УДК 550.34+551.24 (571.53/55)

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА ПРИБАЙКАЛЬЯ

Чипизубов А.В.

Институт земной коры СО РАН, Иркутск, 664033, ул. Лермонтова, 128, e-mail: chipizub@crust.irk.ru

Рассматриваются различные данные, свидетельствующие о геодинамическом режиме региона. Показано, что сейсмотектонические деформации в зонах основных активных разломов при палеоземлетрясениях и Муйском землетрясении 1957 г. характеризуются разрывными структурами сжатия. Наличие складчатости и взбросовых разрывов в отложениях Байкальской и Баргузинской впадин подтверждает существование геодинамического режима сжатия. Дается объяснение, противоречащих этому, косвенным данным по механизму очагов землетрясений и по GPS-геодезии. Делается вывод о том, что современная геодинамика Прибайкалья отражает существующий геодинамический режим сжатия.

Ключевые слова: кинематика сейсмотектонических разрывов, активные разломы, геодинамический режим.

MODERN GEODYNAMICS OF THE BAIKAL REGION

Chipizubov A.V.

Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 664033, Lermontova str., 128

Various evidence of geodynamic regime in the region. It is shown that seismotectonic deformation in key areas of active faults in the palaeoearthquakes and Muya earthquake in 1957 are characterized by ruptures compression structures. The presence of folding and revers ruptures in the sediments of the Baikal and Barguzin basins confirms the existence of geodynamic compression mode. Explains, contrary to this, indirect data on earthquake focal mechanisms

and GPS-geodesy. The conclusion is that the reflects existing geodynamic compression mode.

Keywords: kinematics seismotectonics ruptures, active faults, geodynamic mode.

Введение

До настоящего времени абсолютное большинство исследователей рассматривают Байкальскую систему впадин как рифтовую зону, несмотря на прямые геологические свидетельства о разрывных структурах сжатия плиоцен-четвертичного возраста, выявленные В.В. Ружичем в 70–80-ых годах прошлого века. Более того, палеосейсмологическими исследованиями с применением тренчинга, начиная с 1991 г., стали выявляться голоценовые сейсмотектонические деформации взбросового, надвигового и взбросо-сдвигового типов.

Такие деформации выявлены А.В. Чипизубовым и О.П. Смекалиным, С.Г. Аржанниковым и А.В. Аржанниковой [8, 9 и др.] в зонах Окино-Жомболокского, Главного Саянского, Тункинского, Обручевского, Приморского, Северобайкальского, Баргузинского и, возможно, Кичерского разломов. Тем не менее, и сейчас ситуация существенно не меняется, что свидетельствует о необходимости объективного анализа противоречивых данных.

В настоящих материалах будут рассмотрены все виды данных, хоть как-то указывающих на геодинамический режим Прибайкалья.

Кинематика активных разломов Прибайкалья по данным палеосейсмологии

Наиболее отчетливые и однозначные данные о взбросо-сдвиговом характере деформаций по Тункинскому разлому вскрыты траншеей в районе горы Белый камень. Траншея ЗТ-2 (Рис. 1) была пройдена в тальвеге суходола, блокированного обратным (подгорное крыло надвинуто на нагорное) уступом,

который и в настоящее время имеет заметное выражение. На сдвиговую компоненту смещения указывают резкие изменения мощностей гумусированных горизонтов и песчано-суглинистых слоев на противоположных крыльях разрывов и даже примыкание к ним различных отложений.

Рис. 1. Основные активные разломы Прибайкалья и разрезы стенок зачисток, траншей и карьеров
1 – взбросы и сдвиго-взбросы установленные (а) и предполагаемые (б); 2 – взбросо-сдвиги установленные (а) и предполагаемые (б); 3 – разломы неустановленной кинематики (а) и сместители на разрезах (б); 4 – профили НСП (а) и гипсометрические с батиметрией (б); 5 – местоположение разрезов (а) и эпицентральной зона Муйского землетрясения 1957 г. (б); Разломы: БР – Баргузинский; ГСР – Главный Саянский; КР – Кичерский; ОР – Обручевский; ПР – Приморский; СР – Северобайкальский; ТР – Тункинский.

В разрезах 10 траншей по Торской ПСД, вскрывших сейсмоструктурный уступ, морфологически выраженный как сброс, только в двух (Т-7 и Т-11) отчетливо проявляются разрывные смещения сбросового характера. Однако пологость сместителей и их извилистость не исключают гравитационного генезиса данных смещений. Лежащая складка в левой части разреза Т-11 (врезка на Рис. 1), считавшаяся ранее солифлюкционной, скорее всего, является надвиговой структурой, поскольку невозможно допустить течение грунтов по горизонтальной поверхности (верхний гумусированный горизонт) или даже в

подъем (нижний гумусированный горизонт). Сбросы в этом случае представляются чисто приповерхностными компенсационными разрывами.

Обручевский разлом, ограничивающий впадину Байкала с северо-запада, рассматривался ранее всеми исследователями (в том числе и автором) как сброс. При проведении детальных работ в конце августа 2009 г. на его субширотном отрезке в месте сочленения с Главным Саянским взбросо-сдвигом были обнаружен надвиг и взбросовые уступы. Эти разрывные структуры сжатия были установлены в небольших карьерах (врезки А и В на Рис. 1).

Видимая амплитуда надвига коренных пород (аз. пад. 20-40°, угол пад. 15-20°) на террасовый комплекс составляет порядка 30 м. В 25 м ниже от выхода надвига на поверхность прослеживается уступ высотой около 5 м. Наглядное представление о разрывных структурах, образовавших и осложняющих подобный уступ высотой порядка 5 м, дает разрез на врезке В к рисунку 1. В разрезе отчетливо проявляются оползневые смещения (листрические сбросы) гравитационные сбросы, возникшие при смещении взброшенного крыла, а также псевдосбросы с падением сместителя в склон. Последние разрывные структуры являются уступообразующими. С учетом левосдвиговой составляющей смещения и местоположения в левом (восточном) склоне конуса выноса они могут быть только взбросо-сдиговыми сместителями.

По Северобайкальской зоне ПСД в малоамплитудных сейсмотектонических уступах были вскрыты взбросо-надвиговые сместители с падением на запад (290-300°) под углом 60-45° (врезка III на Рис. 1) и взбросовые сместители с падением на северо-запад (325-340°) под углом 60-78° (врезка К, Рис. 1) на Кочериковском мысе [9]. О взбросовой природе палеосейсмодислокаций свидетельствует их дугообразность в плане в соответствии с рельефом на различных масштабных уровнях.

По зоне Баргузинского разлома в придорожном карьере у селения Сухая расчисткой вскрылись разрывы надвигового, взбросового и сбросового типов (врезка Б на Рис. 1), которые сформировались в условиях режима сжатия.

Вполне вероятно, у основания макроуступа Улюнской кулисы это взбросы, а у предгорных ступеней, вдающихся во впадину (форбергов?) – надвиги. Взбросо-надвиговый тип разрывных нарушений можно распространять, как минимум, на всю Улюнскую кулису и, как максимум, на весь Баргузинский разлом.

До недавнего времени оставался возможным вариант, что Приморский разлом может быть листрическим сбросом. Однако прямые и косвенные данные, полученные при исследованиях последних лет, указывают на правые сдвиго-взбросовые подвижки по зоне рассматриваемого разлома в позднем кайнозое [8]. На фотографии (Рис. 2) отчетливо видно надвигание коренных образований на пролювиальные отложения по взбросо-надвиговому (угол падения 50°) сместителю, падающему на северо-запад.

Рис. 2. Фотография правого обрывистого борта долины Сармы в месте, где выходят сейсмоструктурные смещения, и разрез обрыва

- 1 – обнажения коренных пород (тектониты по нижнепротерозойским гнейсам) в субвертикальной стенке обрыва (а) и они же на крутом склоне слегка перекрытые склоновыми образованиями; 2 – рыхлые делювиально-пролювиальные отложения на пологой наклонной поверхности конуса выноса временного водотока (а) и в субвертикальной стенке обрыва (б); 3 – сейсмоструктурный уступ; 4 – сместители разрывов выделенные уверенно (а) и предполагаемые (б); 5 – верхняя граница крутой стенки обрыва (а) и задранная терраса (б).

Теперь даже листрическая кинематика Приморского разлома, ранее вполне допустимая, не подтверждается, и основной структурный линеймент (разлом Обручева) Байкальской «рифтовой» зоны для всех его составляющих систем (кулис) характеризуется сейсмогенными разрывами формировавшихся в условиях сжатия (надвиги, взбросы сдвиг-взбросы и взбросо-сдвиги). Соответственно, не может быть и речи о существовании рифтовой зоны. Впадины, а тем более таковые выраженные в виде односторонних грабен (Пр1 и Пр2 на Рис. 1), могут и формируются в условиях сжатия.

Сейсмодислокации Муйского землетрясения 1957 г. ($M_S=7,6$; $M_B=7,5$)

При Муйском землетрясении 1957 года в эпицентральной зоне (отмечена на Рис. 1) сформировались сейсмотектонические дислокации, которые интерпретируются левыми и взбросо-сдвигами и сбросо-сдвигами, хотя имеются неопровержимые доказательства правосдвиговых смещений и возникновения самостоятельных валов сжатия и складок [1]. По мнению В.П. Солоненко хребет Удокан надвинулся под углом 70° на Намаракитскую впадину и сдвинулся к северо-востоку [1], что свидетельствует о левом взбросо-сдвиге и предполагает рамповую природу Намаракитской впадины. Р.А. Курушина и др. [3] считают, что осредненным результатом сейсмотектонических движений при Муйском землетрясении был левосторонний сдвиг-сброс, отмечая при этом такое объяснение непростым. Неоднозначность интерпретации типа сейсмотектонических движений подвигло автора внимательнее отнестись к опубликованным материалам по обследованию этого землетрясения.

На схемах сейсмодислокаций [1] имеется 5 мест с указанием направления и амплитуды сдвига, причем только в двух случаях имеются надежные реперы. В одном из них правым сдвигом смещен на 1,05 м корень дерева по основному субширотному разрыву, а в другом левым сдвигом смещена тропа на 1 м по поперечному оперяющему разрыву. Поскольку при обследовании

эпицентральной области сеймотектонические уступы не вскрывались, сейчас уже трудно отдать предпочтение сбросовому или взбросовому их генезису. Однако на схемах сейсмодислокаций даже уступы, показанные как сбросовые (опущено подгорное крыло), на самом деле являются взбросовыми (асимметричные валы, осложненные разрывами), один из которых блокировал ручей с образованием озера.

Наиболее достоверные данные и их объективная интерпретация указывают на то, что сеймотектонические движения по основным разрывам обусловлены правым сдвиго-взбросом.

Характер деформаций в отложениях впадин по геофизическим данным

По данным сейсмического профилирования, проведенного многими научными организациями в 1981–1992 гг., взбросовые разрывы проявляются и в отложениях впадины Байкала. В интерпретации К.Г. Леви и др. [10] взбросы выделяются на профилях №НЗ и №Н6 (Рис. 3, местоположение профилей на Рис. 1). Зундукский разлом на профиле №8 [7] представляет собой взброс со взброшенным юго-восточным крылом.

На профиле Н6 два разрыва в его центральной части являются типичными взбросами, хотя в первоисточнике [10] направления смещений для них ошибочно указаны как для сбросов. Сброс с падением в склон на этом же профиле у его СЗ окончания в действительности может быть взбросом при условии правосдвиговых смещений и прохождения профиля к югу от конуса выноса р. Тья. На профиле НЗ, проходящем по простиранию Южно-Байкальской впадины выделяются [10] поперечные сбросы в ее днище и взбросы в ее бортовых частях.

Рис. 3. Профили НСП и их интерпретация (8 и 31) по [7], (4, НЗ и Н6) по [10] с небольшими изменениями

По вертикальной оси время двойного пробега волн. 1 – современные и позднеплейстоцен-голоценовые пески (а) и глины (б); 2 –отложения от среднего Плейстоцена до раннего Плиоцена; 3 – переработанные отложения верхней последовательности (а) и отложения дельт и конусов выноса (б); 4 – активные разрывы достоверные (а) и предполагаемые (б).

При приближении к дельте Селенги отчетливо проявляется складкообразование. В зоне Академического разлома серия субвертикальных сместителей, большей частью сбросового типа, осложняет складчатость в отложениях вплоть до голоцена (профиль № 31). При этом крутизна складок с глубиной увеличивается. Все это свидетельствует о том, что данные разрывы являются элементами структуры сжатия. Даже в Южнобайкальской впадине, где должно сказываться растяжение, обусловленное значительными (11-15 км) левыми взбросо-сдвиговыми смещениями по Главному Саянскому разлому, на профиле №4 отчетливо проявляются довольно крутые складки. По крайней мере, 10% сокращение наиболее древних слоев отложений поперек впадины не только компенсирует косое растяжение, но и превышает его. Наличие взбросов

и складчатости, определенно не локальной (присдвиговой), в отложениях впадины Байкала, может свидетельствовать только о режиме сжатия.

В отложениях Баргузинской впадины по данным сейсморазведки на основе отраженных волн (ОГТ) помимо сбросовых разрывов проявляются и взбросовые с амплитудой до 100 м [5]. При другой интерпретации временных разрезов некоторые из сбросов могут перейти даже во взбросы, как самый СЗ разрыв вблизи Шаманского отрога. Более того, могут быть выделены и надвиги.

Таким образом, прямые данные по палеосейсмологии и четвертичной геологии свидетельствуют, что впадины байкальского типа формировались и продолжают формироваться сейчас в условиях сжатия и, соответственно, не являются рифтовыми. Образование Байкальской системы впадин (рампы или односторонние ramпы) обусловлено сжатием, вероятно, от Индо-Азиатской коллизии и Тихоокеанской субдукции. При этом на юго-западном фланге этой системы впадин превалирует влияние коллизии, а на северо-восточном фланге большее воздействие оказывает субдукция (Рис. 4). Исходя из этого, на северо-восточном фланге Байкальской зоны должны проявляться правые взбросо-сдвиги.

Рис. 4. Предполагаемая геодинамическая модель для территории Прибайкалья

Обсуждение полученных результатов

В настоящее время прямым данным о существовании геодинамического режима сжатия противоречат косвенные данные по механизму очагов землетрясений и по GPS-геодезии, указывающие на режим растяжения. Такие обстоятельства требуют объяснения причин противоречивости косвенных данных. О невозможности надежного определения механизма очагов землетрясений, основанного на неестественных и недоказанных допущениях, указывалось автором ранее. Относительно землетрясений Прибайкалья, можно сказать, что при изменении полярности сейсмоприемников, механизм абсолютного большинства очагов станет взбросовым и взбросо-сдиговым. Противоречивость данных GPS-геодезии у различных исследователей, а также по сетям наблюдений с короткой и длинной базой [4, 6 и др.] делает получаемые результаты сомнительными. Еще больше увеличивает сомнения регистрация суперинтенсивных (до 5-7 см в год) движений, особенно в асейсмичных областях, зачастую превосходящих таковые в сейсмоактивных зонах [2]. Данное обстоятельство может указывать на то, что измеряются не тектонические движения, а как считает Ю.О. Кузьмин [2], движения земной поверхности, вызванные крайне малыми воздействиями природного или техногенного генезиса. Что касается Прибайкалья, то измеряемые скорости движения (10-8 в год) на два порядка меньше (0,5–1 мм/год) даже точности определения координат пунктов GPS-наблюдений [6].

Выводы

Поскольку косвенные данные по механизму очагов землетрясений и по GPS-геодезии являются малодостоверными, прямые данные становятся безальтернативными и свидетельствуют о том, что современная геодинамика Прибайкалья определяется геодинамическим режимом сжатия.

Список литературы

1. Живая тектоника, вулканы и сейсмичность Станового Нагорья. Солоненко В.П., Тресков А.А., Курушин Р.А. и др. - М.: Наука, 1966. - 231 с.
2. Кузьмин Ю.О. Современная геодинамика разломов: активность, опасность, механизм формирования // Разломообразование и сейсмичность в литосфере: тектонофизические концепции и следствия. Т.1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2009. – С. 66–68.
3. Курушин Р.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А. Муйское землетрясение 27 июня 1957 г. (Сейсмологические и сейсмологические данные) // Проблемы современной сейсмологии и геодинамики Центральной и Восточной Азии (Мат-лы Всероссийского совещания с международным участием). Т.1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2007, С. 193-202.
4. Лухнев А.В, Саньков В.А., Мирошниченко А.И., и др. Современные деформации земной коры Центральной части Байкальского рифта по данным GPS геодезии // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Т.1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – С. 92–94.
5. Лыкова В.В. Сейсмические исследования методом ОГТ при изучении разломно-блокового строения южной части Баргузинской впадины // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Т.1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – С. 159–161.
6. Тимофеев В.Ю. Скорости деформаций и сильные землетрясения Северного Тянь-Шаня и Байкальского региона // Современная геодинамика Центральной Азии и опасные природные процессы: результаты исследований на количественной основе. Т.1. Иркутск: ИЗК СО РАН, 2012. – С. 118–121.
7. Хлыстов О.М., Мац В.Д., Воробьева С.С. и др. Строение и развитие подводного Академического хребта // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, №6. – С. 819–824.
8. Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Имаев В.С. Палеосейсмодислокации и палеоземлетрясения зоны Приморского разлома (оз. Байкал) // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2015. – Т. 42, № 2. – С. 63–77.
9. Чипизубов А.В., Смекалин О.П., Семенов Р.М., Имаев В.С. Палеосейсмичность Прибайкалья // Вопросы инженерной сейсмологии. – 2009. – Т. 36, № 1. – С. 7–22.
10. Levi K.G., Miroshnichenko A.I., Sankov V.A. et al. Active faults of the Baikal depression // Bull. Centre Rech Elf E[plor.-Prod., Elf Aquitaine. 1997. V. 21(2). P. 399–434.