

## АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ, ИХ СОВРЕМЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ И ИСТОЧНИКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Шерман С.И.

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия, ssherman@crust.irk.ru

Новые методы исследований разломов [4, 7, 8, 11], использованные при изучении современной геодинамики литосферы Центральной Азии, позволили классифицировать их на группы, интенсивность активизаций которых изменяется в интервалах короткого реального времени (месяцы, годы) и практически не зависит от геодинамических режимов регионов. Эти заключения базируются на введении трех новых параметров количественной оценки современной активизации разломов и источника их возбуждения: (1) кинематической интенсивности, (2) энергетического потенциала и (3) векторов скоростей деформационных волн, вызывающих современную активизацию.

Критерием безусловной современной активизации разломов является приуроченность к ним эпицентров землетрясений. В основе рассматриваемых построений лежит представление о том, что землетрясение любого класса фиксирует нарушение равновесия в зоне разлома, сопровождающееся увеличением интенсивности трещиноватости и, при сильных событиях, смещением крыльев. Частота сейсмических событий в зоне разлома отражает интенсивность его активизаций, сила землетрясений – энергетический потенциал реализации активизаций, а тенденция в пространственной направленности очагов вдоль оси разлома во времени воспроизводит усредненную скорость активизаций и ее векторную направленность. При этих процессах в зонах разломов происходит реализация второго [2] механизма развития крупной трещины: ее продолжающееся формирование идет по предварительно уже возникшей перколяционной сети более мелких трещин и скорость подобного развития может быть исключительно низкой.

Разработаны алгоритмы и программы для расчетов вводимых параметров по многотысячным базам данных разломной тектоники и сейсмичности территории Центральной Азии.

1. Для оценки интенсивности активизации разломов предложено использовать количественный индекс сейсмической активности (КИСА) разломов  $\xi_n$  (км<sup>-1</sup>), под которым 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) ( $\xi_n = \sum n(M, K, t) / L$ ) [7]. В реальном масштабе времени именно этот показатель характеризует нестабильность крыльев разломов и дает основание для анализа доли участия разнорангового разломного сообщества в сейсмическом процессе. Для разломов Центральной Азии по КИСА была установлена их селективная активизация с неясно выраженной квазипериодичностью [9].

2. Для выяснения энергетического потенциала разломов предложено применять магнитудный (энергетический) индекс сейсмической активности (МИСА) разломов  $\xi_k$ , под которым понимается значение класса максимального сейсмического события  $K_{\max}$  ( $K = \lg E$ , дж), приходящееся на длину разлома  $L$  (км) при принятой ширине области его динамического влияния  $M$  (км). МИСА оценивается по выражению:  $\xi_k = K_{\max}(M, k, t)$ , где  $K_{\max}(t)$  – максимальный класс землетрясения (или его максимальная магнитуда) в области динамического влияния разлома  $M$  за заданный промежуток времени  $t$  [8]. Ширина области динамического влияния разлома  $M$  определяется по уравнению  $M = bL$ , где  $L$  – длина разломов, км;  $b$  – коэффициент пропорциональности, зависящий от  $L$  и по эмпирическим данным изменяющийся от 0.03 до 0.09 соответственно для трансрегиональных и локальных разломов. По МИСА за инструментальный период наблюдений разломы Центральной Азии классифицируются на несколько групп, различающихся по энергетическому потенциалу [9].

По сумме наблюдений регистрируется асинхронная квазипериодичность сейсмической активизации по максимальным значениям МИСА для разных разломов.

3. Для исследования усредненной скорости и пространственной выраженности активизации отдельных разломов или их ансамблей изучена пространственно-временная тенденция направленности эпицентров землетрясений вдоль контролируемых их разломов.

Проанализированы временные тренды сейсмических событий, произошедших в областях динамического влияния разломов Центральной Азии за последние 40 лет [10]. (Использованы каталоги землетрясений Байкальского филиала Геофизической службы СО РАН и другие). Построены графики, на оси абсцисс которых откладывались длины разломов с соответствующими положениями эпицентров землетрясений; на оси ординат – время этих событий. Эпицентры землетрясений конкретных разломов на графиках образовали системы параллельных прямых, как если бы вдоль соответствующих разломов распространя

лись с постоянной скоростью серии возмущений, инициирующих сейсмические события – активизации разломов. Прямые отражают тенденции векторов возмущений (волн) в конкретных разломах: отклонение прямых влево или вправо от вертикали – направление вектора возмущений по простиранию разрывов, тангенс угла наклона прямых к оси ординат определяет среднюю скорость возмущений. Вычисленные тренды возмущений для разных разломов по одинаковым углам наклона систематизируются в группы, свидетельствующие об идентичных параметрах их активизации. Одновременно фиксируется различное пространственное направление временного тренда возмущений в рамках выделенных статистически значимых групп разломов.

Закономерная согласованность в активизации разломов, образующих каждую из иерархических ранговых групп, и выдержанные направленности возмущений разрывов свидетельствуют о том, что генераторами описываемого процесса могут быть медленные деформационные волны разных длин, чувствительность к которым различна у выделенных групп разломов. Источниками подобных волн, возможно, являются продолжающиеся процессы активного рифтогенеза, приводящие к эпизодическим подвижкам всей межблоковой границы между Сибирской и Амурской (Забайкальской) плитами, а также более локальные смещения между крупными блоками других рангов. Высокая вероятность возбуждения волн в связи с подвижками блоков, лежащих на вязком основании, согласуется с расчетами [5, 6]. К настоящему времени факт существования деформационных волн в зонах разломов не вызывает сомнений [1]. Их можно рассматривать как один из классов механических движений, свойственных земной коре и литосфере в целом [3].

Таким образом, современная активизация разломов литосферы Центральной Азии характеризуется различной частотой и энергетической интенсивностью, происходит вне зависимости от региональных полей тектонических напряжений и инициируется медленными деформационными волнами разных длин.

Исследования выполнены при поддержке РФФИ (грант 07-05-00251), программы 16 проекта 3 Президиума РАН «Динамика деформационных процессов в сейсмоактивных регионах Центральной Азии и в очаговых зонах сильных землетрясений» и интеграционной программы СО РАН 7.10.3. «Тектоника и геодинамика Центральной Азии в мезозое и кайнозое: формирование горных систем, осадочных бассейнов и эволюция климата».

## ACTIVE FAULTS OF CENTRAL ASIA, THEIR ENERGY POTENTIAL AND REACTIVATION SOURCES

*Sherman, S.I.*

*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS, Irkutsk, Russia, ssherman@crust.irk.ru*

In studies of recent geodynamics of the lithosphere in Central Asia, new methods of fault research [4, 7, 8, 11] provide for fault classification into groups distinguished by reactivation activity rates which are variable within short-term intervals in the real time scale (months, years), yet almost independent from geodynamic regimes. Our conclusions considering quantitative evaluations of recent geodynamics of faults and sources of their reactivation are based on newly introduced parameters: (1) kinematic intensity, (2) energy potential, and (3) vectors of rates of deformation waves which induce recent reactivation.

A criterion of unambiguously manifested recent reactivation of faults is the fact that they are associated with earthquakes. Our conceptual basis is that an earthquake of any magnitude records a disturbance of equilibrium in the fault zone that is accompanied by increased intensity of fracturing and, for strong seismic events, by fault wings' displacement. The frequency of seismic events in the fault zones shows the intensity of its reactivation; the magnitude of earthquakes reflects the energy potential of reactivations; the tendency in spatial direction of foci distribution along the fault axis in time is consistent with the average reactivation rate and its vector direction. During such processes in the fault zones, the second mechanism of the large fracture development [2] is employed, i.e. the fracture is being developed within the percolated network of smaller fractures that was previously formed, and the rate of such development can be extremely low.

Algorithms and software are designed to estimate the parameters from multi-thousand databases on fault tectonics and seismicity of the Central Asia territory.

1. To evaluate the intensity of fault reactivation, a quantitative index of seismic activity of faults (QISA),  $\xi_n$  ( $\text{km}^{-1}$ ) is introduced. It is a number of seismic events,  $n$  of certain energy classes,  $K$  per a fault length unit,  $L$  (km) with an accepted width of the area of its dynamic influence,  $M$  (km) within a fixed time period,  $t$  (years) ( $\xi_n = \sum n(M, K, t)/L$ ) [7]. In the real time scale, this index is characteristic of the fault wings'

instability and gives grounds to analyze the contribution of fault networks varying in ranks in seismic process. For faults in Central Asia, it is established that there are selectively reactivated in a vaguely manifested quasi-periodic pattern [9].

2. To establish and evaluate the energy potential of faults, a magnitude (energy) index of seismic activity of faults (MISA),  $\sigma_k$  is introduced. It is the maximum seismic event class,  $K_{\max}$  ( $K = \lg E, j$ ) per fault length,  $L$  (km) with an accepted width of the area of its dynamic influence,  $M$  (km). MISA is given by  $\xi_k = K_{\max} (M, k, t)$  where  $K_{\max(t)}$  is maximum earthquake class (or its maximum magnitude) within the area of dynamic influence of the fault,  $M$  per the given time period,  $t$  [8]. The width of the area of its dynamic influence  $M$  is given by  $M=bL$  where  $L$  is fault length, km;  $b$  is proportionality coefficient which depends on  $L$  and, from empirical data, varies from 0.03 to 0.09 for transregional and local fault, correspondingly. According to MISA values for the time period of instrumentally recorded measurements, the faults in Central Asia are classified into several groups by energy potential values [9]. As per available observations data, asynchrony of quasi-periodic seismic reactivation is revealed from maximum values of MISA for various faults.

3. To research average rates and spatial manifestation of reactivations of individual fault or their ensembles, a spatial-and-temporal tendency of earthquake epicenter direction is studied along the faults which control seismicity.

Within the areas of dynamic influence of faults in Central Asia, temporary trends of seismic events are analyzed for the past 40 years [10]. (Our data bases include records from earthquake catalogues published by Baikal Division of Geophysical Survey, Siberian Branch of RAS and others). Curves are constructed to show fault lengths with corresponding positions of earthquake epicenters versus time of such events. The epicenters of specific earthquakes are clustered as systems of parallel straight lines, as if series of disturbances (i.e. fault reactivations), which trigger seismic events, were propagating with steady rates along the corresponding faults. These straight lines reflect tendencies of vectors of the disturbances (or waves) for specific faults. The deviation of the straight lines to left or right from vertical shows the direction of the vector of disturbances along the strike of the faults; the tangent of the angle between the straight lines and the plane coordinates determines the average disturbance rate. The trends of the disturbances for various faults that are estimated from similar deviation angles in plane coordinates are classified into groups which evidence identical parameters of their reactivation. In parallel, various spatial directions of temporary trends of disturbances are estimated within the frameworks of the identified statistically considerable fault groups.

A regular consistency in reactivations of faults, which comprise hierarchically ranked groups, and steady directions of fault disturbances suggest that the process under study might have been generated by slow deformation waves of various lengths which received variable responses from the identified groups of faults. Possible sources of such waves might have been associated with on-going active rifting that causes episodically manifested displacements of the whole inter-block boundary between the Siberian and Amur (Transbaikalia) Plates, as well as more local displacements between large blocks of other ranks. A high probability of waves' triggering due to movements of the blocks, which are located on the viscous basement, is supported by relevant estimations [5, 6]. It is currently out of debate that deformational waves occur within the fault zones [1]. They can be regarded as a specific class of mechanical movements typical of the crust and the lithosphere as a whole [3].

Therefore, recent activation of faults in the lithosphere of Central Asia is characterized by variable frequency and energy intensity; it takes place regardless of the regional tectonic stress fields; it is triggered by slow deformational waves varying in lengths.

The research was supported by the Russian Basic Research Foundation (grant 07-05-00251), Program 16 of RAS Presidium Project 3 «Dynamics of deformation in seismically active regions of Central Asia and focal zones of strong earthquakes», and Integration Program of Siberian Branch of RAS 7.10.3. «Tectonics and geodynamics of Central Asia in the Mesozoic and Cenozoic: Formation of Mountain Systems, Sedimentary Basins and Climate Evolution».

#### REFERENCES

1. Bykov, V.G. Deformation waves of the Earth: concept, observations and models // *Geology and Geophysics*. 2005. V. 46, N 11. P. 1176–1190 (in Russian).
2. Gol'din, S.V. Destruction of the lithosphere and physical mesomechanics // *Physical mesomechanics*. 2002. V. 5, N 5. P. 5–22 (in Russian).
3. Gol'din, S.V. Dilatancy, re-condensing and earthquakes // *Physics of the Earth*. 2004. N 10. P. 37–54 (in Russian).
4. Kuz'min, Yu.O., Zhukov, V.S. Recent Geodynamics and Variations in Physical Properties of Rocks. Moscow, Moscow Mining University Publishing House. 2004. 262 p. (in Russian).

5. Nevsky, M.V. Super-long periodic waves of deformation at active faults and seismicity // Geophysics at the margin of centuries. Proceedings of the United Institute of the Earth Physics, RAS. Moscow, OIFZ RAN. 1999. P. 124–139 (in Russian).
6. Nikolaevsky, V.N., Ramazanov, T.K. Wave generation and propagation along deep faults // Izvestia AN SSSR. Physics of the Earth. 1986. N 10. P. 3–13 (in Russian).
7. Sherman, S.I., Sorokin, A.P., Savitsky, V.A. New methods of classification of seismically active faults in the lithosphere by seismicity index // Doklady RAN, 2005. V. 401, N 3. P. 395–398 (in Russian).
8. Sherman, S.I., Savitsky, V.A. New data on quaziperiodical regularities of fault reactivation in the real time scale from monitoring of seismic event magnitudes (exemplified by the Baikal rift system) // Doklady RAN, 2006. V.408, N 3. P. 398–403 (in Russian).
9. Sherman, S.I., Savitsky, V.A., Thurkan, E.A. Recent activity of intra-plate faults in the lithosphere of Central Asia from seismic monitoring // Geodynamic Evolution of the Lithosphere of Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent). Proceedings of Scientific Workshop on Basic Research Program. Issue 3. V. 2. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of RAS. 2005. P.139–142 (in Russian).
10. Sherman, S.I., Thurkan, E.A. Slow deformation waves as a source and a trigger mechanism of recent reactivation of faults in Central Asia // Geodynamic Evolution of the Lithosphere of Central Asian Mobile Belt (from Ocean to Continent). Proceedings of Scientific Workshop. V. 2. Irkutsk: Institute of the Earth's Crust, 2006. P. 219–223 (in Russian).
11. Sherman, S.I., Dem'yanovich, V.M., Lysak, S.V. Active faults, seismicity and fracturing in the lithosphere of the Baikal rift system // Tectonophysics. V.380, N 3–4. 2004. P. 261–272.

## SHEET DIKE COMPLEX OF THE OPHIOLITE IN THE NORTHWESTERN PACIFIC FRINGING

*Raisa M. Yurkova*

*Institute of oil and gas problems RAS, bivmyrzb@mti-net.ru*

Research was conducted in the northwest Pacific active continental margin: Sakhalin, Kamchatka, Koryak range, Karagin Island, Shirshova range at Bering Sea. The formation of ophiolite is related to the development of magmatic-metamorphic diapir in the lithospheric wedge above Benioff zone [1]. Magmatism evolution is traced from abyssal facies (Iherzolite, gabbro-norite) to hypabyssal (dike series of diabase and gabbro-diabase, plagiogranite intrusions) and further to effusive underwater facies (spilite, quartz keratophyre). Ophiolite associations are noted for the following.

1. The early pseudomorphic harzburgite serpentinization has been shown to result from the effect of reducing fluids with the formation of structural serpentine water and methane in the presence of nickel catalyst according to the reaction  $2\text{Mg}_2\text{SiO}_4 + \text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6 + 4\text{CO} + 12\text{H}_2 > \text{Mg}_6\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8 + 4\text{CH}_4$ . This yielded antigorite-serpentine (with a lattice constant  $a=35.5\text{\AA}$ ) and taenite (a natural alloy of Fe-Ni composition) scattered in antigorite as tiny (2-5 mk) inclusions. Experimental, thermodynamic ( $T = 450\text{--}600^\circ\text{C}$ ,  $P = 13\text{--}16$  kbar), and balance calculations have confirmed that antigorite had formed in the mantle, at the depth of 40–50 km.

2. Bimetasomatic contact-reactional units emerged at different stages of formation of ophiolitic suite both in high ( $T = 900^\circ\text{C}$ ) and low ( $T = 160^\circ\text{C}$ ) temperature conditions realised respectively during the 30–40 km deep magmatic rock intrusions into serpentinite and at the contacts of ultramafic and brecciated volcanic-sedimentary rocks. There formed the following different-temperature bimetasomatic layers: a) apogabbro-norite ( $T = 900^\circ\text{C}$ ) composed with bronzite, diopside and the pargasite hornblende; b) apollherzolite ( $T = 550\text{--}700^\circ\text{C}$ ) typically comprising diopside, pargasitic hornblende, grossular, andradite and hercynite; c) aposerpentinite, including antigorite, lizardite, pentlandite, chromespinellide.

3. There have been simultaneous of serpentinite rise and dike packets injection. The joining link of heterogenous ophiolite section separated parts and parts of various kind are dike series, that is packets and swarms of dikes and semidikes and locally single dikes of diabase and gabbro-diabase. They cut across all ophiolite complexes starting with dunite-harzburgite and in this case are significant indicators of the conditions of ophiolite association formation in the single magmatic-metamorphic geothermal system. On the assumption of petrologic and geochemical similarity of dike rocks and rocks of boninite and intermediate tholeiitic magmatic series, dike complex formation is reconstructed in the base of the frontal part of the primitive island arc in the conditions of the mantle diapir. The interrelations between the dike complex and the rest of the members of