина, км
1	2013	07	07	553.774	7.3	Папуа-Новая Гвинея	385.5
2	2015	06	23	1296.512	6.3	Япония	455.9
3	2016	08	31	1728.477	6.7	Папуа-Новая Гвинея	499.1

На глубинах 500-678 км отмечались три пика ($M=7.3-8.3$) сейсмической активизации (рис.12, табл.8). При этом они мигрировали от региона Охотского моря к югу Японии, далее к Филиппинам. Промежуток времени между пиками составляет 590-736 суток.

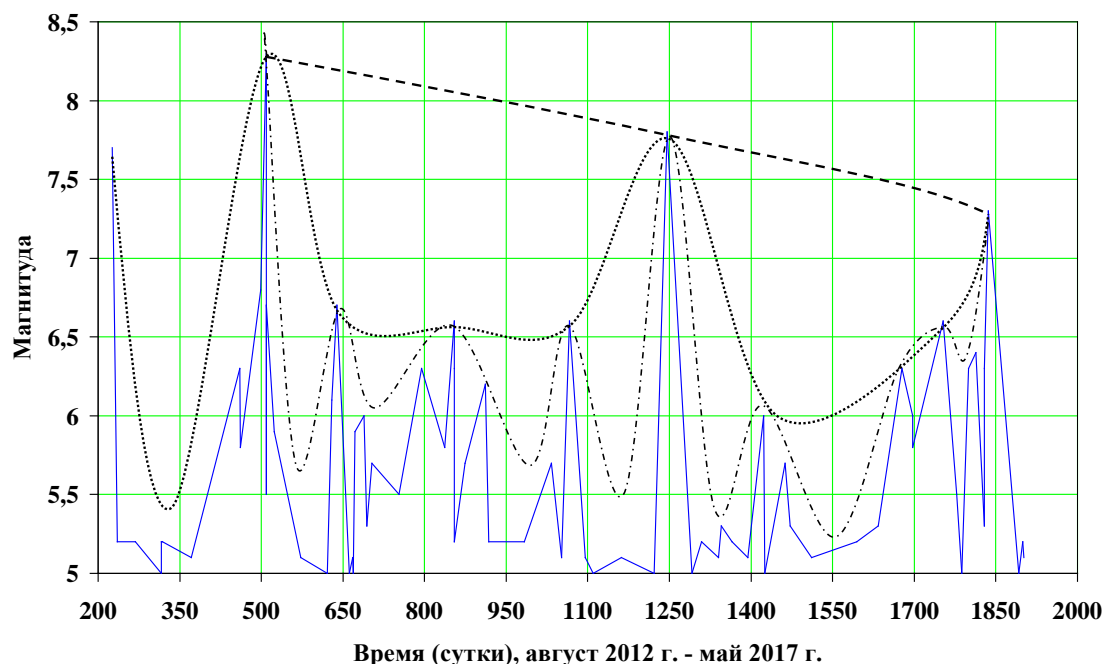


Рис.12. Последовательность проявления землетрясений, чередование периодов сейсмической активизации и затишья на глубинах 500-678 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы. Сейсмические циклы разного порядка обозначены пунктирной, точечной и штрихпунктирной линиями.

Таблица 8.

Пики сейсмической активизации в последовательности проявления землетрясений на глубинах 500-678 км на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г.- май 2017 г.

№	Год	Месяц	Число	Время, сутки	Магнитуда	Географическое место	Глубина, км
1	2013	07	07	509.239	8.3	Охотское море	598.1
2	2016	06	23	1245.474	7.8	Япония	677.6
3	2017	08	31	1836.260	7.3	Филиппины	612.7

На распределении сейсмической активизации во времени и по глубинам на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит литосферы отмечаются периодические подъёмы и спуски (миграция) пиков активизации в пределах литосферы и верхней мантии (табл. 9). Пик активизации в 2012.08.01 проявился на глубинах 500-700 км. После наблюдался подъём активизации и в 2013.02.06 пики проявились на глубинах 10-35 км и 0-10 км. Затем отметился спуск активизации: в 2013.04.06 на глубинах 35-70 км, в 2013.04.16 на глубинах 70-25 км и в 2013.05.24 на глубинах 500-678 км. При этом кажущаяся скорость спуска активизации составляла около 5.4 км/сутки. В дальнейшем пик сейсмической активизации снова мигрировал вверх - в 2013.07.07 проявился на глубинах 250-500 км, в 2013.09.24 на глубинах 10-35 км, в 2014.02.12 на глубинах 0-10 км. Соответственно, кажущаяся скорость подъёма активизации составляла около 2.2 км/сутки. Далее снова наблюдался спуск активизации - в 2014.04.12 на глубинах 10-35 км, в 2014.04.13 и 2014.04.19 на глубинах 35-70 км, в 2014.04.23 на глубинах 70-250 км. Затем отметилась миграция вверх - в 2015.03.29 на глубинах 35-70 км, в 2015.04.25 на глубинах 10-35 км.

Таблица 9.

Проявления сейсмической активизации во времени (сутки, даты) и по глубинам в пределах литосферы и верхней мантии на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы.

Глубины, км					
(0-10)	(10-35)	(35-70)	(70-250)	(250-500)	(500-700)
					226.1* (2012.08.01)
					М=7.7
402.0 (2013.02.06)	402.0 (2013.02.06)				Охотское море
М=7.1	М=8.0	461.1 (2013.04.06)	471.4 (2013.04.16)		
Соломоновы острова	Соломоновы острова	М=7.0	М=7.7		509.2 (2013 05 24)
		Индонезия	Иран	553.7 (2013.07.07)	М=8.3
	632.4 (2013.09.24)			М=7.3	Охотское море
773.3 (2014.02.12)	М=7.7			Папуа-Новая Гвинея	
М=6,9	Пакистан				
Китай	832.8 (2014.04.12)	833.3 (2014.04.13)			
	М=7.6	М=7.4			
	Соломоновы острова	Соломоновы острова			
		839.5 (2014.04.19)			
		Папуа-Новая Гвинея	904.8 (2014.06.23)		
		М=7.5	М=7.9		
		1183.9 (2015.03.29)	Остров Малый Ситкин, Аляска		
	1210,2 (2015.04.25)	М=7.5			
	М=7.8	Папуа-Новая Гвинея			
	Непал	1220.0 (2015.05.05)			
		М=7.5			1245.4 (2015.05.30)
		Папуа-Новая Гвинея		1269.5 (2015.06.23)	М=7.8
			1394.3 (2015.10.26)	М=6.3	Япония
1433.9 (2015.12.04)			М=7.5	Япония	
М=7.1			Афганистан		

Центрально-индийский хребет	1522.5 (2016.03.02)				
	M=7.8		1671.8 (2016.07.29)		
1685.0 (2016.08.12)	Индонезия		M=7.7		
M=7.2			Северные Марианские Острова	1728.4 (2016.08.31)	
Новая Каледония	1778.460 (2016.11.13)			M=6.7	
	M=7.8	1803.7 (2016.12.08)		Папуа-Новая Гвинея	
	Новая Зеландия	M=7.8			1836.2 (2017.01.10)
		Соломоновы острова	1848.1 (2017.01.22)		M=7.3
			M=7.9		Филиппины
			Папуа-Новая Гвинея		

Примечание: *Время дано в сутках, начиная с августа 2012 г., в скобках указана дата в формате год.месяц.число.

Далее отметился спуск сейсмической активизации- в 2015.05.05 на глубинах 35-70 км, в 2015.05.30 на глубинах 500-678 км. В дальнейшем снова наблюдался подъем активизации - в 2012.06.23 на глубинах 250-500 км, в 2015.10.26 на глубинах 70-250 км и в 2015.12.04 на глубинах 0-10 км, т.е. в верхней части земной коры. При этом кажущаяся скорость подъема составляла около 3.5 км/сутки. Затем снова отметился спуск пика сейсмической активизации - в 2016.03.02 на глубинах 10-35 км, в 2016.07.29 на глубинах 70-250 км. В дальнейшем наблюдался быстрый подъем в 2016.08.12 на глубинах 0-10 км, спуск в 2016.08.31 на глубинах 250-500 км и снова подъем в 2016.11.13 на глубинах 10-35 км. После отметился спуск пика активизации - в 2016.12.08 на глубинах 35-70 км, в 2017.01.10 на глубинах 500-678 км, а в 2017.01.22 начался новый подъем активизации на глубинах 70-250 км. В связи с этим можно сказать, что ожидаемые пики сейсмической активизации вероятны на глубинах 0-35 км. В промежутках глубины (в различных сейсмических средах) на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской и Индо-Австралийской плит литосферы отмечаются характерные повторяемости землетрясений в соответствии законом Гутенберга и Рихтера [7] (табл.10). Как видно из таблицы, коэффициент наклона графика повторяемости землетрясений на глубинах 0-70 км, $b=1.14$. На сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индийской плит литосферы значение коэффициента наклона (b) графика повторяемости землетрясений по глубине распределено следующим образом: 0-10 км $b=1.15$; 10-35 км $b=1.00$; 35-70 км $b=1.00$; 70-250 км $b=0.89$; 250-500 км $b=0.90$; 700 км $b=0,58$ (сравнительно низкое). Очевидно, что коэффициенты графика повторяемости землетрясений выражают свойства сейсмической среды на глубинах: 0-10 км, 10-35 км, 35-70 км, 70-250 км, 250-500 км, 500-678 км, отраженные на современной модели литосферы и верхней мантии [6].

Следует отметить, что максимальная магнитуда на глубинах изменяется от $M=7.2$ (на глубинах 0-10 км) до $M=8.3$ (на глубинах 500-678 км).

Таблица 10.

Средняя годовая частота (N) землетрясений ($M \geq 5.5$) в промежутках глубин (сейсмических средах) на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012-март 2017 гг.

Глубина, км	Формула повторяемости землетрясений по закону Гутенберга и Рихтера	Максимальная магнитуда, M
0-70	$\lg N^* = -1.145M^* + 9.1916, R^{2*} = 0.989$	8.0
0-10	$\lg N = -1.1516M + 8.7323, R^2 = 0.999$	7.2
10-35	$\lg N = -1.008M + 7.9738, R^2 = 0.995$	8.0
35-70	$\lg N = -1.0078M + 7.7244, R^2 = 0.961$	7.8
70-250	$\lg N = -0.899M + 6.9676, R^2 = 0.962$	7.9
250-500	$\lg N = -0.9098M + 6.2192, R^2 = 0.983$	7.3
500-678	$\lg N = -0.5822M + 4.2557, R^2 = 0.987$	8.3
0-678	$\lg N = -1.0769M + 8.8768, R^2 = 0.992$	8.3

Примечание: * N – средняя годовая частота землетрясений, M – магнитуда, R^2 – достоверность аппроксимации.

Заключение

1. В последовательности проявления землетрясений (разного параметра) на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индо-Австралийской плит литосферы за август 2012 г. – май 2017 г. установлена иерархия сейсмических циклов: третьего, второго, первого порядков. Циклы нерегулярные с изменчивыми продолжительностями: $T=44-200$ суток третьего порядка, $T=305-395$ суток второго порядка. Цикл первого порядка, очевидно, начался с 2011 г. (когда было землетрясение $M=9.1$, Япония) и в настоящее время после периода затишья находится в периоде сейсмической активизации.
2. Изменение магнитуды землетрясений в цикле первого порядка за 2012-2017 гг. выражается эмпирической формулой:

$$M(t) = 7E * 07t^2 - 0.0012t + 8.2886, R^2 = 0.99,$$

где M – магнитуда, t – время, R^2 – достоверность аппроксимации. На основе этой формулы определена вероятная величина магнитуда ожидаемых землетрясений за 2017-2018 гг.

3. График изменения кумулятивной сейсмической энергии неровный, ступенчатый, выражающий сейсмические циклы, имеет линейный тренд:

$$E_k = (0.0458t - 1.014) \times 10^{23}, \text{ эрг},$$

где E_k – кумулятивная сейсмическая энергия (эрг), t – время (сутки), коэффициент $0,0458 \times 10^{23}$ имеет размерность эрг/сутки, т.е. представляет скорость высвобождения сейсмической энергии на сопряжении Тихоокеанской, Евразийской, Индийской плит литосферы. Флуктуация кумулятивной сейсмической энергии очерчивается снизу и сверху прямыми линиями, параллельными линейному тренду. Разница сейсмической энергии между данными линиями составляет 2.5×10^{24} эрг и показывает максимальную сейсмическую энергию землетрясений. Интервал

времени от конечной точки графика Ек до нижней линии флуктуации составляет около 208 суток, представляет собой ожидаемое время наступления сейсмической активизации.

4. На графике распределения землетрясений по глубинам и во времени отмечены сейсмические слои: 0-10 км, 10-35 км, 35-70 км, 70-250 км, 250-500 км, 500-678 км, сейсмогенные поверхности на глубинах 10 км и 35 км, а также вспышки одновременных землетрясений на глубинах 10-150 км. Вышеотмеченные сейсмические слои имеют различные максимальные магнитуды. Наблюдаются сейсмические циклы в отдельно взятых сейсмических слоях, и чередование подъёма и спуска (миграции) сейсмической активизации по глубине, по различным слоям.
5. Определена повторяемость землетрясений по закону Гутенберга-Рихтера, а также время повторения разных магнитуд в сейсмических слоях. Значения коэффициента графика повторяемости землетрясений в сейсмических слоях изменяются от 1.15 в слое 0-10 км до 0.58 в слое 500-678 км и выражают, очевидно, свойства среды. Время повторения, например, магнитуды $M=8.0-8.9$ в слое 500-678 км составляет около 8 лет.

Литература

1. Электронные ресурсы http://moyplanet.ucoz.ru/index/tektonika_plit/0-25
2. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность исторических землетрясений Земли в целом и периоды сейсмической активизации и затишья. //Наука и Новые Технологии, 2012, № 3, с. 90-96.
3. Омуралиева А., Омуралиев М. Последовательность проявления землетрясений, высвобождение сейсмической энергии Земли в целом и её регионах (Азии, США) и оценка сейсмической опасности. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2013. -№1. -С.85-92.
4. Омуралиев М., Омуралиева А. Опыт слежения за динамикой сейсмичности всей Земли в целом и землетрясение Чили 16 сентября 2015 г. $M=8.3$. //Вестник Института сейсмологии НАН КР. -2015. -№2(6). -С.108-125.
5. U.S. Geological Survey (USGS <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>>).
6. Жарков И.Н. Внутреннее строение Земли и планет. М: Наука, 1983. – 416 с.
7. Gutenberg B., Richter C.F. Seismicity of the Earth and associated phenomena, 2nd edition, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, 1954.

Рецензент: д.ф.-м.н. Погребной В.Н.