



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СМЕЩЕНИЯ В ЗОНАХ АКТИВНЫХ РАЗЛОМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ ПО ДАННЫМ О МЕХАНИЗМАХ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

О.А. Кучай

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,

630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

Определено направление горизонтального смещения для активных геологических разломов Центральной Азии по данным о механизмах очагов землетрясений, возникших вблизи этих разломов. Полученные результаты сопоставлялись с геологическими материалами. В восьми случаях из десяти анализ расчета направления смещения, полученного по сейсмологическим материалам, согласуется с кинематикой разломов.

Механизм очага землетрясения; разлом; сдвиг; Центральная Азия

THE HORIZONTAL DISPLACEMENTS IN ACTIVE FAULT ZONES IN CENTRAL ASIA BASED ON DATA ON THE MECHANISMS OF EARTHQUAKE FOCI

O.A. Kuchay

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Koptug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

e-mail: KuchayOA@ipgg.sbras.ru

The directions of horizontal displacement along active geological faults in Central Asia are determined based on data on the mechanisms of earthquake foci that occurred near these faults. The results were compared with geologic materials. In eight cases out of ten, the analysis of calculating the direction of displacement obtained from seismological materials is consistent with the kinematics of faults.

Earthquake focal mechanism; fault; shift; Central Asia

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе используется методика определения типа горизонтального смещения в зоне разлома, опубликованная в журнале «Геофизические технологии» [Кучай, Дядьков, 2018]. В настоящей статье подобран материал по механизмам очагов землетрясений, произошедших в зонах динамического влияния [Борняков, Шерман, 2000] наиболее активных разломов Центральной Азии. Этот материал позволил определить характер горизонтальных тектонических смещений в зонах разломов по данным механизмов очагов землетрясений и сопоставить полученные данные с геологическими материалами.

МЕТОДИКА И ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ

В предыдущей статье [Кучай, Дядьков, 2018] мы опирались на каталоги параметров механизмов очагов землетрясений, полученных нами и геофизиками Иркутска. Сейчас, используя материалы международного каталога [<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/interactive/>], удалось выбрать данные, при которых землетрясения расположены как по самому разлому, так и в крыльях крупных разломов Центральной Азии.

Кратко остановимся на методике. Сдвиговая компонента ε_{xy} нормированного тензора сейсмостектонических деформаций находится по формуле [Ризниченко, 1985]:

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

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; μ – модуль сдвига; V – элементарный объем; t – период исследования; M_0 – сейсмический момент землетрясения с номером $n = 1, 2, \dots, N$.

Для расчета преимущественного сдвигового смещения в зоне разлома вводится прямоугольная система координат, где одна ось координат направлена горизонтально и параллельно линии простирания участка разлома, а другая располагается по нормали к этому разлому в горизонтальной плоскости. 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 $\varepsilon_{xy(p)}$ сдвигу в зоне разлома [Кучай, 1990; Кучай, Дядьков, 2018]:

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

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

где β_P и β_T – 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.

Условно принимаем, что сейсмостектонические деформации, благоприятствующие левому сдвигу $\varepsilon_{xy(l)} < 0$, правому $\varepsilon_{xy(p)} > 0$. Отношения $\xi = \varepsilon_{xy(l)} / \varepsilon_{xy(p)}$ показывает во сколько раз в плоскости разлома левый сдвиг предпочтительнее правого или правый сдвиг предпочтительнее левого $\eta = \varepsilon_{xy(p)} / \varepsilon_{xy(l)}$.

Величины $\varepsilon_{xy(l)}$ и $\varepsilon_{xy(p)}$ характеризуют средние левосдвиговые и правосдвиговые деформации в зоне разлома.

Для нахождения деформаций $\varepsilon_{xy(l)}$ и $\varepsilon_{xy(пр)}$ расчет производится как с учетом значений сейсмического момента каждого землетрясения, так и без учета этих величин. В том случае, если значение ξ в одном варианте больше η , а в другом (с использованием M_0) – значение η больше ξ , то такой вариант считается ненадежным.

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

На территории Центральной Азии встречается значительное количество активных разломов сдвигового типа, в частности Таласо-Ферганский, Памиро-Каракорумский. В то же время, много разломов надвигового типа с небольшой сдвиговой составляющей, для которых возможно определить эту сдвиговую составляющую. Коэффициенты предпочтительности направления горизонтального смещения (ξ и η) в зонах разломов были рассчитаны для главных разрывных нарушений, расположенных на территории Центральной Азии с координатами $\varphi = 26^\circ - 43^\circ$ с.ш., $\lambda = 63^\circ - 103^\circ$ в.д. Схема расположения разломов взята из монографии [Трифонов и др., 2002] и статьи [Бачманов и др., 2017]. При расчете горизонтального типа смещения по механизмам очагов направление простирания разлома менялось в пределах $5-10^\circ$. Если изменение простирания линии разлома оказывалось большим, то выделялись участки с близким направлением простирания.

Для расчета использовались механизмы очагов землетрясений, произошедшие в зоне разлома на расстоянии до 0.5° от сместителя разлома. Такое значительное расстояние от разлома связано с размерами очагов используемых землетрясений (M_w 4.6–7.9) и точностью определения координат. Для расчета использовались параметры механизмов очагов из каталогов [<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/interactive/>] за период с 1977 по май 2020 г. с $M_w > 4.6$. Для некоторых разломов количество использованных данных по механизмам очагов землетрясений недостаточно для надежного расчета. Поэтому для ряда разломов приведены предварительные результаты.

На основе расчетов были получены следующие значения параметров ξ и η .

Таласо-Ферганский разлом (азимут разлома 125°) (рис. 1). Таласо-Ферганский разлом является крупнейшей сдвиговой дизъюнктивной структурой Средней Азии, формирующей границу между Западным и Центральным Тянь-Шанем. Это правосторонний сдвиг, заложившийся в поздне-палеозойское время [Корженков и др., 2013], протяженность разлома около 800 км, правосдвиговая компонента смещений в 10–30 раз превосходит взбросовую [Буртман и др., 1987]. Зона разлома сейсмична, очаги землетрясений достигают глубины 50 км [Трифонов и др., 2002]. На основе расчетов было получено $\xi = 0.062$, $\eta = 16.0$, $\xi_M = 0$, $\eta_M = 62.81$ и эти результаты свидетельствуют о правом сдвиге.

Разлом Кепинг (азимут простирания 85°) (рис. 1) расположен северо-западнее Тарима. Разлом преимущественно надвигового типа [Трифонов и др., 2002]. Но Кипчакский разлом, расположенный севернее разрывного нарушения Кепинг и параллельно ему, характеризуется левым сдвигом [Баженов, Миколайчук, 2004]. Поэтому, возможно, разлом Кепинг также имеет сдвиговую составляющую. ξ и η

рассчитаны только для северо-западной части: $\xi=2.715$, $\eta=0.368$, $\xi_M=1.2$, $\eta_M=0.773$; По полученным данным имеется небольшая левосдвиговая составляющая.

Алтынтагский разлом (рис. 1) (Алтынэмельский, рис. 2 в монографии [Трифонов и др., 2002] оконтуривает Тарим с юга. Вдоль северного фланга Тибета и Цайдама протягиваются левые сдвиги. Крупнейшим из них является Алтынтагский разлом протяженностью свыше 2000 км. В его центральной части скорость сдвига с начала неоплейстоцена – около 6 мм/год. На востоке разлома скорость с начала неоплейстоцена составляет 7 мм/год, но геодезические наблюдения за 1910–1975 гг. выявили крип со скоростью лишь 2 мм/год [Трифонов и др., 2002]. Для расчета разлом был разбит на два фрагмента. Западный фрагмент разлома имеет простирание 90° , восточный, достаточно протяженный, с азимутом 70° . Расчет для западного фрагмента разлома: $\xi=8.02$, $\eta=0.124$, $\xi_M=147$, $\eta_M=0.006$, для восточного $\xi=999$, $\eta=0$, $\xi_M=999$, $\eta_M=0$. Таким образом, для всего разлома характерен левый сдвиг.

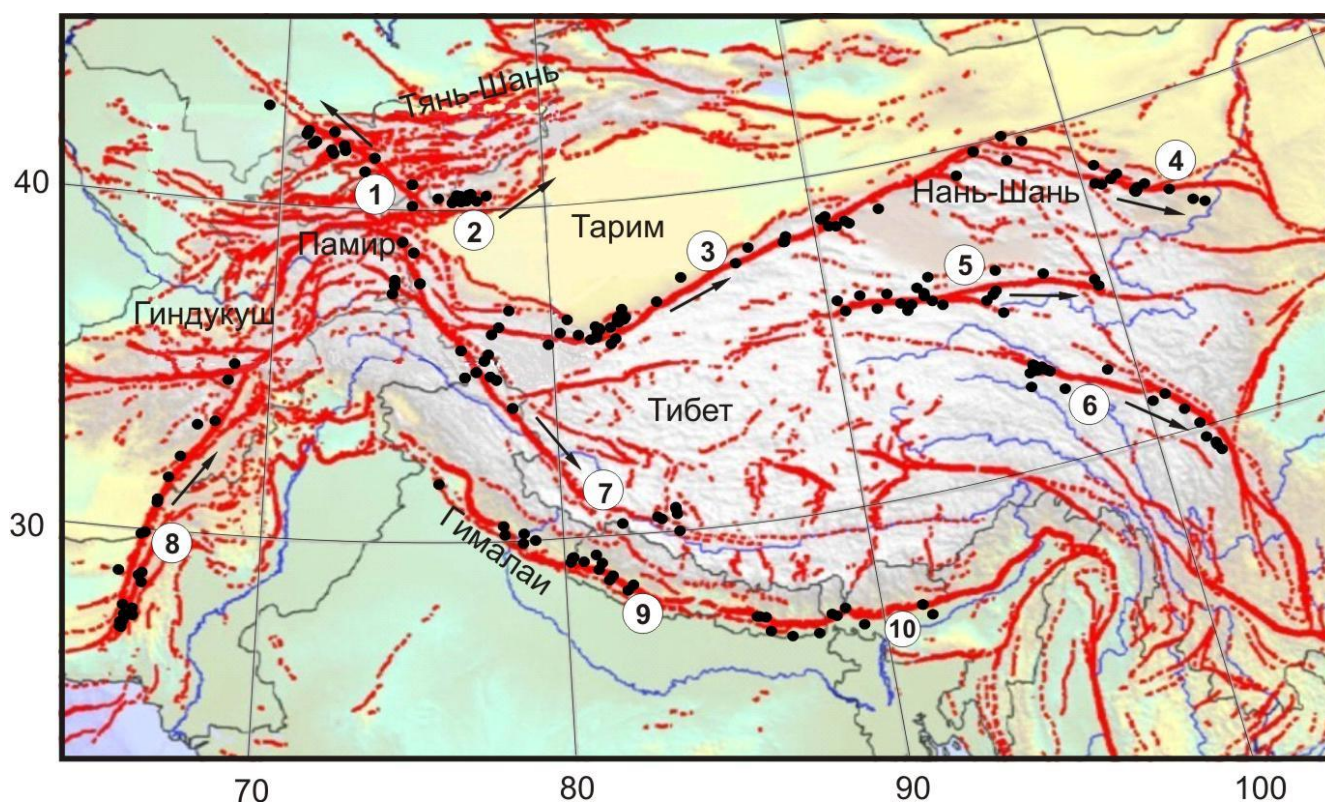


Рис. 1. Карта разломов [Бачманов и др., 2017] и эпицентры землетрясений, параметры механизмов очагов которых были использованы при расчете горизонтального типа смещения по разломам. Разломы: 1 – Таласо-Ферганский, 2 – Кепинг, 3 – Алтынтагский, 4 – Чангма-Килианский, 5 – Арнимакинг (Ксидатан-Маку), 6 – Ксианшухе, 7 – Памиро-Каракорумский, 8 – Чаманский, 9 – Фронтальный Гималаев, 10 – Главный пограничный Гималаев. Тонкими стрелками показано направление горизонтального смещения по разлому

Разлом Чангма-Килианский (азимут разлома 115°) (рис. 1). В восточной части Алтынтагской зоны на юго-восток ответвляется Чангма-Килианский разлом. В его северо-западной части скорость голоценового сдвига не менее 3,6 мм/год, тогда как скорость коррелируемого с ним взброса юго-западного крыла составляет лишь 0.15–0.25 мм/год. Таким образом, отношение сдвиговой и вертикальной компонент

4.7/1 [Трифонов и др., 2002]. При расчете получено $\xi=15.15$, $\eta=0.066$, $\xi_M=29$, $\eta_M=0.0336$, что соответствует левому сдвигу.

Разлом Арнимакинг (азимут простирания 95°). Между Цайдамом и Тибетом на 1100 км протягивается левый сдвиг Ксидатан-Маку (Арнимакинг). В его центральной части определения средней скорости движений колеблются в интервале 1–10 мм/год [Трифонов и др., 2002]. На основе расчетов получено $\xi=47.74$, $\eta=0.02$, $\xi_M=239$, $\eta_M=0.00004$. Результаты свидетельствуют о левом сдвиге.

Разлом Ксианшухе (азимут разлома 115°). Зона разлома Ксианшухе, протягивается на юго-восток на 800 км. Скорость современного левого сдвига, подсчитанная суммированием сейсмических моментов землетрясений, составляет 5–6 мм/год, а измеренная геодезически – 6–7.9 мм/год. На юго-восточном окончании зона Ксианшухе отклоняется к югу и переходит в меридиональный левый сдвиг Аннинг [Трифонов и др., 2002]. При расчетах получено $\xi=884.8$, $\eta=0.0011$, $\xi_M=525$, $\eta_M=0.0022$. Выполненные вычисления характеризуют левый сдвиг.

Памиро-Каракурумский разлом. Для расчета разлом был разбит на два фрагмента. Северная часть разлома имеет простирание 145° , южная – 115° . Памиро-Каракурумский правый сдвиг развивался на фланге Памиро-Пенджабского синтаксиса. На всем его протяжении выявлены позднечетвертичные смещения. В северо-западной части разлома скорость голоценового сдвига определена в 15–20 мм/год при скорости позднеплейстоцен-голоценовой вертикальной составляющей движения не менее 3 мм/год, тогда как в юго-западной части разлома скорость послеледникового сдвига достигает 27–35 мм/год. Уменьшение скорости сдвига к северу частично компенсируется подвижками по опережающим его разломам Памира [Трифонов и др., 2002]. Расчет для северного фрагмента разлома (азимут фрагмента разлома 145°) свидетельствует, что $\xi=0.014$, $\eta=68.81$, $\xi_M=0$, $\eta_M=30.98$; для южного (азимут фрагмента разлома 115°) – $\xi=0.09$, $\eta=11.064$, $\xi_M=0$, $\eta_M=24.97$. Таким образом, по сейсмологическим данным получен правый сдвиг.

Чаманский разлом (азимут разлома 25°). Современная граница Аравийско-Иранского и Памиро-Гималайского сегментов образована системой левых сдвигов, из которых крупнейшими являются Чаманский разлом и Дарвазский сегмент Дарваз Алайской зоны. По зоне разломов, кулисно подставляющей Чаманский сдвиг на юго-востоке (ее сегменты известны под разными названиями: разломы Газабад, Инаятуппа-Карех и др.), скорость позднечетвертичного сдвига, вероятно, близка к 8 мм/год при уступающей ей в десятки раз вертикальной компоненте движений [Трифонов и др., 2002]. Рассчитанный характер смещения по разлому соответствует левому сдвигу, где $\xi=33.05$, $\eta=0.03$, $\xi_M=174$, $\eta_M=0.0057$.

Юго-восточнее Памиро-Каракурумского сдвига расположены Пограничная и Фронтальная надвиговые зоны Гималаев (рис. 1), сопряженные с молодыми складками предгорного прогиба [Трифонов и др., 2002]. К.С. Валдия [Valdiya, 1986] оценивает величину современного меридионального горизонтального укорочения в зоне Фронтального надвига в 10–15 мм/год (повторные геодезические наблюдения на правобережье р. Ганга западнее г. Дехрадун дали 1–5.6 мм/год), в зоне Главного пограничного разлома 5–7 мм/год (согласно геодезическим наблюдениям севернее г. Амбалы 4.7–5.7 мм/год) и по частично активизированному новейшему Главному центральному надвигу до 3 мм/год [Трифонов и др., 2002].

Разлом Фронтальный Гималаев (азимут разлома 120°): $\xi=0.94$, $\eta=1.061$, $\xi_M=1.7$, $\eta_M=0.56$.

Для разлома Фронтальный Гималаев при расчете получаем левый сдвиг по данным с привлечением величины сейсмического момента землетрясений и правый сдвиг – по данным без учета этого параметра. В данном случае получаем неоднозначность в определении правого и левого сдвига, тем более, что этот разлом по геологическим материалам является надвиговым.

Главный пограничный Гималаев разлом (азимут разлома 90°): $\xi=1.67$, $\eta=0.596$, $\xi_M=0.6$, $\eta_M=1.5$. Неоднозначность выясняется и при расчете для Главного пограничного разлома Гималаев. Вычисляется правый сдвиг с привлечением величины сейсмического момента землетрясений и левый сдвиг – по данным без учета этого параметра.

ВЫВОДЫ

Для ряда активных разломов Центральной Азии по сейсмологическим материалам определено следующее: правосторонние сдвиги характерны для Таласо-Ферганского и Памиро-Каракарумского разломов, левосторонние – для разломов Кепинг, Алтынтагский, Чангма-Килианский, Арнимакинг, Ксианшухе, Чаманский. Разломы надвигового типа показывают неоднозначность при расчетах, что можно трактовать как, практически, отсутствие сдвиговой составляющей. Таким образом, разломы, имеющие сдвиговую составляющую по кинематике геологических материалов, достаточно уверенно подтверждаются расчетами по данным механизмов очагов землетрясений, произошедших в зоне разлома.

Работа выполнена при поддержке ФНИ 0331-2019-0006.

ЛИТЕРАТУРА

- Баженов М.Л., Миколайчук А.В.** Формирование структуры Центральной Азии к северу от Тибета в кайнозой: синтез палеомагнитных и геологических данных // Геотектоника. – 2004. – № 5. – С. 68–84.
- Бачманов Д.М., Кожурин А.И., Трифонов В.Г.** База данных активных разломов Евразии // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – № 8 (4). – С. 711–736.
- Борняков С.А., Шерман С.И.** Многоуровневая самоорганизация деструктивного процесса в сдвиговой зоне (по результатам физического моделирования) // Физическая мезомеханика. – 2000. – Т. 3, № 4. – С. 107–115.
- Буртман В.С., Скобелев С.Ф., Сулержицкий Л.Д.** Таласо-Ферганский разлом: Современные смещения в Чаткальском районе Тянь-Шаня // ДАН СССР. – 1987. – Т. 296, № 5. – С. 1173–1176.
- Корженков А.М., Абдиева С.В., Буртман В.С., Орлова Л.А., Раст Д., Тибальди А.** Следы землетрясений позднего средневековья в зоне Таласо-Ферганского разлома, Тянь-Шань // Геотектоника. – 2013. – № 6. – С. 84–94
- 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., Дядьков П.Г.** Оценка характера тектонического смещения в зонах разломов Алтая по данным о механизмах очагов землетрясений // Геофизические технологии. – 2018. – № 4. – С. 4–9. doi: 10.18303/2619-1563-2018-4-1.

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 коллизионного пояса. – М.: ГЕОС, 2002. – 225 с. (Тр. ГИН РАН; вып. 541).

Valdiya K.S. Neotectonic activities in the Himalayan belt // Proc. Intern. Sympos. on Neotectonics in South Asia, February 18–21, 1986. – Dehradun, 1986. – P. 241–261.

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

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. Основные научные интересы: механизмы очагов землетрясений, сеймотектонические деформации по данным механизмов очагов землетрясений.