УДК 550.348/.349 (517)

НОВЫЕ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СТОЛИЦЫ МОНГОЛИИ

**О.П. Смекалин¹, А.В. Чипизубов¹, В.С. Имаев¹, С. Дэмбэрэл², Д. Баттогтох²,
Н.Н. Гриб³, А.А. Сясько³, А.В. Качаев³**

¹*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск, РФ; smekalin@crust.irk.ru*

²*Исследовательский центр астрономии и геофизики МАН, г. Улан-Батор, Монголия*

³*Технический институт (филиал) Северо-Восточного Федерального Государственного Университета, г. Нерюнгри, РФ.*

По результатам морфометрических исследований, тренчинга, геофизических работ и радиоуглеродного датирования Хустайской, Гунжинской и Верхнекеруленской дислокаций были получены следующие характеристики палеоземлетрясений. Протяжённость сейсмогенного вскрытия зон разломов для названных дислокации составляют 100, 20 и 100 км соответственно (на основе данных дистанционных методов). Амплитуды разовых вертикальных смещений, установленные по морфометрии и тренчингу составляют 2.5 м, менее 1 м и 1.3 м соответственно. На основе вновь полученных материалов по кинематике деформаций исходя из эмпирической зависимости для взбросо-сдвигов активизированных платформ [Чипизубов, 1988] рассчитаны значения M_{max} , которые составили 7.4 для Хустайского, 7.0 для Гунжинского и 7.1 для Керуленского сейсмогенерирующих разломов.

Ключевые слова: Хэнтэй-Даурский мегасвод, палеоземлетрясение, абсолютный возраст палеоземлетрясения.

NEW GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL DATA TO ASSESS THE SEISMIC HAZARD OF THE CAPITAL OF MONGOLIA

O.P. Smekalin¹, A.V. Chipizubov¹, V.S. Imaev¹, S. Demberel², D. Battogtoh², N.N. Grib³, A.A. Syasko³, A.V. Kachaev³

¹*Institute of the Earth Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, 128*

Lermontova Str., e-mail: imaev@crust.irk.ru;

²*Research Center for Astronomy and Geophysics, MAN, Ulaanbator, Mongolia*

³*Technical Institute (branch of) North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov in Neriungry, 16 Kravchenko Str., email: grib@nfygu.ru*

According to the results of morphometric studies, trenching, geophysical surveys and radiocarbon dating Hustai, Gunzhin and Verhnekerulen dislocations following options are obtained for prehistoric earthquakes. The length of the seismogenic opening of the fault zones for these dislocations are 100, 20 and 100 km, respectively (based on remote sensing methods). The amplitudes of the single vertical displacements established by morphometry and trenching up to 2.5 m, 1 m and 1.3 m, respectively. On the basis of the newly received materials on the kinematics of deformation based on empirical relationship for the reversed strike-shifts activated platforms [Chipizubov, 1988] calculated values M_{max} , which amounted to 7.4 for Hustai, 7.0 and 7.1 for Gunzhin Kerulen seismogenic faults.

Keywords: Khentei-Dauria dome, paleoearthquake, absolute paleoearthquake age.

Введение

С наступлением эры цифровой регистрации сейсмических колебаний и расширения сети сейсмических станций в южной части Хэнтэйского нагорья (Центральная Монголия), были выявлены новые закономерности проявления сейсмичности в этом регионе. В эпицентральной поле на фоне равномерно рассредоточенных эпицентров нижнего магнитудного уровня ($M < 2-3$) отмечаются отдельные скопления эпицентров той же энергии в виде изометричных и линейных форм. Некоторые из таких скоплений расположены в непосредственной близости от столицы Монголии – города Улан-Батора, и

трассируют зоны активных разломов. Кроме того, мониторинг сейсмических событий показал значимые всплески числа землетрясений в 2005, 2009 и в 2010 годах. Среди ощутимых событий можно отметить три землетрясения с магнитудой 4.0–4.2 с эпицентрными расстояниями не более 100 км от г. Улан-Батора, зарегистрированные в 2008–2009 годах. Решение ряда научных задач, связанных с возможной активизацией сейсмического процесса, потребовало принятие правительственной программы изучения сейсмобезопасности Улан-Батора, к выполнению которой были привлечены ведущие специалисты сейсмологи и сейсмогеологи из Западной Европы и России. Некоторые результаты исследований представлены в настоящей публикации.

Краткие сведения о геологических условия проявления сейсмичности в южной части Хэнтэйского нагорья. Выделенные и изученные в последние годы сейсмогенные структуры, определяющие потенциал сейсмической опасности города Улан-Батор, располагаются на юге Хэнтэйского нагорья, которое в свою очередь является частью хорошо выраженного в современном рельефе Хэнтэй-Даурского мегасвода площадью около 600 тыс. км². В строении мегасвода выделяют две зоны – внутреннюю (ядро), пространственно совпадающую с Хэнтэй-Даурским нагорьем, и внешнюю – подножье. В плане мегасвод имеет форму неправильного эллипса с северо-восточным простиранием длинной оси. С запада и северо-запада он граничит с активными структурами Байкальского и Хангайского сводов. На границах с этими структурами, а также в кольцевом подножии проявляется наибольшая ($M > 7$) сейсмическая активность мегасвода. Сейсмичность же внутренней области мегасвода обладает меньшим потенциалом, однако местные землетрясения могут представлять определённую угрозу близлежащим населённым пунктам, промышленным объектам.

Существующий сегодня высокогорный контрастный рельеф Хэнтэйского нагорья формируется с позднепермского времени. Период максимальной

интенсивности тектонических движений был пройден в конце первой половины мезозоя. К тому времени относится и заложение практически всех существующих сегодня межгорных впадин. В кайнозое тектоническая активность снижается, о чём свидетельствует «консервация» рельефа, постепенное закрытие мезозойских впадин. Активные тектонические процессы, выраженные в виде восходящих движений, переместились из внутренней области Хэнтэйского нагорья на его периферию.

Потенциальная сейсмичность внутренней области нагорья связана с активными разломами, контролирующими борта мезо-кайнозойских впадин, а также с активизацией древних шовных элементов, таких как границы Хангай-Хэнтэйского синклинория. О былых сейсмических катастрофах свидетельствуют эскарпы в позднечетвертичных и голоценовых осадках, изгибовые деформации в отложениях предгорных шлейфов и иные формы рельефа, сейсмогенность и связь с глубинными разрывами которых подтверждаются основными результатами исследований, вкратце приведенных ниже.

Методы исследований

Сейсмогенные деформации в разломах исследуемой территории детально изучены комплексом сейсмогеологических методов с применением тренчинга, морфометрии и геофизики [Демберел и др., 2010; Ferry et al., 2010; Смекалин и др., 2013; и др.]. Тренчинг – изучение сейсмодетформаций в разрезах канав, выполняется с целью подтверждения генезиса выраженных в рельефе деформаций, уточнения их кинематики, разовых амплитуд смещения, а также определения возраста и повторных периодов сейсмособытий.

Для морфометрических исследований в полевых условиях традиционно используются рейки с электронными угломерами. При составлении планов и схем, определения линейных размеров дислокаций и их кинематики в последнее десятилетие широко применяются различные материалы дистанционного зондирования. Особенно хорошо зарекомендовали себя годные для

компьютерной обработки объемные модели рельефа, полученные лазерным сканированием поверхности Земли. Точность этих материалов достигает 30 см по вертикали (в зависимости от масштаба съемки) и сравнима с данными, получаемыми при наземных обследованиях.

Для электроразведочных работ использовалась аппаратура ЭРА-МАХ производства НПО «ЭРА», г. Санкт-Петербург. Исследования выполнялись установкой методом ДОЗ с шагом между точками зондирования 10 – 20 метров (расстояние между электродами А и В 10 метров; расстояние между электродами М и N приемного диполя 10 метров). Максимальный разнос ОО' составил 150 м. Работы проводились с применением заземленного источника возбуждения (излучающего диполя) с величиной силы тока в питающей линии от 20 до 200 мА в зависимости от условий заземления и при стабилизированном токе на частоте 625 Гц. Использованный максимальный разнос установки обеспечил глубину исследований до 40 метров.

Сейсморазведочные работы были выполнены по методике КМПВ с возбуждением сейсмических волн темпером (ударами кувалды). Регистрация сигнала выполнена 24-х канальной цифровой сейсмостанцией «Сейсмолог-24» производства ООО «АйСиЭс», г. Хабаровск. При исследованиях применялись вертикальные сейсмоприемники с собственной частотой колебаний 20 Гц. Шаг между сейсмоприемниками 5 метров. Общая длина сейсморазведочной косы 115 м. Исследования проводились по схеме с четырьмя пунктами возбуждений – выносные пункты возбуждения в 30 метрах от ближайшего сейсмоприемника, концевые – в 2,5 метрах. Запуск записи производился по сигналу пускового сейсмодатчика, расположенного вплотную к точке возбуждения. Длительность записи 1024 мс. Дискретность записи – 0,5 мс. Для подавления помех полевые исследования проводились 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.

Для георадиолокационных исследований использован комплект аппаратуры ОКО-II производства НПО «Логис», г. Раменское, Российская Федерация. В качестве антенного блока использован АБДЛ «Тритон» – незранированный антенный блок с дипольными излучателями частотой 50 и 100 МГц и глубиной исследований до 20 м. При исследованиях выполнялось двукратное профилирование – прямой ход с частотой излучателя 100 МГц и обратный ход с частотой излучателя 50 МГц. Обработка полевых радарограмм проводилась с применением программного обеспечения GeoScan производства НПО «Логис».

Основные результаты исследований

Изученные Хустайская, Гунжинская и Верхнекеруленская сейсмогенные дислокации на юге Хэнтэйского поднятия локализуются последовательной цепочкой в полосе системы разломов северо-восточного простирания. Это основная ориентация для структур Хэнтэй-Даурского мегасвода, развивающихся с раннепалеозойского времени. В общем, для геологических образований (складки, дайки, трещиноватость) этого района характерна северо-западная вергентность. Приведенные ниже отдельные результаты исследований наиболее характерны для сейсмогеологической ситуации Южного Хэнтэя.

Геофизические профили, пересекающие сейсмогенный уступ, несут информацию об основных параметрах деформаций по зоне Хустайского разлома: амплитуде смещений и кинематике подвижки (Рис. 1). Первые пикеты профилей расположены выше бровки уступа, где в отдельных местах отмечаются выходы коренных выветрелых пород. Располагающиеся вблизи поверхности высокоомные образования коренных пород перекрывают слои со значительно более низким удельным сопротивлением. Подошва высокоомных аномалий прямолинейна и полого погружается в сторону хребта до глубин 15–20 м под отметками нулевых пикетов. К участку профилей на склоновой части

уступа приурочены сгущения разрывных нарушений в приповерхностном слое по материалам георадарной съемки. По данным КМПВ для профилей характерен наклон преломляющих границ в сторону хребта, что является одним из признаков надвиговой кинематики. На некоторых профилях отчётливо выделяется пилообразная форма поверхности преломляющего горизонта и свидетельствует о блоковой структуре деформированной неогеновой толщи.

Рис. 1. Синтезированная схема геофизических исследований по профилю 1.

Показательным является разрез канавы, вскрывшей уступ в зоне Керуленского разлома. На схеме (Рис. 2) представлен разрез южной стенки канавы. Канавой пройдены слоистые аллювиально-пролювиальные отложения, лежащие на перемещённом элювии, которые совместно деформированы полого наклонными (около 30°) сейсмогенными трещинами. В стратиграфической последовательности слоёв отражены этапы формирования уступа. В основании разреза чередуются перемещённые элювиальные образования двух видов (слои A1 и A2), состоящие из плотной песчано-дресвяно-мелкощебнистой массы.

Рис. 2. Схема документации канавы в зоне Керуленского разлома

Условные обозначения: 1 – современный почвенно-растительный слой; 2 – погребные почвенные слои, тёмно-коричневые и бурые супеси и суглинки; 3 – супеси, пески; 4 – дресва, гравий; 5 – дресва, гравий, мелкий щебень; 6 – щебень, мелкие глыбы; 7 – места отбора проб (на выносках: в числителе – лабораторный номер, в знаменателе – радиоуглеродный возраст); 8 – индексы слов и разломов; 9 – разрывные нарушения отчётливо (сплошная линия) и слабо (пунктирная линия) выделяющиеся в стенке канавы.

Границы между этими образованиями чёткие, линейные, представляющие собой плоскости смещения сейсмогенных подвижек, для которых характерно общее западное направление падения. Кровля элювия перекрыта щебнистым пролювием (слой *B1*). Форма изгиба контакта в некоторой степени передаётся вышележащим слоям, что свидетельствует о молодом возрасте складкоподобных форм и о горизонтальном сжатии, как основном источнике механизма деформаций, вскрытых канавой. Основные маркирующие горизонты – два слоя щебёнки (*B1* и *B2*) и «жёлтый» дресвяно-песчано-щебнистый слой (*E*) – прослеживаются вдоль всего разреза канавы. Наличие непротяжённых слоёв и прослоев обусловлено особенностью осадконакопления и сноса. В разрезе отсутствуют коллювиальные клинья, формирование которых невозможно без возникновения свободной поверхности при росте уступа. По характеру залегания слоёв их видимый флексурообразный изгиб является основным проявлением сейсмогенной деформации. Изгибовые деформации сопровождались образованием полого наклонных трещин в осадочной толще, заключённой между нижним и верхним слоями щебня. Раскрытие этих трещин,

проявившееся для наиболее плотных слоёв, может свидетельствовать о косом сжатии по отношению к простиранию трещин и наличии сдвиговой компоненты. Некоторые трещины развиты лишь в пределах осадочных слоёв, другие прослеживаются и в элювии, и имеют унаследованную природу.

Сейсмотектоническая активизация последнего этапа отражена в деформациях осадочной толщи, перекрывающей элювиальные образования. Эти деформации представлены в виде трещин, в том числе и трещин раскрытия, а также в виде волнообразной формы поверхности на границе раздела слоёв. Волновым деформациям последнего этапа также подвержены элювиальные отложения. Трещины деформируют всю толщу осадков, за исключением современного почвенно-растительного слоя.

Из представленного разреза можно сделать вывод о двух этапах сейсмотектонической активизации, разделённых процессами нивелировки сейсмогенных форм рельефа, сформированных на раннем этапе. О тектонических подвижках раннего этапа свидетельствуют деформации в элювиальной толще, представленные трещинами с наклоном сместителя от первых градусов до $30\text{--}40^\circ$ и общим для всех азимутом падения около 310° . Видимая амплитуда смещения по отдельным разрывам превышает 1.5 метра. Деформации выполнены в виде пластинчатых (чешуйчатых) надвигов.

Деформации в пределах Гунжинского разлома имеют явные признаки правостороннего латерального смещения, суммарная амплитуда которого по Z-образному изгибу бровки цокольной террасы в левом борту р. Ундулун, составляет 25 м. В канаве, вскрывшей Гунжинский разлом, установлены трещины отрыва с амплитудой около 1 м. Закономерным образом расположенные валы сжатия и трещины растяжения, подтверждённые геофизикой и результатами вскрытия деформаций, также свидетельствуют о правосторонней подвижке. Гунжинский разлом хоть и наследует зону древнего контакта, как и разломы Хустайский и Верхнекеруленский, однако в отличие от них, новейший этап его активизации начался значительно позже – в период

закрытия Тольской и Керуленской впадин, когда интенсивное осадконакопление в мезозое сменилось в кайнозойское время образованием в бортах впадин взбросо-надвигов. О «молодости» Гунжинского разлома свидетельствует его индеферентность к макроформам современного рельефа.

Для определения абсолютного возраста палеособытий на территории Южного Хэнтэя из шести канав трёх палеосейсмогенных структур было отобрано и датировано по 14С 18 проб (Рис. 3). В большинстве случаев, это гумусированные супеси или суглинки от светло-коричневого до тёмно-бурых цветов. В разрезах канав Гунжинского и Хустайского разломов [Имаев и др., 2012; Смекалин и др., 2013] нами устанавливались следы как минимум двух разрывообразующих события, получить абсолютный возраст радиоуглеродным методом нам удавалось лишь для самых последних событий. В случае с дислокациями Верхнекеруленской структуры абсолютным возрастом обеспечены два последних события по результатам датирования радиоуглеродным методом четырёх проб.

По результатам морфометрических исследований, тренчинга, геофизических работ и радиоуглеродного датирования Хустайской, Гунжинской и Верхнекеруленской дислокаций были получены следующие результаты. Протяжённость сейсмогенного вскрытия зон разломов для названных дислокации составляют 100, 20 и 100 км соответственно (на основе данных дистанционных методов). Амплитуды разовых вертикальных смещений, установленные по морфометрии и тренчингу составляют 2.5 м, менее 1 м и 1.3 м соответственно. Суммарная амплитуда правостороннего латерального смещения в зоне Гунжинского разлома составляет 25 м. На основе вновь полученных материалов по кинематике деформаций исходя из эмпирической зависимости для взбросо-сдвигов активизированных платформ [Чипизубов, 1988] рассчитаны значения M_{max} , которые составили 7.4 для Хустайского, 7.0 для Гунжинского и 7.1 для Керуленского сейсмогенерирующих разломов.

Рис. 3. Схема корреляции календарных (калиброванных) возрастов Южного Хэнтэя

Прямоугольные области с диагональной штриховкой – интервальный возраст палеоземлетрясений. В двух правых колонках серые прямоугольники со стрелками отражают положение калиброванных радиоуглеродных датировок на временной шкале. Высота прямоугольников определяет вероятный интервал формирования почвенного слоя. Стрелка вверх означает, что данная проба отобрана из слоя, деформированного при землетрясении. Стрелка вниз – проба отобрана из слоя, перекрывающего сейсмогенные осадки.

Список литературы

1. Демберел С., Батарсурэн Г., Имаев В.С., Стром А.Л., Смекалин О.П., Чипизубов А.В., Гриб Н.Н., Сясько А.А., Качаев А.В. Палеосейсмогенные деформации в окрестностях Улан-Батора по геологическим и геофизическим данным // Вопросы инженерной сейсмологии – 2010. – Т. 37, № 3. – С. 45–54.
2. Имаев В.С., Смекалин О.П., Стром А.Л., Чипизубов А.В., Сясько А.А. Оценка сейсмической опасности г. Улан-Батор (Монгольская Народная Республика) по результатам сейсмогеологических исследований // Геология и геофизика. – 2012. – Т. 53, № 9. – С. 1182–1193.
3. Металлогенический анализ в областях активизации. Отв. ред. Е.Т. Шаталов. Наука, 1977. 176 с.
4. Смекалин О.П., Имаев В.С., Чипизубов А.В. Палеосейсмологические исследования в зоне Хустайского разлома (Северная Монголия) // Геология и геофизика. – 2013. – Т.54, № 7. – С. 940–951.
5. 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.
6. Ferry M., Schlupp A., Ulzibat M., Munschy M., Fleury S., Baatarsuren G., Erdenezula D., Munkhsaikhan A., Ankhtsetseg D. Tectonic morphology of the Hustai fault (Northern Mongolia): A source of seismic hazard for the city of Ulaanbaatar // Geophysical Research Abstracts. 2010. V. 12. EGU 2010-11122.