

УДК 550.(81).34(37)(38)

ДИСКУССИИ, ОБСУЖДЕНИЯ

УДК 55:504.75:550.348

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20721

ПРОБЛЕМЫ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В СВЯЗИ С ТЕЛЛУРИЧЕСКИМИ И КОСМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

© 2016 А.Д. Жигалин, к.г.-м.н., О.Г. Попова, к.г.-м.н.

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Центр, Уланский пер., д. 13, стр. 2, e-mail: zhigalin.alek@eandex.ru

На примере изучения временных вариаций геодинамических свойств геологической среды в районах с различной сейсмической активностью показана эффективность пассивного сейсмического мониторинга при оценке уровня сейсмической опасности и сейсмического риска. Показано влияние теллурических (земных) и космических факторов на режим сейсмичности в районах с разной тектонической активностью.

Ключевые слова: сейсмический мониторинг, геодинамические свойства, природные факторы.

Введение

Сейсмо-экологический риск России постоянно увеличивается в связи с продолжающимся ростом урбанизации, строительством объектов особой важности, разрушение которых грозит серьезными нарушениями общей экологической обстановки, возникновением источников загрязнения атмосферы, поверхностной и подземной гидросферы, верхних, осваиваемых, слоев грунтовой толщи, а в экстремальных ситуациях – значительным материальным ущербом, гибелью людей. Практически весь юг России представляет собой сейсмически активную территорию, и поэтому рассматриваемые здесь проблемы являются общими для всех аналогичных зон в разных районах земного шара. Наряду с теллурическими (связанными непосредственно с Землей) процессами, степень риска и опасности землетрясений и других чрезвычайных ситуаций определяют также процессы космические, планетарные, в первую очередь, солнечно-лунные приливные движения земной поверхности, магнитные бури, солнечные и лунные затмения, другие астрономические явления. Некоторые из них обнаружены, но исследованы пока в единичных случаях, однако, уже ясно, что совместное действие процессов планетарных и теллурических может привести к усилению опасности и риска, в том числе и экологического. Исследования в этом направлении находятся в начальной фазе, но уже полученные результаты ясно показывают необходимость их продолжения.

Теллурические факторы

Традиционно, сейсмический риск землетрясений, стихийных бедствий, оценивают по экономическому ущербу и числу погибших. Изменения экологических

условий упоминаются много реже и только тогда, когда сопутствующие землетрясения и следующие за ним разрушения вызывают сильные пожары, разливы нефтепродуктов или токсичных и радиоактивных материалов. В этих случаях люди рассматриваются не только как социальный объект воздействия сильных землетрясений, но и как компонент экосистемы, наряду с остальными живыми организмами. Комплексный, многосторонний, подход к экологической оценке последствий сильных землетрясений заставляет уделять большее внимание вопросам прогнозирования грозного события.

Современная парадигма, не отрицая принципиальной возможности прогноза (указания одновременно места, времени и силы) землетрясения, в практическом приложении предполагает очень большие трудности в достижении этой цели. Основные исследования в сейсмологии в наши дни касаются в теории: выяснения механизма возникновения очагов и определения пространственно-временных характеристик распространения упругих волн, нахождения связи геофизических полей с так называемыми прогностическими признаками, а в практической деятельности: вопросов сейсмостойкого строительства и оперативности ликвидации последствий разрушительных и катастрофических землетрясений. При такой постановке вопроса возникает необходимость перманентной оценки сейсмоопасного состояния геологической среды в пределах территории расположения объектов особой важности. К их числу отнесены крупные промышленные, энергетические и иные стратегические объекты, а также крупные города и промышленно-городские агломерации, представляющие собой потенциальные источники экологической опасности в случае возникновения чрезвычайных ситуаций сейсмологической природы; в реестре МЧС это уже предусмотрено.

В масштабе нашей страны и в мировом масштабе оценка сейсмической опасности осуществляется в рамках постоянного мониторинга сейсмических событий. Для территории РФ составлен комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-97 А, В, С, D, который используется как официальный нормативный документ при оценке сейсмической опасности на определенной территории перспективного строительного освоения [Уломов, Шумилина, 1999]. Объекты, целиком или фрагментарно относящиеся к категории особо важных, по завершении их строительства и в процессе эксплуатации обеспечиваются наблюдательной сетью контроля на объектном и локальном уровнях (сюда входит и охранный мониторинг), позволяющей непрерывно получать сведения о «поведении» геологической среды – субстрата или вмещающей среды объекта.

Оценка напряженного состояния геологической среды

Возможность получения информации для оценки напряженного состояния геологической среды предоставляет разработанная в Институте геоэкологии им. Е.М. Сергеева (ИГЭ РАН) методика, основанная на использовании сейсмических записей далеких землетрясений [Попова и др., 2014].

Методика предполагает проведение ограниченного по времени сейсмического мониторинга фоновых микросейсмических колебаний и регистрацию на их фоне редких и относительно редких сейсмических событий. При этом регистрируются местные события, эпицентры которых находятся на расстояниях до 100 км от пункта наблюдения, и далекие землетрясения, эпицентры которых находятся на расстояниях 1000-2000 и более км. Основой методики является энергетический анализ

проходящих обменных PS-волн далеких землетрясений. Обменные PS-волны образуются на границах изменения упругих модулей среды при прохождении продольной P-волны, сформировавшейся в очаге далекого землетрясения. Обменные PS-волны на сейсмограммах регистрируются после продольной P-волны. Анализ количественных характеристик обменных PS-волн далеких землетрясений, с эпицентрными расстояниями более 300 км, позволяет получать информацию о геодинамических особенностях среды, необходимую для определения ее напряженного состояния и, таким образом, оценивать степень сейсмического риска.

Методика требует проведения натурных сейсмических измерений по равномерной сети наблюдений с размещением сейсмических станций в пределах всего изучаемого участка с обязательным соблюдением одинаковой для всех пунктов наблюдения ориентации регистрирующих горизонтальных каналов X и Y. Методика измерения и последующая их обработка позволяют определять переменный во времени числовой параметр $\gamma(t)$, названный разработчиками коэффициентом анизотропности, который характеризует отношение суммарных (суммируемых по 7-12 записям PS-волн в каждом временном интервале) величин энергии радиального (ΣE_r) и тангенциального (ΣE_t) компонентов PS-волны $\gamma(t) = \Sigma E_t / \Sigma E_r$. Следует уточнить, что коэффициент анизотропности среды $\gamma(t)$ не следует отождествлять с известным характеристическим параметром, носящим название коэффициент анизотропии свойств пород. Традиционно, коэффициент анизотропии характеризует различие физических свойств горных пород, оцениваемых в разных направлениях. Коэффициент анизотропности показывает изменение напряженного состояния среды как реакцию на внешнее возмущение, но без учета изменения физических свойств составляющих ее пород. Таким образом, коэффициент анизотропности геологической среды $\gamma(t)$ можно считать мерой ее чувствительности к внешним воздействиям.

По характеру распределения значений коэффициента анизотропности в пределах изучаемой территории расчетным путем определяется интегральный показатель напряженного состояния среды γ . Карты-схемы распределения величины γ в пределах площади наблюдения используются для определения геодинамических характеристик среды, что позволяет выделять участки с более высокой чувствительностью к внешним сейсмическим воздействиям, т.е. характеризующиеся более высокой степенью сейсмического риска.

Представляемая методика была успешно опробована на нескольких полигонах в регионах с разной сейсмической активностью. На рис. 1 показаны результаты применения методики на Томском (площадка проектируемой Северной АЭС), Нижегородском (площадка проектируемой АЭС) полигонах и на площадке Белоярской АЭС. Нижегородский полигон находится в асейсмичном регионе. Для Томского и Белоярского полигонов характерен средний уровень сейсмичности, но более высокий для Томского полигона. На приведенных картах-схемах в сопоставлении показаны результаты определения коэффициента анизотропности на площадках при отсутствии сигналов далеких землетрясений, когда регистрировались только ординарные фоновые сейсмические микроколебания (левая часть рисунка), и в тот интервал времени, когда регистрировались сигналы землетрясений, наложенные на микросейсмический фон (правая часть рисунка). Проведенные наблюдения позволили выделить наиболее чувствительные (уязвимые) к внешним сейсмическим воздействиям участки в пределах полигонов. Во время «сейсмической паузы», когда регистрировались только ординарные фоновые сейсмические микроколебания,

величина коэффициента анизотропности $\gamma(t)$ на каждой из площадок не превышала 0,2-0,4. Иная картина наблюдалась в момент прихода сигнала от далекого землетрясения. На площадках появились отдельные участки с повышением значений коэффициента анизотропности γ до 0,6-1,0 и более, что наиболее ярко проявилось на площадке Томского полигона. Для сравнения следует отметить, что на полигоне «Кавказские минеральные воды», расположенном в сейсмически активном северокавказском регионе, величина коэффициента анизотропности достигала в определенные интервалы наблюдений значений 2,4-2,8, эти данные показаны в таблице 1.

Увеличение значения коэффициента анизотропности на отдельных участках в момент прихода сигнала указывает на особую чувствительность этих участков к внешнему сейсмическому воздействию разного происхождения – природного сейсмического события или техногенного землетрясения. При проектировании объектов особой важности с высокой потенциальной сейсмо-экологической опасностью в случае возникновения чрезвычайных ситуаций следует избегать таких участков, понижая, таким образом, степень сейсмического риска.

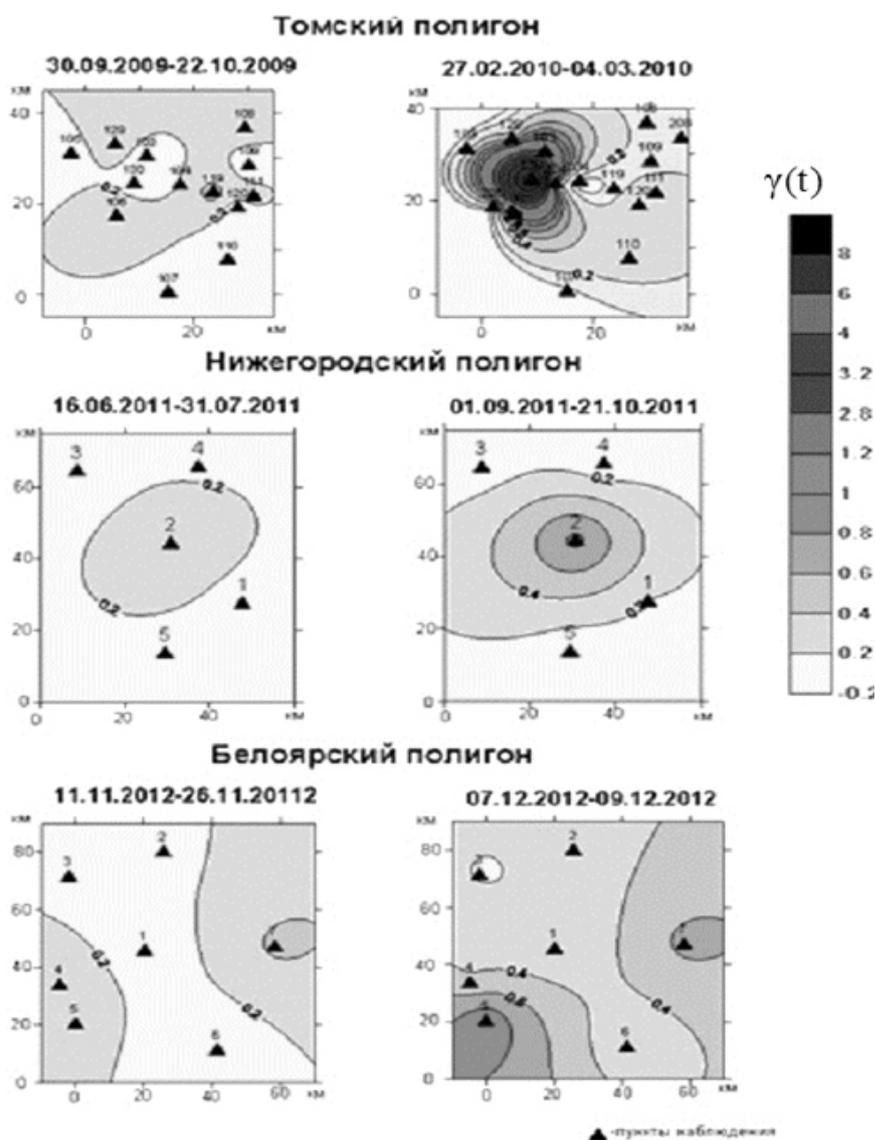


Рис. 1. Величина γ , характеризующая напряженное состояние земной коры по данным регистрации удаленного землетрясения

Таблица 1.

Результаты сейсмического мониторинга

Место и время проведения наблюдений	Геодинамические характеристики	
	анизотропность среды $\gamma(t) = E\tau/E\sigma$	индекс напряженного состояния среды S
Томский полигон	средняя сейсмическая активность	
11.07.2008-31.07.2008	0,0-0,8	0,149
27.08.2008-10.09.2008	0,0-0,4	0,001
11.09.2008-10.10.2008	0,0-0,8	0,04
11.10.2008-10.11.2008	0,0-0,6	0,017
03.01.2009-25.01.2009	0,0-0,6	0,001
20.01.2009-10.02.2009	0,0-0,8	0,074
04.04.2009-17.04.2009	0,0-1,0	0,126
18.04.2009-12.05.2009	0,0-1,0	0,16
14.05.2009-20.06.2009	0,0-0,6	0,017
05.09.2009-29.09.2009	0,0-0,4	0,003
12.12.2009-10.01.2010	0,0-1,4	0,18
06.02.2010-25.02.2010	0,0-0,6	0,0
26.02.2010-04.03.2010	0,0-2,8	0,542
05.03.2010-14.03.2010	0,0-0,8	0,003
Нижегородский полигон	низкая сейсмическая активность	
17.01.2011-31.07.2011	0,0-0,4	0,012
11.03.2011-05.04.2011	0,0-0,2	0,0
16.06.2011-31.07.2011	0,0-0,2	0,001
01.09.2011-21.10.2011	0,0-0,6	0,061
21.10.2011-07.11.2011	0,0-0,4	0,0015
Полигон Кавказские минеральные воды	высокая сейсмическая активность	
20.05.2000-15.06.2000	0,2-2,4	1,35
23.03.2001-3.05.2001	0,2-1,2	0,63
22.09.2001-21.10.2001	0,2-2,4	1,7
09.05.2002-15.06.2002	0,2-1,0	0,4
25.07.2004-19.09.2004	0,2-2,8	2,6
23.09.2004-23.10.2004	0,2-2,4	2,1
24.10.2004-24.11.2004	0,2-2,0	0,9
01.04.2005-16.04.2005	0,2-8,0	5,3
18.05.2006-20.05.2006	0,2-2,0	0,8

Предлагаемая методика определения геодинамических характеристик геологической среды является универсальной. Она может быть использована в районах со слабой и умеренной сейсмичностью для выбора сейсмически безопасных площадок для строительства объектов особой важности. Но также эта методика может быть использована в сейсмоактивных регионах для контроля геодинамического режима с целью составления среднесрочных и долгосрочных прогнозов сейсмической активности. Методика эффективна при осуществлении мониторинга состояния массивов горных пород в местах строительства и эксплуатации энергетических объектов, таких как атомные и гидроэлектростанции, крупные химические предприятия, а также в условиях городских агломераций, находящихся в сейсмически проблемных регионах.

Оценка влияния космических факторов на режим сейсмичности

Существует в достаточной мере обоснованное, хотя и дискуссионное, предположение о том, что между твердой Землей (литосферой) и процессами, происходящими в ближнем и дальнем Космосе, существует устойчивая связь [Жигалин, 2007; Попова и др., 2011].

Разногласия, в основном, касаются вопросов причинности: что на что оказывает влияние. Большинство геофизиков считает, что «причина» заложена в эндогенных процессах, протекающих на больших глубинах и имеющих выход в атмосферу. Они посылают в нижние слои атмосферы тепловую энергию, радиацию и плазменное излучение. Меньшая, но от этого не менее убежденная, общность специалистов-геофизиков полагает, что имеет место также и обратный процесс – влияние космической погоды и изменения взаимного расположения связки «Солнце-Земля-Луна» на экзогенные и эндогенные геологические процессы, которые мы наблюдаем на нашей планете. Так, при полном солнечном затмении 29 марта 2006 г. в момент полного закрытия луной солнечного диска наблюдалось резкое уменьшение (примерно в три раза) амплитуды микросейсмических колебаний [Попова и др., 2014]. Это явление сопровождалось также снижением эсгаляции тектонического водорода из массива горных пород и уменьшением аэрозоля, что было зафиксировано в туннеле Баксанской нейтринной лаборатории на глубине 400 м от поверхности [Першин и др., 2010].

Установлено, что прохождение магнитных бурь, солнечные и лунные затмения, фазы Луны (новолуние и полнолуние) в той или иной мере также оказывают влияние на характер фоновой микросейсмичности. При этом могут изменяться амплитуда, общая картина частотных спектров и энергетические доминанты фоновых микросейсмических колебаний, а также наблюдается изменение ориентации вектора колебаний [Попова и др., 2011, 2014]. Следует заметить, что характер изменений различен для регионов с разным уровнем сейсмической активности. Эти данные приведены в таблице 2, составленной на основе анализа значительного объема фактического материала.

Таблица 2.

**Влияние внешних космических факторов на сейсмический режим
в районах с разной тектонической активностью**

Внешние факторы	Сейсмоактивные регионы, магнитуды землетрясений от 5-6 до 6,8-7,0	Асейсмичные платформенные регионы, магнитуды землетрясений до 5-6
<u>Солнечные затмения.</u> момент закрытия солнечного диска	а) наблюдается резкое возрастание амплитуды фоновых микросейсмических колебаний в 3-5 раз в момент максимальной фазы б) наблюдается резкое отклонение направления вектора смещения сейсмических колебаний на 35-75 град. от вертикали в) спектр основных частот колебаний становится широкополосным	а) амплитуды фоновых микросейсмических колебаний увеличиваются в 1,3 раза в момент максимальной фазы б) наблюдается изменение направления вектора смещения сейсмических колебаний в пределах 1,5-2,0 град., в) спектр записи фоновых микросейсмических колебаний становится узкополосным, полоса основных частот сужается в 2раза, максимум спектра смещается в область более низких частот,
<u>Лунные полутеневые затмения</u>	а) наблюдается возрастание амплитуд фоновых микросейсмических колебаний в 5-7 раз в течение 7 дней перед затмением, б) наблюдается резкое изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний на 50 град. за сутки до затмения	а) амплитуды фоновых микросейсмических колебаний постепенно в течение 11 дней увеличиваются в 1,5-2 раза, во время максимальной фазы затмения отмечается незначительное скачкообразное увеличение амплитуды колебаний, б) наблюдается изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний в пределах 1,5-2,0 град., в) спектр фоновых микросейсмических колебаний становится узкополосным с сужением полосы основных частот в 2 раза, максимум спектра смещается в область более низких частот,
<u>Частные лунные затмения</u>	на характеристиках фоновых микросейсмических колебаний не отражаются	
<u>Полнолуния</u>	а) в изменении амплитуд фоновых микросейсмических колебаний не отражаются, б) наблюдается резкое изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний на 30-50 град. за сутки до полнолуния	а) перед полнолунием амплитуды вертикального компонента фоновых микросейсмических колебаний возрастают в 1,5 раза в течение 5 дней перед полнолунием, в дни полнолуния амплитуды резко уменьшаются в 2,5 раза, б) наблюдается изменение направления вектора смещения фоновых микросейсмических колебаний незначительное в пределах 1,5-2,0 град, в) в изменении частотного состава фоновых микросейсмических колебаний не проявляются

<u>Новолуния</u>	а) в изменении амплитуд фоновых микросейсмических колебаний не проявляются, б) наблюдается изменение направления вектора скорости смещения фоновых микросейсмических колебаний на 50 град. за сутки до полнолуния, в) спектр становится моночастотным	а) в амплитудных характеристиках фоновых микросейсмических колебаний не проявляются, б) изменение направления вектора скорости смещения незначительное, в) спектр становится моночастотным с доминантной частотой 8 Гц
<u>Магнитные бури</u>	а) наблюдается резкое возрастание амплитуды фоновых микросейсмических колебаний в 2-3 раза с некоторым запаздыванием по отношению ко времени начала магнитной бури, б) наблюдается расширение полосы основных частот спектра микросейсмических колебаний	

Так, установлено, что совпадение прохождения магнитных бурь с землетрясениями достигает 50-54%, что свидетельствует о наличии заметной корреляции между этими двумя событиями. Магнитуда таких землетрясений невелика, но, тем не менее, они достоверно регистрируются аппаратными средствами сейсмической сети Геофизической службы РАН. Учитывая все те изменения, которые отражаются в структуре микросейсмических колебаний, взаимное расположение Солнца, Земли и Луны, а также прохождение магнитных бурь, можно предположить возможность такого сочетания геофизических условий, при котором эти изменения станут существенными с точки зрения возникновения чрезвычайных ситуаций сейсмического характера. Особое внимание при этом следует обратить на районы с повышенной сейсмичностью. Для этих районов характерны наибольшие углы отклонения вектора колебаний от вертикали до 75 градусов (таб. 2: случаи полного солнечного затмения в сейсмически активных регионах). При таком отклонении вертикальное смещение частиц грунтовой толщи, меняется, практически, на горизонтальное. Это, в свою очередь, может усугубить эффект воздействия сейсмического сигнала на грунтовую толщу и находящиеся на ней или внутри нее инженерные сооружения.

Влияние планетарных факторов проявляется подобным образом по всему земному шару. Конечно, это влияние может иметь определенные региональные различия, выраженные в детальных особенностях сейсмических проявлений, влияющие на районирование территорий по степени опасности и риска и определяющие особенности возникающей экологической обстановки, сложные и пока не вполне изученные.

Заключение

Сейсмический мониторинг в районах интенсивного и перспективного освоения следует рассматривать в качестве инструмента изучения сейсмического режима территорий для выявления общих закономерностей эволюции эндогенных тектонических процессов и космо-земных связей, могущих оказывать влияние на сейсмичность, а также оценки уровня сейсмического риска для территорий предполагаемого размещения объектов особой важности. Предложенная методика экспресс-обнаружения сейсмически чувствительных зон на территории предполагаемого освоения, позволяет использовать пассивную сейсмометрию, базирующуюся на регистрации сигналов удаленных и далеких (свыше 2000 км) землетрясений. Влияние космо-земных связей на изменение режима сейсмичности в регионах с различной сейсмической активностью в его сочетании с теллурическими (земными) процессами может оказаться существенным, что необходимо учитывать при оценке опасности и риска землетрясений и стихийных, в том числе, экологических бедствий. При этом следует иметь в виду, что все эти явления имеют глобальный характер.

Литература

1. Жигалин А.Д. Некоторые особенности поля микросейсм во время полного солнечного затмения 29 марта 2006 года. Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Т. 1, Казань, Изд-во Казанск. гос. ун-та, 2007
2. Першин С.М., Алексеев В.А., Алексеева Н.Г. и др. Лидарный мониторинг аэрозольного предвестника изменения сейсмической активности во время полного солнечного затмения 29.03.06. Мониторинг. Наука и технологии, 2010, № 3(4)
3. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Коновалов Ю.Ф. Связь напряженного состояния земной коры с солнечными затмениями и прохождением магнитных бурь. Геоэкология, 2011, № 1
4. Попова О.Г., Жигалин А.Д., Попов М.Г. и др. Реакция микросейсмического фона на внешние природные воздействия в районах с разной тектонической активностью. Геоэкология, 2014, № 2
5. Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. М. 1:8 000000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999

DOI: 10.23671/VNC.2016.1.20721

PROBLEMS OF SEISMIC HAZARD IN CONNECTION WITH TELLURIC AND COSMIC PROCESSES

© 2016 A.D. Zhigalin, Sc. Cand. (Geol.-Min.), O.G. Popova Sc. Cand. (Geol.-Min.)

Sergeev Institute of Environmental Geoscience RAS, Ulanskiy pereulok, 13,
bld. 2, P.O. Box 145, Moscow, 101000 Russia, e-mail: direct@geoenv.ru

On an example of the geological environment geodynamic properties temporary variations studying in areas with various seismic activity efficiency of passive seismic monitoring is shown at an assessment of a level of seismic danger and seismic risk. Influence of telluric (Earth) and space factors on a mode of seismicity in areas with different tectonic activity is shown.

Keywords: seismic monitoring, geodynamic properties, natural factors.