

УДК 550.835.24 + 551.24

DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-76-85

К ВОПРОСУ О СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ И ПОЛЕ РАДОНА В ПРИОЛЬХОНЬЕ (ЗАПАДНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

© А.А. Бобров¹¹Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.

Мониторинговые исследования радоновой активности проводились в течение семи лет над разломными зонами, расположенными в центральной части Байкальского рифта (Приольхонье). Совместный анализ полученных радоновых и геолого-структурных данных подтвердил, что максимальные амплитуды вариаций объемной активности радона расположены в областях с наибольшей нарушенностью массива горных пород. Именно в этих «чувствительных» в плане эманаций точках зафиксированы самые большие концентрации абсолютных значений объемной активности радона по профилю. Для установления особенностей временных вариаций радона над разломными зонами Приольхонья, обусловленных современной геодинамической активностью региона, радоновые данные сравнивались с сейсмичностью региона. Анализ графиков распределения амплитуд вариаций объемной активности радона и логарифма суммарной сейсмической энергии показал, что по характеру реакции поля радона на сейсмичность «чувствительные» точки в разломных зонах можно разделить на три группы. В первую группу включена «чувствительная» точка, в которой характер вариаций графика поля радона из года в год практически идентичен графику изменения логарифма суммарной сейсмической энергии. Во вторую группу вошли точки, в которых характер поля радона имеет подобное распределение, но отличается от графика логарифма суммарной сейсмической энергии в отдельные годы. Третья группа точек характеризуется отсутствием связи радона с сейсмичностью. Наиболее благоприятным местом для расположения станций мониторинга радона являются участки разломных зон с высокой степенью нарушенности, которые находятся вблизи от наиболее крупных дизъюнктивов региона. В ходе проведенного исследования было установлено, что для территории Байкальского рифта на поле радона не влияют сейсмические события с $K \leq 14,3$ на расстояниях более 566 км от места мониторинга. При катастрофических землетрясениях, таких как Тохоку в 2011 году, расстояние, на котором могут фиксироваться изменения в характере вариаций поля радона, составляет более 3000 км.

Ключевые слова: разломные зоны, эманационная съемка, радон, сейсмичность.

Формат цитирования: Бобров А.А. В. К вопросу о сейсмической активности и поле радона в Приольхонье (Западное Прибайкалье) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 76–85. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-76-85.

TO SEISMIC ACTIVITY AND RADON FIELD IN PRIOLKHONIE (WESTERN BAIKAL REGION)

A.A. Bobrov

Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

Monitoring researches of radon activity have been conducted for seven years above the fault zones located in the central part of the Baikal Rift (Priolkhonie). Integrated analysis of the obtained radon, geological and structural data shows that maximal amplitudes of radon volumetric activity variations are located in the areas with the greatest disturbance of the rock massif. It is in these “sensitive” in terms of emanation points the largest concentrations of absolute values of radon volumetric activity in the profile have been recorded. To determine the features of radon temporal variations over the Priolkhonie fault zones caused by modern geodynamic activity of the region received radon data have been compared with the seismicity of the region. The analysis of the distribution graphs of amplitude variations of radon volumetric activity and the logarithm of the total seismic energy has shown that the “sensitive” points in the fault zones can be divided into 3 groups by the radon field reaction. The first group includes a “sensitive” point where the variation character of the radon field graph is almost identical to the graph

¹ Бобров Александр Анатольевич, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории тектонофизики, e-mail: alexbob@crust.irk.ru

Bobrov Alexander, Candidate of Geological and Mineralogical sciences, Researcher of the Laboratory of Tectonophysics, e-mail: alexbob@crust.irk.ru

of change of the total seismic energy logarithm from year to year. The second group includes the points in which the character of the radon field has similar distribution, but differs from the graph of the total seismic energy logarithm in some years. The third group of points features the absence of radon relationships with seismic activity. The most favorable places for the location of radon monitoring stations are the sites of fault zones with a high degree of disturbance that are located close to the largest faults in the region. The conducted research allowed to find out that seismic events with $K \leq 14.3$ at the distances of more than 566 km from the monitoring location do not affect the radon field on the territory of the Baikal Rift. Under catastrophic earthquakes such as Tokhoku in 2011, the distance at which changes in the variation character of the radon field can be recorded is more than 3000 km.

Keywords: fault zone, emanation survey, radon, seismicity

For citation: Bobrov A.A. To seismic activity and radon field in Priolkhonie (Western Baikal region). Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 3 (56). Pp. 76–85. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-76-85.

Введение

Эманационная съемка, как известно, является эффективным средством как при картировании разломных зон, так и при поиске урановых месторождений. Существует группа рудных объектов, контролируемых тектоническими нарушениями [1]. В этом случае аномалии радона могут быть вызваны двумя факторами: наличие урановой минерализации (геохимический) и тектоническими подвижками (геодинамический). При геодинамической активности тектонического нарушения, в зоне которого подвижки приводят к дроблению породного массива, содержащего уран, за счет увеличения проницаемости и площади эманирования возникают аномалии радона над разломами земной коры. Кроме того, в геодинамически активных регионах поле радона над тектоническими нарушениями варьирует во времени. Проницаемость пород зависит от действующего поля напряжений. Например, при сжатии открытые поры и трещины закрываются, что приводит к уменьшению объемной активности радона (ОАР) [2]. Таким образом, в целях повышения эффективности эманационной съемки, направленной на поиски урановых месторождений в разломных зонах, необходимо иметь представления о характере вариаций радона, обусловленных геодинамической активностью.

В качестве объекта исследований были выбраны дизъюнктивы, расположенные в центральной части тектонически активного (сейсмичность, разломобразование) Байкальского рифта

(Приольхонье). Измерения вариаций радона проводились в течение семи лет над четырьмя разломными зонами на участках «Куркут 1», «Куркут 2», «МРС (Тутайский)» и «Онтхой» (рис. 1). На всех этих участках были проведены комплексные исследования, включающие геолого-структурные, эманационные радоновые работы, а также электротомография. Главной задачей нашего исследования было установить особенности временных вариаций радона над разломными зонами Приольхонья, обусловленные современной геодинамической активностью региона. Данная работа может оказаться полезной также при поиске высокочувствительных к эманациям радона мест для мониторинга.

Методика исследования и фактический материал

Геологическая структура дизъюнктивов на всех четырех участках работ была изучена ранее [3, 4]. Напряженное состояние в зонах разломов и их окрестностях было исследовано на основе структурно-парагенетического анализа разрывов второго порядка и трещиноватости вблизи разломных сместителей [5]. По возможности результаты проверялись с помощью кинематического метода восстановления осей главных нормальных напряжений [6].

Эманационные исследования проводились при помощи радиометра РРА-01М-03. Он характеризуется чувствительностью не менее $1,4 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1} \cdot \text{Бк}^{-1} \cdot \text{м}^3$ и 30%-м пределом допускаемой относительной погрешности. Предложенная в комплекте с приборами схема

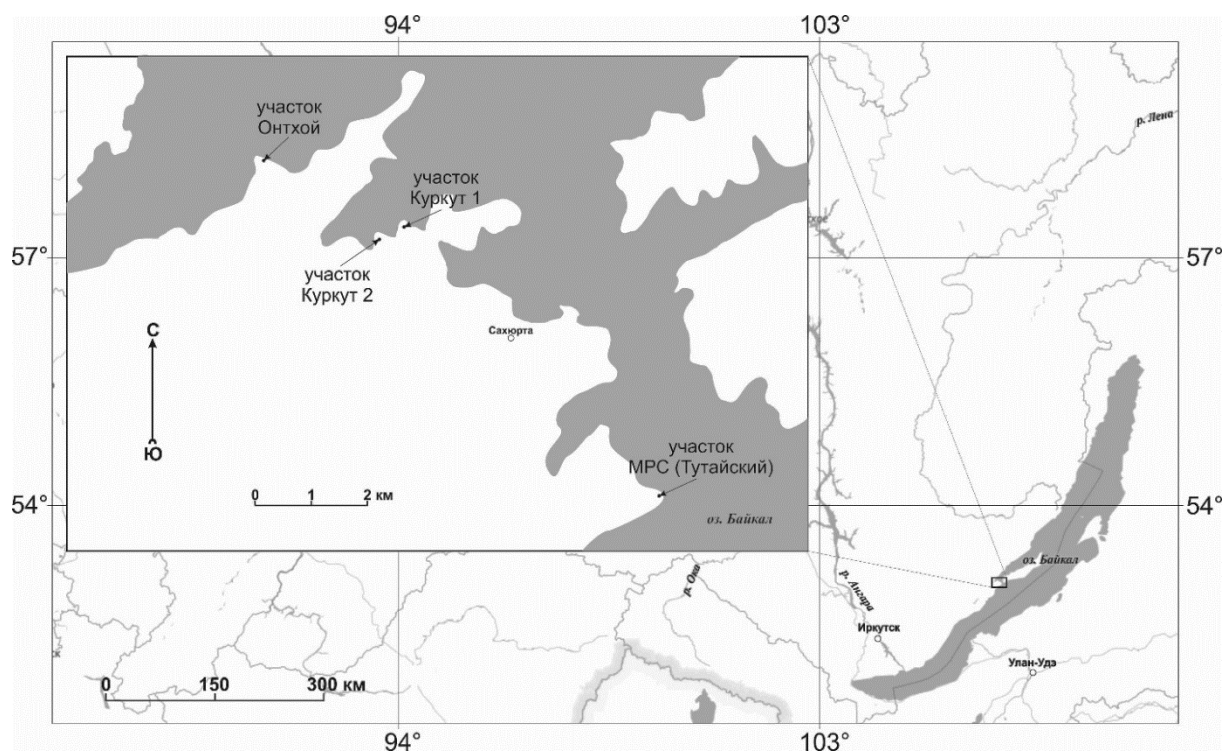


Рис. 1. Обзорная схема расположения участков исследований

измерений [7] полностью не удовлетворяла требования, необходимые для выполнения задачи исследования, в связи: 1) с продолжительным (не менее 12 часов) временем экспозиции пробоотборника в шпуре; 2) с невозможностью учета степени разубоживания проб, имеющей место при их извлечении из почвы в разных погодных условиях (ветер, осадки и др.); 3) с недостаточным объемом пробоотборника и, таким образом, невозможностью определения малых концентраций радона. Поэтому методика эманационной съемки была адаптирована для решения задач конкретного исследования, проводимого в условиях резко континентального климата Восточной Сибири [8, 3].

Измерения осуществлялись с учетом результатов методических экспериментов, позволяющих снизить влияние на ОАР таких метеофакторов, как атмосферное давление, температура и влажность воздуха за счет выбора оптимального режима наблюдений и глубины пробоотбора. Так, отбор проб и измерения осуществлялись с 10 до 20 часов в сухую погоду с глубины 50 см, где,

согласно предварительно проведенным исследованиям, влияние атмосферного давления, температуры и влажности воздуха на ОАР минимально. При этом значения перечисленных метеопараметров фиксировались одновременно с каждым замером ОАР, что обеспечивало возможность получения надежных результатов.

Для каждого измерения в почве пробивался цилиндрический шпур диаметром 2,5 см и глубиной 50 см, который затем герметично закрывался на 30 мин, поскольку именно за это время в любом грунте района исследований концентрация радона в данном объеме и в подпочвенном воздухе выравнивается. Далее осуществлялась закачка пробы в радиометр с последующим измерением ОАР. После каждого определения прибор очищался от пробы посредством прокачки его рабочей камеры надпочвенным воздухом. Таким образом, удалось добиться высокой экспрессности полевых измерений, при которых время одного замера не превышало 30 мин.

Полученный геолого-структурными методами материал показал, что все изученные разломные зоны являются

сбросами северо-восточного простира- ния с углами падения от 40 до 80°. Плот- ность трещин на квадратный метр со- ставляет от 33 до 73 в зоне главного сме- стителя. При этом разломная зона может состоять как из одного сместителя (уча- сток «Куркут 1» и «Куркут 2»), так и из нескольких отдельных близкорасполо- женных сместителей (участок «МРС (Тутайский)» и «Онтхой»). На трех изу- ченных участках («Куркут 2», «МРС (Тутайский)» и «Онтхой») разломная зона представлена зоной повышенной трещиноватости и дробления. Четвертый («Куркут 1») – глиной трения, которая является экраном для газов, в том числе радона.

Мониторинговые измерения ОАР над разломными зонами Приольхонья проводились в летние месяцы по про- филью вкрест простираения дизъюнктива в одних и тех же точках в течение семи лет с 2008 по 2014 гг. Расстояние между

пикетами (ПК) профиля составляло 10 метров. Ежегодно замер повторялся не- сколько раз для каждой точки профиля. Амплитуда вариаций ОАР определялась как разность между максимальным и ми- нимальным значением, зафиксирован- ным в течение года на одном и том же пикете (рис. 2).

Для решения главной задачи иссле- дования полученные радоновые данные сравнивались с сейсмичностью региона. Информация о землетрясениях была взята с сайта Байкальского филиала гео- физической службы СО РАН. В работе [9] отмечается, что аномалии в поле ра- дона могут наблюдаться в период от не- скольких дней до нескольких месяцев. Наши мониторинговые наблюдения за полем радона показали, что аномалии могут фиксироваться не только до сей- смического события, но и в течение не- скольких дней после него. Поэтому было принято решение для каждого

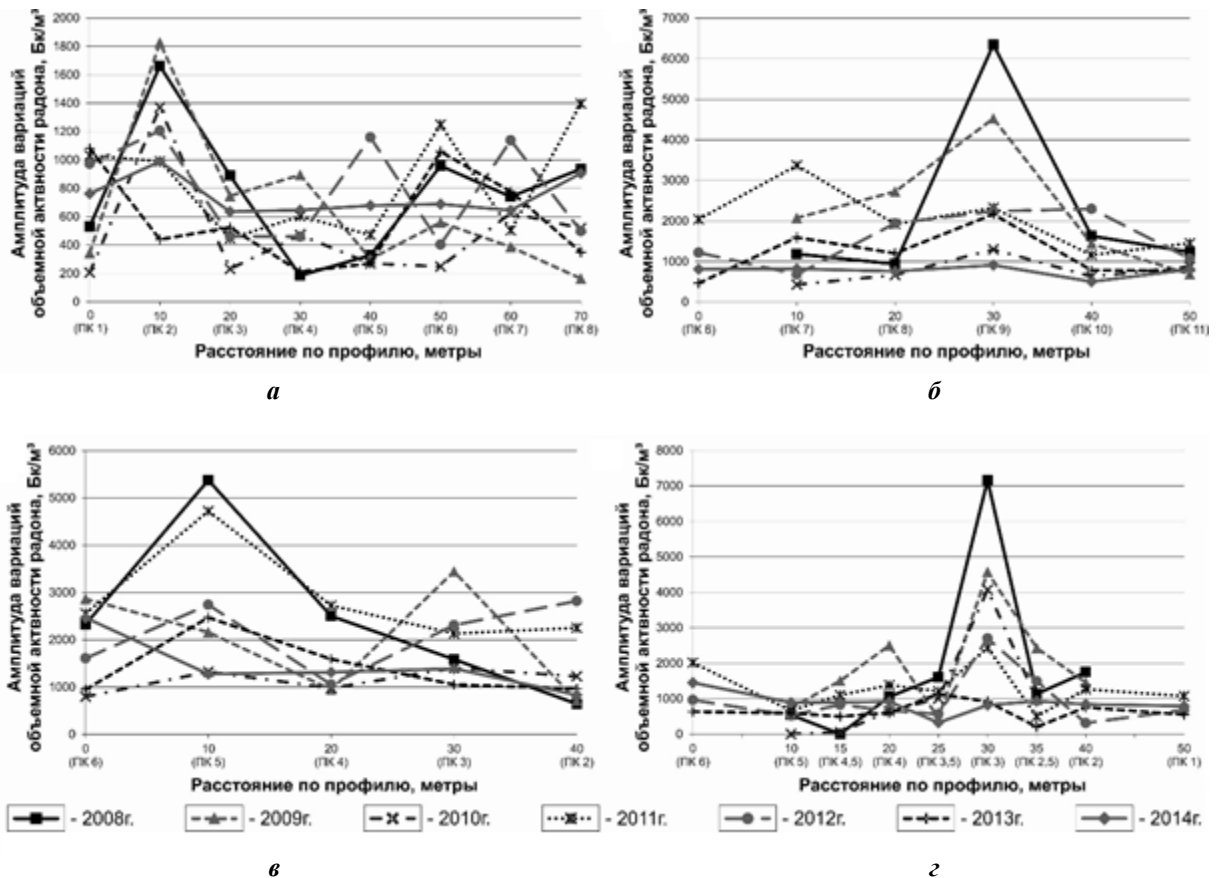


Рис. 2. Амплитуды вариаций объемной активности радона в течение семи лет (2008–2014 гг.) над разломными зонами на участках: а – «Куркут 1»; б – «Куркут 2»; в – «МРС (Тутайский)»; г – «Онтхой»

года считать логарифм суммарной энергии землетрясений не за весь год, а за три месяца. К месяцу, в течение которого были сделаны замеры радона, добавлялся один месяц до измерений и один – после. Для сравнения с сейсмичностью на каждом участке исследований были выбраны самые «чувствительные» точки в плане эманаций радона, в которых были зафиксированы самые большие амплитуды вариаций ОАР. На участке «Куркут 1» максимум параметра наблюдался на ПК 2, «Куркут 2» – на ПК 9, «МРС (Тутайский)» – на ПК 5, «Онтхой» – на ПК 3 (см. рис. 2). В результате были построены графики распределения амплитуд вариаций объемной активности радона в «чувствительных» точках разломных зон и логарифма суммарной сейсмической энергии (рис 3).

Результаты работ и их обсуждение

Совместный анализ полученных радоновых (см. рис. 2) и геолого-структурных данных [3, 4] показал, что максимальные амплитуды вариаций ОАР расположены в областях с наибольшей нарушенностью массива горных пород. Именно в этих точках зафиксированы самые большие концентрации абсолютных значений ОАР по профилю.

Максимальное зафиксированное значение ОАР над изученными разломными зонами составило 10551 Бк/м^3 на участке «Онтхой» на ПК 3. Минимальное зафиксированное значение на этом же пикете в другой год составило 693 Бк/м^3 , т.е. вариации параметра ОАР для наиболее нарушенных областей разломной зоны из года в год на одной и той же точке могут превышать более чем на порядок.

При рассмотрении полученных графиков амплитуд вариаций объемной активности радона над разломными зонами видно, что характер изменения эманационного поля на участках различен (см. рис. 2). Это связано с различием в состоянии внутренней структуры разломных зон. В простых случаях, когда сместитель дизъюнктива четко выражен в поле трещиноватости и представлен зоной дробления со слабонарушенными крыльями, наблюдаются вариации амплитуды главного пика на определенном пикете в различные годы. Примером может служить участок «Куркут 2» на ПК 9 (см. рис. 2, б). Подобный характер распределения параметра был зафиксирован на ПК 3 участка «Онтхой». Здесь разломная зона представлена в виде трех близко расположенных

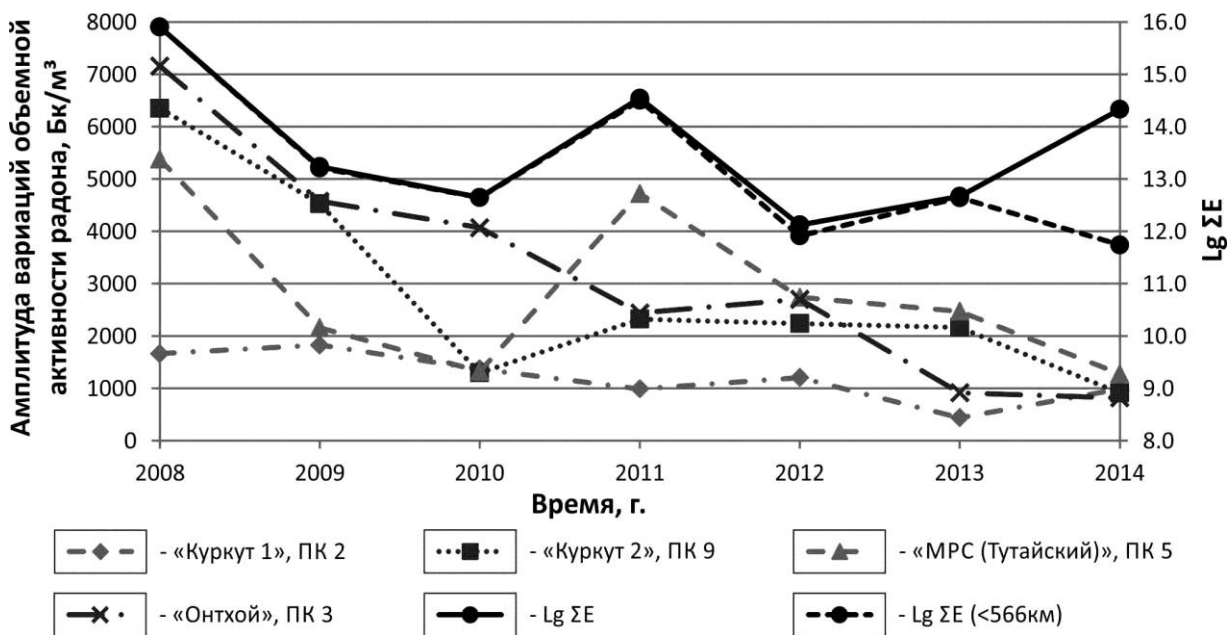


Рис 3. Графики распределения амплитуд вариаций объемной активности радона в «чувствительных» точках разломных зон и логарифма суммарной сейсмической энергии ($Lg \Sigma E$) в течение семи лет (2008–2014 гг.)

смещителей, которые в поле радона также выделяются одним пиком на графике (см. рис. 2, *з*). Более сложный характер вариаций наблюдается на участке «МРС (Тутайский)», где разломная зона состоит из двух отдельных смещителей, расположенных на ПК 3 и ПК 5. В эманационном поле радона наблюдается ежегодное изменение в распределении параметра по профилю. Миграция главного пика радона между ПК 3 и 5 в различные годы свидетельствует о довольно активном развитии разломной зоны в настоящее время (см. рис. 2, *в*). На участке «Куркут 1» наблюдается самая сложная картина распределения параметра (см. рис. 2, *а*). Это связано с тем, что центральная часть разломной зоны заполнена непроницаемой для радона глиной трения и основные максимумы наблюдаются в крыльях дизъюнктива. При этом на данном участке проявлены сразу оба стиля вариаций параметра. В юго-восточном крыле зоны на ПК 2 мы видим вариации амплитуды главного пика на определенном пикете в различные годы (см. рис. 2, *а*). В северо-западном крыле разломной зоны на участке «Куркут 1» с 5 по 7 пикет проявлена миграция пиков по профилю из года в год. Также осложняет картину находящаяся в районе ПК 7 разломная зона мощностью 5,5 метров.

В пределах каждого исследованного участка существуют «чувствительные» в плане эманаций радона точки, в которых наблюдаются максимальные амплитуды изменения ОАР. По геологоструктурным данным им соответствуют наиболее нарушенные области дизъюнктивов, представленные зонами трещиноватости и дробления. Через подобные высокопроницаемые сегменты разломных зон идет наиболее интенсивная миграция газов, в том числе и радона. Именно такие участки земной коры следует выбирать для организации пунктов постоянного мониторинга радона, осуществляемого с целью поиска эманационных предвестников землетрясений.

Для сопоставления радоновых данных с сейсмичностью региона были построены графики распределения амплитуд вариаций объемной активности радона в «чувствительных» точках разломных зон и логарифма суммарной сейсмической энергии (см. рис 3). Анализ графиков показал, что в целом на всех просматривается тенденция понижения амплитуд вариаций ОАР с 2008 по 2014 гг. При этом присутствуют три отдельных пика, которые в большинстве случаев совпадают с повышением на графике $Lg \Sigma E$. В 2008 г. зафиксированное повышение $Lg \Sigma E$ вызвано крупным землетрясением, произошедшим 27 августа в 1:35 по Гринвичу. Его эпицентр расположен в южной акватории оз. Байкал примерно в 25 км от г. Слюдянка в Иркутской области и в 247 км от участков наших исследований. Энергетический класс K этого сейсмического события был равен 15,9. Повышение параметра на графике $Lg \Sigma E$ в 2011 г. вызвано произошедшим 16 июля в 18:38 по Гринвичу землетрясением в центральной части Байкальского рифта. Его эпицентр расположен вблизи (~20 км) от пос. Турка в Бурятии и в 111 км от участков наших исследований. Третий максимум в 2014 г. на графике $Lg \Sigma E$ обусловлен двумя крупными сейсмическими событиями, произошедшими на северо-восточном фланге Байкальского рифта 23 мая в 19:42 по Гринвичу с $K=14,3$ и 21 июня в 8:01 по Гринвичу с $K=13,1$. Расстояния до участков наших работ составило 566 и 1028 км соответственно.

Комплексный анализ графиков распределения амплитуд вариаций объемной активности радона и логарифма суммарной сейсмической энергии показал, что по характеру реакции поля радона на сейсмичность «чувствительные» точки в разломных зонах можно разделить на три группы (см. рис. 3). К первой группе относится ПК 5 на участке «МРС (Тутайский)». Вариации поля радона из года в год повторяют график изменения логарифма суммарной сейсмической

энергии, выделившейся при сейсмических событиях. Исключением является 2014 г., где значения разнятся: увеличение параметра $Lg \Sigma E$ соответствует уменьшению амплитуды вариаций ОАР. Как отмечалось выше, максимум $Lg \Sigma E$ в 2014 г. вызван двумя землетрясениями с $K=14,3$ и $K=13,1$. При этом расстояния до участков наших работ составило 566 и 1028 км соответственно. Как показывают наши предшествующие исследования, а также работы других авторов [2 и др.], это слишком большие дистанции для мониторинговых исследований радона. Именно эти два крупных сейсмических события составляют значительный вклад в параметр $Lg \Sigma E$ за 2014 г. При их исключении из выборки землетрясений значение $Lg \Sigma E$ уменьшается с 14,3 до 12,1.

Таким образом, необходимо исключить из выборки сейсмические события, произошедшие на расстояниях более 566 км, так как их вклад в вариации поля радона на участках наших исследований незначителен. Как видно из графика $Lg \Sigma E$, в остальные годы (кроме 2014 г.) значения практически не изменились (см. рис. 3, пунктирную линию для графика $Lg \Sigma E$). При этом, характер вариаций графика поля радона для ПК 5 участка «МРС (Тутайский)» из года в год стал практически идентичен графику $Lg \Sigma E$. Это может служить доказательством того, что для территории Байкальского рифта на поле радона не влияют сейсмические события с $K \leq 14,3$, находящиеся на расстояниях более 566 км от места мониторинга. Полученное значение расстояния, скорее всего, может быть уменьшено при использовании большего количества данных. При этом стоит также учитывать взаимное пространственное положение точки мониторинга и землетрясения. Сейсмическое событие, расположенное по простиранию разломной зоны, на которой находится мониторинговая точка, будет влиять на вариации радона на большем расстоянии, чем если бы оно находилось вкрест простирания этого дизъюнктива.

Следует отметить, что при катастрофических землетрясениях расстояние, на котором будет наблюдаться влияние на эманации радона, значительно больше 566 км. Так при землетрясении Тохоку 11 марта 2011 г. ($M=9,0$) на мониторинговой станции, расположенной в центральной части Байкальского рифта, фиксировалось изменение в характере вариаций поля радона [10]. Расстояние от точки, где проводились замеры, до эпицентра сейсмического события составило более 3000 км. Таким образом, для катастрофического землетрясения область, в которой будет фиксироваться его влияние на поле радона, может превышать первые тысячи километров.

Ко второй группе относятся ПК 9 на «Куркуте 2» и ПК 3 на участке «Онтхой». Они характеризуются похожим характером распределения параметра ОАР с графиком $Lg \Sigma E$, но имеют различия в некоторые годы. Например, у графиков на участке «Куркут 2» (ПК 9) и «Онтхой» (ПК 3) отсутствуют пики ОАР в 2011 г. Таким образом, данная группа в целом подвержена влиянию сейсмических событий в регионе, хотя в отдельные годы могут происходить расхождения параметров. Это может быть обусловлено тем, что в каталог БФГС СО РАН не включены более мелкие сейсмические события ($K < 8,6$), которые произошли вблизи от участков наших исследований и могут влиять на ОАР.

К третьей группе относится «чувствительная» точка на ПК 2 участка «Куркут 1». Данная точка характеризуется отсутствием реакции на изменение сейсмической обстановки в регионе. Это, возможно, связано с тем, что ПК 2 в разломной зоне расположен в одном из ее крыльев, а не в сместителе, который заполнен глиной трения и является экраном для радона. Таким образом из-за своих геолого-структурных особенностей строения разломной зоны на участке «Куркут 1» осуществление мониторинга радона в подобных точках земной коры не приведет к удовлетворительным результатам.

Из трех групп наибольший интерес в плане мониторинга представляет лишь первая. В нее включена «чувствительная» точка на участке «МРС (Тугайский)». Хорошая взаимосвязь поля радона с землетрясениями обусловлена несколькими факторами. Сместитель разлома на участке «МРС (Тугайский)» представлен зоной повышенной трещиноватости и дробления, которая благоприятна для миграции газов, в том числе радона. Немаловажную роль играет местоположение участка исследований. Дизъюнктив первой группы расположен вблизи от Морского разлома, который является одним из самых крупных разломов, образующих Байкальский рифт. Участки исследований, отнесенные ко второй и третьей группе, расположены в блоке между Приморским и Морским разломами. Таким образом, наиболее благоприятным местом для расположения мониторинговых станций радона являются участки разломных зон с высокой степенью нарушенности, находящиеся вблизи от наиболее крупных дизъюнктивов региона.

Заключение

Мониторинговое исследование нескольких разломных зон Приольхонья эманационным радоновым методом показало, что в пределах каждого дизъюнктива существует высоконарушенные трещинами участки, которые выделяются максимальными амплитудами вариаций ОАР. При этом в этих «чувствительных» в плане эманаций радона точках наблюдаются самые большие абсолютные значениями ОАР по профилю. Максимальное зафиксированное значение ОАР над изученными разломными зонами составило 10551 Бк/м^3 на участке «Онтхой». Минимальное зафиксированное значение на этом же пикете в другой год составило 693 Бк/м^3 , т.е. вариации ОАР для наиболее нарушенных областей разломной зоны из года в год на одной и той же точке могут превышать более чем на порядок.

Сравнение вариаций радона в «чувствительных» точках разломных зон с сейсмичностью показало, что по степени влияния землетрясений на ОАР их можно разделить на три группы. В первую группу включена «чувствительная» точка, в которой характер вариаций графика поля радона из года в год практически идентичен графику логарифма суммарной сейсмической энергии. Во вторую группу вошли точки, в которых характер поля радона имеет подобное распределение, но отличается от графика $Lg \Sigma E$ в отдельные годы. Третья группа характеризуется отсутствием связи радона с сейсмичностью. При этом наиболее благоприятным местом для расположения мониторинговых станций радона являются участки разломных зон с высокой степенью нарушенности, которые находятся вблизи от наиболее крупных дизъюнктивов региона.

В ходе проведенного исследования было установлено, что для территории Байкальского рифта на поле радона не влияют сейсмические события с $K \leq 14,3$ на расстояниях более 566 км от места мониторинга. При катастрофических землетрясениях, таких как Тохоку в 2011 году, расстояние, на котором могут фиксироваться изменения в характере вариаций поля радона, составляет более 3000 км. Дальнейшие исследования могут выявить степень зависимости энергетического класса землетрясения от расстояния до сейсмического события.

Автор благодарен сотрудникам лаборатории тектонофизики Института земной коры СО РАН к.г.-м.н. А.В. Черемных, А.С. Черемных, Е.И. Козуту, Р.М. Зарипову и А.А. Тарасовой за помощь в сборе фактического материала, а также д.г.-м.н К.Ж. Семинскому за участие в обсуждении полученных материалов.

Работа выполнена при частичной поддержке проекта РФФИ (грант № 16-05-00154).

Библиографический список

1. Семинский Ж.В., Семинский К.Ж. Тектонофизический анализ обстановок локализации рудных полей и месторождений в разломных зонах земной коры // Геология рудных месторождений. 2004. № 6. С. 695–708.
2. Уткин В.И., Юрков А.К. Радон как индикатор геодинамических процессов // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 2. С. 277–286.
3. Семинский К.Ж., Бобров А.А. Радоновая активность разнотипных разломов земной коры (на примере Западного Прибайкалья и Южного Приангарья) // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 8. С. 881–896.
4. Черемных А.В. Внутренняя структура разломных зон Приольхонья и эволюция напряженного состояния верхней коры Байкальского рифта [Электронный ресурс] // Геодинамика и тектонофизика. 2010. Т. 1. № 3. С. 273–284. URL: <http://gt.crust.irk.ru/jour/article/view/112> (дата обращения: 19.05.2016 г.).
5. Семинский К.Ж., Бурзунова Ю.П. Новый подход к анализу хаотической трещиноватости вблизи разломных сместителей // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 3. С. 330–343.
6. Парфенов В.Д. К методике тектонофизического анализа геологических структур // Геотектоника. 1984. № 1. С. 60–72.
7. Методика экспрессного измерения объемной активности ^{222}Rn в почвенном воздухе с помощью радиометра радона типа РРА. Рекомендация. М.: НПП «Доза», 2004. 16 с.
8. Бобров А.А. Исследование объемной активности радона в разломных зонах Приольхонья и Южного Приангарья // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2008. Т. 32. № 6. С. 124–129.
9. Зубков С.И. Радоновые предвестники землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1981. № 6. С. 74–105.
10. Семинский К.Ж., Бобров А.А. Первые результаты исследований временных вариаций эманационной активности разломов западного Прибайкалья [Электронный ресурс] // Геодинамика и тектонофизика. 2013. Т. 4. № 1. С. 1–12. URL: <http://gt.crust.irk.ru/jour/article/view/1> (дата обращения: 19.05.2016 г.).

References

1. Seminskii Zh.V., Seminskii K.Zh. Tektonofizicheskiy analiz obstanovok lokalizatsii rudnykh polei i mestorozhdenii v razlomnykh zonakh zemnoi kory [Tectonophysical analysis of ore field and deposit localization conditions in earth crust fault zones]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2004, no. 6, pp. 695–708.
2. Utkin V.I., Yurkov A.K. Radon kak indikator geodinamicheskikh protsessov [Radon as a tracer of tectonic movements]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2010, v. 51, no. 2, pp. 220–227.
3. Seminskii K.Zh., Bobrov A.A. Radonovaya aktivnost' raznotipnykh razlomov zemnoi kory (na primere Zapadnogo Pribaikal'ya i Yuzhnogo Priangar'ya) [Radon activity of different types of earth crust faults (on example of western Baikal and southern Angara regions)]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2009, v. 50, no. 8, pp. 682–692.
4. Cheremnykh A.V. Vnutrennjaja struktura razlomnykh zon Priol'hon'ja i jevoljucija naprjazhennogo sostojaniya verhnjej kory Bajkal'skogo rifta [Internal structure of the Olkhon region fault zones and evolution of the stressed state of the Baikal rift upper crust]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics & Tectonophysics], 2010, v. 1, no. 3, pp. 273–284. Available at: <http://gt.crust.irk.ru/jour/article/view/112> (accessed 19 May 2016).

5. Seminsky K.Zh., Burzunova Yu.P. Novyi podkhod k analizu khaoticheskoi treshchinovatosti vblizi razlomnykh smestitelei [Interpretation of chaotic jointing near fault planes: a new approach]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2007, v. 48, no. 3, pp. 257–266.

6. Parfenov V.D. K metodike tektonofizicheskogo analiza geologicheskikh struktur [To the methodology of geological structure tectonophysical analysis]. *Geotektonika* [Geotectonics], 1984, no. 1, pp. 60–72.

7. *Metodika ekspressnogo izmereniya ob'emnoi aktivnosti ^{222}Rn v pochvennom vozdukh'e s pomoshch'yu radiometra radona tipa RRA. Rekomendatsiya* [Methods of express measurement of ^{222}Rn volumetric activity in soil air using the radon radiometer of RRA type. Recommendation]. Moscow, NPP «Doza» Publ., 2004, 16 p.

8. Bobrov A.A. Issledovanie ob'emnoj aktivnosti radona v razlomnykh zonah Priol'hon'ja i Juzhnogo Priangar'ja [The study of radon volumetric activity in the

fault zones of the Olkhon and southern Angara regions]. *Izvestija Sibirskogo otdelenija Sekcii nauk o Zemle Rossijskoj akademii estestvennykh nauk. Geologija, poiski i razvedka rudnykh mestorozhdenij* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of natural Sciences. Geology, prospecting and exploration of ore deposits], 2008, v. 32, no. 6, pp. 124–129.

9. Zubkov S.I. Radonovye predvestniki zemletrjasenij [Radon precursors of earthquakes]. *Vulkanologija i sejsmologija* [Volcanology and seismology], 1981, no. 6, pp. 74–105.

10. Seminsky K.Zh., Bobrov A.A. Pervye rezul'taty issledovanij vremennykh variacij jemanacionnoj aktivnosti razlomov zapadnogo Pribajkal'ja [The first study results of temporal variations in soil-radon activity of faults in Western Pribaikalie]. *Geodinamika i tektonofizika* [Geodynamics and Tectonophysics], 2013, v. 4, no. 1, pp. 1–12. Available at: <http://gt.crust.irk.ru/jour/article/view/1> (accessed 19 May 2016).

Статья поступила 02.06.2016 г.

Article received 02.06.2016.