

**ПОЗДНЕЧЕТВЕРТИЧНАЯ ГЕОДИНАМИКА ХИРГИСНУРСКОЙ ВПАДИНЫ
И ЕЕ ГОРНОГО ОБРАМЛЕНИЯ (Западная Монголия)**

С.Г. Аржанников, А.В. Аржанникова

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

Район исследований охватывает центральную часть Котловины Больших Озер (Западная Монголия). Характерной особенностью этой территории является широкое распространение следов существования крупных озер в недалеком прошлом. Они сохранились в виде береговых валов, террасовых комплексов и крупных песчаных массивов. По материалам дистанционного зондирования и полевого изучения получены данные, свидетельствующие об активных тектонических процессах в пределах Котловины Больших Озер. Выявлены многочисленные палеосейсмогенные деформации, расположенные по периферии и в акватории палеоозера Хиргис-Нур, площадь которого в шесть раз превышала площадь одноименного современного озера. Абсолютные высоты максимальной фазы палеоозера составляют 1143 м, что выше отметки береговой линии современного озера на 115 м. Установлено, что в результате тектонических движений часть бывшей акватории палеоозера вместе с береговыми валами были подняты до абсолютной высоты 1175 м. Высказано предположение о формировании палеоцунами в результате схода оползней в акваторию палеоозера Хиргис-Нур.

Палеоозеро, береговой вал, палеоземлетрясение, оползень, дистанционное зондирование, Западная Монголия.

**THE LATE QUATERNARY GEODYNAMICS OF THE HYARGAS NUUR BASIN
AND BORDERING SCARPS (western Mongolia)**

S.G. Arzhannikov and A.V. Arzhannikova

The study area covers the central part of the Great Lakes Basin in western Mongolia. A specific feature of the area is abundant evidence of large lakes existed there not long ago. The evidence is barrier beaches, terrace complexes, and large sand massifs. Remote sensing and field studies showed active tectonic processes within the Great Lakes Basin. Numerous paleoseismogenic deformations have been revealed along the periphery and in the water area of paleolake Hyargas Nuur, which was six times larger than the modern lake. The absolute heights of the maximum paleolake phase are 1143 m, which is 115 m higher than the present-day lake level. Tectonic movements led to the elevation of part of the former paleolake water area and barrier beaches to the absolute level of 1175 m. Landslides might have caused tsunamis in the paleolake water area.

Paleolake, barrier beach, paleoearthquake, landslide, remote sensing, western Mongolia

ВВЕДЕНИЕ

Результаты комплексного изучения позднекайнозойской геодинамики горных областей Западной и Центральной Монголии широко представлены в отечественной и зарубежной научной литературе. Термохронологические, геоморфологические и палеосейсмогеологические исследования в Гобийском и Монгольском Алтае, хр. Хан-Хухэй и в Хангае дали ответы на многие вопросы позднечетвертичного тектогенеза. Были определены возрастные рубежи начала горообразования, выделены основные этапы тектонической активизации, выявлены активные разломы, их кинематика, амплитуды и магнитуды сейсмических событий [Гоби-Алтайское..., 1963; Девяткин, 1981; Землетрясения..., 1985; Трифонов и др., 1988; Jolivet et al., 2007; Vassallo et al., 2007].

В то же время белыми пятнами в сейсотектоническом отношении оставались внутригорные области. Это, в частности, касается Котловины Больших Озер, расположенной на северо-западе Монголии (рис. 1). Котловина Больших Озер является новейшей тектонической структурой, ограниченной с севера и запада хребтами Танну-Ола и Монгольского Алтая, с востока и юга отрогами Хангая и Гобийского

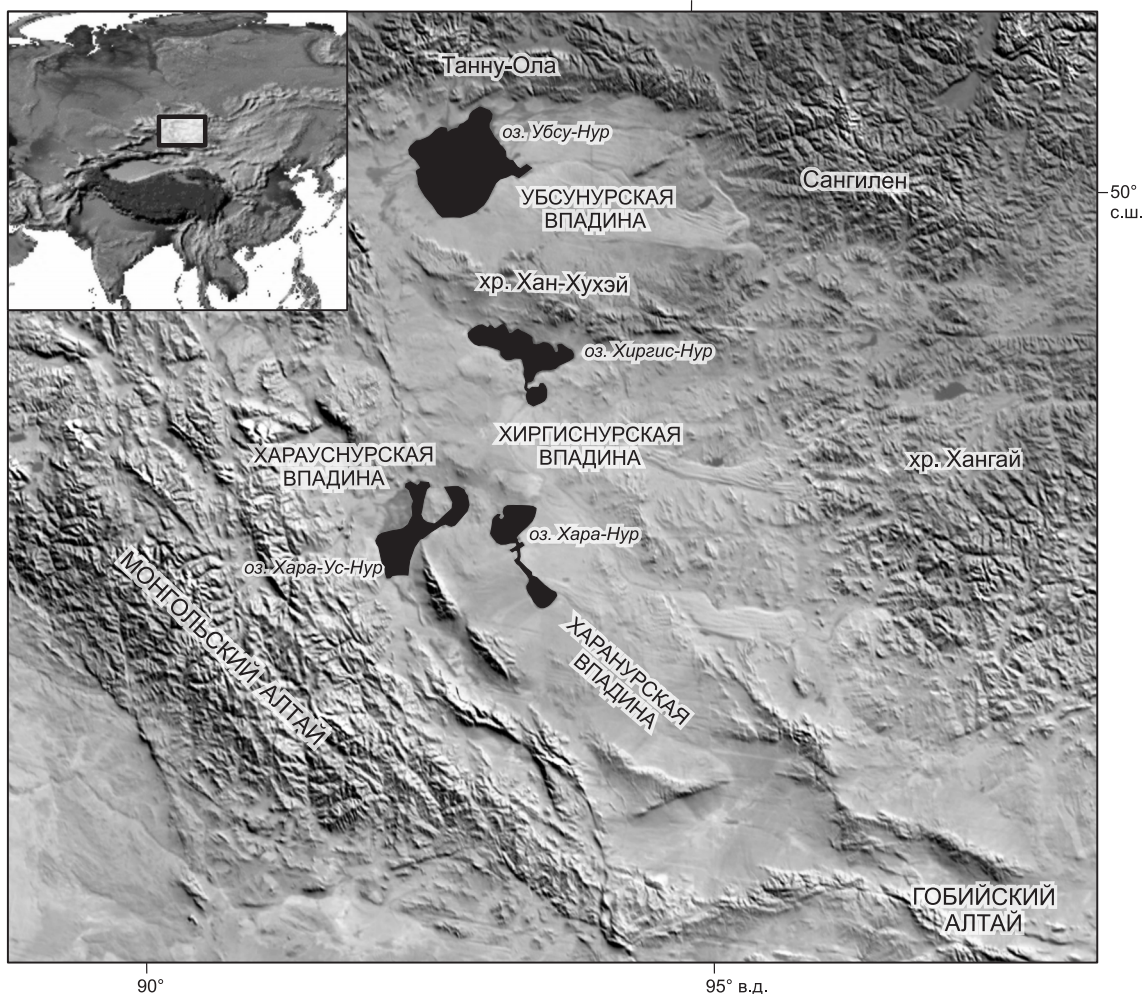


Рис. 1. Обзорная схема района исследований.

Для основы использованы данные SRTM.

Алтая. Она представляет собой систему впадин, разделенных субширотными поперечными поднятиями, самое значительное из которых — хр. Хан-Хухэй. По сейсмологическим данным, Котловина Больших Озер характеризуется рассеянной сейсмичностью. Концентрация эпицентров землетрясений происходит в пределах хр. Хан-Хухэй и соотносится с эпицентральной зоной Болнайского землетрясения 1905 г. [Землетрясения..., 1985]. Основная масса землетрясений района приурочена к зонам главных активных разломов, расположенных на западе в Монгольском Алтае. Известные палеосейсмогеологические данные также показывают приуроченность сейсмодислокаций к зонам главных активных разломов в пределах горного обрамления Котловины [Землетрясения..., 1985].

С появлением новых материалов дистанционного зондирования, таких как цифровая модель рельефа SRTM (Shuttle Radar Topography Mission, версия 4), цифровых космоснимков Landsat TM с разрешением 28.5 м и Aster, имеющих разрешение 90, 30 и 15 м в зависимости от спектральных диапазонов, открылись новые возможности для обнаружения и анализа различных признаков тектонической активности разломов [Аржанникова, Аржанников, 2008; Аржанников, Аржанникова, 2009]. Детальный анализ космоснимков и цифровой модели рельефа дал новые результаты, которые свидетельствуют о неординарности тектонических событий в позднем плейстоцене для центральной и южной частей Котловины Больших Озер [Arzhannikov, Arzhannikova, 2007]. Широкое распространение активных разломов во впадинах и четкая их проявленность в рельефе отражают интенсивную перестройку структурного плана района, который, по сути, расположен в переходной зоне между Монгольским Алтаем и Хангаем.

НОВЕЙШАЯ СТРУКТУРА ХИРГИСНУРСКОЙ ВПАДИНЫ

Район исследований расположен в Западной Монголии и представляет собой систему горных хребтов и межгорных впадин (см. рис. 1). Основными структурными единицами являются Монгольский Алтай, Гобийский Алтай, Котловина Больших Озер (Хиргиснурская, Харанурская и Харауснурская впадины) и хр. Хангай. Центральное место здесь занимает бессточное соленое оз. Хиргис-Нур, максимальные размеры которого достигают 75×30 км при глубине до 80 м. Современная абсолютная высота уреза воды в озере составляет 1028 м.

Хиргиснурская впадина представляет собой новейшую отрицательную тектоническую структуру размерами 230×100 км, осложненную в центральной части небольшими поднятиями. Она частично наследует раннемезозойский структурный план. Осадочный кайнозойский комплекс представлен отложениями неогена и плейстоцена [Девяткин, 1981]. Мощность отложений оценивается от 300 до 500 м. Учитывая падение плоскостей разломов в основном в сторону хребтов, можно охарактеризовать впадину Хиргис-Нур как рамповую структуру. Ярким примером такого типа деформаций является северная часть впадины, где мезозойские конгломераты — составная часть хр. Хан-Хухэй — надвинуты по плоскости $20\text{—}25^\circ$ на отложения плиоцена и плейстоцена [Мезозойская..., 1975]. В то же время необходимо отметить, что тектонические деформации происходили не только в узких разломных зонах, контролирующих горный массив Хан-Хухэй, но и в пределах бывшей акватории палеозера. Так, на перемычке между современным озером Хиргис-Нур и его западной бывшей акваторией были обнаружены эоплейстоценовые деформированные пролювиальные отложения, представленные щебнистыми суглинками с прослоями галечников и песков. Мощность отложений достигает 10—15 м. Субгоризонтальное положение слоистых отложений, фиксируемое в береговом обнажении оз. Хиргис-Нур, по простирацию приобретает наклонный характер с углом до 25° и азимутом падения пластов $190\text{—}200^\circ$. Возраст отложений, определенный термолюминесцентным методом датирования, составляет 820 ± 85 тыс. лет [Девяткин, 1981].

Разломные зоны, определяющие новейший план данного региона, имеют северо-западное, субширотное и частично северо-восточное простираения. Некоторые из разломов характеризуются голоценовой сейсмогенной активностью [Землетрясения..., 1985; Трифонов и др., 1988]. Основные палеосейсмодислокации, такие как Ар-Хутэл, Чихтэйн в зоне Кобдинского разлома, большая часть болнайских сейсмогенных деформаций, вызванных землетрясением 1905 г. в зоне одноименного разлома, располагаются в пределах горного обрамления Хиргиснурской впадины. Согласно сейсмологическим данным [Землетрясения..., 1985], Хиргиснурская впадина обладает меньшей сейсмической активностью, чем обрамляющие ее хребты. Основная масса землетрясений района приурочена к зонам главных активных разломов: Предалтайского, Кобдинского и Болнайского. Наиболее активной в сейсмическом отношении структурой является Хан-Хухэйское поднятие, сама же впадина характеризуется нечастыми проявлениями слабых землетрясений.

При изучении Хиргиснурской впадины нами широко использовались методы дистанционного зондирования, палеосейсмологический метод и структурно-геоморфологические методы. При анализе рельефа мы использовали космоснимки Landsat, Aster и цифровую модель рельефа SRTM. Палеосейсмологический метод [Солоненко, 1973; Wallace, 1981] широко применяется для изучения доисторических землетрясений. Он основывается на выделении прямых и косвенных признаков, выраженных остаточными деформациями в рельефе в плейстоценовых областях сильных землетрясений. Немаловажное значение при этом имеет выявление скрытых или «ископаемых» палеосейсмодислокаций, проводимое на основе изучения осадочных толщ и анализа топографии древних береговых линий. Полученный в процессе исследований материал открывает широкие возможности для решения некоторых важных вопросов позднечетвертичного тектогенеза.

ПАЛЕООЗЕРО ХИРГИС-НУР

В Хиргиснурской впадине широко распространены формы рельефа, связанные с прибрежно-волновой деятельностью (рис. 2, А). Они представлены параллельными грядами береговых валов, пляжными галечниками и прибрежными клифами в коренных породах [Девяткин, 1981]. Расстояние от современной береговой линии озера до максимально удаленной береговой линии палеозера составляет 57 км. Хорошо сохранившиеся береговые валы свидетельствуют о значительных его размерах (см. рис. 2, Б). Наиболее удаленный от современного озера и наиболее протяженный береговой вал соответствует изолинии с высотой 1143 м (см. рис. 2, В, Г). Он хорошо прослеживается почти по всей периферии акватории и, вероятно, отражает максимальный уровень палеозера Хиргис-Нур. Его площадь составляла 8200 км², что в шесть раз больше современного озера, а глубина доходила почти до 200 м.

Термолюминесцентные даты 90 ± 10 , 76 ± 9 и 63 ± 8 тыс. лет [Девяткин, 1981] из озерных осадков свидетельствуют, что палеозеро достигало максимального размера, соответствующего высотному уров-

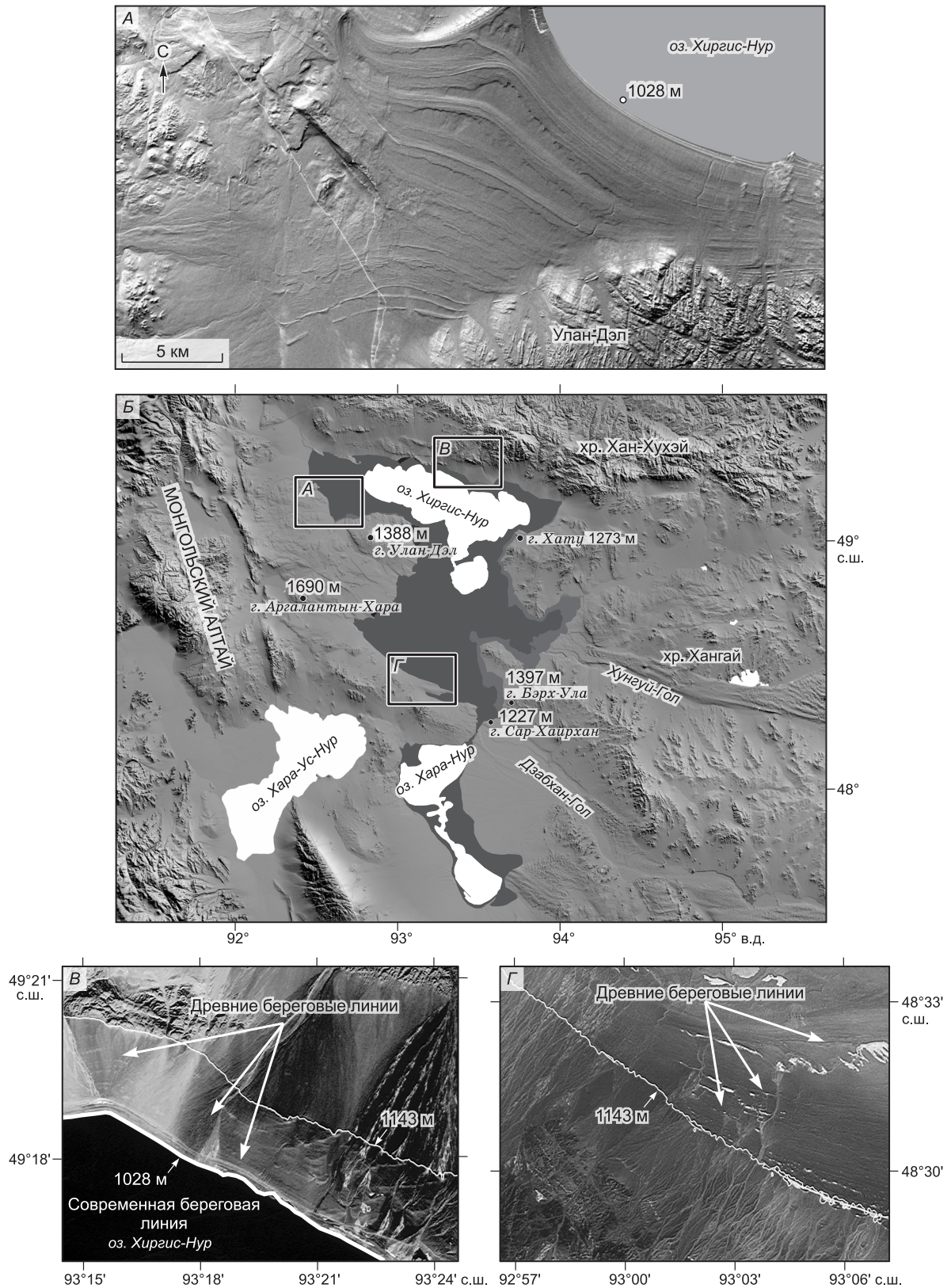


Рис. 2. Масштабы распространения палеозера Хиргис-Нур.

A — древние береговые линии, читаемые на фрагменте космоснимка Aster; *B* — площадь, занимаемая палеозером Хиргис-Нур в сравнении с современным аналогом (для основы использованы данные SRTM); *В, Г* — фрагменты космоснимков Aster и Landsat, отражающие наиболее удаленный береговой вал и соответствующую ему абсолютную высоту 1143 м на севере и юге палеозера Хиргис-Нур.

ню 1143 м в период позднеплейстоценового оледенения, который характеризуется влажным и прохладным климатом. Водосборный бассейн охватывал западный склон Хангая и восточную часть Монгольского Алтая. Основными водными артериями с восточной стороны являются реки Дзабхан-Гол и Хунгуй-Гол. С запада приток воды происходил через систему озер, где конечным звеном являлись Хара-Ус-Нур и Хара-Нур. Количество осадков могло составлять 400—500 мм [Девяткин, 1981]. Таким образом, максимальный уровень палеозера явился результатом увеличения влагообеспеченности и снижения общего температурного фона. Мощные ледники в Хангае и Монгольском Алтае аккумулировали огромное количество воды и в целом определяли водность этой части Монголии, в том числе и палеозера Хиргис-Нур.

ПАЛЕОСЕЙСМОГЕННЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ХИРГИСНУРСКОЙ ВПАДИНЫ

В результате дешифрирования космических снимков Landsat и Aster, а также анализа данных цифровой модели рельефа были выявлены палеосейсмогенные деформации как в акватории палеозера Хиргис-Нур, так и за ее пределами (рис. 3). В процессе анализа зафиксированы как явные, так и скрытые признаки сильных палеоземлетрясений.

К явным признакам относятся видимые в рельефе протяженные линеаменты, выраженные уступами различной высоты, и сложные сочетания разрывов, микрограбенов и микрогорстов. Большая их часть сформировалась на границе с небольшими внутривпадинными поднятиями. Такие деформации в рельефе наблюдаются на северном побережье современного оз. Хиргис-Нур, на его восточном окончании и

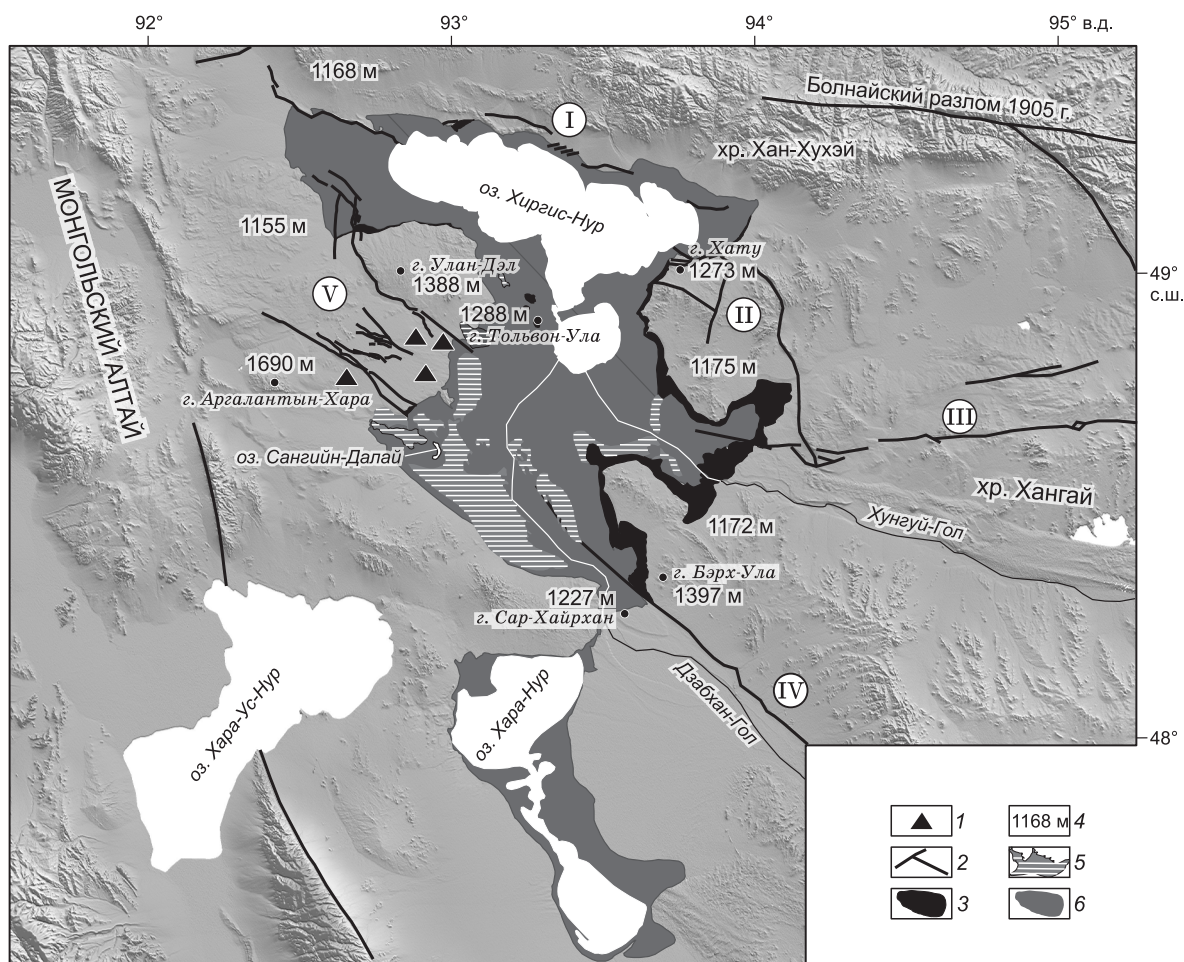


Рис. 3. Схема сеймотектонических, сейсмогравитационных и гравитационных деформаций (I—V) в акватории и прибрежной части палеозера Хиргис-Нур. Для основы использованы данные SRTM.

I — места распространения ребристого рельефа; 2 — сеймотектонические разрывы; 3 — бывшая акватория палеозера, выведенная из-под воздействия воды в результате поднятия блока земной коры; 4 — абсолютная высота, на которой в настоящее время находится береговой вал, изначально соответствующий абсолютной высоте 1143 м; 5 — тела оползней; 6 — акватория палеозера Хиргис-Нур.

единичные — на крайнем юго-востоке. Основная масса разрывов сосредоточена на юго-западе от озера между горными массивами Улан-Дэл (1388 м) и Аргалантын-Хара (1690 м). Падения разрывов направлены в сторону хребтов, что свидетельствует о надвигании поднятий на внутреннюю часть впадины.

К скрытым признакам палеосейсмогенных деформаций относятся деформации береговых валов, которые можно выявить только с помощью анализа цифровой модели рельефа. Использование SRTM в совокупности с космоснимками позволило обнаружить ряд таких районов в пределах акватории палеоозера Хиргис-Нур. Наиболее интересные объекты расположены в непосредственной близости от массива Улан-Дэл и представлены серией делящихся береговых валов.

ЯВНЫЕ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ

К северу от оз. Хиргис-Нур на южном фасе горного массива Хан-Хухэй в делювиально-пролювиальном шлейфе зафиксированы сейсмогенные деформации, выраженные в рельефе уступом субширотного простирания длиной 60 км (см. рис. 3, I). Движения характеризуются взбросовой или надвиговой составляющей, что является характерным для южного фаса хр. Хан-Хухэй [Мезозойская..., 1975]. Основная часть разрывов сосредоточена на территории, не подвергавшейся затоплению водами оз. Хиргис-Нур при трансгрессиях за исключением западного и восточного флангов. Здесь разрывы переходят на более низкие отметки и смещают береговые валы.

На восточном берегу озера выявлена система разрывов (см. рис. 3, II), по которым на различную высоту были перемещены тектонические блоки. В результате движений из акватории палеоозера была выведена часть территории. Максимальная амплитуда перемещения достигла 32 м. Береговые валы, располагавшиеся на высоте 1143 м, были подняты до 1175 м.

Один из крупных по длине сейсмогенных разрывов расположен к северу от р. Хунгуй-Гол. Его длина достигает 115 км. Начинаясь в правобережье вышеупомянутой реки, он протягивается в широтном направлении и представлен уступами, микрограбенами и микрогорстами (см. рис. 3, III).

На юго-восточном побережье палеоозера Хиргис-Нур, на правом берегу современной р. Дзабхан-Гол, расположен тектонический уступ длиной 90 км. Он ориентирован в северо-западном направлении и, вероятно, является продолжением системы разрывов западного берега палеоозера Хиргис-Нур. Амплитуда перемещения береговых валов на этом участке составила 32 м (см. рис. 3, IV).

Большое скопление сейсмогенных разрывов расположено к юго-западу от оз. Хиргис-Нур (см. рис. 3, V). Здесь выделяется серия сейсмогенных уступов и валов в основном северо-западного простирания, которые охватывают территорию площадью 1200 км². Расстояние между разрывами составляет 2—6 км. Высота уступов колеблется в пределах первых метров, иногда достигая 15—20 м. Последние отражают суммарную амплитуду перемещения. Наиболее интересный разрыв расположен у основания массива Улан-Дэл. Его длина составляет 60 км. Суммарная амплитуда перемещения береговых валов по этой системе разрывов составляет 12 м, и абсолютная отметка крайнего берегового вала достигает 1155 м (см. рис. 3). Поднятым является северо-восточное крыло разлома. Разрыв деформирует как коренные породы хр. Улан-Дэл, так и рыхлые образования, представленные отложениями временных водотоков и осадками палеоозера Хиргис-Нур. Он смещает молодые формы рельефа, такие как конусы выноса в предгорьях хр. Улан-Дэл (юго-восточный сегмент разлома) и береговые валы палеоозера в ныне сухой части Хиргиснурской впадины (центральный и северо-западный сегменты разлома). Береговые валы разорваны с различной вертикальной амплитудой и находятся на абсолютной высоте (а. в.) до 1155 м (детальное описание см. ниже). Последнее обновление разлома зафиксировано в рельефе 3—4-метровым уступом СЗ простирания с поднятым СВ бортом. Проведенное вскрытие разлома (в точке с координатами 49°11'54" с.ш., 92°39'19" в.д.) позволило проследить разрыв в коренных, сильновыветрелых, породах. Здесь он представлен зоной дробления мощностью 45 см, переходящей в зону милонитов мощностью 10 см. Азимут падения вскрытого разрыва 55—60°, $\angle 60—65^\circ$, что с учетом простирания уступа свидетельствует о взбросовой кинематике подвижки. Хорошая сохранность сейсмогенного уступа и достаточная крутизна его склонов позволяет предполагать недавний, возможно голоценовый, возраст события [Аржанникова, Аржанников, 2008].

СКРЫТЫЕ ПАЛЕОСЕЙСМОДИСЛОКАЦИИ

Наряду с доминирующей высотой береговой линии палеоозера Хиргис-Нур 1143 м в отдельных частях впадины выделены береговые валы с более высокими абсолютными отметками (см. рис. 3). Детальный анализ соотношения разрывов и береговых валов выше а. в. 1143 м показал, что такая разница в высотах обусловлена не изменением уровня зеркала озера вследствие регрессии и плохой сохранности отдельных фрагментов береговых валов, а тектоническими деформациями, причем импульсного характера. Так, на северном склоне массива Улан-Дэл, который спускается к южному берегу озера, расположены береговые валы с а. в. до 1155 м. На северном побережье оз. Хиргис-Нур валы имеют а. в. до

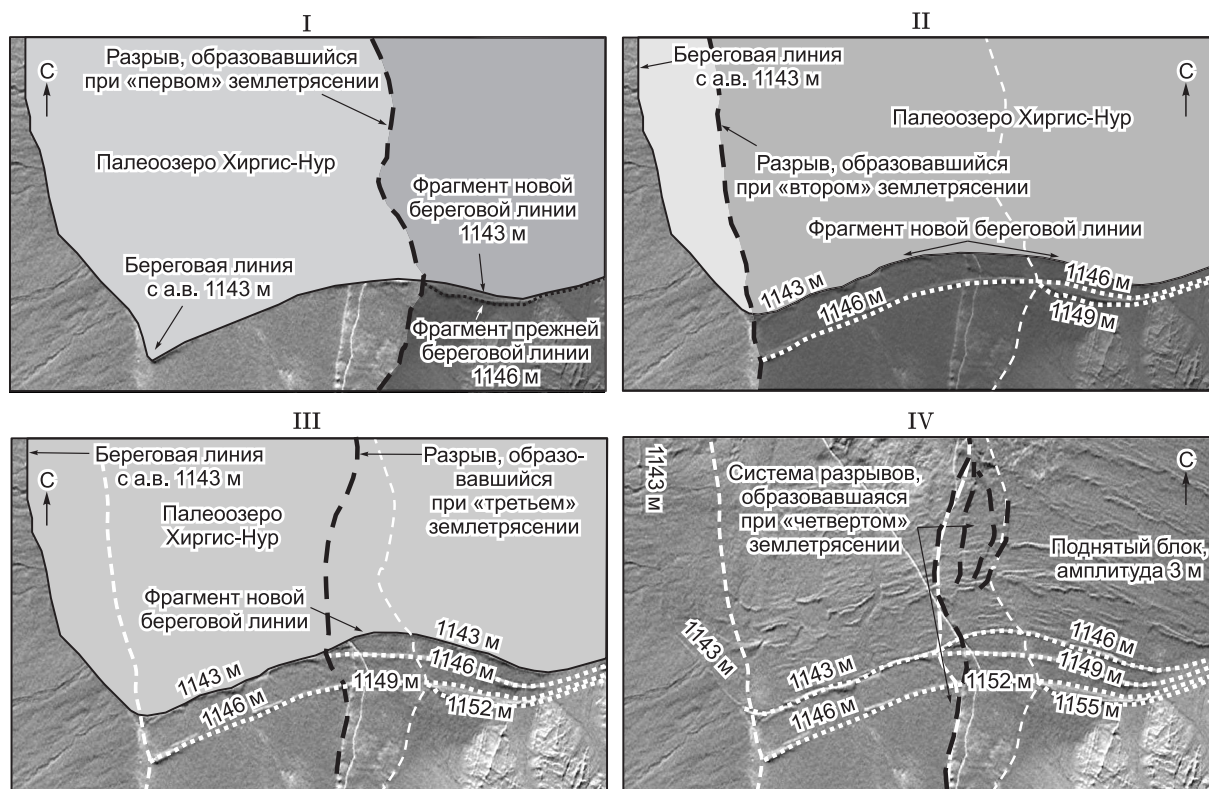
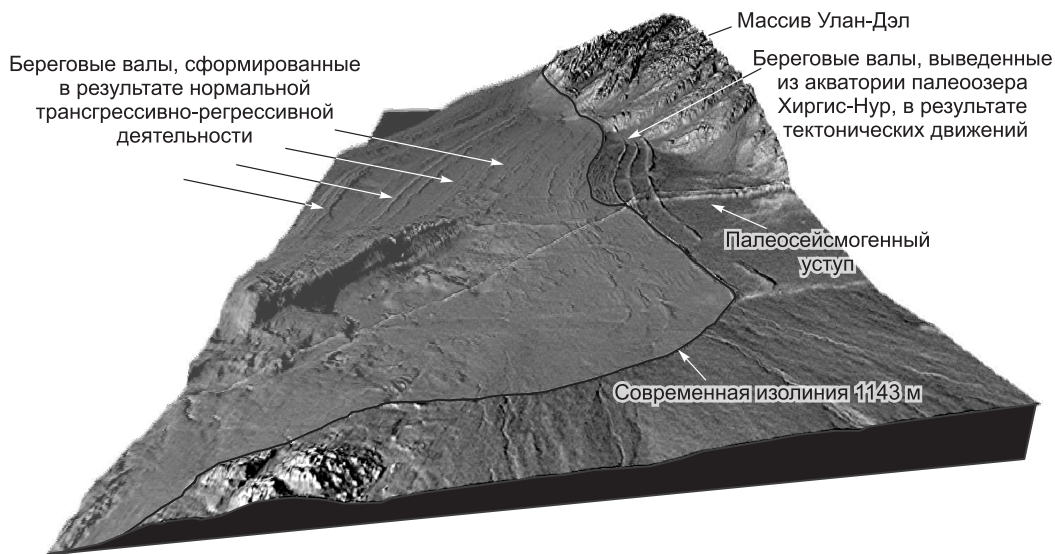


Рис. 4. Фрагмент космоснимка Aster, отражены этапы I—IV сеймотектонических деформаций береговых валов в районе массива Улан-Дэл.

1168 м. Наиболее крупная область распространения береговых валов с а. в. более 1143 м сосредоточена на восточном побережье (см. рис. 3).

С западной стороны горного массива Улан-Дэл, имеющего максимальную а. в. 1388 м, расположен узел тектонических деформаций, который имеет как явные признаки импульсных движений в виде разрывов на поверхности [Аржанникова, Аржанников, 2008], так и скрытые, выявить которые можно только с помощью анализа соотношения берегового вала и соответствующей ему изолинии. На фрагменте космоснимка ASTER (см. рис. 2, А) отчетливо видны: система береговых валов, фиксирующая бывшую береговую линию палеоозера; дорога, выраженная тонкой светлой полосой и система палеосейсмогенных разрывов, деформирующая комплекс форм прибрежно-волновой деятельности. Для анализа абсо-

лютной высоты каждого из береговых валов мы используем данные SRTM. Так как максимальная береговая линия палеозера достигала а. в. 1143 м, ее мы берем за базовую и проводим остальные расчеты. На рис. 4 приведены а. в. для отдельных фрагментов, которые свидетельствуют о наличии нескольких этапов деформации, приведших к изменению высотного положения береговых валов. Суммарная амплитуда перемещения составила 12 м. Для наглядности мы продемонстрируем некоторые построения, которые покажут последовательность и амплитуды перемещений при сейсмогенных подвижках. При этом хотелось бы отметить, что приведенные абсолютные значения не являются окончательными, возможно существует определенная погрешность, заключенная в самом методе радарной съемки. В то же время при заверке значений по относительному превышению различных поверхностей в рельефе, проведенной в ходе полевых исследований, ошибка не превышала ± 1 м.

Озеро Хиргис-Нур, как и любой другой водоем, формирует береговую линию, и любые изменения подстилающего ложа отражаются на ее конфигурации. Формирование оползней в прибрежной части провоцирует погружение берегового вала и, наоборот, поднятие блока земной коры приводит к его выводу на поверхность. В последнем случае одновременно происходит деление одного берегового вала на два, которые расположены в пределах поднятого блока. При описании количества и порядкового номера землетрясения мы будем пользоваться относительной нумерацией и брать его номер в кавычки. «Первое» по счету землетрясение произошло на момент максимального уровня (1143 м) палеозера Хиргис-Нур и привело к поднятию части его акватории вместе с бывшей береговой линией с амплитудой до 3 м (см. рис. 4, I). Новый участок берега озера сформировался в 200 м к северу от прежнего. Исходя из возраста отложений [Девяткин, 1981], распространяющихся в пределах береговой линии 1143 м, возраст «первого» землетрясения не выходит за границу позднего плейстоцена. «Второе» и «третье» землетрясения также происходили в период максимального стояния воды в палеозере Хиргис-Нур и имели аналогичные амплитуды (см. рис. 4, II, III). После землетрясений образовывались новые береговые валы, которые, так же как и старые, имели точку соприкосновения в области разрывообразования и перемещения блока. Смещение разрывов к западу или востоку от разрыва «первого» землетрясения определило суммарную амплитуду перемещений для отдельных частей береговой линии. «Четвертое» землетрясение (см. рис. 4, IV) произошло в период максимальной регрессии пра-Хиргис-Нура, возможно в голоцене. Об этом также свидетельствует молодость тектонического уступа. В результате серии землетрясений, происходивших на протяжении позднего плейстоцена и голоцена в этом районе, произошло значительное (до 12 м) смещение уровня береговых валов.

Следующим объектом исследований является восточное побережье палеозера Хиргис-Нур. Начиная от сейсмогенного разрыва, расположенного между вершинами Сар-Хайрхан 1227 м и Бэрх-Ула 1397 м, и перемещаясь вдоль восточного побережья вплоть до крайнего северо-восточного залива палеозера, можно наблюдать систему сейсмогенных деформаций (см. рис. 3, II—IV) и комплекс береговых валов, вовлеченных в поднятие (см. рис. 3). Тектонический уступ высотой 29—30 м, расположенный вдоль северо-восточного борта Харанурской впадины, контролирует систему береговых валов с разными максимальными абсолютными высотами. Так, самый верхний береговой вал в Харанурской впадине соотносится с а. в. 1143 м. При пересечении зоны разлома его высота меняется и составляет 1172—1173 м. Наиболее близким по высоте на поднятом блоке является береговой вал с а. в. 1146 м. Между береговой линией с высотой 1146 м и 1173 м насчитывается три промежуточных вала с а. в. 1152, 1156 и 1164 м (рис. 5). В 4 км к северо-востоку от макроуступа высотой 30 м расположен еще один тектонический уступ высотой 1—2 м, обращенный в противоположную сторону от основного. Между ними выделяется валообразная структура, в пределах которой картина изменения высот древних береговых линий еще более усложняется. Древняя береговая линия с а. в. 1173 м прослеживается с перерывами вплоть до горного массива Хату-Хаджугийн-Харулт с а. в. 1273 м. На некоторых участках высота крайнего берегового вала увеличивается до а. в. 1175 м. Деформации древней береговой линии происходили импульсивно, что приводило к быстрому

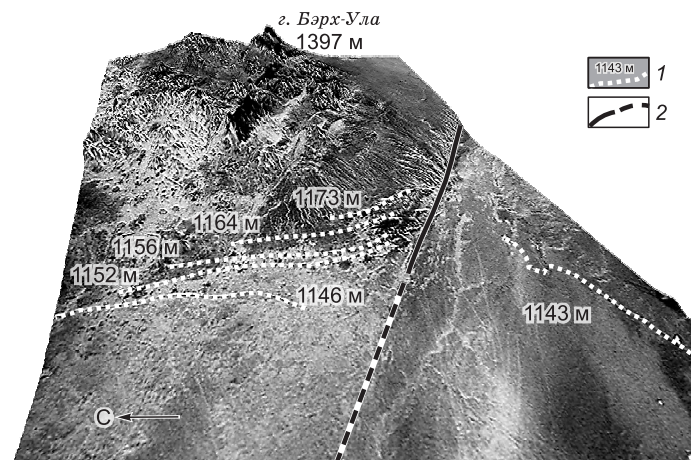


Рис. 5. Сеймотектонические деформации береговых валов в районе горы Бэрх-Ула.

Фрагмент космоснимка Landsat и данные SRTM.

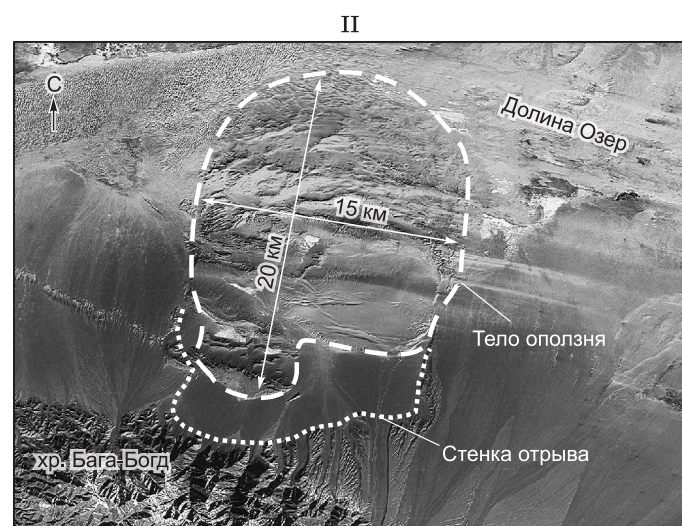
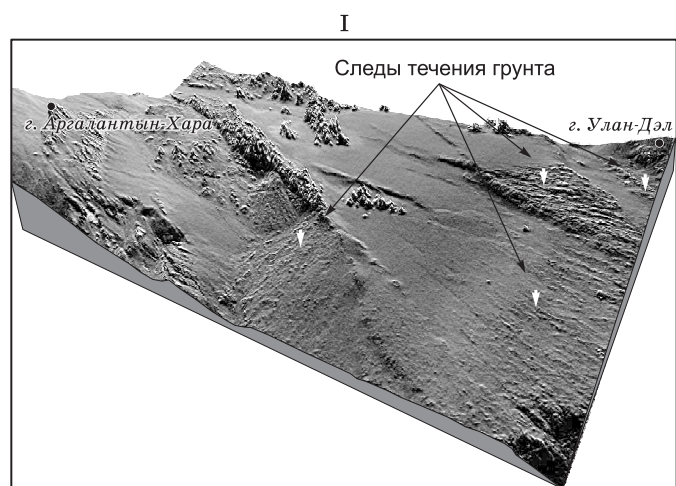
1 — древняя береговая линия с указанием высоты; 2 — разлом.

поднятию территории площадью в десятки тысяч квадратных километров. Исходя из количества сохранившихся береговых валов, произошло не менее пяти палеоземлетрясений. Суммарная амплитуда поднятия при этом составила 29 м.

Наряду с надвигами и взбросами по плоскостям разрывов, падающим в сторону хребта, фиксируются деформации, связанные с надвиганием прибрежных частей оз. Хиргис-Нур на южный склон хр. Хан-Хухэй. В результате таких движений сформировались обратные уступы на склоне, что привело к перехвату и подпору рек или временных водотоков. Такой тип деформаций был обнаружен на северном побережье оз. Хиргис-Нур. Здесь береговые валы подняты на высоту 1168 м, что на 25 м выше их истинного положения.

ОПОЛЗНИ В АКВАТОРИИ ПАЛЕООЗЕРА ХИРГИС-НУР

В западной части акватории палеоозера Хиргис-Нур в результате дешифрирования космоснимков выявлена серия оползневых тел различных размеров и генераций (см. рис. 3). Начиная с юго-западного побережья палеоозера, в районе современного оз. Сангийн-Далай, оползни прослеживаются к северу вплоть до горы Тольвон-Ула высотой 1288 м (западный берег оз. Айраг-Нур). Кроме оползней на западном берегу палеоозера Хиргис-Нур широко развиты следы течения грунта. На поверхности это выражено в виде ребристого рельефа общей площадью более 100 км² (см. рис. 3; рис. 6, I). Дешифрируются оползни, которые имеют на своей поверхности следы волноприбойной деятельности. Это свидетельствует о погружении тела оползня в акваторию палеоозера и его дальнейшем экспонировании в процессе регрессии. Размеры данных оползней составляют десятки и сотни квадратных километров. Помимо подводных оползней выделяются оползни, сформированные в аэральных условиях. Их площади составляют первые километры. Наиболее крупный оползень (возможно, сорванная пластина осадочных отложений) — 20 × 40 км (предварительная оценка) — дешифрируется в пределах всего южного берега палеоозера Хиргис-Нур. Он образовался во время трансгрессии либо при максимально высоком стоянии уровня озера, поскольку на его теле находится береговой вал с а. в. 1143 м. Прибрежно-волновая деятельность во время деградации озера привела к значительному разрушению оползня, и к настоящему времени хорошо сохранилась только его фронтальная часть. Она представляет собой систему надвиговых чешуй, выраженную в рельефе в виде грядово-ложбинного рельефа. Гряды фронтальной части оползня расположены перпендикулярно или под углом к долинам рек Дзабхан-Гол и Хунгуй-Гол.



На существование гигантских оползней в Монголии указывали ряд зарубежных исследователей и связывали их с активным разломообразованием. Так, описан уникальный в этом плане геологический объект в Гобийском Алтае, расположенный на северном склоне хр. Бага-Богд [Philip, Ritz, 1999]. Его размеры составляют 20 × 15 км, а объем достигает 50 км³ (см. рис. 6, II). Перемещение оползня происходило по очень пологой плоскости (3°). Другой гигантский оползень расположен в хр. Гичигний-Нуру. Его площадь составляет 110 км² [Mushkin et al., 2007].

По нашему мнению, формирование оползней на западном берегу палеоозера Хир-

Рис. 6. Гравитационные или сейсмогравитационные смещения различных типов.

I — на фрагменте космоснимка Aster отражена территория распространения ребристого рельефа между горными массивами Улан-Дэл и Аргалантын-Хара; II — на фрагменте космоснимка Landsat отображен гигантский оползень, расположенный на северном склоне хр. Бага-Богд.

гис-Нур было обусловлено следующими факторами: слоистым строением осадочной толщи Хиргиснурской впадины, обводнением грунтов в пределах акватории и прилегающей к палеозеру Хиргис-Нур территории, сильными палеоземлетрясениями, приводившими к интенсивному сотрясению территории, а также значительным изменением угла наклона пластов вследствие поднятия обрамляющих хребтов.

ДИСКУССИЯ

Выявленные палеосейсмогенные деформации охватывают западный склон Хангая, бывшую акваторию оз. Хиргис-Нур и его прибрежную часть. В основном разрывы простираются в северо-западном или субширотном направлениях. В некоторых случаях они ориентированы субмеридионально. Амплитуды поднятий варьируют от первых метров до первых десятков метров, что в последнем случае связано с многоактными событиями. Палеосейсмодислокации главным образом сосредоточены в основаниях небольших поднятий и имеют взбросовую или надвиговую кинематику. Протяженный 90-километровый разрыв северо-западного направления в правом борту р. Дзабхан-Гол (см. рис. 3, IV) и северо-западные разрывы в западной части оз. Хиргис-Нур (см. рис. 3, V), возможно, являются единой зоной тектонических деформаций. Об этом также свидетельствуют береговые валы палеозера, деформированные в течение серии импульсных тектонических движений. На западном берегу палеозера суммарная амплитуда вертикальных смещений составила 12 м, а вдоль разрыва на правом берегу р. Дзабхан-Гол 29 м. На северном побережье палеозера Хиргис-Нур система разрывов субширотного направления деформирует береговые валы с амплитудой 25 м. Плоскость разрыва падает в сторону впадины со взбросовой составляющей. И, наконец, амплитуды поднятия на восточном берегу озера в районе горы Хату составляют 32 м.

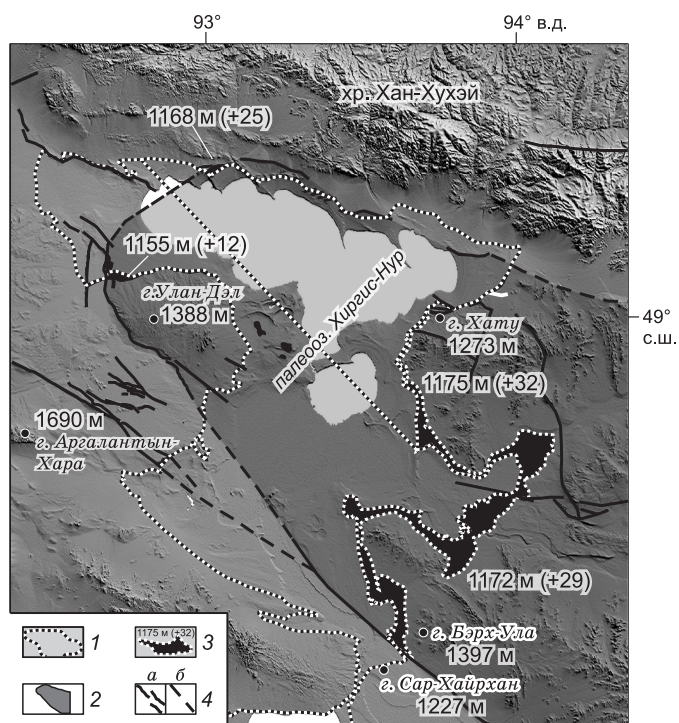
Наличие деформированных береговых валов палеозера, ограниченных палеосейсмогенными разрывами в различных частях палеозера Хиргис-Нур, дает основание приурочить их к единому тектоническому блоку, испытавшему неоднократное поднятие. Область воздымания охватывает всю центральную часть палеозера Хиргис-Нур и западные отроги хр. Хангай (рис. 7).

Интенсивные деформации в западной части палеозера оказали существенное влияние на целостность осадочного чехла территории. Область между вершинами Аргалантын-Хара и Улан-Дэл имеет сложное строение, включающее как озерные отложения более ранних трансгрессий [Девяткин, 1981], так и пролювиально-делювиальные толщи. Система разрывов северо-западного простираения рассекает и смещает толщи с амплитудой до 15—20 м. Тектоническое перемещение блоков спровоцировало гравитационное течение грунтов и привело к образованию системы оползней и ребристого рельефа на значительной территории палеозера Хиргис-Нур и его прибрежной части.

Осадочный чехол Хиргиснурской впадины состоит из отложений неогена и плейстоцена. Верхняя часть толщи, которая вскрывается эрозией в долинах и во впадинах, представлена внизу свитой Хиргис-Нур N_2^{1-2} (горизонт Б), состоящей из мергелей с прослоями известняков и мергелистых глин [Лискун, Бадамгарав, 1977]. Мощность отложений достигает 20—30 м. Выше залегают верхнеплиоценовые аллювиально-пролювиальные отложения свиты Туин-Гол N_2^3 мощностью 10—15 м. Венчают разрез пролювиально-аллювиальные отложения эоплейстоцена и плейстоцена мощностью несколько десятков метров. Повышение уровня озера в течение позднего плейстоцена привело к затоплению больших территорий и изменению уровня грунтовых вод. Обводнение грунтов и наличие большого количества глинистых слоев и прослоек в толщах плиоцена создали благо-

Рис. 7. Схема палеосейсмогенных деформаций и области поднятий в акватории и прибрежной части палеозера Хиргис-Нур. Для основы использованы данные SRTM.

1 — контуры палеозера Хиргис-Нур; 2 — тектонический блок, испытавший поднятие; 3 — бывшая акватория палеозера Хиргис-Нур, поднятая в результате палеоземлетрясений; 4 — палеосейсмогенные и исторические разрывы: а — достоверные, б — предполагаемые.



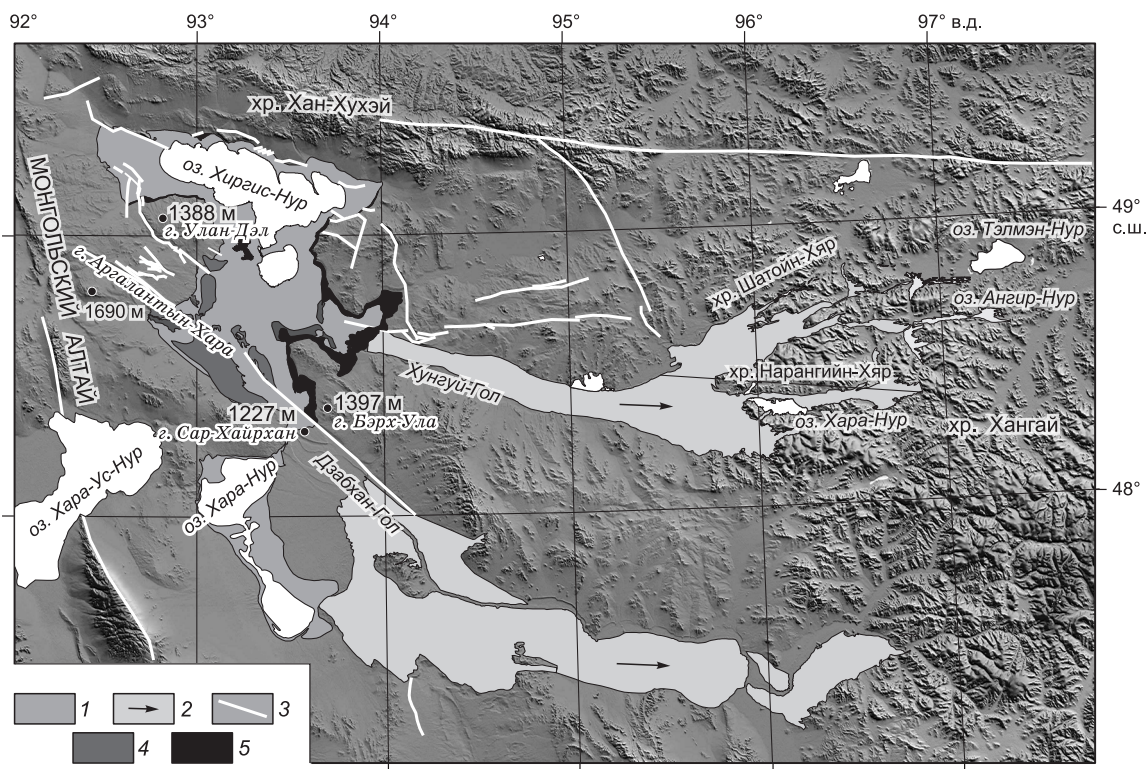


Рис. 8. Обобщающая схема распространения палеосейсмогенных деформаций, оползней и основного направления цунамогенной волны в сторону хр. Хангай. Для основы использованы данные SRTM.

1 — размер палеозера Хиргис-Нур согласно изолинии 1143 м; 2 — песчаные массивы и основное направление цунамогенной волны; 3 — исторические и доисторические сейсмогенные деформации; 4 — аквальные и аэральные оползни; 5 — поднятая территория палеозера Хиргис-Нур выше изолинии 1143 м.

приятные условия для неустойчивого состояния осадочной толщи. Первоначально горизонтально залегающие толщи озерных отложений изменили свое положение в пространстве в связи с поднятием горных массивов по периферии Хиргиснурской впадины. На совокупность данных факторов был наложен спусковой механизм в виде интенсивного сотрясения при сильных палеоземлетрясениях. Магнитуда таких землетрясений могла достигать значительных величин. Исходя из максимальных амплитуд разрыва IV и V (см. рис. 3) при отдельно взятом палеоземлетрясении и их длины, магнитуда могла быть равна 7.9 [Чипизубов, 1998]. Формирование оползней в Хиргиснурской впадине происходило в различные периоды существования одноименного озера.

Возможно, что одна из фаз оползнеобразования была значительной и охватывала территорию от западного до восточного берега палеозера Хиргис-Нур. На западном берегу отчетливо дешифрируются области течения грунта с направлением на восток, согласно уклону дневной поверхности. Площадь ребристого рельефа составляет 100 км². Далее на перегибе склона, где располагалась береговая линия при максимальном уровне воды, расположена система оползней, смещавшаяся в восточном направлении. И, наконец, на восточном берегу расположена фронтальная часть оползня площадью более 200 км², двигавшаяся также в восточном направлении. Общая площадь, охваченная перемещением грунта, составляла примерно 1500 км². При таких масштабных движениях, с условием существования палеозера, вода должна была отреагировать согласно направлению смещения подстилающей поверхности и двигаться с запада на восток (рис. 8). Также на образование цунамогенной волны могут косвенно указывать формы рельефа, расположенные в восточной части Хиргиснурской впадины и Западном Хангае [Arzhannikov, Arzhannikova, 2007]. В этой части Монголии обращают на себя внимание гигантские массивы песков, имеющие форму длинных и относительно узких «рукавов». Первичное накопление мелкозернистых осадков происходило, скорее всего, в бывшей акватории оз. Хиргис-Нур в палеодельтах впадавших в него рек. Не исключено, что вытесненная оползнем вода могла перенести огромное количество песчаных отложений, по долинам рек Хунгуй-Гол и Дзабхан-Гол. Вопрос, на какое расстояние могли быть

перенесены массы песка водным путем, пока остается открытым. Впоследствии песчаные массивы были перевезены эоловыми процессами [Мурзаев, 1948; Селиванов, 1969]. Другие формы рельефа, указывающие на возможное цунами, связаны с эрозионной деятельностью воды. К ним относятся система замкнутых впадин, расположенных к югу от р. Дзабхан-Гол. Наиболее крупная замкнутая отрицательная структура размерами 17×14 км с эродированными склонами и глубиной до 100 м расположена по «ходу» песчаного массива в точке с координатами $47^{\circ}41'57''$ с.ш. и $94^{\circ}19'94''$ в.д. Не менее интересными является система каналов, объединенных широкой (до 12 км) долиной на южном склоне Хангая и соединяющихся с долиной р. Дзабхан-Гол. При отсутствии постоянного водотока и относительно небольшой длины долины столь широкое эрозионное образование является аномальным. Тем не менее затронутый вопрос о возникновении цунами является предположением и может стать обширной темой следующих исследований, которые помогут логично объяснить и дополнить наши знания о позднечетвертичном развитии данного региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В позднем плейстоцене в Западной Монголии существовало бессточное палеозеро Хиргис-Нур, превышавшее по площади в шесть раз современный его аналог. Активные тектонические процессы, в том числе и импульсного характера, привели к деформациям береговой линии палеозера. Максимальные амплитуды поднятий составили 32 м. Слоистая пачка осадочного чехла впадины, где большую часть составляли глинистые осадки, была обводнена и находилась в неустойчивом состоянии. Сильные палеоземлетрясения, следы которых дешифрируются почти по всей периферии озера, приводили к интенсивному сотрясению территории. В результате этого обводненные грунты приходили в движение и формировались крупные оползни. Поскольку сход некоторых оползней происходил в акваторию палеозера, то вытесненная ими вода могла перемещаться на большие расстояния, вплоть до западных отрогов хр. Хангай. Предположительно свидетельства широкомасштабного выхода воды сохранились в виде форм рельефа эрозионного и аккумулятивного характера.

В целом Хиргиснурская впадина как геологический объект имеет массу интересных данных для палеогеографических и геодинамических реконструкций и может явиться ключевым звеном в решении многих задач позднечетвертичного развития данного региона.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 09-05-91052-НЦНИ) и проектов программы ОЗН РАН № 7.7, 16.12.

ЛИТЕРАТУРА

- Аржанников С.Г., Аржанникова А.В.** Палеосейсмогенная активизация Большеозерского сегмента Эрзино-Агардагского разлома // Вулканология и сейсмология, 2009, № 2, с. 56—66.
- Аржанникова А.В., Аржанников С.Г.** Новые данные о палеосейсмодислокациях в Котловине Больших Озер (Западная Монголия) // Докл. РАН, 2008, т. 418, № 1, с. 66—69.
- Гоби-Алтайское землетрясение** / Под ред. Н.А. Флоренсова, В.П. Солоненко. М., Изд-во АН СССР, 1963, 391 с.
- Девяткин Е.В.** Кайнозой Внутренней Азии. М., Наука, 1981, 196 с.
- Землетрясения и основы сейсмического районирования Монголии** / Под ред. В.П. Солоненко, Н.А. Флоренсова. М., Наука, 1985, 224 с.
- Лискун И.Г., Бадамгарав Д.** Литология кайнозоя Монголии. М., Наука, 1977, 160 с.
- Мезозойская и кайнозойская тектоника и магматизм Монголии** / Ред. А.Л. Яншин. М., Наука, 1975, 308 с.
- Мурзаев Э.М.** Котловина Больших Озер в Западной Монголии и происхождение ее ландшафтов // Труды II Всесоюзного географического съезда. Т. 1. М., ОГИЗ, 1948, с. 367—378.
- Трифонов В.Г., Востриков Г.А., Кожурин А.И., Лукина Н.В., Макаров В.И., Скобелев С.Ф.** Неотектоника и современная геодинамика подвижных поясов. М., Наука, 1988, 365 с.
- Селиванов Е.И.** Эоловые пески Монголии и их происхождение // Вестн. МГУ, 1969, № 5, с. 75—83.
- Солоненко В.П.** Палеосейсмогеология // Изв. АН СССР. Физика Земли, 1973, № 9, с. 3—16.
- Чипизубов А.В.** Выделение одноактных и разновозрастных палеосейсмодислокаций и определение по их масштабам магнитуд палеоземлетрясений // Геология и геофизика, 1998, т. 39 (3), с. 386—398.
- Arzhannikov S., Arzhannikova A.** Active deformations of the Khirgisnur basin as an inland tsunami risk // Conference commemorating the 50th anniversary of the 1957 Gobi-Altay earthquake: extended abstract volume / Eds. D. Ankhtsetseg, K. Levi, A. Schlupp, M. Ulziibat. Ulaanbaatar, 2007, p. 12—16.

Jolivet M., Ritz J.-F., Vassallo R., Larroque C., Braucher R., Todbileg M., Chauvet A., Sue C., Arnaud N., De Vicente R., Arzhanikova A., Arzhanikov S. Mongolian summits: an uplifted, flat, old but still preserved erosion surface // *Geology*, 2007, v. 35, № 10, p. 871—874.

Mushkin A., Gillespie A., Bayasgalan A. Late Quaternary deformation in the Gobi-Altay fault system // Conference commemorating the 50th anniversary of the 1957 Gobi-Altay earthquake: extended abstract volume / Eds. D. Ankhtsetseg, K. Levi, A. Schlupp, M. Ulziibat. Ulaanbaatar, 2007, p. 164—169.

Philip H., Ritz J.-F. Gigantic paleolandslide associated with active faulting along the Bogd fault (Gobi-Altay, Mongolia) // *Geology*, 1999, v. 27, p. 211—214.

Vassallo R., Ritz J.-F., Braucher R., Jolivet M., Carretier S., Larroque C., Chauvet A., Sue C., Todbileg M., Bourles D., Arzhannikova A., Arzhannikov S. Transpressional tectonics and stream terraces of the Gobi-Altay, Mongolia // *Tectonics*, 2007, v. 26, TC5013, doi: 10.1029/2006TC002081

Wallace R.E. Active faults, paleoseismology, and earthquake hazards in the western United States // *Earthquake prediction: an international review* / Eds. D.W. Simpson, P.G. Richards, Maurice Ewing Ser. 4. Amer. Geophys. Union, Washington, DC, 1981, p. 209—216.

*Рекомендована к печати 9 апреля 2010 г.
Н.А. Берзиным*

*Поступила в редакцию 26 мая 2009 г.
после доработки — 16 марта 2010 г.*