



ОЦЕНКА ХАРАКТЕРА ТЕКТОНИЧЕСКОГО СМЕЩЕНИЯ В ЗОНАХ РАЗЛОМОВ АЛТАЯ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.А. Кучай¹, П.Г. Дядьков^{1,2}

¹Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

²Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия,
e-mail: KuchayOA@jggg.sbras.ru

На основе данных о механизмах очагов землетрясений выявлены особенности горизонтальных смещений в зонах разломов Алтае-Саянской горной области. Левосторонние сдвиги характерны для разлома Богдо, Южно-Таннуольского и Саяно-Тувинского разломов, а также для восточной части Болнайского разлома. Для разлома Коктокай характерен правый сдвиг.

Алтае-Саянская горная область, механизм очага землетрясений, разлом, сдвиг

EVALUATION OF THE TECTONIC DISPLACEMENTS IN FAULT ZONES OF THE ALTAI, ACCORDING TO THE EARTHQUAKE FOCAL MECHANISMS

O.A. Kuchay¹, P.G. Dyadkov^{1,2}

¹Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS,
Koptug Avenue, 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

²Novosibirsk State University, Pirogova str., 2, Novosibirsk, 630090, Russia,
e-mail: KuchayOA@jggg.sbras.ru

The characteristics of horizontal displacements in fault zones of the Altai-Sayan mountain region are revealed with use of the earthquake focal mechanisms data. Left-lateral strike-slips are characteristic for the Bogdo, Southern Tannuol and Sayan-Tuva faults, and for the eastern part of the Bollnay fault. Right-lateral strike-slip is characteristic for the Koktokay fault.

Altai-Sayan mountain region, earthquake focal mechanism, fault, shift

ВВЕДЕНИЕ

К вопросу о направлении смещения в зоне разлома существует несколько подходов. В одном случае смещение по разлому рассматривалось в предположении, что разрыв в очаге землетрясения совпадает с положением сместителя разлома и скольжение по разлому оценивается по сумме сейсмических моментов землетрясений [Brune, 1969]. В другом случае оценивается вклад землетрясений

в движение по разлому при плоскостях разрыва в очагах, не совпадающих с положением сместителя самого разлома [Кучай, Юнга, 1984]. В нашем случае мы попытались оценить не вклад землетрясений в движение по разлому, а характер медленных тектонических смещений в зоне разлома по данным механизмов очагов землетрясений, произошедших в зоне динамического влияния разлома. Движение по геологическому длительно существующему разлому происходит под действием тех же тектонических сил, что и подвижки в очагах землетрясений, поэтому параметры механизмов очагов землетрясений можно рассматривать как датчики деформаций в земной коре. Мы будем оценивать только горизонтальную составляющую смещения, так как для этого имеется достаточное количество определений параметров механизмов очагов землетрясений разных магнитуд, происшедших вдоль зон разломов, в крыльях разлома и по самому разлому.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В соответствии с принятым в геологии правилом сдвиг, у которого противоположное от наблюдателя крыло движется налево (направо), называется левым (правым) сдвигом. Например, если зона разлома в целом характеризуется левосдвиговыми смещениями, то и деформации в зоне разлома за счет землетрясений будут приводить к левосдвиговым смещениям чаще, чем к правосдвиговым. Следовательно, лево- и правосдвиговые подвижки могут быть выявлены в случае преобладания в статистически значимых данных тех или иных механизмов очагов землетрясений. Так можно оценить предрасположенность лево- или правосдвиговых деформаций в зоне разлома отношением $\xi = \varepsilon_{(л)} / \varepsilon_{(пр)}$, которое показывает во сколько раз в плоскости разлома левый сдвиг предпочтительнее правого или правый сдвиг предпочтительнее левого – $\eta = \varepsilon_{(пр)} / \varepsilon_{(л)}$. Величины $\varepsilon_{(л)}$ и $\varepsilon_{(пр)}$ характеризуют средние лево- и правосдвиговые деформации в зоне разлома.

По представлениям [Ризниченко, 1975; Юнга, 1990], тензор скорости сейсмодеконической деформации ε_{ij} определяется суммой тензоров сейсмических моментов, нормированных на время, объем и модуль сдвига:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2\mu V t} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} m_{ij}^{(n)},$$

где μ – модуль сдвига; V – элементарный объем; t – период исследования; M_0 – сейсмический момент землетрясения с номером (n) ($n = 1, 2, \dots, N$); m_{ij} – направляющий тензор механизма очага. Индексы компонент тензоров сейсмических моментов – $(i, j = 1, 2, 3)$.

По Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1985], сдвиговая компонента единичного тензора сейсмодеконических деформаций $\varepsilon_{x,y}$ в географической системе координат в очаге индивидуального землетрясения определяется по формуле

$$\varepsilon_{xy} = 2 \left(\sin^2 \varphi_T \sin \alpha_T \cos \alpha_T - \sin^2 \varphi_P \sin \alpha_P \cos \alpha_P \right),$$

где φ_T и φ_P – углы между вертикалью и осями растяжения (Т) и сжатия (Р), определенные в очагах каждого землетрясения, α_T и α_P – азимуты осей растяжения и сжатия, т. е. углы между горизонтальной проекцией осей растяжения (Т) или сжатия (Р) и меридианом.

Компонента нормированного тензора сейсмотектонических деформаций ε_{xy} в географической системе координат определяется по формуле

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} \left(\sin^2 \varphi_{T_n} \sin \alpha_{T_n} \cos \alpha_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \alpha_{P_n} \cos \alpha_{P_n} \right).$$

Если ввести прямоугольную систему координат, где одна ось координат направлена горизонтально и параллельно линии простирания участка разлома, а другая в горизонтальной плоскости по нормали к этому разлому, то в этом случае сдвиговая компонента ε_{xy} нормированного тензора сейсмотектонических деформаций находится по формуле

$$\varepsilon_{xy} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} \left(\sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \right),$$

где β_{T_n} и β_{P_n} – углы между направлением единичного горизонтального вектора в плоскости разлома и горизонтальной проекцией осей сжатия (Р) и растяжения (Т), отсчитываемые по часовой стрелке от этого единичного вектора.

Имея данные по ориентации осей сжатия и растяжения в очагах землетрясений и азимут простирания разлома, можно рассчитать среднюю деформацию, соответствующую левому $\varepsilon_{xy(l)}$ или правому $\varepsilon_{xy(np)}$ сдвигу в зоне разлома [Кучай, 1990].

Условно примем, что сейсмотектонические деформации, благоприятствующие левому сдвигу, равны $\varepsilon_{xy(l)} = \varepsilon_{xy}$ при $\varepsilon_{xy} < 0$, а правому $\varepsilon_{xy(np)} = \varepsilon_{xy}$ при $\varepsilon_{xy} \geq 0$:

$$\varepsilon_{xy(l)} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} \left(\sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \right),$$

$$\varepsilon_{xy(np)} = \frac{1}{\mu V t} \sum_{n=1}^N M_0^{(n)} \left(\sin^2 \varphi_{T_n} \sin \beta_{T_n} \cos \beta_{T_n} - \sin^2 \varphi_{P_n} \sin \beta_{P_n} \cos \beta_{P_n} \right).$$

Отношение $\xi = \varepsilon_{xy(l)} / \varepsilon_{xy(np)}$ показывает во сколько раз в плоскости разлома левый сдвиг предпочтительнее правого или правый сдвиг предпочтительнее левого $\eta = \varepsilon_{xy(np)} / \varepsilon_{xy(l)}$.

Расчет коэффициентов предпочтительности проводился с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения (ξ_m и η_m) и без учета величины сейсмического момента (ξ и η). Если значения $\xi > \eta$ и $\xi_m > \eta_m$, то можно говорить о левом сдвиге в зоне разлома, если $\xi < \eta$ и $\xi_m < \eta_m$, то в зоне разлома происходит правый сдвиг. При $\xi > \eta$ и $\xi_m < \eta_m$ или $\xi < \eta$ и $\xi_m > \eta_m$, характер смещений по разлому различается в зависимости от используемых для расчета данных: с учетом величины сейсмического момента каждого землетрясения или без этого учета.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На территории Алтае-Саянской области встречаются разломы надвигового и сбросового типов с небольшой сдвиговой составляющей, для которых определяется эта сдвиговая составляющая. Коэффициенты предпочтительности направления горизонтального смещения (ξ и η) в зоне разлома были рассчитаны для главных разрывных нарушений Алтае-Саянской области. Для этого использовалась схема разломов из статьи [Бачманов и др., 2017] (рис. 1). Разломы, имеющие сложную конфигурацию на поверхности, разбивались на отдельные фрагменты с близким направлением простирания. Для расчета использовались механизмы очагов землетрясений, произошедших в зоне разлома на расстоянии до 30 км от сместителя разлома. Такое расстояние от разлома обусловлено размерами очагов используемых землетрясений ($M \geq 4.6$) и точностью определения координат. Расчеты основывались на параметрах (Р и Т) механизмов сейсмических очагов из базы данных 1963–2007 г. [Кучай, 2013] и отдельных землетрясений из каталога Монголии [Хилько и др., 1985], произошедших в 1905, 1931, 1957 гг. Для некоторых разломов количество использованных данных по механизмам очагов землетрясений недостаточно для надежного расчета. Поэтому для ряда разломов приведены предварительные результаты.

На основе выполненных расчетов были получены следующие значения параметров ξ и η :

Южно-Таннуольский разлом – по западной части (азимут разлома 65°): $\xi = 2.3$, $\eta = 0.43$, $\xi_m = 1.3$, $\eta_m = 0.72$; по восточной части (азимут 75°): $\xi = 11.34$, $\eta = 0.09$, $\xi_m = 20.35$, $\eta_m = 0.05$. Это свидетельствует о левом сдвиге как для западной, так и восточной частей разлома.

Саяно-Тувинский разлом (азимут разлома 67°): $\xi = 2.49$, $\eta = 0.4$, $\xi_m = 16.34$, $\eta_m = 0.006$ (левый сдвиг).

Болнайский (Хангайский) разлом – по западной части (азимут разлома 95°): $\xi = 1.7$, $\eta = 0.58$, $\xi_m = 0.27$, $\eta_m = 3.75$; по восточной части (азимут разлома 90°): $\xi = 1.03$, $\eta = 0.96$, $\xi_m = 4395$, $\eta_m = 0.0002$. Таким образом, для западной части разлома получаем правый сдвиг по данным с учетом величины сейсмического момента землетрясений и левый сдвиг – по данным без учета этого параметра, для восточной части – левый сдвиг.

Разлом Богдо (азимут разлома 95–100°): в выражении $\xi = \varepsilon_{xy(l)} / \varepsilon_{xy(np)}$, $\eta = 0$, $\eta_m = 0$, соответственно по этому разлому определяется левый сдвиг.

Разлом Коктокай (азимут разлома 160°): $\xi = 0.35$, $\eta = 2.85$, $\xi_m = 0$, $\eta_m = 1426516.6$.

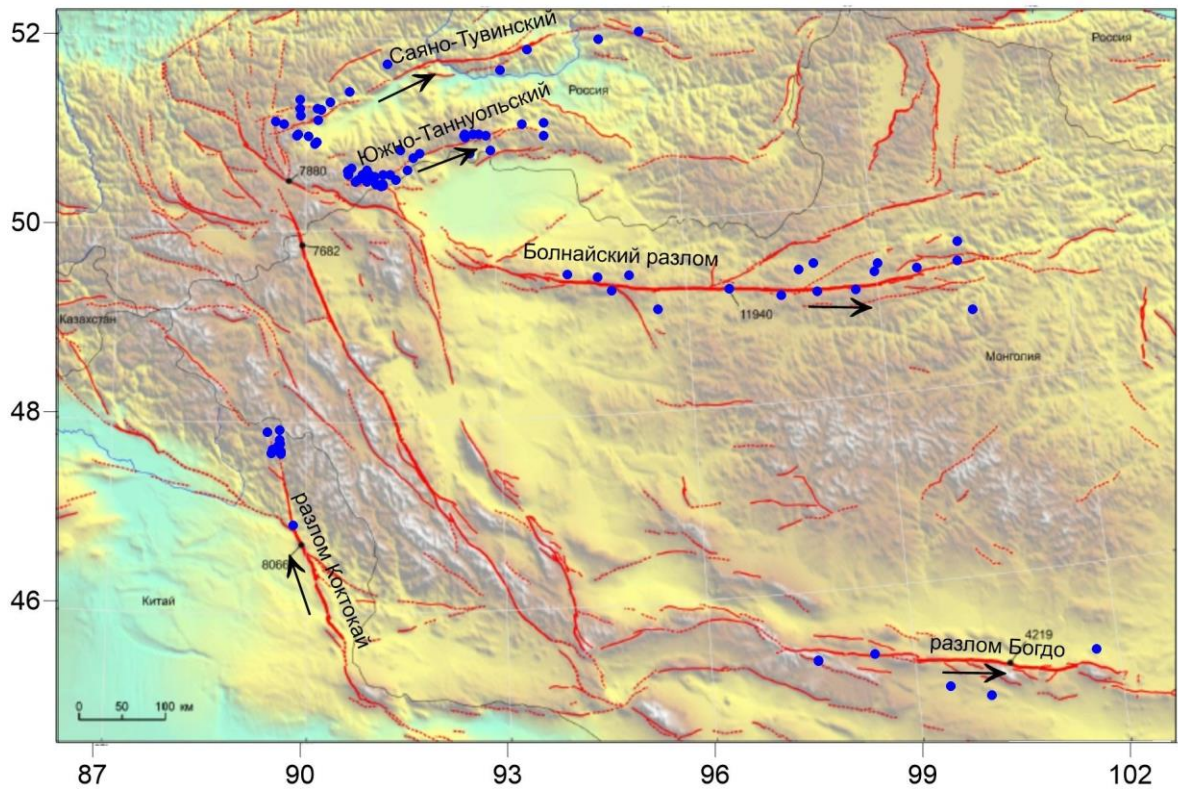


Рис. 1. Карта разломов [Бачманов и др., 2017] и эпицентры землетрясений, параметры механизмов очагов которых были использованы при расчете преимущественного горизонтального типа смещения по разломам

При сопоставлении с геологическими материалами по смещению крыльев разломов наблюдается согласованность между полученными нами коэффициентами предпочтительности и горизонтальными составляющими тектонических движений в зонах разломов [Молнар и др., 1995; Трифонов и др., 2002].

ВЫВОДЫ

Для обеих частей Южно-Таннуольского разлома и разломов Саяно-Тувинского и Богдо предпочтительным типом смещения является левый сдвиг. При разделении Болнайского (Хангайского) разлома на западную и восточную части по 96 меридиану, получаем для западной части разлома правый сдвиг по данным с учетом величины сейсмического момента землетрясений и левый сдвиг – по данным без учета этого параметра, для восточной части – левый сдвиг. Для разлома Коктокай характерен правый сдвиг.

Работа выполнена при частичной поддержке Интеграционного проекта СО РАН 34 и проекта РФФИ 17-05-01234.

ЛИТЕРАТУРА

- Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г.** База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – № 8(4). – С. 711–736.
- Кучай О.А., Юнга С.Л.** Сейсмическое скольжение по Дарваз-Каракульскому разлому // Физика Земли. – № 1. – 1984. – С. 39–47.
- Кучай О.А.** Деформации и смещения блоков земной коры внутриконтинентальных орогенов (по данным о механизмах очагов землетрясений) // Геодинамика внутриконтинентальных горных областей: Сб. науч. трудов. – Новосибирск: Наука, 1990. – С. 242–246.
- Кучай О.А.** База данных «Параметры механизмов очагов землетрясений Алтае-Саянской области» / Свидетельство о государственной регистрации № 2013620060. – заявл. 01.11.2012; опублик. 09.01.2013. – 30 с.
- Молнар П., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Демьянович М.Г., Борисов Б.А., Ващилов Ю.Я.** Деформация и разрывообразование при сильных землетрясениях в Монголо-Сибирском регионе // Глубинное строение Монголо-Сибирского региона. – Новосибирск: Наука, 1995. – С. 5–55.
- Ризниченко Ю.В.** Проблемы сейсмологии. – М.: Наука, 1985. – 407 с.
- Трифонов В.Г., Соболева О.В., Трифонов Р.В., Востриков Г.А.** Современная геодинамика Альпийско-Гималайского коллизийного пояса. – М.: ГЕОС, 2002. – 220 с.
- Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжинням, Монхоо Д.** Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. – М.: Наука, 1985. – 224 с.
- Юнга С.Л.** Методы и результаты изучения сеймотектонических деформаций. – М.: Наука, 1990. – 191 с.
- Brune J.N., Henry T.L., Roy R.F.** Heat flow, stress, and rate of slip along the San Andreas fault, California // J. Geophys. Res. – 1969. – Vol. 74. – P. 3821–3827.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

КУЧАЙ Ольга Анатольевна – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН. Область научных интересов: механизмы очагов землетрясений, сеймотектонические деформации по данным механизмов очагов землетрясений.

ДЯДЬКОВ Петр Георгиевич – кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией естественных геофизических полей Института нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, доцент кафедры геофизики ГГФ НГУ. Область научных интересов: современные геодинамические процессы и процессы подготовки землетрясений на основе анализа параметров сейсмического режима и результатов многолетнего тектономагнитного мониторинга в Байкальском и Алтайском регионах.