

УДК 551.243+550.835.24

СООТНОШЕНИЕ РАДОНОВОЙ И ТЕКТОНИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ РАЗЛОМОВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

К. Ж. Семинский^{1,*}, А. А. Бобров¹, С. Дэмбэрэл (S. Demberel)²

Представлено академиком РАН Ю.М. Пушаровским 28.08.2017 г.

Поступило 29.12.2017 г.

На примере двух геодинамически активных регионов Центральной Монголии показана связь радоновой и тектонической активности разломов и установлено, как её отдельные характеристики влияют на поле радона. Радоновая активность разломов в целом повышается с увеличением вклада растяжения в динамической обстановке их формирования, усилением сейсмической активности, а также у сосредоточенных дизъюнктивов поздних стадий развития по сравнению с широкими зонами разрывов ранних этапов формирования внутренней структуры. Использование выявленных закономерностей будет способствовать повышению эффективности применения эманационной съёмки в исследованиях сейсмической опасности разломов земной коры.

Ключевые слова: разломы, почвенный радон, тектоническая активность.

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869-56524875538-542>

ВВЕДЕНИЕ

Проблема взаимосвязи радоновой и тектонической активности разломов — одна из наиболее сложных в геодинамике вследствие повышенной чувствительности газовых эманаций к разнотипным внешним и внутренним по отношению к Земле воздействиям. Вместе с тем для тектонически активных регионов в стандартных по содержанию урана геохимических обстановках вклад внутренних деформирующих сил в формирование поля радона доминирует, так как именно они определяют динамику напряжённого состояния верхней коры, которая обуславливает выход радиоактивного газа в атмосферу [1, 5, 9, 10 и др.]. Это, учитывая практическую значимость оценки тектонической активности и сейсмической опасности разломов, является одной из главных причин увеличения в последние годы количества публикаций, посвящённых радоновой активности разрывов и взаимосвязям газовых эманаций с сейсмичностью.

Целью данной статьи является рассмотрение взаимосвязи радоновой и тектонической активности разломов на примере двух регионов Центральной Монголии. Это район сильного Могодского землетрясения ($M = 7,8$; 05.01.1967 г.), а также окрестности Улаанбаатара, где в последние годы возросла сейс-

мическая активность. В отличие от предыдущих исследований [9], в работе анализируется влияние на радоновые эманации основных характеристик разлома, прямо или косвенно отражающих его тектоническую активность. Ими являются динамическая обстановка формирования разлома (сжатие, сдвиг и др.), его ранг, состояние внутренней структуры, а также сейсмическая активность, которая при отсутствии данных о скоростях перемещений является в первом приближении отражением интенсивности современных подвижек.

Объектами исследования были выбраны 10 разрывных нарушений (рис. 1А), пять из которых представлены разломами Улаанбаатарской площади (Скай, Шерхай, Авдар, Гунжин, Эмээлт) и пять — прямолинейными сегментами крупных дизъюнктивов, которые были выделены для изучения в качестве отдельных структур в связи с различием простирания и/или динамической обстановки формирования. В окрестностях монгольской столицы это разноориентированные сегменты Хустайского разлома (1, 2 и 3), а на Могодской площади — меридиональная сдвиговая (Могод) и северо-западная взбросовая (Тулэт) ветви сейсморазрыва, образовавшегося в 1967 г.

Динамические обстановки формирования изученных разрывов были определены предшественниками [4, 6, 7]. Ранговая принадлежность оценивалась по общей протяжённости уступов рельефа (рис. 1А) или дислокаций почвенного слоя, образовавшихся в результате перемещений по разлому.

¹ Институт земной коры Сибирского отделения Российской Академии наук, Иркутск

² Институт астрономии и геофизики Академии наук Монголии, Улан-Батор, Монголия

*E-mail: seminsky@crust.irk.ru

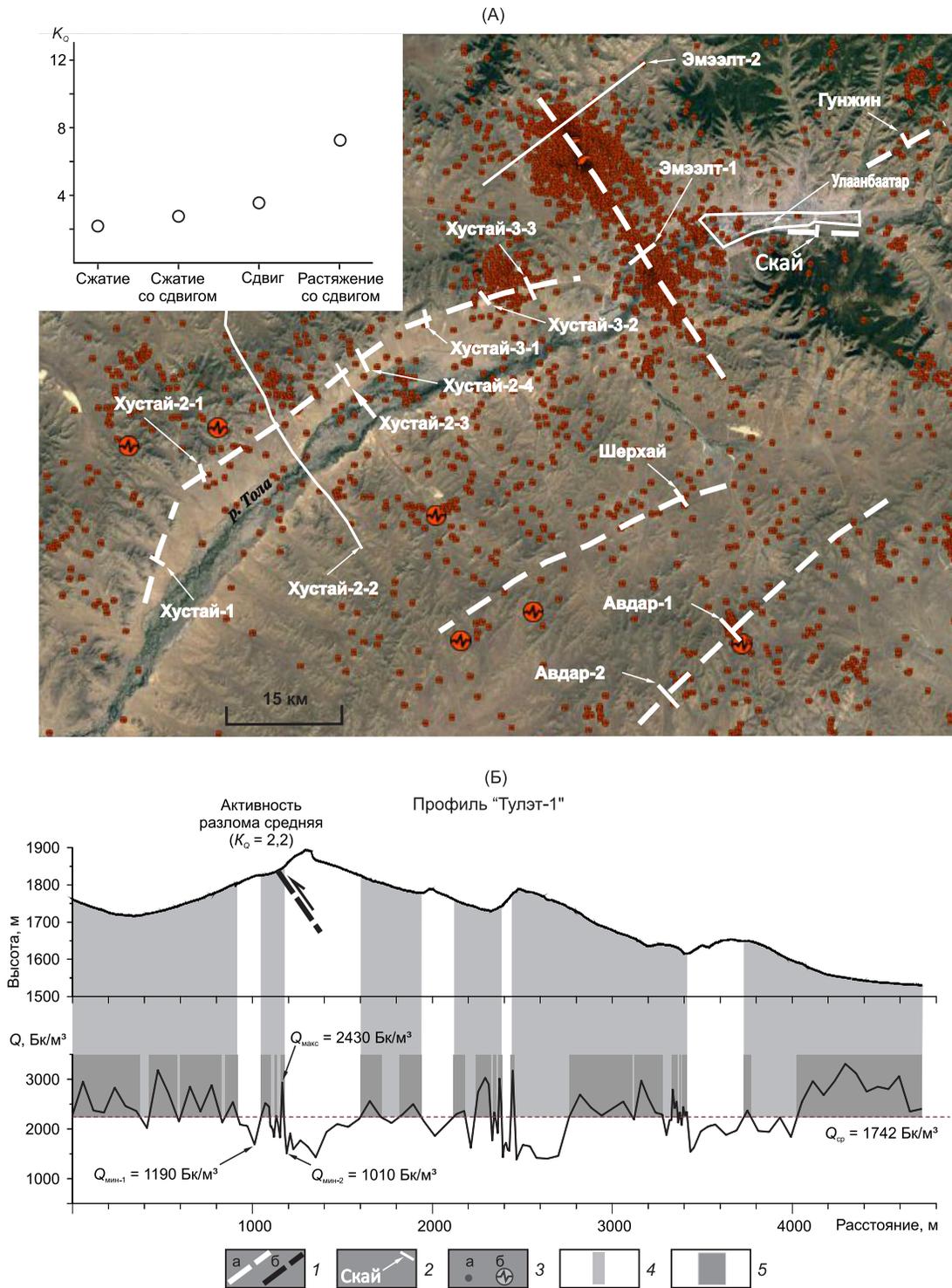


Рис. 1. Схема расположения профилей emanационной съёмки в окрестностях Улаанбаатара (А) и результаты emanационной съёмки на примере одного из профилей в пределах Могодской площади (Б). А — расположение эпицентров землетрясений (2000–2014 гг.), главных разломов и emanационных профилей на космоснимке. На врезке — диаграмма, иллюстрирующая влияние динамической обстановки формирования разлома на показатель его радоновой активности K_0 . Б — вариации абсолютных отметок рельефа (вверху) и объёмной активности почвенного радона Q (внизу) вдоль профиля “Тулэт-1”, пересекающего главный сместитель взбросовой ветви сейсморазрыва, образовавшегося в 1967 г. при Могодском землетрясении ($M = 7,8$). 1 — разломы на схеме (А) и профиле (Б); 2 — положение и названия профилей; 3 — эпицентры землетрясений с магнитудой, меньшей (а) и большей (б) трёх; 4 — приразломные аномалии радона; 5 — участки профиля с аномальными значениями концентрации почвенного радона ($Q > Q_{cp}$). Q_{max} , Q_{min-1} и Q_{min-2} — параметры радоновой аномалии, используемые при вычислении K_0 для сейсморазрыва Тулэт-1.

В целом изученные объекты делятся на две группы, причём протяжённость разломов второго ранга (≈ 40 км) в два раза больше длины нарушений первого ранга (≈ 20 км). Сейсмическая активность разрывов оценивалась по распределению эпицентров землетрясений (рис. 1А), которые в период проведения эманационных исследований были слабыми ($M = 0,5-4,5$) и сопровождали формирование всех изученных объектов за исключением разломов Скай и Хустай-1.

Методика исследований подробно изложена в статье [9]. Для оценки радоновой активности изучаемых объектов проводилась эманационная съёмка, которая заключалась в измерении объёмной активности почвенного радона (Q , Бк/м³) в отдельных точках профилей, пересекающих каждый из разломов (рис. 1А). По результатам замеров для каждого разлома определялся относительный показатель их радоновой активности (K_Q):

$$K_Q = Q_{\max}/Q_{\min},$$

где Q_{\max} — интенсивность приразломной аномалии, а Q_{\min} — минимальная величина Q непосредственно за её пределами ($Q_{\min} = (Q_{\min-1} + Q_{\min-2})/2$) (рис. 1Б).

K_Q меньше, чем абсолютная величина Q_{\max} , зависит от метеоусловий и радиоактивности пород, а определяется главным образом строением зоны разлома и степенью его тектонической активности. По величине K_Q выделяются разрывы сверхвысокой ($K_Q > 10$), высокой ($10 \geq K_Q > 5$), повышенной ($5 \geq K_Q > 3$), средней ($3 \geq K_Q > 2$) и низкой ($K_Q \leq 2$) радоновой активности [9].

Кроме контрастности (K_Q) и интенсивности (Q_{\max}) для каждой приразломной аномалии определялась ширина (H). При этом аномальными считались значения $Q > Q_{\text{ср}}$, где $Q_{\text{ср}}$ — среднее арифметическое всех величин, измеренных на профиле (рис. 1Б). Небольшие отрезки профиля с $Q < Q_{\text{ср}}$ включались в границы аномалии при условии, что они располагались между двумя аномальными доменами и были меньше хотя бы одного из них по размеру.

Анализ результатов эманационной съёмки базируется на изучении перечисленных характеристик, полученных для каждого разлома (в случае нескольких пересечений показатели усреднялись).

Ширина приразломных аномалий радона у разрывов разного ранга изменяется в пределах 80–1625 м, а интенсивность приразломных аномалий Q_{\max} 2525–9298 Бк/м³. Показатель K_Q изменяется от 1,9 до 7,6 и позволяет отнести изученные разломы к четырём группам, характеризующимся высокой

(Хустай-2, Скай), повышенной (Хустай-3, Шерхай, Авдар, Гунжин), средней (Эмээлт, Могод, Тулэт) и низкой (Хустай-1) радоновой активностью.

Динамическая обстановка формирования разлома оказывает существенное влияние на его радоновую активность, которая увеличивается в ряду: сжатие — сжатие со сдвигом — сдвиг — растяжение со сдвигом (см. врезку на рис. 1А), т.е. с увеличением вклада растяжения, когда возрастает степень раскрытия пор и трещин, по которым газы мигрируют к поверхности [5, 8].

Ранговая принадлежность разлома заметно влияет на размер связанной с ним радоновой аномалии. Параметр H варьируется у разрывов одного ранга в достаточно широких пределах. Однако его средние значения вслед за длиной разлома увеличиваются в 2 раза и составляют для дизъюнктивов первого ранга 431 м и разрывов второго ранга 825 м. С увеличением ранга разлома и, следовательно, ширины радоновой аномалии её контрастность, судя по средним значениям, остаётся на одном уровне ($K_Q = 3,8-3,9$). Более того, в пределах выборки из сдвигов, где исключается влияние динамической обстановки, имеет место не только уменьшение K_Q (ранг 1 — 4,4; ранг 2 — 3), но и падение интенсивности аномалий Q_{\max} (ранг 1 — 5080 Бк/м³; ранг 2 — 4251 Бк/м³).

Установленная тенденция находится в определённом противоречии с известными данными о более низкой тектонической (а значит, и радоновой) активности мелких разломов по отношению к крупным, так как последние способны к реализации перемещений большей амплитуды. Объяснение полученного результата на данном этапе исследований может быть связано с различием строения разломных зон, которые в первом приближении могут быть представлены либо широкой полосой развития множества мелких разрывов (ранние стадии разломообразования), либо узкой полосой тектонитов магистрального сместителя (поздние стадии разломообразования). У широких рассредоточенных разломов первого типа существенная часть амплитуды реализуется за счёт пластической деформации, тогда как у вторых — это перемещение по разлому [2]. Как следствие, K_Q и Q_{\max} при прочих равных условиях выше у рассредоточенных разломов поздней стадии развития (Скай, Хустай-1, Гунжин и др.), чем у рассредоточенных дизъюнктивов ранних стадий формирования (Хустай-2, Шерхай, Авдар и др.). Косвенно это подтверждается отсутствием сейсмической активности (крип) или её сосредоточением непосредственно у сместителя в первом слу-

чае и рассеянным характером распределения эпицентров землетрясений — во втором (рис. 1А).

Рассмотренное выше влияние на радоновую активность разломов их ранга, динамической обстановки формирования и состояния внутренней структуры отражает воздействие на эманационное поле тектонической активности, однако наиболее важной её составляющей является интенсивность движений, которая здесь косвенно оценивалась по пространственно-временным проявлениям сейсмичности вблизи объектов исследования. В пространственном отношении проведённый анализ подтвердил закономерность, установленную ранее [3]: сейсмоактивные сегменты разлома характеризуются более высокими значениями параметров эманационной аномалии, чем асейсмичные. В рамках временного аспекта установлено, с одной стороны, снижение в 3 раза интенсивности аномалии на разломе Эмээлт в 2011 г. по сравнению с 2010 г., а с другой — подобное уменьшение количества землетрясений (2010 г. — 201, 2011 г. — 542 события).

Соответствие сейсмического режима разлома характеру его радоновой активности устанавливается на примере сейсморазрыва, образовавшегося при Могодском землетрясении и характеризующегося средней радоновой активностью. На примере профиля “Тулэт-1” видно (рис. 1Б), что сейсморазрыву соответствует меньшая из выделяющихся аномалий, а крупные и более интенсивные аномалии имеют место в пониженных формах рельефа. Это объясняется концентрацией активности после сильного землетрясения на смежных разрывных структурах, отчётливо выраженных в рельефе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый на примере Улаанбаатарской и Могодской площадей анализ пространственно-временных проявлений сейсмической и радоновой активности разрывов в целом свидетельствует об их тесной взаимосвязи. Это в совокупности с влиянием ранга, строения и динамической обстановки формирова-

ния разломных зон на концентрацию радона в почве позволяет сделать вывод, что в геодинамически активных районах Центральной Монголии эманационная активность разломов в интегральном виде отражает их тектоническую активность. Однако, если оценивать такой важный в практическом отношении элемент тектонической активности разрывов, как интенсивность перемещений, то её прямая связь с интенсивностью или контрастностью приразломной аномалии радона осложнена влиянием других составляющих тектонической активности. Так, при прочих равных условиях большие значения показателя K_Q характерны для сбросов и сдвигов в сравнении с взбросами (надвигами), для более крупных разрывов по отношению к мелким и наконец для сосредоточенных разломов поздних стадий развития по сравнению с широкими зонами разрывов, находящихся на ранних этапах формирования внутренней структуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Далатказин Т.Ш., Коновалова Ю.П., Ручкин В.И. // Литосфера. 2013. № 3. С. 146–150.
2. Саньков В.А., Семинский К.Ж. // Изв. вузов. Геология и разведка. 1988. № 4. С. 10–18.
3. Семинский К.Ж., Бобров А.А., Дэмбэрэл С. и др. // Изв. Сиб. отд-ния Секции наук о Земле РАЕН. 2014. № 6 (49). С. 68–81.
4. Семинский К.Ж., Дэмбэрэл С., Мунгунсурен Д. // ДАН. 2017. Т. 474. № 3. С. 336–341.
5. Уткин В.И., Юрков А.К. // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 2. С. 277–286.
6. Bano M., Tsend-Ayush N., Schlupp A., et al. // Proc. of the Int. Conf. on Astr. & Geophys. in Mongolia, 2017. Ulaanbaatar: Mongol Altay Printing, 2017. P. 137–142.
7. Bayasgalan A., Jackson J. // Geophys. J. Int. 1999. V. 138. P. 784–800.
8. Richon P. // Rad. Measur. 2010. V. 45. P. 211–218.
9. Seminsky K.Zh., Demberel S. // Rad. Meas. 2013. V. 49. P. 19–34.
10. Toutain J.-P., Baubron J.-C. // Tectonophysics. 1999. V. 304. P. 1–27.

RADON AND TECTONIC ACTIVITY OF THE FAULTS AT THE CENTRAL MONGOLIA

K. Z. Seminsky¹, A. A. Bobrov¹, S. Demberel²

¹*Institute of the Earth's Crust, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences,
Irkutsk, Russian Federation*

²*Institute of Astronomy and Geophysics of Mongolian Academy of Sciences,
Ulan-Bator, Mongolia*

Presented by Academician of the RAS Yu. M. Pushcharovskiy August 28, 2017

Received December 29, 2017

The relationship between the radon and tectonic activity of the faults for two geodynamically active regions of Central Mongolia is shown. Radon fault activity grew with increased seismic activity and with an increase in the contribution of extension in the dynamic framework of their formation. It is higher in concentrated faults of late stages of development compared with wide zones of fractures in the early stages of the formation. The established patterns will help increase the effectiveness of the use of radon surveys in studies of the seismic hazard of faults of the Earth's crust.

Keywords: faults, soil radon, tectonic activity.