

3. Frohlich C. (1995) Characteristics of Well-Determined Non-Double-Couple Earthquakes in the Harvard CMT Catalog. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*. Vol. 91, Iss 4, pp 213-228.
4. Lutikov A., Yunga S. Non double couple seismic sources and its stress environment. EGS - AGU - EUG Joint Assembly. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 5, 2003, p.A-14053.
5. Yunga, S., Lutikov, A., Molchanov, O. Non double couple seismic sources and faults interaction. EGU General Assembly. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 6, 2004. p.A-07510.
6. Yunga, S., Lutikov, A. Non double couple seismic sources and self-organized criticality in seismotectonic deformations. EGU General Assembly. *Geophysical Research Abstracts*. Vol. 6, 2004. p.A-07516.
7. Turcotte D.L. Seismicity and self-organized criticality. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 111, 1999, pp. 275-293.
8. Yunga S.L. (1996), Seismotectonic Deformation of the Northern Eurasian Fold Belts in the Neotectonic Phase. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, Vol. 32, No. 12. pp. 955-974.

ИНДЕКСЫ СЕЙСМИЧНОСТИ РАЗЛОМОВ ДЕСТРУКТИВНЫХ ЗОН ЛИТОСФЕРЫ И ПРОБЛЕМА ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

С.И. Шерман, В.А. Савитский

Институт земной коры СО РАН, Россия

Проблема сейсмобезопасности приобретает все большую и большую социальную значимость и периодически требует определенного пересмотра некоторых понятий, методики их оценки, изменения акцентов при геолого-геофизическом картировании и практическом использовании результатов. К одним из таких понятий относятся активные разломы, в объем воззрения которых наиболее часто включаются представления о сейсмоактивных разломах. Понятие «активные разломы» унаследовано от суждений о «живых разломах» и энергично начало внедряться в научную литературу в конце 70-х годов ушедшего века (Имаев и др., 1990; Леви, 1991; Карта активных разломов..., 1987; Трифонов, 1985; Active faults..., 1980; Characteristics..., 1991; Slemmons, 1990; Несмеянов и др., 1992; Никонов, 1995; Trifonov, 1995; и мн. др.).

Анализ разновидностей разломов, в частности, контролирующих сейсмический процесс, показывает, что они характеризуются различными возрастами заложения, активизаций и их современной интенсивностью. На конкретные сейсмические события влияют многие параметры разломов (длина, амплитуда смещений и т.д.), однако они не могут играть определяющей роли в сейсмическом процессе в целом. Он определяется неустойчивостью равновесия разломной и трещиноватой среды литосферы, нарушение которого может быть вызвано широкой группой триггерных механизмов эндо- и экзогенной природы. Сейсмический процесс контролируется относительной подвижностью всего ансамбля разноранговых активных разломов конкретного сейсмического пояса или области.

Для поисков закономерностей структурной организации сейсмического процесса в сейсмических поясах использованы представления о деструктивных зонах литосферы, интегрирующие в объеме своего понятия разноранговые разломы, характеризующиеся многогранными признаками современной активности (Шерман, 1996; Шерман и др., 2002). Деструктивные зоны литосферы являются более высоким таксоном иерархической структуры разломов литосферы по отношению к ее генеральным (глубинным) и другим разновидностям разрывов. Сейсмический процесс в пределах деструктивной зоны протекает неравномерно в пространстве и во времени. Маятниковая миграция сильных сейсмических событий хорошо фиксируется вдоль оси деструктивной зоны.

Преобладающие массы более слабых событий концентрируются в области динамического влияния разноранговых разломов или вне них. При этом многочисленные разноранговые группы геологически закартированных разрывов остаются асейсмичными в границах той же сейсмической области. Для понимания закономерностей достаточно сложной и во многом не ясной избирательной современной сейсмической активизации разноранговых и разновозрастных разломов нами проведено их ранжирование по количественному и энергетическому индексам сейсмичности. Близкий показатель для оценки степени активности деструктивных зон использовал К.Ж.Семинский (2001).

Под количественным индексом сейсмичности разлома ξ_n (км^{-1}) понимается число сейсмических событий n определенных энергетических классов k , приходящихся на единицу длины разлома L (км) при принятой ширине области его динамического влияния M (км) за заданный промежуток времени t (годы).

Под энергетическим индексом сейсмичности ξ_k разлома понимается значение класса максимального события $k_{\text{max}(t)}$, приходящегося на единицу длины разлома L (км) при принятой ширине области его динамического влияния M (км) за известный промежуток времени t (годы).

Индексы сейсмичности характеризуют активные разломы и позволяют их классифицировать по двум показателям степени современной сейсмической активности. На их основе можно проследить пространственно-временное изменение сейсмической активности разноранговых разломов в пределах сейсмической зоны.

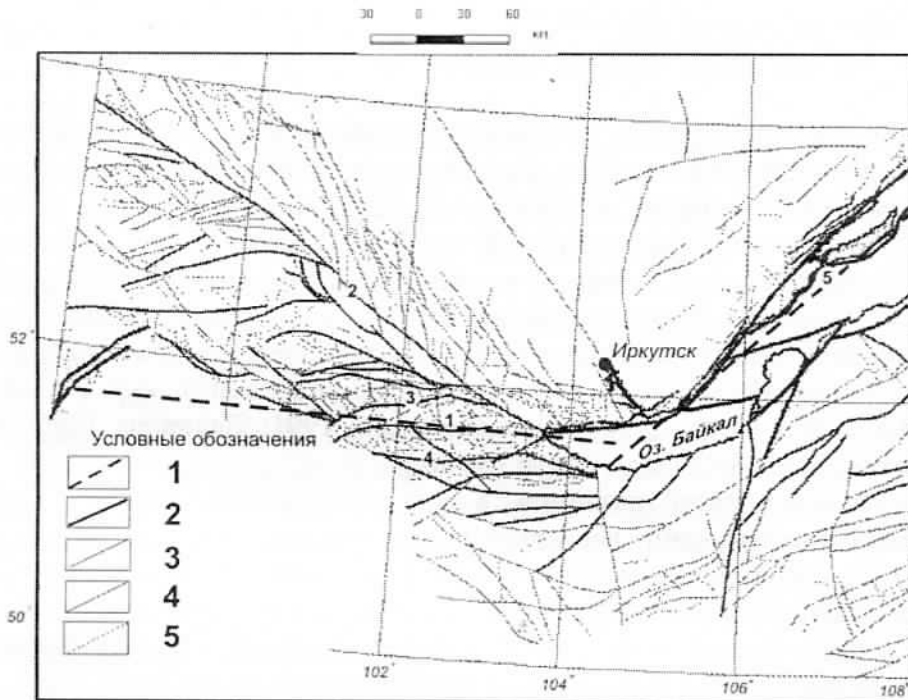


Рис.1. Схема современных активных разломов ЮЗ Прибайкалья по количественному индексу сейсмичности. 1 – ось зоны современной деструкции литосферы с максимальными значениями индекса сейсмичности (Тункинский трансформный разлом); 2 – наиболее активные разломы, индексы сейсмичности >1.0 ; 3 – активные разломы, индексы сейсмичности $0.1-0.99$; 4 – слабо активные разломы, индексы сейсмичности ≤ 0.09 ; 5 – разломы, не принятые во внимание при расчетах.

Цифрами обозначены: 1 – Тункинский трансформный разлом, с которым совпадает ось зоны современной деструкции литосферы; 2 – Главный Саянский разлом; 3 – Северо-Тункинский разлом; 4 – Южно-Тункинский разлом; 5 – фрагмент Обручевского сброса.

На примере Байкальской рифтовой системы (БРС) – одной из наиболее сейсмически активных и в то же время социально значимых территорий России – выделена зона современной деструкции литосферы, показана приуроченность очагов сильных землетрясений к ее оси и их маятниковая миграция вдоль нее во времени.

Соподчиненность сейсмических событий иерархической структуре разломной сети и их пространственно-временные вариации в деталях рассмотрены на примере ЮЗ фланга БРС. На рисунке дана схема современной активности разломов ЮЗ фланга БРС по количественному индексу сейсмичности. Замечено: чем выше количественный индекс сейсмичности разломов, тем ближе к стержневой структуре зоны современной деструкции литосферы они располагаются. Составлена и проанализирована схема современной активности разломов по энергетическому индексу сейсмичности. Она позволяет классифицировать сейсмоактивные разломы по степени сейсмической опасности, что наиболее практически значимо.

Сейсмические события происходят в областях динамического влияния сейсмоактивных разломов и характеризуются пространственно-временной маятниковой миграцией эпицентров в границах этих областей. Сейсмический процесс в сейсмической зоне определяется поведением ансамбля разноранговых сейсмоактивных разломов, в областях динамического влияния которых происходят конкретные сейсмические события. Пространственно-временные закономерности активизации ансамблей разломных структур в зонах современной деструкции литосферы оцениваются по количественным и качественным индексам сейсмичности разломов, формирующих зону деструкции. Закономерности их изменений по площади сейсмической зоны во времени и пространстве дают ключи к более сложным закономерностям сейсмического процесса и прогнозу его сильных событий.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант 04-05-64348).

Список литературы

- Имаев В.С., Имаева Л.П., Козьмин В.М. Активные разломы и сейсмоструктура северо-восточной Якутии. Якутск: Якутск. НЦ СО РАН, 1990. 148 с.
- Карта активных разломов СССР и сопредельных территорий. М-б 1:8 млн. Объяснит. Записка / Под редакцией В.Г.Трифонов. М.:ГИН, 1987. 48 с.
- Карта разломов юга Восточной Сибири. Масштаб 1:1500000. 1982. Отв. Ред. П.М. Хренов. Мингео СССР, Ленинград, 1988.
- Левин К.Г. Неотектонические движения земной коры в сейсмоактивных зонах литосферы. Тектонофизический анализ. Новосибирск: «Наука» СО. 1991. 166 с.
- Несмеянов С.А., Ларина Т.А., Латынина Л.А. и др. Выявление и прогноз опасных разрывных тектонических смещений при инженерных изысканиях для строительства // Инж. Геология, 1992. № 2. С.17-32.
- Никонов А.А. Активные разломы: определение и проблемы выделения // Геоэкология, 1995. № 4. С.16-27.
- Семинский К.Ж. Тектонофизические закономерности деструкции литосферы на примере Гималайской зоны сжатия // Тихоокеанская геология. 2001. Т.20. № 6. С.17-30.
- Соболев Г.А. Основы прогноза землетрясений. Москва: Наука. 1993. 313 с.
- Соболев Г.А., Пономарев А.В. Физика землетрясений и предвестники. М.: Наука. 2003. 270 с.
- Трифонов В.Г. Особенности развития активных разломов // Геотектоника. 1985. № 2. С.16-26.
- Шерман С.И. Деструктивные зоны литосферы, их напряженное состояние и сейсмичность // Неотектоника и современная геодинамика континентов и океанов. М.: РАН. МТК. 1996. С.157-158.
- Шерман С.И., Борняков С.А., Буддо В.Ю. Области динамического влияния разломов (результаты моделирования) Новосибирск. Наука. СО АН СССР. 1983. 110 с.
- Шерман С.И., Демьянович В.М., Лысак С.В. Новые данные о современной деструкции литосферы в Байкальской рифтовой зоне // Доклады Академии наук. 2002. Т.387. № 4. С.533-536.

14. Active Faults in and around Japan: the distribution and the degree of activity // *J.Natur.Disas.Sci.*, 1980, v.2, N 2. P.61-99.
15. Characteristics of active faults // *Spec. Issue J. Struct. Geol.*, 1991, v. 13, N 2. 240 p.
16. Slemmons A.B. Paleoseismicity and fault segmentation // *Proceed. 1-st National Workshop on paleoseismology. Rendiconti Soc.Geol. It.*, v.13. Roma, 1990. p.5-8.
17. Trifonov V.G. World map of active faults // *Quarter. Internat.Spec. Issue*. 1995, N 25. P.3-16.

SEISMICITY INDICES OF ACTIVE FAULTS OF THE LITHOSPHERE AND THE PROBLEM OF EARTHQUAKE PREDICTION

S.I. Sherman, V.A. Savitsky

Institute of the Earth's Crust, SB RAS, Russia

The challenge of seismic safety is becoming more and more important for the society and, thus, requires periodical reviewing of notions, updating research methods, and elaborating ways of practical application of results of geological and geophysical mapping. Faults are among the most widely considered phenomena in relation to seismic activity. Having evolved from the term of «alive faults», the notion of «active faults» was actively employed in scientific publication of the late 1970s [Active faults..., 1980; Trifonov, 1985; Active fault map..., 1987; Imaev et al., 1990; Slemmons, 1990; Characteristics..., 1991; Levi, 1991; Nesmeyanov et al., 1992; Nikonov, 1995; Trifonov, 1995].

Analyses of various faults, including those controlling seismic process, show that the faults are characterized by various ages of occurrence and reactivation and vary in recent rates of activity. Specific seismic events are dependent on many fault parameters, including length, displacement amplitude and others; however, these parameters are unable to have a prime role in the seismic process as a whole. Seismicity depends on how unstable is the equilibrium of the faulted and fractured lithosphere that may be disturbed by a wide spectrum of triggering mechanisms of endo- and exogenic nature. Seismic process is controlled by relative mobility of the whole set of active faults varying in ranks that are located in the given seismic belt or area.

In order to reveal regularities in the structural organization of the seismic process in seismic belts, the concept of fracturing zones of the lithosphere is applied. Such zones include faults of different ranks that display a variety of indices of recent activity [Sherman, 1996; Sherman et al., 2002]. The fracturing zones of the lithosphere are highest rank in relation to its general and other types of faults. The seismic process within the fracturing zone occurs irregularly both in space and time. Strong seismic events tend to migrate along the fracturing zone axis. Most of the weaker seismic events are concentrated inside or outside areas of dynamic influence of faults varying in ranks. It should be noted that numerous sets of geologically mapped faults may display no seismicity within the limits of the same seismic area. To reveal regularities in the complex and selective character of the recent seismic reactivation of faults of different ranks and ages, the faults are classified by quantitative and energy indices of seismicity. A similar index to assess rates of activity of faulting zones was employed by K.Zh.Seminsky [2001].

The quantitative seismicity index of a fault ξ_n (km^{-1}) is a number seismic events n that rank in a certain energy class k , occurred in a fault length unit L (km), taking into account the width of the area of dynamic influence of the given fault M (km) for the given period of time t (years).

The energy seismicity index of a fault ξ_k is a class of a maximum event $k_{\max(t)}$ as per a fault length unit L (km), taking into account the width of the area of dynamic influence of the given fault M (km) for the given period of time t (years).

The proposed seismicity indices provide characteristics of active faults and make it possible to classify the faults with respect to rates of their recent seismic activity. Based on the

indices, spatial and temporal variations in seismic activity of faults within seismic zones can be traced.

The proposed approach is applied to the Baikal rift system (BRS), one of the most seismically active and socially important zones in Russia. In the BRS, the zone of recent seismic activity of the lithosphere is identified; it is revealed that strong earthquake foci are confined to the axis of the zone; oscillation migration of earthquake in time along the given axis is described. As exemplified by the SW flank of the BRS, seismic events are dependent on the hierarchic pattern of the fault network; their temporal and special variations are described in detail. Considering the quantitative seismicity index, the recent activity of faults in the SW flank of the BRS is schematically represented in Figure 1. It is observed that the higher is the quantitative seismicity index of the faults, the closer the given faults are located in relation to the axial structure of the zone of the recent activity of the lithosphere. Considering the energy seismicity index, the scheme of the recent activity of faults is constructed and analyzed. By the proposed scheme, it is possible to classify seismically active faults by the rate of seismic danger, that is valuable for practical application.

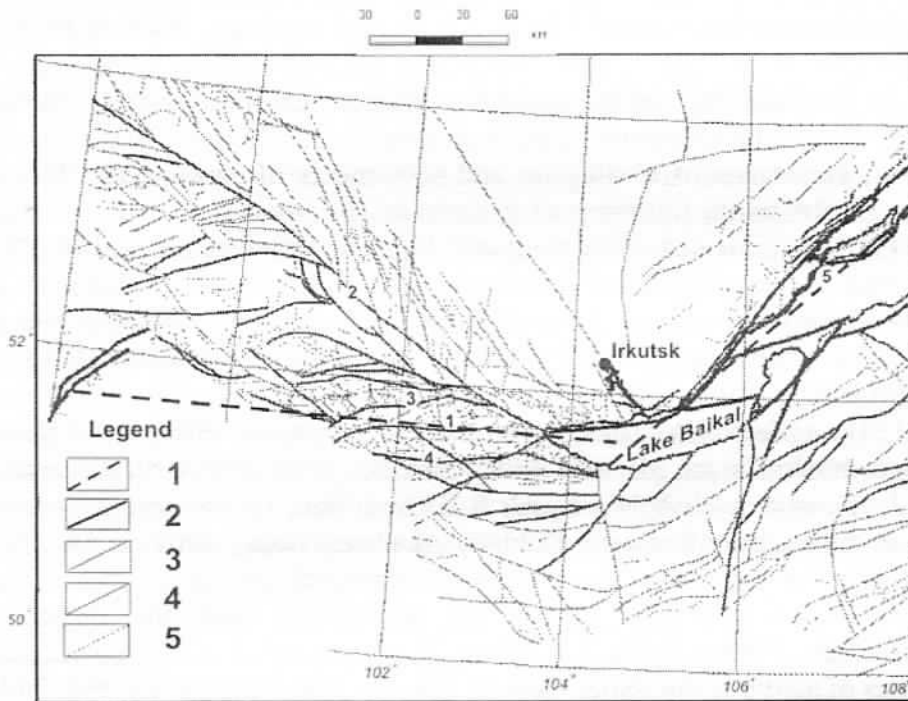


Figure 1. Scheme of recent active faults in the Pribaikalie, based on the proposed quantitative index of seismicity.

1 – zone of the recent fracturing in lithosphere with maximum values of the seismicity index (Tunka transform fault); 2 – most active faults, seismicity indices >1.0 ; 3 – active faults, seismicity indices $0.1-0.99$; 4 – low active faults, seismicity indices ≤ 0.09 ; 5 – faults not considered in calculations.

Numbers: 1 – Tunka transform fault that coincides with the axis of the recent lithosphere destruction zone; 2 – Major Sayan fault; 3 – North Tunka fault; 4 – South Tunka fault; 5 – a fragment of the Obruchev normal fault.

Seismic events occur within areas of dynamic influence of seismically active faults; they display spatial and temporal oscillation migration of epicenters within the limits of the given areas. In seismically active zones, seismicity is determined by the behavior of a set of seismically active faults varying in ranks. Spatial and temporal regularities in reactivation of sets of faults in the zones of recent fracturing of the lithosphere are revealed from the quantitative and energy indices of seismicity of faults comprising the fracturing zones. Within the seismic zone, these regularities may give ways to reveal more complex regular characteristics of seismicity that can be applicable for predicting strong earthquakes.

The research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant 04-05-64348).

References

1. Imaev V.S., Imaeva L.P., Kozmin V.M. Active faults and seismotectonics of the north-eastern Yakutia. Yakutsk, Scientific Center, SB RAS, 1990. 148 p. (in Russian).
2. Active fault map of the USSR and adjacent territories. 1:8,000,000 scale. Exp. notice / Edit. V.G.Trifonov. Moscow: GIN, 1987. 48 p. (in Russian).
3. Fault map of the south of East Siberia. 1:1,500,000 scale. 1982. Edit. P.M.Khrenov. Mingeo SSSR, Leningrad, 1988 (in Russian).
4. Levi K.G. Neotectonic crustal movements in seismically active zones of the lithosphere. Tectonophysical analysis. Novosibirsk; Nauka, SO. 1991. 166 p. (in Russian).
5. Nesmeyanov S.A., Larina T.A., Latynina L.A et al. Identification and predication of hazardous tectonic rupture displacements in engineering prospecting for construction // *Eng. Geology*, 1992, 2. P.17-32 (in Russian).
6. Nikonov A.A. Active faults: notion and problems of identification // *Geoekologia*, 1995, 4, p.16-27 (in Russian).
7. Seminsky K.Zh. Tectonophysical regularities of the lithosphere destruction as exemplified by the Himalaya compression zone // *The Pacific Ocean Geology*, 2001, v.20, 6, p.17-30 (in Russian).
8. Sobolev G.A. Fundamentals of earthquake prediction. Moscow: Nauka, 1993, 313 p. (in Russian).
9. Sobolev G.A., Ponomarev A.V. Physics and forerunners of earthquakes. Moscow: Nauka, 2003, 270 p. (in Russian).
10. Trifonov V.G. Regularities of active fault development // *Geotectonics*, 1985, 2, p.16-26 (in Russian).
11. Sherman S.I. Destructive zones of the lithosphere, their state of stresses and seismicity // Neotectonics and recent geodynamics of continents and oceans. Moscow: RAS, MTK, 1996, p. 157-158 (in Russian).
12. Sherman S.I., Bornyakov S.A., Buddo V.Yu. Areas of dynamic influence of faults (modeling results). Novosibirsk: Nauka, SB, the USSR Acad. Sci., 1983, 110 p. (in Russian).
13. Sherman S.I., Demianovich V.M., Lysak S.V. New data on the recent destruction of the lithosphere in the Baikal rift zone // *Doklady Akademii Nauk*, 2002, v. 387, No. 4, p. 533-536 (in Russian).
14. Active Faults in and around Japan: the distribution and the degree of activity // *J.Natur.Disas.Sci.*, 1980, v.2, No. 2, p. 61-99.
15. Characteristics of active faults // *Spec. Issue J. Struct. Geol.*, 1991, v/ 13, N 2. 240 p.
16. Slemmons A.B. Paleoseismicity and fault segmentation // *Proceed. 1st National Workshop on Paleoseismology. Rendiconti Soc.Geol. It.*, v.13. Roma, 1990, p. 5-8.
17. Trifonov V.G. World map of active faults // *Quarter. Internat.Spec. Issue*. 1995, No. 25, p. 3-16.