

А. В. ПАРФЕЕВЕЦ<sup>1</sup>, В. А. САНЬКОВ<sup>1,2</sup>, С. ДЭМБЭРЭЛ<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия, [aparf@crust.irk.ru](mailto:aparf@crust.irk.ru)

<sup>2</sup> Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, [sankov@crust.irk.ru](mailto:sankov@crust.irk.ru)

<sup>3</sup> Институт астрономии и геофизики МАН, 210351, Улан-Батор, Баянзүрх дүүрэг, Маахуур толгой, 5-р хороо, ШУА-ийн 7-р байр, Монголия, [demberel@rcag.ac.mn](mailto:demberel@rcag.ac.mn)

### АКТИВНЫЕ РАЗЛОМЫ БАСЕЙНА РЕК СЕЛЕНГА, ОРХОН И ТОЛА (СЕВЕРНАЯ МОНГОЛИЯ)

Проведены исследования, направленные на определение активности разломов, условий деформирования и реконструкцию поля тектонических напряжений для территории Северной Монголии, охватывающей бассейны рек Селенга, Орхон и Тола, в связи с оценкой сейсмической опасности территории предполагаемого строительства гидроэлектростанций. Исследуемый район находится в зоне динамического влияния восточного сегмента Северо-Хангайского сдвига, который здесь разветвляется на несколько сегментов. Распределение этих сегментов, а также распределение типов напряженного состояния связано с положением относительно окончания главного сместителя сдвига, что также подтверждено экспериментально. В северо-восточной ветви разлома, прослеживающейся вдоль долины р. Селенга, преобладают левосторонние сдвиги и сбросы. Здесь были реконструированы парагенетически связанные с ними тензоры сдвига, растяжения и трапнессии. В юго-восточном секторе преобладают северо-западные правосторонние сдвиги, взбрососдвиги и надвиги, реконструированы соответствующие им стресс-тензоры сдвига, транспрессии и сжатия. В юго-западном секторе нами были зафиксированы как субширотные левосторонние сдвиги, так и взбрососдвиги, а реконструкции показали преобладание стресс-тензоров сдвига, транспрессии и сжатия. В результате исследований установлено, что в радиусе 100 км от местоположения створов планируемых ГЭС на реках Селенга, Орхон и Тола располагаются от 3 до 6 разломов, которые имеют признаки голоценовой сейсмогенной активизации. Для территории возможного строительства ГЭС в Северной Монголии характерен высокий сейсмический потенциал разломов, что необходимо учитывать при проектировании и строительстве этих сооружений.

Ключевые слова: активные разломы, кинематика, палеонапряженное состояние, Северная Монголия.

A. V. PARFEEVETS<sup>1</sup>, V. A. SANKOV<sup>1,2</sup>, AND S. DEMBEREL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of the Earth's Crust SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia, [aparf@crust.irk.ru](mailto:aparf@crust.irk.ru)

<sup>2</sup> Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, [sankov@crust.irk.ru](mailto:sankov@crust.irk.ru)

<sup>3</sup> Institute of Astronomy and Geophysics MAS, 210351, Ulaanbaatar, Bayanzurh duureg, Maahuur tolgoi, 5-r horoo, SHUA-iyin 7-r bair, Mongolia, [demberel@iag.ac.mn](mailto:demberel@iag.ac.mn)

### ACTIVE FAULTS IN THE BASIN OF THE SELENGA, ORKHON AND TOLA RIVERS (NORTHERN MONGOLIA)

The investigation concerns with the faulting activity and strain conditions, which allows reconstructions of tectonic stress field for Northern Mongolia, comprising the Selenga, Orkhon and Tola River basins, in connection with the seismic hazard assessment of the area supposedly chosen for the construction of hydroelectric power stations. The study area is situated in the zone of dynamic influence of the eastern segment of the North Khangai strike-slip fault that splits into several branches whose distribution and distribution of stress state type depends on the location relative to major fault plane. The northeastern branch traced along the Selenga River valley is dominated by the left-lateral strike-slip and normal faults, where the extensional and transtensional, and shear tensors paragenetically related to them, were reconstructed. The southeastern sector shows the predominance of the NW right-lateral strike-slip faults, reverse faults and thrusts, and their corresponding shear, transpressional and compressional stress tensors were reconstructed. Within the southwestern sector we discovered the sublatitudinal left-lateral strike-slip faults and reverse faults, with the prevailing shear, transpressional and compressional stress tensors shown in the reconstructions. As a result, it has been found that within a 100-km radius from the power sites planned for future construction of dams on the Selenga, Orkhon and Tola rivers there are 3 to 6 faults with the evidence of the Holocene seismogenic activation. Therefore, the investigated system of faults in the area supposedly chosen for the construction of hydroelectric power stations in Northern Mongolia indicates potential seismic hazard that should be considered in their design and construction.

Keywords: active faults, kinematics, paleostress state, Northern Mongolia.

Активные разломы, под которыми мы понимаем разрывные нарушения с признаками активизации смещений в позднплейстоцен-голоценовое время, являются важным фактором, определяющим геологический, геоморфологический и сейсмический риск территорий народнохозяйственного освоения. Выделение активных разломов, определение их кинематики и условий деформирования земной коры на современном этапе являются базовой задачей при оценке риска строительства объектов различного назначения. Особо важно при этом определить возможность сейсмической активизации в зоне разлома. Территория Северной Монголии, охватывающая бассейны рек Селенга, Орхон и Тола, до настоящего времени слабо изучена с точки зрения оценки активности разломов, условий деформаций в их зонах и полей тектонических напряжений. Она находится в зоне динамического влияния широтного Северо-Хангайского генерального разлома, который на своем восточном окончании дихотомирует. Одна его ветвь отклоняется к северо-востоку и прослеживается вдоль долины р. Селенги, а вторая представляет собой кластер разломов север-северо-западного направления в Орхон-Тольском междуречье. Картирование активных разломов в этом районе и определение кинематики смещений осуществлялось нами с применением данных дешифрирования космических снимков и трехмерных моделей рельефа, проверки этих данных геолого-структурными и геоморфологическими исследованиями. Реконструкция полей позднекайнозойских напряжений проводилась на основе анализа тектонической трещиноватости и смещений по разрывам в зонах активных разломов с применением кинематического метода реконструкции палеостресса Д. Дельво [1]. Актуальность исследования активных разломов в этом районе определяется необходимостью оценки сейсмической опасности территории в связи с предполагаемым строительством гидроэлектростанций (ГЭС) на реках Селенга, Орхон, Эгийн-Гол и Тола.

Восточный сегмент Северо-Хангайского разлома и его северо-восточное продолжение представляют собой структуру типа свободной изгиба (releasing bend) на широтном левостороннем сдвиге [2], которая формирует систему кулисных грабен-впадин, используемых долинами рек Селенга и Эгийн-Гол (Хутагская впадина и др.) (рис. 1). Впадины (как правило, это полуграбены) ограничены разломами северо-восточного и субширотного простирания. К востоку эта широтная структура практически полностью преобразуется в систему полуграбенов, которая прослеживается уже в северо-восточном направлении (Селенгинская, Цаганнурская и др.). В целом восточный сегмент Северо-Хангайского разлома характеризуется обстановкой трансенсии и левосторонними сбрососдвиговыми смещениями. Впадины заполнены озерно-аллювиальными плиоцен-четвертичными осадками мощностью до 100 м [4]. На плейстоцен-голоценовую активность разломов, ограничивающих впадины, указывают деформации и смещения долин временных водотоков и конусов выноса поздних генераций. Ярким примером такого разлома является западный сегмент Хутагского разлома, вдоль которого прослежен уступ высотой 10–12 м. Кроме вертикального смещения, вдоль разлома наблюдается левосторонний сдвиг долины временного водотока с амплитудой до 20 м (рис. 2). Общая длина сегмента разлома, на котором встречены активизированные участки, составляет 18 км. Реконструкции стресс-тензоров вдоль всего восточного сегмента Северо-Хангайского разлома показывают режимы сдвига и растяжения.

Зона Хануйгольского разлома субширотного простирания по широте продолжает серию разрывов междуречья Бугсэйн-Гол–Идэр-Гол (см. рис. 1). Разлом прослеживается от сомона Рашаант в восточном направлении к сомону Баян-Агт и далее на восток, пересекая долину р. Хануй-Гол, продолжается в виде кулис субширотного и северо-западного простирания. Общая протяженность структуры составляет не менее 100 км. В районе сомона Баян-Агт разлом ярко выражен уступом запад-северо-западного простирания общей высотой 20–25 м, а в подновленной части 3–4 м (рис. 3). Молодой уступ осложнен сейсмогенными оползнями. Сейсмогенное обновление движений по разлому способствовало проявлению разжижения и выдавливания грунтов из зоны разлома (см. рис. 3, б). Помимо вертикальной составляющей смещений, для разлома на этом сегменте характерны левосторонние сдвиговые смещения с амплитудами 3 м по тальвегу ручья и 8 м по смещению конуса выноса. Хотя реконструкции полей палеонапряжений характеризуют режимы сдвига со сжатием в северо-восточном и субширотном направлениях, разлом здесь, по-видимому, имеет еще и взбросовую компоненту смещения. На субширотном участке, пересекающем долину р. Хануй-Гол, фиксируются левосторонние взбрососдвиговые смещения ее бортов, бронированных базальтовым потоком плиоценового возраста. Здесь поднято северное крыло, высота уступа в правом борту долины составляет примерно 15 м, амплитуда сдвигового смещения по правому борту долины превышает 20 м. Плейстоцен-голоценовые деформации фиксировались на восточном сегменте Хануйгольского разлома — левосторонние сдвиговые смещения долины временного водотока достигают 12–17 м. Деформациями затронуты осадки

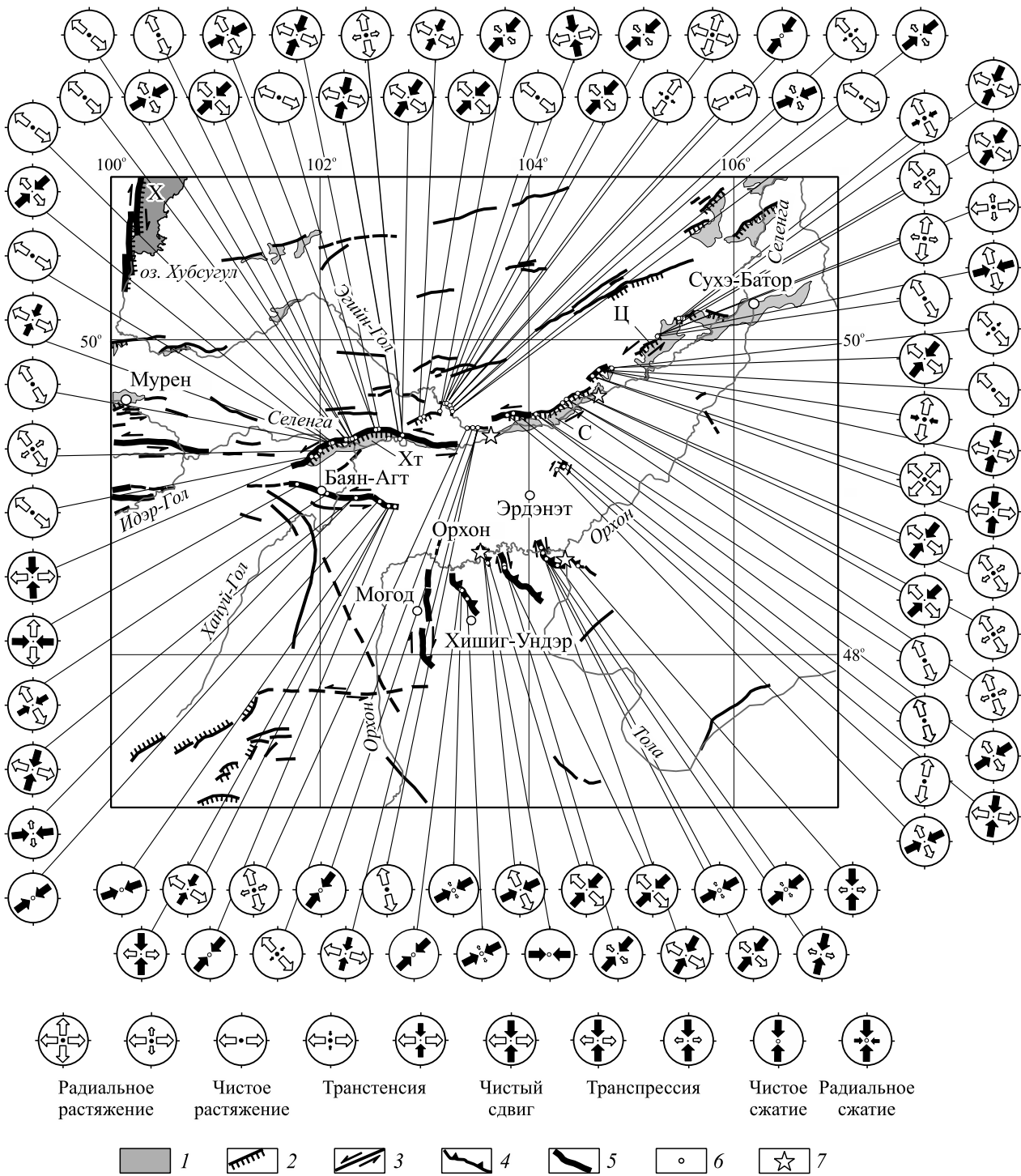


Рис. 1. Разломы плиоцен-четвертичной активизации и палеонапряженное состояние восточного сегмента зоны Северо-Хангайского разлома.

1 – KZ впадины; 2 – сбросы; 3 – сдвиги; 4 – надвиги; 5 – участки разломов с голоценовой активностью; 6 – точки наблюдения; 7 – предполагаемые локации строительства гидроэлектростанций (Хт – Хутагская, С – Селенгинская, Ц – Цаганнурская, Х – Хубсугульская).  
Внизу – классификация стресс-тензоров, по [3].



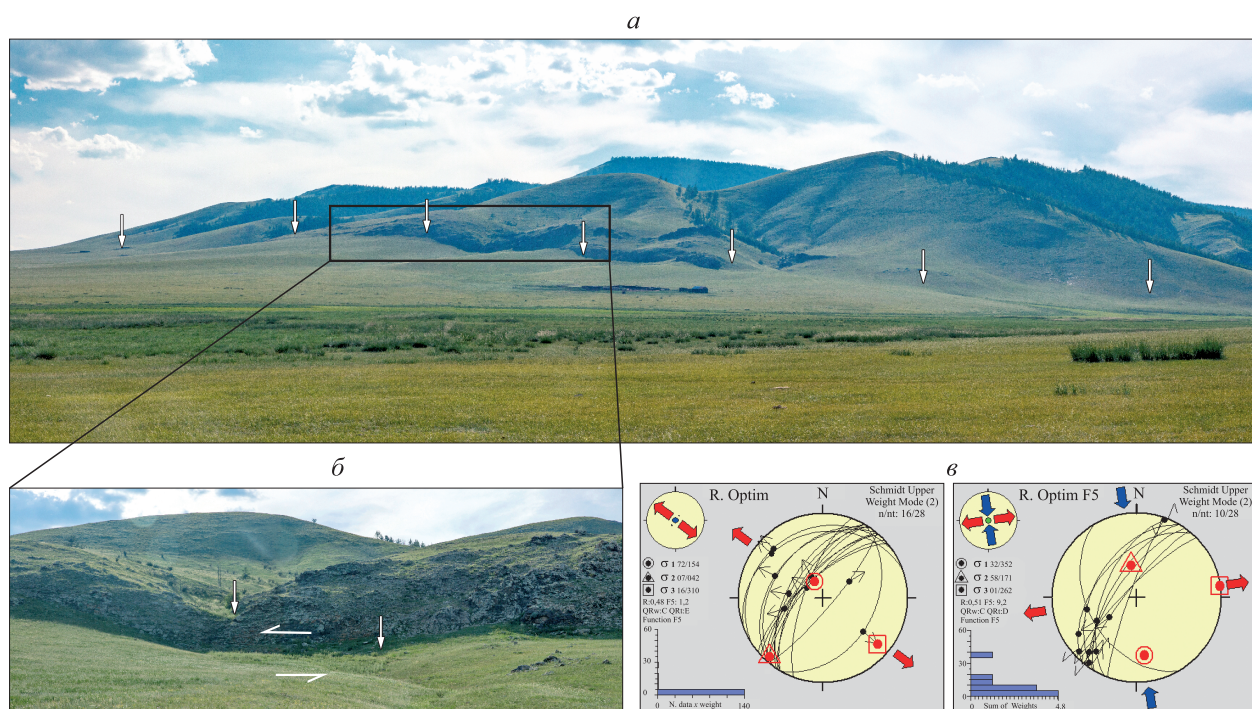


Рис. 2. Хутагский разлом:

*a* — общий вид на уступ северо-восточного простираия; *б* — сбрососдвиговое левостороннее смещение в зоне разлома; *в* — примеры реконструкций полей палеонапряжений.

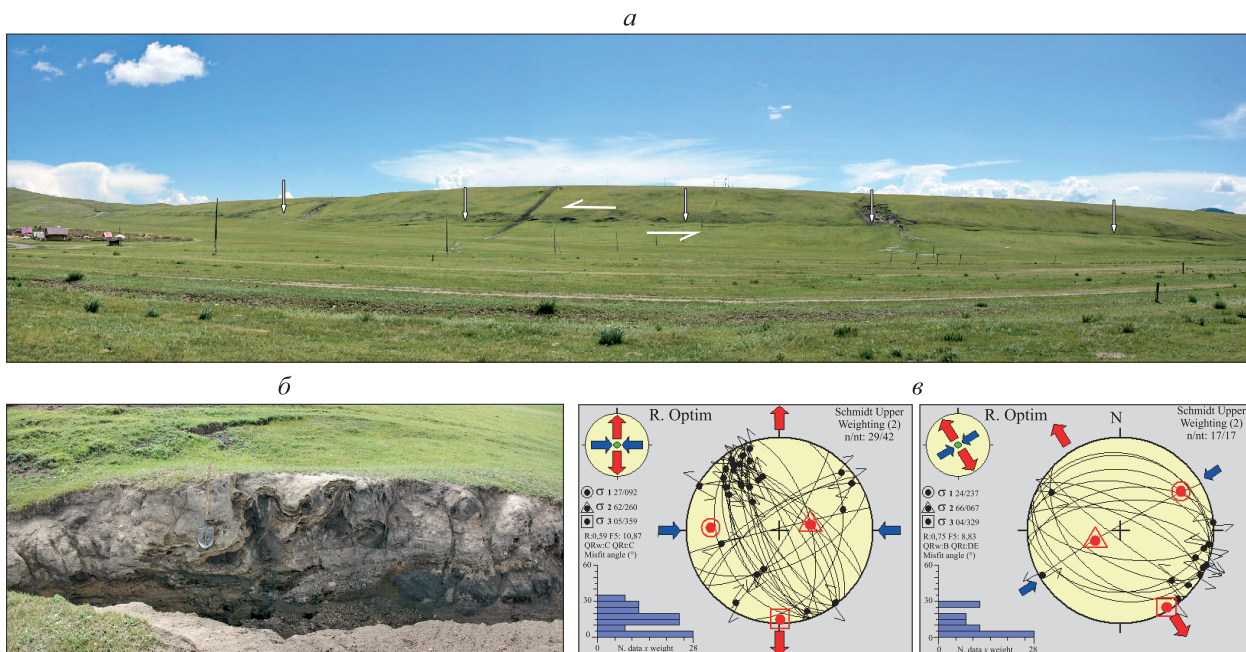


Рис. 3. Хануйгольский разлом:

*a* — общий вид субширотного уступа (окраина сомона Баян-Агт); *б* — разжижение и выдавливание грунта при сейсмогенных подвижках в зоне разлома; *в* — примеры реконструкций полей палеонапряжений.



конуса выноса временного водотока. Выразительно выглядит также связанное с движениями по разлому подпорное озеро, уже спущенное к настоящему моменту. Оно образовалось в результате перегораживания долины водотока порогом субширотного простирания, сформированного левосторонним взбрососдвигом. На этом отрезке поднято южное крыло, высота уступа достигает 5 м. Накопленная амплитуда левостороннего сдвига по смещениям долин временных водотоков варьирует от 100 до 135 м. Реконструкции полей палеонапряжений в зоне Хануйгольского разлома характеризуют режимы сдвига и сжатия с осью сжатия субмеридионального и северо-восточного простирания.

Кластер северо-западных и субмеридиональных разломов закартирован в междуречье Орхон–Тола, в окрестностях сомонов Орхон и Хишиг-Ундэр (см. рис. 1). Самым известным объектом здесь является Могодская сейсмодислокация, представляющая собой систему, состоящую из сопряженных субмеридионального правостороннего сдвига и северо-западного взброса [5]. К востоку от Могодской структуры располагается серия северо-западных и субмеридиональных уступов, местами пересекающих долину р. Орхон. В районе сомона Хишиг-Ундэр, в правом борту долины рек Маньт-Гол и Тэгийн-Гол прослеживается уступ простирания в целом  $330^\circ$ , его длина составляет около 35 км. Здесь наблюдается зона разлома с видимой мощностью около 30 м, которая имеет падение по азимуту на северо-восток под углом  $35^\circ$ . Здесь на уступе зафиксированы взбросонадвиговые деформации, а реконструкции полей палеонапряжений характеризуют режимы сжатия и транспрессии с осью сжатия, ориентированной в северо-восточном направлении. К востоку в районе сомона Орхон прослежен разломный уступ вдоль правого борта р. Шувутын-Гол. Длина уступа около 12–14 км. Простирание в северной части — северо-западное, к югу переходящее в субмеридиональное. Высота уступа изменяется по простиранию от 2–4 до 10–12 м. Признаки правостороннего сдвигового смещения, выраженные асимметричными конусами выноса, характерны для субмеридионального участка. Деформации плиоценового возраста установлены на отрезке северо-западного простирания. Поток разорван и поднят по зоне надвига. Высота уступа на этом участке составляет 2–4 м. Разброс по абсолютной высоте разорванных поверхностей одновозрастного базальтового потока в долине р. Орхон и на уступе достигает приблизительно 70–75 м, что, по-видимому, составляет накопленную вертикальную амплитуду смещения. Реконструкции полей палеонапряжений в зоне разлома характеризуют режим сжатия в субширотном направлении на северо-западном участке и сдвиговый режим со сжатием в северо-восточном направлении на субмеридиональном участке. Далее к востоку прослежен тектонический уступ субмеридионального простирания вдоль правого борта р. Дзурхийн-Могойн-Гол. Длина его составляет примерно 12 км. Здесь зафиксированы правосторонние смещения долин водотоков с амплитудами от 15 до 23–25 м. Вертикальная амплитуда не определена, хотя в целом в рельефе выражено поднятие восточного крыла разлома. В коренных обнажениях установлено крутое (до  $70^\circ$ ) падение зоны разлома на восток. Реконструкции полей палеонапряжений характеризуют режимы чистого сдвига и транспрессии со сжатием в северо-восточном направлении. К юго-востоку этот разлом может быть продолжен серией уступов северо-западного и субширотного простирания вдоль дороги Орхон–Заамар, наследующих зону древнего разлома, заложенного по контакту кембрийских и триасовых пород [6].

Самый восточный в кластере разлом выражен в рельефе серией тектонических уступов, прослеженных в междуречье Орхон–Тола примерно в 40 км к северу от месторождения Заамар. Простирание уступов, кулисообразно подставляющих друг друга, главным образом северо-западное, с участками субширотного и субмеридионального простирания (рис. 4). Общая протяженность составляет 63 км. Сегменты разлома северо-западного простирания имеют падение на северо-восток под углом  $30\text{--}35^\circ$ , а субмеридиональные падают в восточных румбах под углом  $55\text{--}65^\circ$ . Высота уступов в среднем 8–10 м, в отдельных местах по конусу выноса последней генерации — более 1 м. Деформации характеризуют надвиговые смещения по северо-западным и субширотным отрезкам зоны разлома и правосторонние сдвиговые смещения по субмеридиональным. В последнем случае накопленная амплитуда сдвига составляла 19–20 м (см. рис. 4, б). Реконструкции полей палеонапряжений показывают преобладание режима транспрессии со сжатием в северо-восточном направлении (см. рис. 1; 4, в).

В пределах массивного поднятия хребта Бурэн-Нуруу, которое разделяет две ветви Северо-Хангайского разлома на его окончании, также проявлены позднеплейстоценовые и голоценовые разрывные деформации. Так, в верховьях долины р. Дзохийн-Гол, в 18 км от г. Эрдэнэт, на пологом склоне правого борта прослеживается уступ север-северо-восточного простирания длиной около 5 км и высотой 1 м, секущий конусы выноса и низкие террасы временных водотоков (см. рис. 1). Соотношение морфологии земной поверхности и трассы разрыва указывает на его крутое падение в восточных

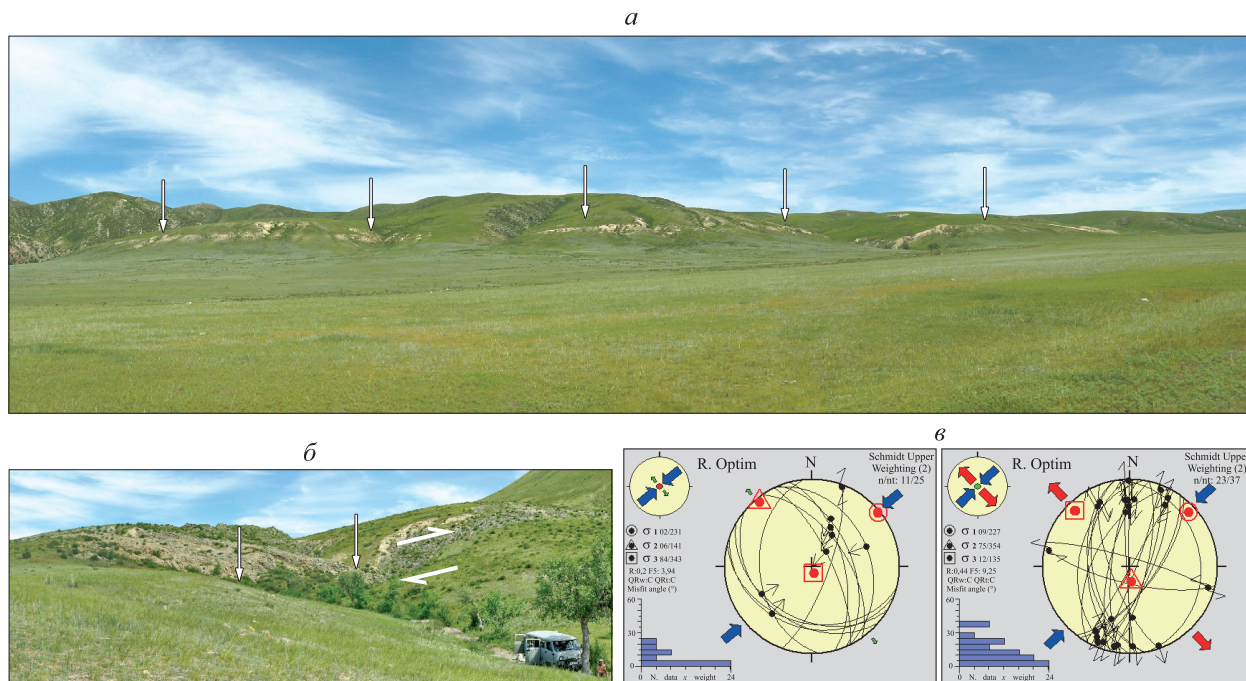


Рис. 4. Активные разломы Орхон-Тольского междуречья:

*a* — общий вид одного из уступов северо-западного простирания (район сомона Орхон); *б* — правостороннее смещение по зоне субмеридионального разлома (правый борт долины р. Орхон); *в* — примеры реконструкций полей палеонапряжений.

румбах. Морфология уступа и его соотношения с молодыми элементами рельефа долин временных водотоков дают основания полагать, что этот сброс проявился в результате сейсмогенной подвижки по субмеридиональному разлому в последние 10–12 тыс. лет.

В целом район, прилегающий к восточному окончанию зоны Северо-Хангайского разлома, характеризуется сложным напряженным состоянием земной коры и разнообразным парагенезом разрывов в разных своих частях. Распределение типов напряженного состояния связано с положением относительно окончания главного сместителя сдвига. В северо-восточном секторе преобладают левосторонние сдвиги и сбросы и реконструированы парагенетически связанные с ними тензоры напряжений сдвига, растяжения и трастенсии. В юго-восточном секторе преобладают правосторонние сдвиги, взбрососдвиги и надвиги и реконструированы соответствующие им стресс-тензоры сдвига, транспрессии и сжатия. Положение областей преобладающего растяжения и сжатия относительно конца разлома соответствует картине распределения секторов сжатия и растяжения вблизи окончания разлома в теоретической модели левого сдвига, развивающегося в упругом полупространстве [7].

Судя по параметрам Могодского разлома, с которым связано одноименное землетрясение 1967 г. ( $M = 7,5$ ) [4], сейсмические события подобной энергии могут возникать на многих из описанных выше сегментах разломов, имеющих признаки сейсмогенного обновления за последние 10–12 тыс. лет. В последнее время широко обсуждаются проекты строительства ГЭС на реках Селенга, Орхон и Тола в Северной Монголии. Как нам представляется, определение местоположения будущих створов гидроэлектростанций и мер по усилению их устойчивости к сейсмическим воздействиям требует учета имеющейся информации по активным разломам района. Так, для планируемого створа ГЭС на р. Орхон шесть разломов с признаками голоценовой сейсмогенной активизации располагаются на расстоянии менее 100 км, из них три — на расстоянии менее 50 км. Для створов на реках Эгийн-Гол и Селенга (Шурэнская ГЭС) — по три сейсмогенных голоценовых разрыва располагаются на расстоянии менее 100 км, а для створа на р. Тола — четыре разрыва. Кроме того, как показали наши реконструкции, кластер разломов в междуречье Орхон–Тола находится под воздействием дополнительного тектонического сжатия, что при прочих равных условиях определяет большую магнитуду максимальных сейсмических событий при одинаковой длине разрывов по отношению к районам с другим типом

напряженного состояния. Таким образом, сейсмический потенциал разломов территории возможного строительства ГЭС в Северной Монголии может оцениваться как весьма высокий, что необходимо учитывать при проектировании и реализации проектов.

*Работа выполнена в рамках Интеграционной программы ИИЦ СО РАН «Фундаментальные исследования и прорывные технологии как основа опережающего развития Байкальского региона и его межрегиональных связей».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Delvaux D.** Release of Program Win-Tensor 4.0 for Tectonic Stress Inversion: Statistical Expression of Stress Parameters // Geophys. Research Abstracts. — EGU General Assembly, Vienna, 2012. — Vol. 14. — EGU 2012-5899.
2. **Parfeevets A. V., Sankov V. A.** Late Cenozoic tectonic stress fields of the Mongolian microplate // Comptes rendus — Geoscience. — 2012. — Vol. 344. — P. 227–238.
3. **Delvaux D., Moyes R., Stapel G., Petit C., Levi K., Miroschnichenko A., Ruzhich V., San'kov V.** Paleostress reconstruction and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part 2. Cenozoic rifting // Tectonophysics. — 1997. — Vol. 282. — P. 1–38.
4. **Сейсмотектоника** и сейсмичность Прихубсугулья / Под ред. Н. А. Логачева. — Новосибирск: Наука, 1993. — 184 с.
5. **Землетрясения** и основы сейсмического районирования Монголии. — М.: Наука, 1985. — 224 с.
6. **Geological** map of Mongolia. Scale 1:1 000 000 / O. Tomurtogoo. (ed.). — Ulaanbaatar: Mongolian Academy of Sciences, Inst. Geology and Mineral Resources, 1999.
7. **Осокина Д. Н.** Поле напряжений, разрушение и механизмы деформирования геосреды в зоне разрыва (математическое моделирование) // Тектонофизика сегодня. — М.: ОИФЗ РАН, 2002. — С. 129–174.

*Поступила в редакцию 25 октября 2016 г.*