

**ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ Г. УЛАН-БАТОР
(Монгольская Народная Республика)
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СЕЙСМОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ
В.С. Имаев, О.П. Смекалин, А.Л. Стром*, А.В. Чипизубов, А.А. Сясько****

Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия

** Центр службы геодинамических исследований ОАО «Гидропроект»,
125993, Москва, Волоколамское шоссе, 2, Россия*

*** Технический институт Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова,
678960, Нерюнгри, ул. Кравченко, 16, Россия*

Гунжинский разлом — одна из тектонических структур в южной части Хэнтэйского сводового поднятия в Центральной Монголии. Фрагмент этого разлома, вскрывшийся в результате двух палеоземлетрясений, прослеживается от северной окраины г. Улан-Батор в северо-восточном направлении на расстоянии около 25 км. Основной задачей впервые проводимых здесь комплексных сейсмогеологических исследований было определение на основе изучения параметров дислокации сейсмического потенциала сейсмогенерирующих структур. Исходя из установленных амплитуд деформаций и их протяженности, магнитуда генерируемых землетрясений может превышать 7.0. По результатам радиоуглеродного датирования определен возраст палеоземлетрясения в интервале 7800—4667 лет до н.э. Впервые для центральных районов Монголии установлено наличие сейсмогенерирующих зон с высоким сейсмическим потенциалом. Для активных разломов северо-восточного простирания зафиксирована правосторонняя компонента сдвиговой подвижки, что может предполагать наличие широтных сжимающих напряжений.

Сейсмогенный разлом, радиоуглеродный возраст, тренчинг, палеоземлетрясение, геофизический разрез.

**SEISMIC-HAZARD ASSESSMENT FOR ULAANBAATAR (Mongolia)
ON THE BASIS OF SEISMOGEOLOGICAL STUDIES**

V.S. Imaev, O.P. Smekalin, A.L. Strom, A.V. Chipizubov, and A.A. Syas'ko

The Gunzhin Fault is a tectonic structure in the southern Hentiyn arched uplift (central Mongolia). A fragment of this fault, exposed by two paleoearthquakes, is traced northeastward for ~25 km from the northern periphery of Ulaanbaatar. The first comprehensive seismogeological studies here were aimed at determining the seismic potential of seismogenic structures on the basis of the dislocation parameters. Judging by the strain amplitudes and length, earthquakes with a magnitude of >7.0 might be generated here. The paleoearthquake was dated by the radiocarbon method at 7800–4667 B.C. Seismogenic zones with a high seismic potential were identified in central Mongolia for the first time. Dextral strike-slip faults were observed here among active NE-trending faults, suggesting the presence of E–W compressive stress.

Seismogenic fault, radiocarbon age, trenching, paleoearthquake, geophysical section

ВВЕДЕНИЕ

Большую часть северной территории Монголии занимают структуры докембрийской и каледонской складчатостей. Более молодые тектонические образования представлены здесь герцинскими изолированными геосинклинальными зонами (Хангай-Хэнтэйской, Керуленской, Делюно-Юстыдской и др.) [Тектоника..., 1974].

Гунжинский разлом является одним из элементов активизированного фрагмента западной границы Хангай-Хэнтэйской геосинклинальной зоны. Она представляет собой несколько прогибов, заполненных кремнисто-терригенными и песчаниковыми формациями карбона, которые обрамлены выступами отложений верхнерифей-нижнепалеозойских флишевых формаций, в основном сланцев (рис. 1). Границами герцинских и каледонских образований часто служат глубинные разломы. Новейшая активизация в пределах зоны проявилась, прежде всего, в поднятиях Хангайского и Хэнтэйского сводов. Становление Хангайского свода сопровождается проявлением сейсмичности по разломам как на периферии поднятия, так и в его внутренних областях (например, дислокации Таннуольских (1905 г.) и Могодского

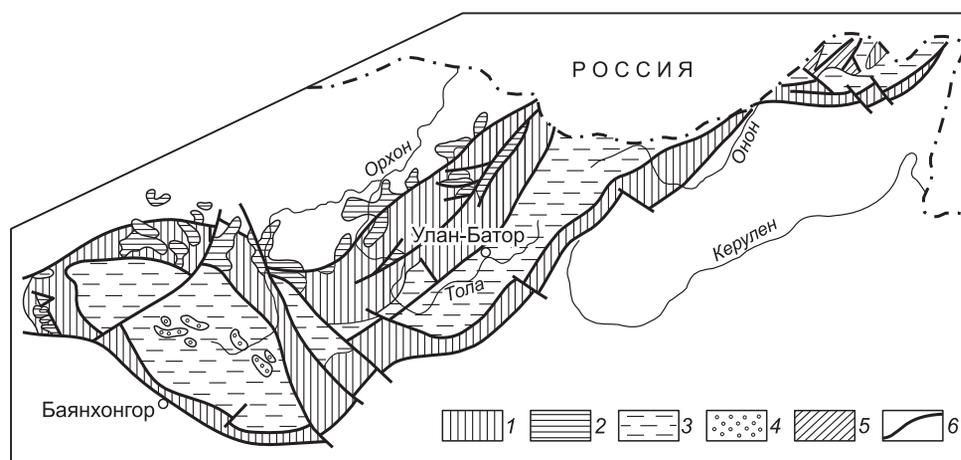


Рис. 1. Схема тектонического районирования Хангай-Хэнтэйской зоны и ее каледонского обрамления, по [Тектоника..., 1974].

1 — каледонское складчатое обрамление Хангай-Хэнтэйской зоны, сложенное кремнисто-вулканогенно-сланцевой и песчано-сланцевой формациями позднего докембрия—нижнего палеозоя; 2 — среднепалеозойские наложенные структуры в пределах каледонского обрамления (вулканогенные, осадочно-вулканогенные); 3 — герцинская Хангай-Хэнтэйская геосинклиналильная зона, выполненная кремнисто-терригенной и песчаниковой формацией карбона; 4 — пермские эпигеосинклиналильные орогенные структуры; 5 — пермотриасовые флишоидные формации; 6 — разломы.

(1967 г.) землетрясений). Вместе с тем до недавнего времени Хэнтэйский свод относился к районам со слабой сейсмичностью [Хилько и др., 1985]. В пользу отсутствия здесь генерирующих структур с высоким сейсмическим потенциалом можно привести сравнительные характеристики двух поднятий. Хэнтэйский свод в несколько раз уступает Хангаю и по площади, вовлеченной в поднятие (рис. 2), и в суммарной вертикальной амплитуде неотектонической деформации. В пределах Хэнтэя не регистрируются землетрясения даже средней силы. По этим причинам в начальный период сейсмогеологических исследований на территории Монголии (60—70-е годы прошлого столетия) разломы Хэнтэйского свода в палеосейсмическом отношении практически не изучались.

Началу детальных сейсмогеологических исследований в южной части Хэнтэя способствовало то обстоятельство, что после развертывания постоянной сети сейсмических станций юго-западнее Улан-Батора начиная с 2005 г. были отмечены рои и скопления слабых землетрясений, локализованных вдоль линий Хустайского и Эмелтского разломов. Например, только в зоне последнего разлома за 2005—2010 гг. зарегистрировано свыше 350 землетрясений с магнитудами $M = 1.0—2.5$. В 2008 г. на Хустайском и Эмелтском разломах были проведены первые палеосейсмические исследования. Деформации сейсмического происхождения протяженностью около 60 км выделены в основании юго-восточного склона Хустайского хребта [Ferry et al., 2010].

Однако первой сейсмогенной деформацией, обнаруженной в пределах Хэнтэйского свода, был взбросодвиг в правом борту долины Гунжин. Еще в 1987 г. в процессе полевых исследований А. Л. Стромом были задокументированы подпруживание тектонической дамбой эрозионного вреза на склоне борта долины и горизонтальное смещение бровки надпойменной террасы с общей амплитудой около 25 м. Территория к северо-востоку от Улан-Батора, где расположены эти деформации, характеризуется слабой рассеянной сейсмичностью.

В 2010 г. были проведены первые комплексные палеосейсмические исследования гунжинской дислокации, включающие детальные геоморфологические работы, тренчинг с отбором и датирован-



Рис. 2. Соотношение площадей Хангайского и Хэнтэйского поднятий.

Ориентация осевых хребтов поднятий предопределена простираем соответствующих фрагментов Хангай-Хэнтэйской геосинклиналильной зоны, изображенной на рис. 1.

нием образцов радиоуглеродным методом, изучение строения дислокации методами малоглубинной геофизики, результаты которых приведены в настоящей статье.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМОГЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Новейшие движения вдоль границ северо-восточно ориентированной ветви Хангай-Хэнтэйского синклинория проявились в формировании двух разновидностей сейсмотектонических деформаций. При преобладании вертикальных разнонаправленных движений блоков сформировались тектонические уступы на линии сочленения подножий хребтов и примыкающих к ним аккумулятивных равнин. Линии уступов в плане извилисты, иногда представлены отдельными кулисами. Подобные уступы имеются в основании восточных склонов Хустайского и Керуленского хребтов. Ко второй разновидности относится гунжинская дислокация. Вертикальная составляющая амплитуды смещений дислокации невелика. Разрыв не участвует в формировании новейших морфоструктур. Он прямолинеен и индифферентен к различным формам рельефа, пересекает долины, водораздельные и склоновые части хребтов. Азимут простираения разрыва около 40° и согласуется с направлением герцинских структур.

Дислокация наиболее отчетливо проявилась в правом борту долины Гунжин (рис. 3), что позволило назвать исследуемый сейсмогенный разлом Гунжинским (Гунжин по-монгольски — княжна, княгиня). Здесь в результате правостороннего сдвига оказалась подпруженной эрозионная ложбина временных поверхностных стоков. В замкнутой чаше площадью в сотни квадратных метров накоплены мощные (толщиной более метра) слои гумусированных суглинков. Тренчинговыми и геофизическими исследованиями установлена приповерхностная структура дислокации в этом месте в виде эшелонированной системы валов сжатия и трещин растяжения с ориентацией относительно осевой линии, типичной для правостороннего сдвига.

Общая протяженность дислокации на материалах космических и авиаснимков достигает 20—25 км. В рельефе дислокация выражена в виде небольших линейных уступов или перегибов поверхности, вызванных относительным подъемом юго-восточного крыла. Высота уступа не превышает 1—2 м. Юго-западный фланг разлома практически упирается в городские кварталы Улан-Батора, в пределах которых проследить его не представляется возможным. Наилучшая сохранность деформаций характерна для участков смещения горных склонов, водоразделов, бровок и поверхностей цокольных террас. Следы дислокаций отсутствуют в поймах долин, на пашнях. Овраги глубиной до 1.5—2.0 м в местах их пересечения разломом не имеют в плане закономерных коленообразных изгибов, что в совокупности с вышеперечисленными признаками свидетельствует о значительном возрасте последнего обновления деформаций, т.е. речь может идти о возрасте, много превышающем первые тысячи лет.

ТРЕНЧИНГ ГУНЖИНСКОЙ ДИСЛОКАЦИИ

При выборе места для вскрытия гунжинской дислокации и последующей корректной интерпретации полученных разрезов были учтены следующие особенности геоморфологии и динамики изменения рельефа на дислоцированных участках поверхности. Долина Гунжин формируется под преобладающим воздействием процессов физического выветривания. Скорости сноса и понижения местных базисов эрозии урегулированы таким образом, что практически исключают возможность для накопления осадков.

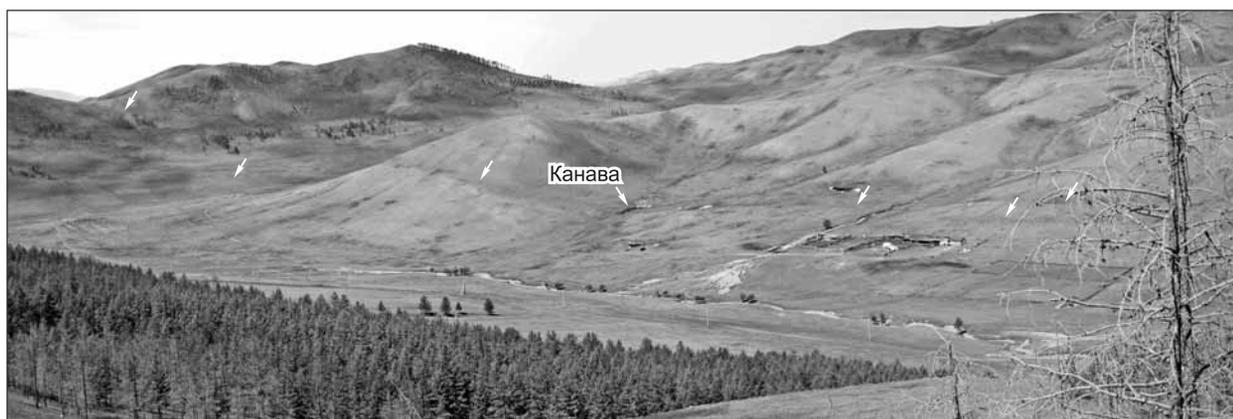


Рис. 3. Вид на правый борт долины Гунжин.

Стрелками отмечена осевая линия дислокации. На дальнем плане в водораздельной и склоновой частях отрога отчетливо прослеживается правостороннее смещение по линии дислокации.

Рис. 4. После проходки российские и монгольские специалисты ведут работы по очистке забоя и выравниванию стенок канавы.

В поймах долин совершенно отсутствует аллювий. В сухих руслах (а таковыми они являются на протяжении большего времени года) обнажаются выходы коренных пород. Понижения между ними заполнены неокатанными обломками этих пород, а также снесенными с ближайших склонов. Некоторое подобие террас, на 1—2 м возвышающихся над поймой, представляют собой выровненные полого наклоненные поверхности, сложенные делювиальным шлейфом, постепенно вверх по склону переходящим в элювий. Сами склоны подвержены развитию оврагов, глубина вреза в которых достигает 2—3 м. При этом конусы выноса в устьях оврага остаются слабоприметными, а в некоторых случаях и вовсе отсутствуют. Иногда низовья оврагов слепо заканчиваются на склонах, не опускаясь к пойме.

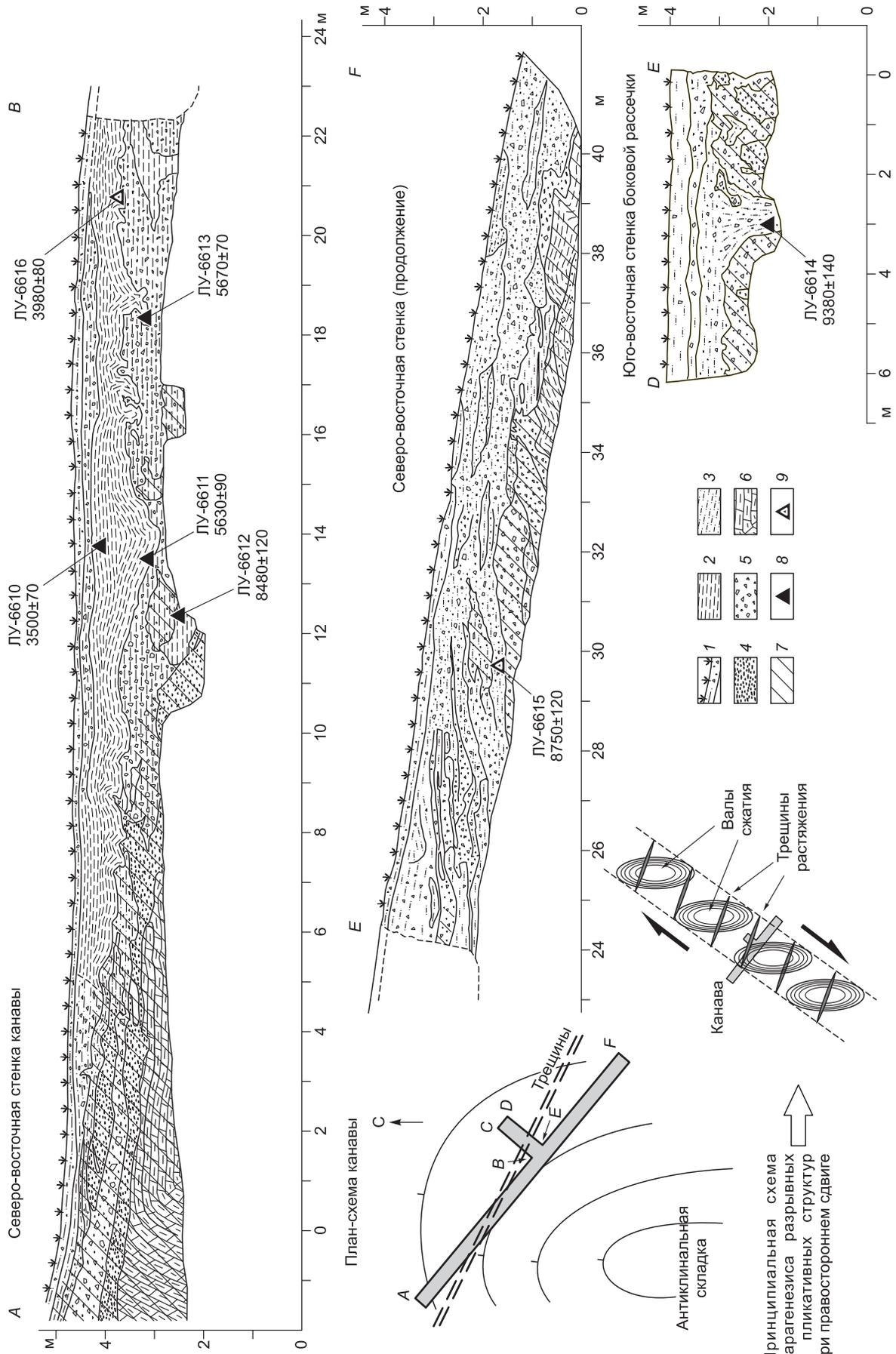
В подобных условиях заполнение замкнутых пространств, например, образовавшихся в результате перекрытия стока тектонической дамбой, происходит, прежде всего, за счет отложений наименьших фракций, а низкая скорость их накопления способствует возникновению почвенного слоя и постоянному его наращиванию. При вскрытии сейсмогенных дислокаций наличие в разрезе почвенных горизонтов обеспечивает решение задачи определения возраста и частоты повторяемости разрывообразующих землетрясений. Поэтому местом для первого тренчинга Гунжинского разлома была выбрана мочажина, сформировавшаяся при относительном подъеме подгорного крыла на склоне юго-восточной экспозиции. Площадь накопления наносимого по тальвегу и склонам обломочного материала составляет первые десятки квадратных метров.

Канавы были заложены поперек простиранию разлома и при длине 42 м полностью пересекла мочажину вдоль короткой оси и вышла на тыловой склон подпирающей дамбы. Ширина канавы (около 2.5 м) определялась шириной колесной базы экскаватора и радиусом выноса противовеса при повороте кабины с расчетом возможности повторного заезда в забой канавы с целью ее углубления (рис. 4). Широкий профиль канавы стал впоследствии хорошим подспорьем для фотодокументации стенок. Проходка канавы осуществлялась в два подхода с интервалом в 10 дней в связи с глубоким промерзанием грунта. В конечном итоге глубина канавы была доведена до 2.5, а в северо-западном конце до 3.5 м. Так как вскрытый канавой разрез оказался не простым для палеосейсмической интерпретации, в целях более ясного представления об объемной структуре деформаций была дополнительно пройдена поперечная канава (рассечка) длиной 6 м с примыканием к северо-восточной стенке.

Канавой вскрыты преимущественно щебнистые и суглинистые отложения элювиального и делювиального происхождения (рис. 5). Наиболее древними в стратиграфическом отношении является элювий гранитоидных пород рыжевато-желтых оттенков. В стенках канавы он представлен в различных фракциях: от плотноупакованного щебнисто-глыбового материала с сохранением признаков складчатости материнских пород до супесчаных и суглинистых линз и слоев. Первые занимают всю северо-западную часть канавы (см. рис. 5, левый угол на разрезе северо-восточной стенки). Кровля элювия погружается в сторону долины под тем же углом, что и поверхность склона, расположенная над мочажинной. Супесчаный и суглинистый элювий, в том числе и переотложенный в результате тектонической проработки, залегают в основании разреза в средней и юго-восточной части канавы. В боковой рассечке, пройденной вдоль верхней бровки уступа, кровля плотного элювия, разбитого разновозрастными трещинами, выведена до глубины одного метра. Эти дезинтегрированные породы являются корневой основой в структуре тектонической дамбы.

В пройденной канаве к сейсмогенным относятся деформации, выраженные трещинами растяжения и пологими антиклинальными складками. Последние связаны с формированием валов сжатия и устанавливаются по изгибу приповерхностных гумусированных слоев, накопление которых происходит





Принципиальная схема парагенезиса разрывных и плективных структур при правостороннем сдвиге

Рис. 5. План-схема и разрезы стенок канавы, пройденной в правом борту долины Гунжин.

1 — современный почвенно-растительный слой, преимущественно супесь, песок пылеватый, темно-серого до черного цветов, с включениями дресвы и щебня; 2 — суглинок черной массивной гумусированной; 3 — супесь темно-серая до черной в делювиальной части разреза и коричневатого-желтой в пределах элювия; 4 — дресва, образует оторочку в кровле дезинтегрированных пород, а также содержится в виде включений в суглинках и супесях; 5 — щебень, образует дресвяно-щебнистые слои, составляет основную массу супесчано-щебнистых толщ; 6 — дезинтегрированные коренные породы гранитоидного состава со слоистостью, отражающей текстуру исходного материала; 7 — часть разреза, представленная элювием, желтовато-коричневые слои щебня, дресвы, супесей и суглинков, в том числе дислоцированных и переотложенных; 8 — места отбора проб на радиоуглеродное определение возраста с указанием лабораторного номера пробы и радиоуглеродного возраста (лет); 9 — то же, что и 8, но отобранных с противоположной (юго-западной) стенки с привязкой к соответствующему слою.

ло в перекрытой дамбой долине временного водотока. Супесчано-суглинистым веществом этих слоев заполнены раскрытые трещины, которые расчлениют на блоки элювиальное основание разреза канавы. Черный цвет наполнителя трещин контрастирует с рыжеватым элювием коренных пород. Трещины раскрытия подсечены в стенках боковой рассечки и на днище основной линии канавы (рис. 6). Трещины вертикальны, примерно одной ориентировки и расположены на расстоянии 1.0—1.5 м одна от другой. Ширина раскрытия трещин не превышает 1 м. Трещины имеют различный состав наполнителя, перекрываются разновозрастными гумусированными отложениями. Это дает основание предполагать, что трещины образовались при разновозрастных землетрясениях. По результатам сейсморазведки трещины, ограничивающие блоки, достаточно хорошо выражены и прослеживаются на всю глубину исследования (более 40 м).

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСЛОКАЦИИ

С целью изучения связи дислокаций поверхности с глубинной структурой Гунжинской разломной зоны нами были пройдены три геофизических профиля поперек основной линии простираения разлома. Профиль 1 заложен непосредственно вдоль линии канавы. В 50 м к северо-востоку параллельно ему пройден профиль 2. Профиль 3 расположен в левом борту долины Ундулун на поверхности смещенной террасы. Для повышения достоверности выделяемых разломов и прочих структурных элементов дислокации было применено комплексирование трех методов малоглубинной геофизики: дипольного осевого зондирования (ДОЗ), корреляционного метода преломленных волн (КМПВ) и георадиолокации.

Электроразведочные работы методом ДОЗ проводились с использованием аппаратуры ЭРА-МАХ производства НПО «ЭРА» (г. Санкт-Петербург) стабилизированным током на частоте 625 Гц. Исследования выполнены с применением заземленного источника возбуждения (питающего диполя) с расстоянием между питающими AB и приемными MN электродами, равными 10 м ($AB = MN = 10$ м). Работы выполнялись дипольной установкой по подготовленным геофизическим профилям с шагом между точками зондирования 10—20 м. Максимальный разнос составлял 150 м, величина силы тока в питающей линии изменялась от 20 до 200 мА в зависимости от условий заземления. Использованный максимальный разнос установки обеспечил глубинность исследований до 40 м. Для визуализации результатов полевых измерений применялся метод построения разрезов кажущегося сопротивления.

Сейсморазведочные работы производились по методике КМПВ с возбуждением сейсмических волн ударами кувалды. Регистрация сигнала выполнялась 24-канальной сеймостанцией Сейсмолог-24, укомплектованной вертикальными сейсмоприемниками с собственной частотой колебаний 20 Гц. Шаг между сейсмоприемниками составлял 5 м, общая длина сейсморазведочной косы — 115 м. Исследования проводились по схеме с четырьмя пунктами возбуждений — выносные пункты возбуждения в 30 м

Рис. 6. Две разновозрастные трещины в юго-восточной стенке боковой рассечки канавы.

Трещина, возникшая первой (внутри коричневого овала) заполнена коричневатого-серым грунтом, основу которого составляет переотложенный элювий (слой 2). Содержание гумуса в нем невелико. Более поздняя трещина (внутри розового овала) заполнена веществом слоя 3, перекрывающим слой 2. Слой 1 — кровельная часть коренных дезинтегрированных пород. Голубая линия — отчетливо видимые границы слоев. Масштаб — 1 м между вертикально натянутыми нитями в разметке канавы.

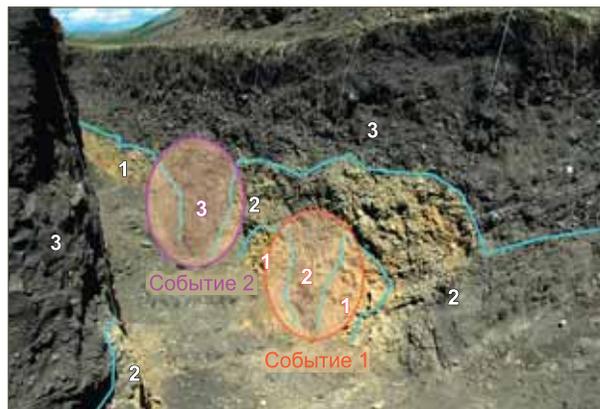
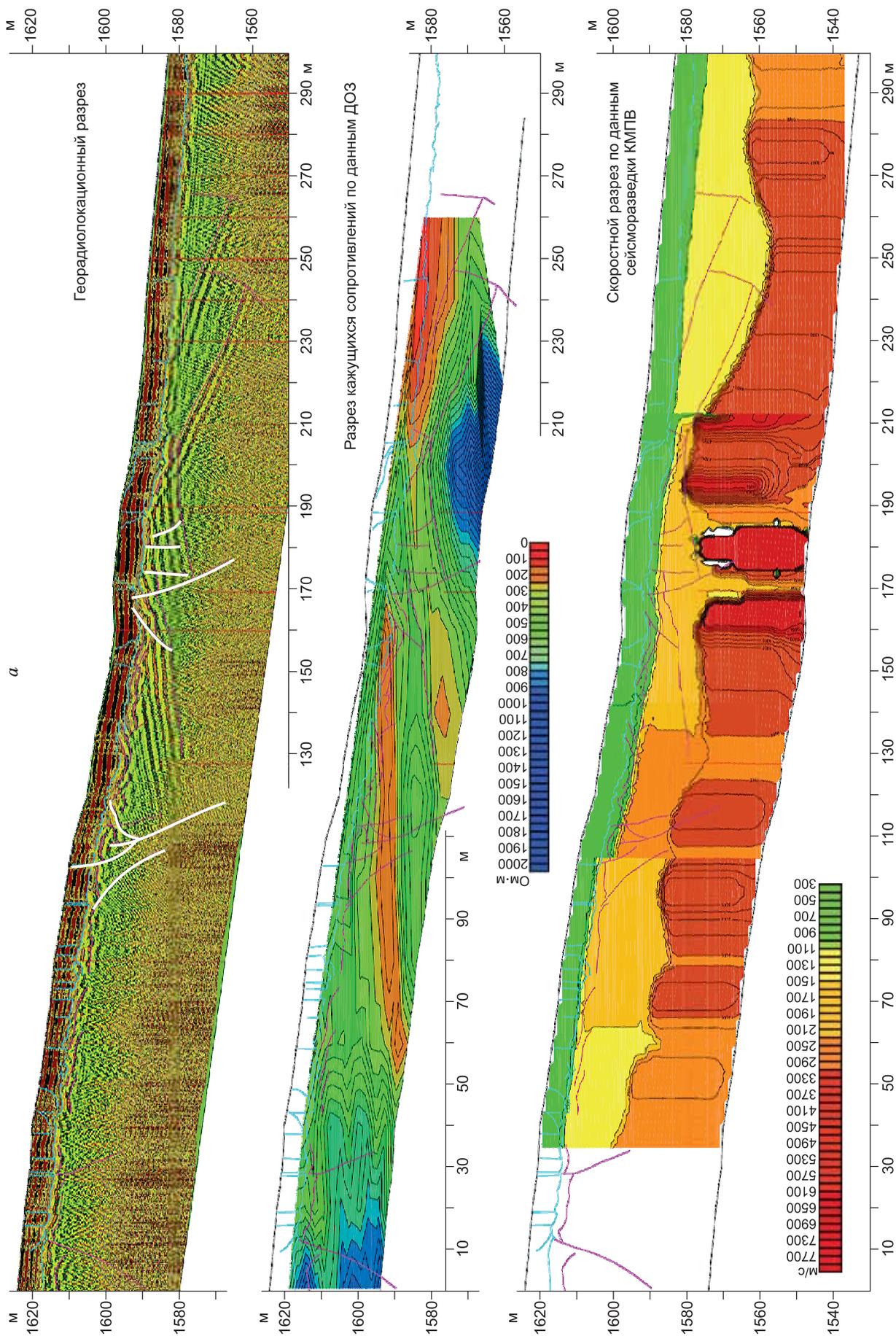
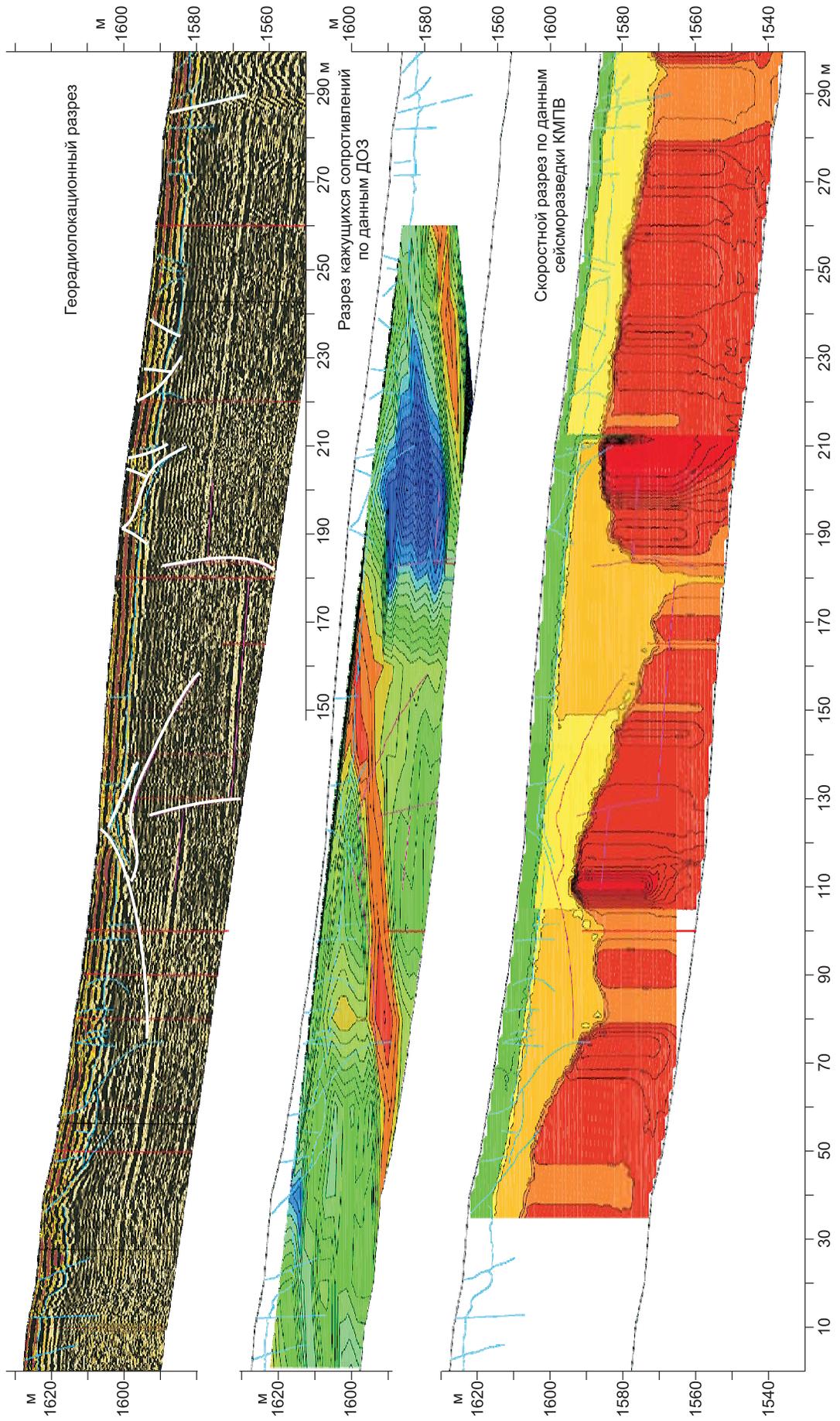


Рис. 7. Начало.



б



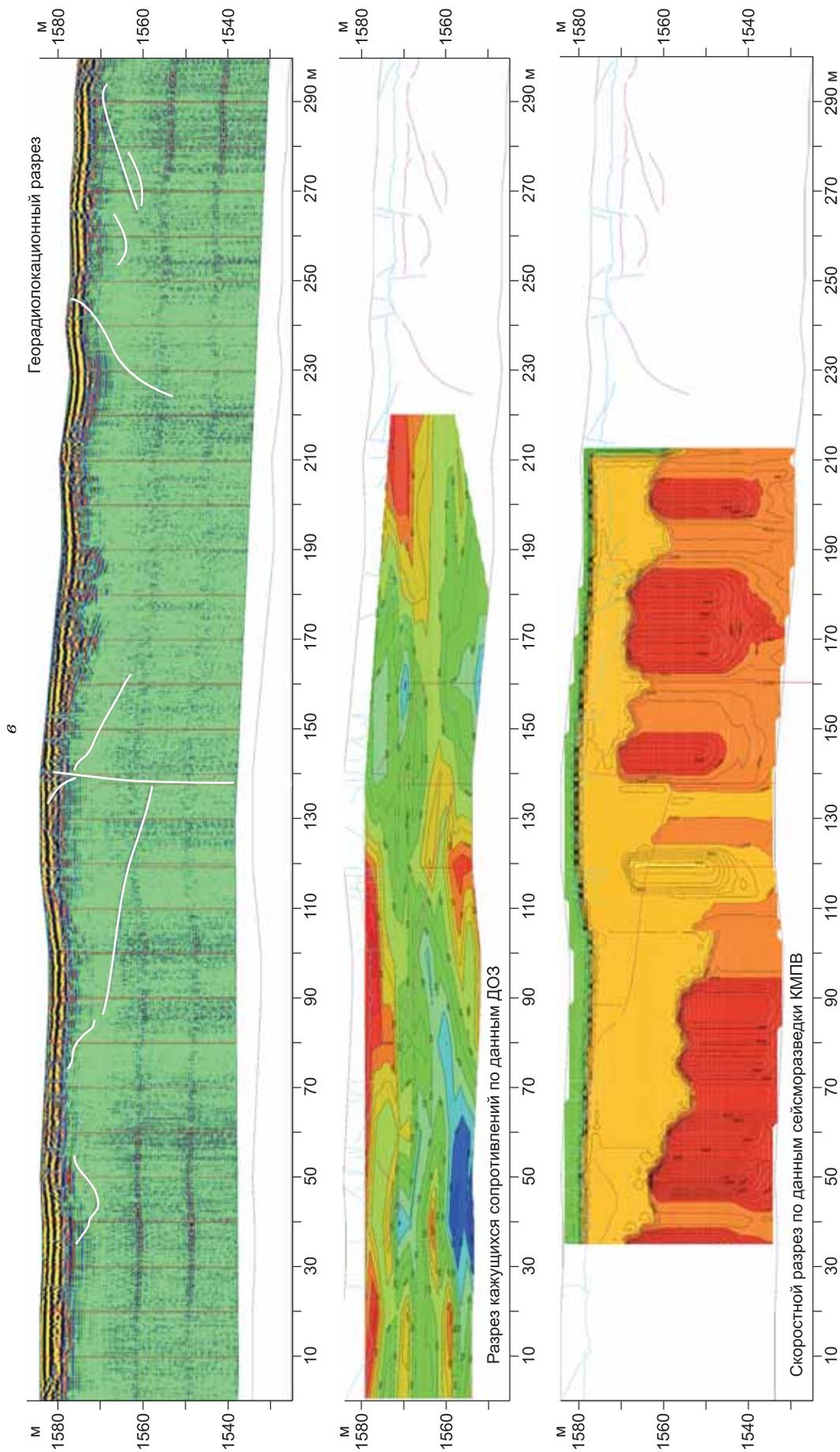


Рис. 7. Результаты интерпретации комплекса методов малоглубинной разведочной геофизики.

а — профиль 1 ориентирован поперек линии разлома и проходит вдоль северо-восточной стенки канавы, обращает на себя внимание соответствие границ слоев и неоднородностей, выделенных разными методами исследований; *б* — профиль 2 проходит параллельно профилю 1 в 50 м к северо-востоку от него, отчетливо определяются поверхности антиклинальных складок, разобщенных вертикальными разрывами; *в* — профиль 3 проложен поперек разлома вдоль борта долины Ундулун через предполагаемую сдвиговую зону, в центре разреза широкая зона вертикального раздела, определяемая по всем трем методам.

от ближайшего сейсмоприемника, концевые — в 2.5 м. Длительность записи составляла 1024 мс, дискретность — 0.5 мс. Для подавления помех полевые работы осуществлялись по методике многократных возбуждений в пункте взрыва. При первичной обработке полевых данных сейсмограммы одного пункта возбуждения суммировались. Суммирование позволило подавить случайные шумы и поднять уровень полезного сигнала. После суммирования полевых сейсмограмм дальнейшая интерпретация производилась по стандартному графу обработки данных сейсморазведки КМПВ.

Георадиолокационные исследования проводились комплектом аппаратуры ОКО-II российского производства, в качестве антенного блока использовался неэкранированный антенный блок Тритон с дипольными излучателями частотой 50 и 100 МГц и глубиной исследований до 20 м. Разрешающая способность комплекса позволяет изучать смещения с амплитудами в несколько сантиметров. При исследовании выполнялось двукратное профилирование — прямой ход с частотой излучателя 100 МГц и обратный ход с частотой излучателя 50 МГц.

Все полученные материалы обрабатывались специальными программами на компьютерах в поле и сводились в систему профилей, которые анализировались совместно (рис. 7). Следует отметить, что проведение работ указанным набором геофизических методов является оптимальным и наиболее информативным при изучении сейсмоактивных разломов [Юшкин и др., 2003; Жигулев, Патрикеев, 2007].

Результаты интерпретации геофизических профилей подтверждают и дополняют данные о сдвиговой структуре дислокации. Отчетливо на глубину до 40 м прослеживаются вертикальные трещины отрыва. По этим трещинам срезаны крылья антиклинальных складок (сводов-валов). Сами складки имеют асимметричное строение. Разноуровневые контакты крыльев по плоскостям срезающих их разломов и выпадение из разреза до четверти длины складок свидетельствуют о сдвиговом характере деформаций по трещинам. Не исключается, что на поперечных Гунжинскому сдвигу геофизических разрезах находят отражение комбинации разных частей и фрагментов сдвиговой зоны типа «palm-tree» или «flower-structure». Наличие на разрезах двух и более разрывных нарушений также находит отражение в морфологии дислокации. Основная ветвь разлома и оперяющий разрыв, между которыми формируется одна из складок, отчетливо видны на снимках GoogleEarth.

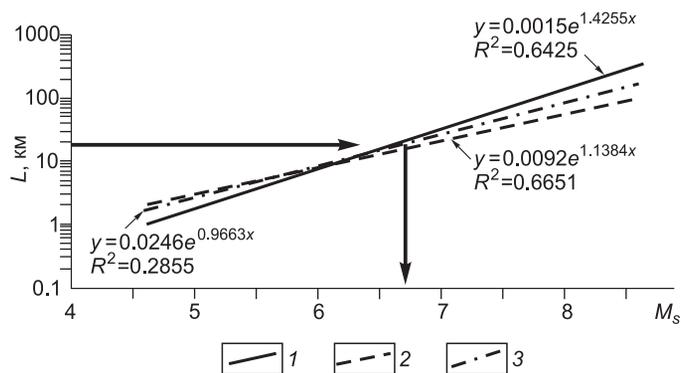
СЕЙСМИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ГУНЖИНСКОГО ОЧАГА И ВОЗРАСТ ПАЛЕОЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

Гунжинскую дислокацию, согласно теоретическим представлениям [Солоненко, 1977], следует рассматривать как вышедшую на поверхность часть очага, сейсмический потенциал которого определяется его линейными размерами. С линейными параметрами очаговых зон тесно связаны и разовые амплитуды деформаций. Масштабы деформаций в рыхлых отложениях, обнаруженных в траншее, в первую очередь ширина трещин отрыва, свидетельствуют о значительных (метры) амплитудах одновременных подвижек по Гунжинскому разлому. Это согласуется и с геоморфологическими данными. Деформации более древних по отношению к разрыву форм рельефа (борта цокольных террас, широкая ложбина стока) имеют суммарные амплитуды смещения в первые десятки метров. При отсутствии сколько-нибудь определенных данных значений амплитуд разовых смещений по нескольким точкам разлома его сейсмический потенциал может быть определен по эмпирическим соотношениям между длинами разрыва и магнитудой соответствующих землетрясений (рис. 8). При протяженности Гунжинского разрыва не менее 15—20 км и ширине закартированных сейсмогенных трещин в разрезе не менее 1 м магнитуда палеоземлетрясения могла составлять порядка 7.0 [Wells, Coppersmith, 1994; Стром, Никонов, 1997; Стром, 1998; Чипизубов, 1998; Стром и др., 2008]. Согласно стандартному уравнению макросейсмического поля [Шебалин, 1968], такие землетрясения могли ощущаться на территории Улан-Батора с интенсивностью до 9—10 баллов по шкале MSK-64.

Одной из основных характеристик очаговой зоны является периодичность или временной интервал повторяемости максимальных по силе землетрясений. Для его определения в канаве были отобраны пробы из гумусосодержа-

Рис. 8. Эмпирические зависимости протяженности разрыва (L) от магнитуды землетрясения (M_s).

1—3 — графики регрессий и соответствующие уравнения для: 1 — разломов преимущественно сдвиговой кинематики (89 событий), 2 — разломов преимущественно сбросовой кинематики (54 события), 3 — разломов преимущественно взбросовой кинематики (47 событий).



Радиоуглеродные возрасты гунжинской дислокации

Лабораторный номер	Радиоуглеродный возраст ^{14}C , лет	Календарный возраст, лет до н.э.	
		нижняя граница	верхняя граница
ЛУ-6610	3500 ± 70	2006	1649
ЛУ-6611	5630 ± 90	4694	4311
ЛУ-6612	8480 ± 120	7800	7159
ЛУ-6613	5670 ± 70	4667	4375
ЛУ-6614	9380 ± 140	9134	8326
ЛУ-6615	8750 ± 120	8188	7601
ЛУ-6616	3980 ± 80	2722	2245

Примечание. Календарный возраст проб рассчитан по программе CALIB v.6.0.1 [Stuiver, Reimer, 1993; Reimer et al., 2009].

древней датировке из проб, отобранных в основании суглинистого слоя (пр. ЛУ-6613), перекрывающего сейсмогенные деформации. Таким образом, в результате проведенных исследований возраст последнего палеоземлетрясения установлен в интервале 7800-4667 ВС. Деформация нижней границы перекрывающего слоя, возможно, происходила в процессе переуплотнения толщи. Не исключаются также более поздние, но менее сильные сейсмические воздействия, под влиянием которых происходило усложнение внутренней структуры деформации.

На рис. 6 показаны две трещины в стенке боковой рассечки. Эти трещины разновозрастны, что отражено в различии как по составу деформированных толщ, так и по содержанию трещин. Более древняя трещина расположена справа (см. рис. 6, событие 1). Возраст ее верхнеплейстоцен-раннеголоценовый. Абсолютный возраст вследствие отсутствия в ней гумуса не определялся. Таким образом, в результате проведенных исследований установлен возраст одного разрывообразующего палеоземлетрясения. О частоте повторяемости подобных событий в зоне Гунжинского разлома можно судить лишь по тому факту, что оно было, вероятнее всего, единственным в голоцене.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные геолого-геофизические исследования зоны Гунжинского сейсмогенного разлома в окрестностях Улан-Батора позволили установить, по крайней мере, два разрывообразующих палеоземлетрясения, происшедших в позднеплейстоцен-голоценовое время. Наличие разрывных нарушений, первоначально выделенных по морфологическим признакам, подтверждено трещинковыми изысканиями и материалами геофизических профилей. Полученные результаты дают основание пересмотреть в сторону повышения (как минимум до 9 баллов) возможный уровень сейсмической опасности территории Улан-Батора, для которого землетрясения такой силы ранее просто не предполагались [Хилько и др., 1985].

Авторы выражают искреннюю благодарность монгольским коллегам из Исследовательского центра астрономии, геодезии и геофизики АН МНР (RCAAG) (докторам С. Дэмбэрэлу, Т. Батсайхану, инженеру Г. Батарсурену) и французским коллегам (доктору А. Шлюппу, М. Бано (Университет г. Страсбург), а также доктору М. Ферри (Университет Эвора, Португалия), чьи дискуссии и совместные маршруты в окрестностях г. Улан-Батор были полезны и ценны для понимания динамики современных геологических процессов.

Исследования проводились при поддержке РФФИ (гранты 09-05-727, 10-05-00573, 10-05-93204-Монг_a).

ЛИТЕРАТУРА

Жигулев В.В., Патрикеев В.И. Возможности малоуглубинной сейсморазведки методом преломленных волн при исследовании активных разломов Северного Сахалина // Тихоокеанская геология, 2007, т. 26, № 1, с. 20—28.

Солоненко В.П. Сейсмогенные деформации и палеосейсмогеологический метод // Сейсмическое районирование Восточной Сибири и его геолого-геофизические основы. Новосибирск, Наука, 1977, с. 83—131.

щих слоев. На рис. 5 показаны места отбора проб и их радиоуглеродные возрасты. Тремя датировками определен радиоуглеродный возраст деформированного в результате палеособытия гумусированного слоя супеси с включениями дресвы и щебня. В стенке боковой рассечки мы видим поперечный срез трещины, заполненной супесью, датированной пр. ЛУ-6614. В разрезах основных стенок канавы приблизительно тем же радиоуглеродным возрастом датированы фрагменты слоев, которые также втиснуты между образованиями элювия коренных пород (пробы ЛУ-6612 и ЛУ-6615). Возраст этого деформированного слоя, по самой молодой из датировок (таблица, см. рис. 5), можно рассматривать как нижнюю границу последнего палеоземлетрясения (см. рис. 6, событие 2).

Верхняя граница возрастного интервала палеоземлетрясения определяется по наиболее

Стром А.Л. Количественные характеристики сейсмогенных разрывов и их использование в палеосейсмогеологии и инженерной геологии: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. М., ОИФЗ РАН, 1998, 26 с.

Стром А.Л., Никонов А.А. Соотношения между параметрами сейсмогенных разрывов и магнитудой землетрясений // Физика Земли, 1997, № 12, с. 55—67.

Стром А.Л., Иващенко А.И., Кожурин А.И. Оценка расчетных значений сейсмогенных подвижек по разрывам, пересекающим трассы трубопроводов, и вероятности их превышения // Вопросы инженерной сейсмологии, 2008, т. 35, № 2, с. 14—19.

Тектоника Монгольской Народной Республики / Ред. А.Л. Яншин. М., Наука, 1974, 284 с.

Хилько С.Д., Курушин Р.А., Кочетков В.М., Мишарина Л.А., Мельникова В.И., Гилева Н.А., Ласточкин С.В., Балжянн И., Монхоо Д. Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии. М., Наука, 1985, 224 с.

Чипизубов А.В. Выделение одноактных и одновозрастных палеосейсмодислокаций и определение по их масштабам магнитуд палеоземлетрясений // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (3), с. 386—398.

Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. М., Наука, 1968, с. 95—111.

Юшкин В.И., Джурик В.И., Батсайхан Ц., Дугармаа Т. Изучение геофизическими методами морфоструктурных особенностей разломов Монголии // Напряженно-деформированное состояние и сейсмичность литосферы. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2003, с. 478—481.

Ferry M., Schlupp A., Ulzibat M., Munsch M., Fleury S., Baatarsuren G., Erdenezula D., Munkh-saikhan A., Ankhtsetseg D. Tectonic morphology of the Hustai fault (Northern Mongolia): a source of seismic hazard for the city of Ulaanbaatar // Geophys. Res. Abstr., 2010, v. 12, EGU 2010-11122 (<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2010/EGU2010-11122.pdf>).

Reimer P.J., Baillie M.G.L., Bard E., Bayliss A., Beck J.W., Blackwell P.G., Bronk R.C., Buck C.E., Burr G.S., Edwards R.L., Friedrich M., Grootes P.M., Guilderson T.P., Hajdas I., Heaton T.J., Hogg A.G., Hughen K.A., Kaiser K.F., Kromer B., McCormac F.G., Manning S.W., Reimer R.W., Richards D.A., Southon J.R., Talamo S., Turney C.S.M., van der Plicht J., Weyhenmeyer C.E. IntCal09 and Marine09 radiocarbon age calibration curves, 0—50 000 years cal BP // Radiocarbon, 2009, v. 51, № 4, p. 1111—1150.

Stuiver M., Reimer P.J. Extended 14C data base and revised CALIB 3.0 14C age calibration program // Radiocarbon, 1993, v. 35, p. 215—230.

Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer., 1994, v. 84, № 4, p. 974—1002.

*Рекомендована к печати 16 февраля 2012 г.
В.С. Селезневым*

*Поступила в редакцию 21 июня 2011 г.,
после доработки — 1 февраля 2012 г.*