

**К. Ж. СЕМИНСКИЙ<sup>1</sup>, С. ДЭМБЭРЭЛ<sup>2</sup>, А. А. БОБРОВ<sup>3</sup>, Д. МУНГУНСУРЕН<sup>2</sup>,  
С. А. БОРНЯКОВ<sup>1</sup>, Е. Х. ТУРУТАНОВ<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Иркутский научный центр СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, seminsky@crust.irk.ru, bornyak@crust.irk.ru

<sup>2</sup> Институт астрономии и геофизики МАН, 210351, Улан-Батор, Баянзүрх дүүрэг, Маахуур толгой, 5-р хороо, ШУА-ийн 7-р байр, Монголия, demberel@iag.ac.mn

<sup>3</sup> Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 134, Россия, alexbob@crust.irk.ru

### **СТИЛЬ СОВРЕМЕННОГО РАЗЛОМООБРАЗОВАНИЯ В ОКРЕСТНОСТЯХ Г. УЛАН-БАТОРА (МОНГОЛИЯ)**

*На примере окрестностей г. Улан-Батора (Монголия) рассматривается разломная структура земной коры, являющаяся составной частью географической оболочки Земли. Целью исследования было установление положения разломных зон и характера их активности на современном этапе тектогенеза. Проанализировано поле эпицентров землетрясений, произошедших в пределах изучаемой территории в период 2000–2014 гг., а также поле объемной активности почвенного радона, формирующееся в окрестностях разломов, отчетливо выраженных в рельефе. В результате исследования установлена взаимосвязь сейсмической и радоновой активности, что послужило основой для выделения в окрестностях Улан-Батора сети из 13 активных разломных зон. Они образуют четыре системы, которые в целом наследуют разломную сеть новейшего возраста, но при детальном рассмотрении различаются степенью унаследованности. Северо-западные и юго-восточные зоны развиваются по новейшим разломам, а широтные и меридиональные зоны, как правило, пересекают их. Кроме того, разломные зоны ортогональной сети лучше других выделяются цепочками максимумов в эпицентральной поле. Это позволило предположить формирование их как сдвигов в сопряженных плоскостях действия скальвающих напряжений. Таким образом, для района исследований реконструируется современное поле напряжений сдвига с ориентировкой оси сжатия в направлении ЮЗ–СВ, а оси растяжения в направлении ЮВ–СЗ. Это поле является отдаленным результатом Индо-Азиатской коллизии и имеет место в регионах, располагающихся юго-западнее Улан-Батора. Стиль разломообразования, характеристике которого посвящена статья, имеет принципиальное значение для оценки сейсмической опасности столицы Монголии, где проживает более трети населения страны.*

Ключевые слова: разлом, сейсмическая зона, поле напряжений, землетрясение, радон.

**K. ZH. SEMINSKY<sup>1</sup>, S. DEMBEREL<sup>2</sup>, A. A. BOBROV<sup>3</sup>, D. MUNGUNSUREN<sup>2</sup>,  
S. A. BORNYAKOV<sup>1</sup>, AND E. H. TURUTANOV<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Irkutsk Scientific Center SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 134, Russia, seminsky@crust.irk.ru, bornyak@crust.irk.ru

<sup>2</sup> Institute of Astronomy and Geophysics MAS, 210351, Ulaanbaatar, Bayanzurh duureg, Maahuur tolgoi, 5-r horoo, SHUA-iyin 7-r bair, Mongolia, demberel@iag.ac.mn

<sup>3</sup> Institute of the Earth's Crust SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia, alexbob@crust.irk.ru

### **THE STYLE OF RECENT FAULTING IN THE VICINITY OF ULAANBAATAR (MONGOLIA)**

*The faulted structure of the crust, one of the components of the Earth's geographical environment, has been studied in the vicinity of Ulaanbaatar, Mongolia. The study resulted in defining the positions of fault zones and nature of their activity at the recent stage of tectogenesis. The field of epicenters of earthquake events occurred in the area in the period from 2000 to 2014 was analyzed, along with the soil radon activity field forming near the faults distinctly featured in the relief. It is established that seismic activity and radon activity are closely related. Based on this conclusion, a network of 13 active fault zones was discriminated in the vicinity of Ulaanbaatar. They are divided into four systems that have generally inherited the neotectonic faults network, however, they differ in details of the inheritance. The NW and SE-trending fault zones develop along to the youngest faults, while the latitudinal and meridional zones are generally located across such faults. The fault zones of the orthogonal network*

© 2016 Семинский К. Ж., Дэмбэрэл С., Бобров А. А., Мунгунсурен Д., Борняков С. А., Турутанов Е. Х.

are markedly distinguished by chains of maximums in the field of earthquake epicenters. This suggest strike-slip faulting in the conjugated planes of shear stresses. Reconstructions for the study area show the recent field of shear stresses with the SW–NE-oriented compression axis and the SE–NW-oriented extension axis. This field is a remote result of the Indo-Asian collision and typical of the regions located southwest of Ulaanbaatar. In this paper, the faulting style is characterized as a principal factor that must be taken into account in the assessment of seismic hazard facing the capital of Mongolia which population is over a third of the country's total population.

Keywords: fault, seismic zone, stress field, earthquake, radon.

### ВВЕДЕНИЕ

Столица Монголии располагается в регионе, который в геодинамическом отношении является переходным от области проявления сильнейших исторических землетрясений (Могодское, Гоби-Алтайское и др.), располагающейся на западе, к восточным районам, характеризующимся слабой сейсмической активностью. Вместе с тем в последнее время в окрестностях г. Улан-Батора зафиксировано увеличение количества сейсмических событий [1]. Это слабые землетрясения ( $M = 0,5-4,5$ ), но сосредоточенность их эпицентров в пределах линейно вытянутых полос свидетельствует об активизации разломной структуры земной коры. Как следствие, выявление стиля современного разломообразования в регионе, где проживает более трети населения Монголии, представляет актуальную задачу, решению которой посвящено данное исследование.

Работами предшественников на рассматриваемой территории были выявлены палеосейсмодислокации и установлены динамические обстановки их формирования, соответствующие активным подвижкам по разломам в недалеком прошлом [1–5]. В настоящей работе анализируются распределение эпицентров землетрясений и поле эманаций радона в окрестностях Улан-Батора. Это позволяет установить стиль современной деструкции верхней части коры для региона, который в Монголии представляет территорию интенсивного природопользования.

### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Карта распределения плотности эпицентров землетрясений в изолиниях (рис. 1, А) была построена на основе каталога сейсмических событий, зафиксированных сетью станций Института астроно-

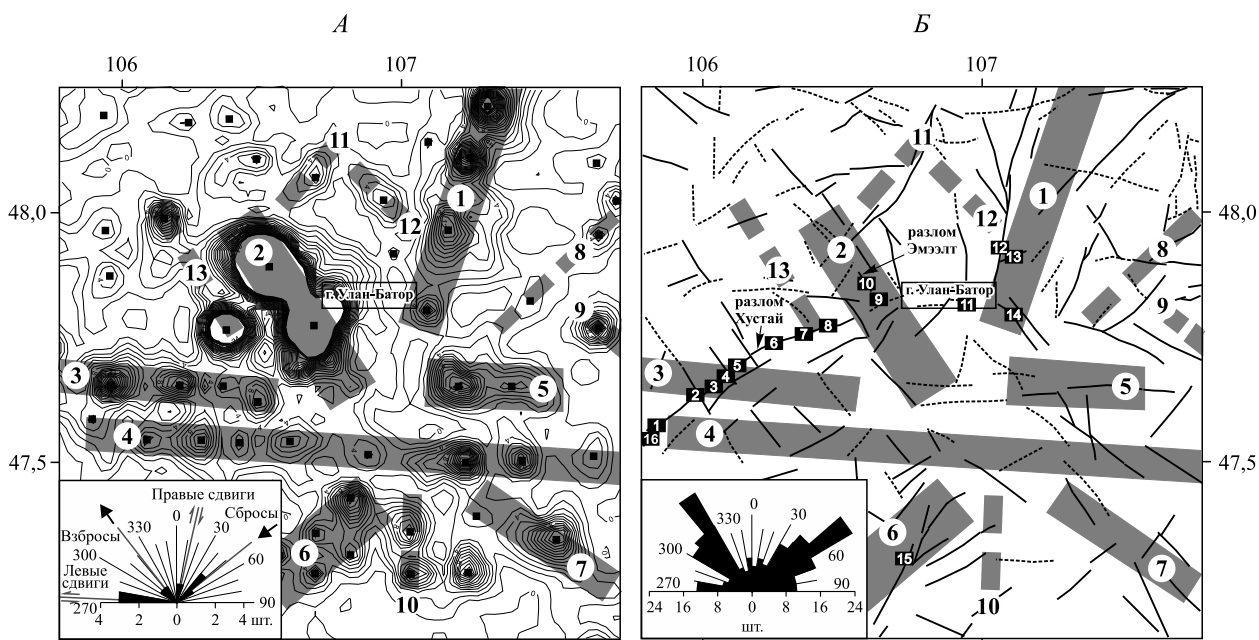


Рис. 1. Карта плотности эпицентров землетрясений ( $M = 0,5-4,5$ ) как основа для выделения активных разломных зон в окрестностях г. Улан-Батора (А) и схема новейших разломов (Б).

На врезках — розы-диаграммы разломных структур и их морфогенетические типы для поля напряжений 1-го порядка, обозначенного двусторонними стрелками (см. А). Черные прямоугольники с номерами — участки радионовой съемки.

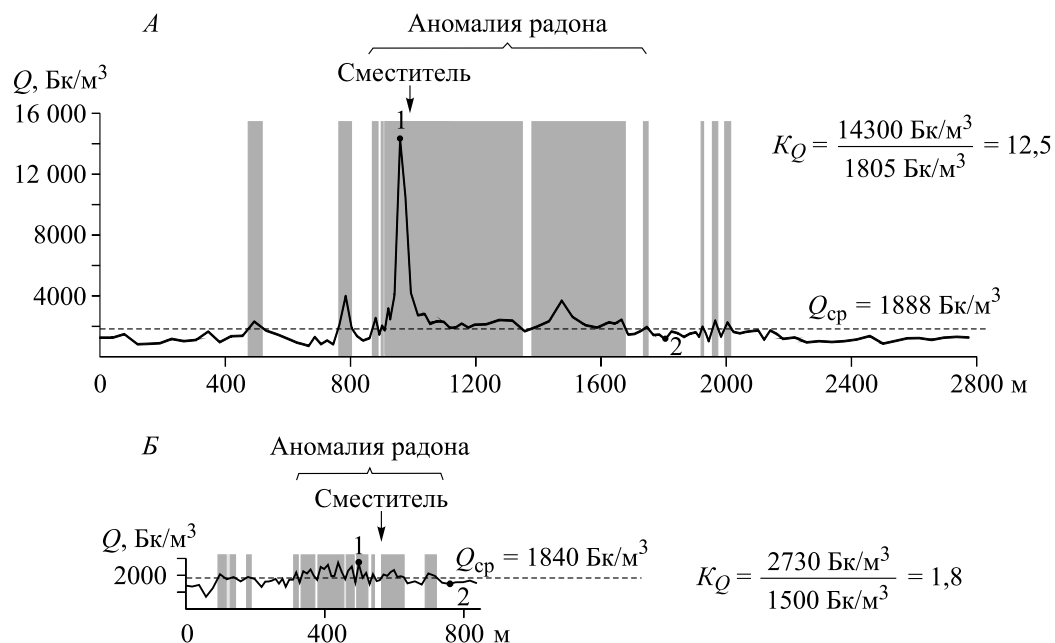


Рис. 2. Результаты исследований радоновой активности зоны Хустайского разлома на участках № 5 (А) и № 16 (Б).

Справа формула — расчет показателя радоновой активности разлома ( $K_Q$ ) как отношения величин объемной активности радона ( $Q$ ), представляющих главный максимум в приразломной аномалии и минимум за ее границей (точки 1 и 2 на графике).

мии и геофизики МАН в районе исследований за период 2000–2014 гг. Схема новейших разломов (рис. 1, Б) составлялась путем выделения линейментов на трехмерной модели рельефа [6] в соответствии с известными методическими приемами [7, 8]. Характер радоновой активности разломов был установлен по результатам проведения профильной emanационной съемки (рис. 2), методика которой описывалась ранее [6, 9]. При этом для каждого из 16 сделанных пересечений определялись интенсивность ( $Q$ ) и контрастность ( $K_Q$ ) аномалии радона, связанной с современной геодинамической активностью разлома.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Стиль современного разломообразования в окрестностях Улан-Батора отчетливо отражен на карте распределения эпицентров землетрясений (см. рис. 1, А). Распределение имеет упорядоченный вид: подавляющее большинство крупных максимумов плотности сейсмических событий, центры которых обозначены черными точками, группируется в линейно вытянутые зоны, характеризующиеся системным расположением в плане. На изученной территории с разной степенью достоверности выделяется 13 таких разломных структур. Анализ ориентировок разломных зон (см. розу-диаграмму) свидетельствует, что их сеть представлена четырьмя системами: субширотной (3, 4, 5), северо-западной (2, 7, 9, 12, 13), субмеридиональной (1, 10) и северо-восточной (6, 8, 11).

Дизъюнктивная природа выделенных сейсмоактивных структур подтверждается при их сопоставлении с сетью разрывов, выраженных уступами в рельефе (см. рис. 1, Б). Как следует из сравнения роз-диаграмм на рис. 1, главные направления сейсмоструктур, хотя и в разной степени, но унаследованы от систем новейших разломов. В то же время детальный анализ унаследованности выделенных зон не позволяет каждой из них поставить в соответствие разлом новейшего возраста (см. рис. 1, Б). Так, структуры 3, 4 и 10 пересекают такие разрывы, а для зон 1, 9, 11 и 12 соответствующие по ориентировке новейшие разломы находятся рядом с их границами.

Представленный характер унаследованности сейсмоактивных разломных зон от дизъюнктивов новейшего возраста подтверждается данными профильной emanационной съемки. Так, радоновая активность разломов, изученных в пределах наиболее важных для дальнейшего анализа зон 1 и 3 (см. рис. 1, А), достигает сверхвысокой степени  $K_Q > 10$  в пунктах № 3, 5, 14 (см. рис. 2, А). При этом в

пунктах № 1, 6, 16, располагающихся на разломе Хустай за границами участка повышенной плотности землетрясений, значения  $K_Q$  резко снижаются, достигая минимальной величины 1,8 (см. рис. 2, Б). Следовательно, этот долгоживущий дизъюнктив в последнее десятилетие полноценно не формируется: динамично развиваются лишь его фрагменты, располагающиеся в местах пересечения со структурами современной активности и прежде всего субширотной зоной 3. Эта и субпараллельная ей зона 4 развиваются за счет подвижек по разломам различных направлений, попавших в границы описываемых зон (см. рис. 1).

Таким образом, современное напряженное состояние является достаточно сильным, поскольку при отсутствии в земной коре благоприятно ориентированных разломов оно реализуется путем развития новых крупных дизъюнктивных зон. Это позволяет, используя ориентацию их систем, установить тип поля напряжений, в котором формируется разломная структура изучаемого района на современном этапе тектогенеза.

Пространственные взаимоотношения зон современной активности на изученной территории свидетельствуют об их формировании в поле напряжений сдвига с ориентировкой оси сжатия в направлении ЮЗ–СВ, а оси растяжения — ЮВ–СЗ (см. рис. 1). Оси напряжений восстановлены как биссектрисы двугранных углов между системами разломов субширотного и субмеридионального простираний, которые в соответствии с косвенными признаками являются парой сопряженных сдвигов (см. розу-диаграмму). Так, их наиболее крупные представители (1, 3 и 4) лучше других выделяются цепочками максимумов в эпицентральной поле и практически не наследуют сеть уже существующих разломов, т. е. формируются в плоскостях действия скальвающих напряжений.

Северо-западные и северо-восточные дизъюнктивы в рассматриваемой региональной обстановке сдвига являются непротяженными взбросами и сбросами, которые формируются в полях сжатия и растяжения 2-го порядка. Особенно ярко это проявляется в северо-западном квадранте узла сочленения зон 1 и 3 (см. рис. 1, Б), где в последние годы землетрясения происходят наиболее часто вследствие активизации древнего разлома Эмээлт (зона 2). Изолинии плотности в пределах данного участка не проведены (см. рис. 1, А), так как в противном случае это отразилось бы на схеме в виде крупного черного пятна. Высокая ( $K_Q = 5,6$ ), но непропорционально малая по сравнению с сейсмичностью радоновая активность этого разлома по отношению к установленной для сдвиговых зон 1 ( $K_Q = 14,3$  для участка № 14) и 3 ( $K_Q = 12,5$  для участка № 5) является косвенным подтверждением формирования зоны 2 в доминирующей обстановке сжатия, когда выход газа к поверхности существенно затруднен.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стиль современного разломообразования в земной коре окрестностей Улан-Батора определяется региональным полем напряжений сдвига с ориентацией оси сжатия в направлении ЮЗ–СВ, а оси растяжения — ЮВ–СЗ. В этом поле напряжений, характерном и для некоторых смежных регионов [10], получает развитие сеть из четырех направлений разломных зон. Субширотные левые и субмеридиональные правые сдвиги, как правило, пересекают древние разрывы, вызывая их фрагментарную активизацию. Разломные зоны северо-западной и северо-восточной систем, наоборот, наследуют сеть разломов новейшего возраста и интенсивно развиваются во вторичных обстановках сжатия или растяжения земной коры. Установленный характер разрывообразования имеет принципиальное значение для оценки сейсмической опасности густонаселенной столицы Монголии.

Авторы благодарны кандидатам геол.-мин. наук В. А. Санькову и А. И. Мирошниченко за полезные советы, высказанные в ходе обсуждения полученных результатов.

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

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Dujardin J., Bano M., Schlupp A., Ferry M., Ulziibat M., Nyambayar T., Bayarsaikhan E. GPR measurements to assess the Emeelt active fault's characteristics in a highly smooth topographic context, Mongolia // Geophys. Intern. Journ. — 2014. — Vol. 198 (1). — P. 174–186. — doi: 10.1093/gji/ggu130.

2. Дэмбэрэл С., Имаев В. С., Рогожин Е. А., Смекалин О. П., Улзийбат М., Чипизубов А. В. Спектры ускорений колебаний, возбуждаемых землетрясениями юго-западного фланга Байкальской рифтовой зоны // *Вопросы инженерной сейсмологии*. — 2013. — Т. 40, № 1. — С. 19–32.
3. 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. — № 9. — С. 1182–1193.
4. Смекалин О. П., Имаев В. С., Чипизубов А. В. Палеосейсмологические исследования в зоне Хустайского разлома (Северная Монголия) // *Геология и геофизика*. — 2013. — № 7. — С. 940–951.
5. Ferry M., Schlupp A., Ulzibat M., Munsch 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 // *Geophys. Res. Abstr.* — 2010. — Vol. 12. — EGU 2010-11122.
6. Seminsky K. Zh., Demberel S. The first estimations of soil-radon activity near faults in Central Mongolia // *Radiation Measurements*. — 2013. — Vol. 49. — P. 19–34.
7. Ранцман Е. Я. Места землетрясений и морфоструктура горных стран. — М.: Наука, 1979. — 171 с.
8. Семинский К. Ж., Кожевников Н. О., Черемных А. В., Поспеева Е. В., Бобров А. А., Оленченко В. В., Тугарина М. А., Потапов В. В., Зарипов Р. М., Черемных А. С. Межблоковые зоны в земной коре юга Восточной Сибири: тектонофизическая интерпретация геолого-геофизических данных // *Геодинамика и тектонофизика*. — 2013. — Т. 4, № 3. — С. 203–278.
9. Семинский К. Ж., Дэмбэрэл С., Тугарина М. А., Ганзориг Д., Борняков С. А. Первые оценки объемной активности почвенного радона в разломных зонах Центральной Монголии // *Докл. РАН*. — 2012. — Т. 447, № 2. — С. 199–203.
10. Саньков В. А., Парфеев А. В., Лухнев А. В., Мирошниченко А. И., Ашурков С. В. Позднекайнозойская геодинамика и механическая сопряженность деформаций земной коры и верхней мантии Монголо-Сибирской подвижной области // *Геотектоника*. — 2011. — № 5. — С. 52–70.

*Поступила в редакцию 20 октября 2016 г.*