

УДК 550.348.098.64(470.21)

О ПОДХОДАХ К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА И РАЙОНИРОВАНИЮ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ПОВЕРХНОСТНЫМ ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫМ ОБЪЕКТАМ

А. И. Калашник, Д. А. Максимов
ФГБУН Горный институт КНЦ РАН

Аннотация

Оценка сейсмического риска при проектировании производственных объектов осуществляется по картам ОСР-97. Анализ сейсмичности Кольского п-ова показывает, что эта оценка может существенно расходиться со значениями интенсивности колебаний земной поверхности над инструментально зарегистрированными очагами землетрясений. Выявлено, что интенсивность колебаний может превышать допустимые для опасных производственных объектов значения. Предложены методические подходы к оценке сейсмического риска и районированию территории Кольского п-ова.

Ключевые слова:

сейсмичность, риск, Кольский п-ов, интенсивность колебаний, районирование.

ON APPROACHES TO SEISMIC RISK ASSESSMENT AND ZONING OF THE KOLA PENINSULA

Anatolii I. Kalashnik, Dmitriy A. Maksimov
Mining Institute of the KSC of the RAS

Abstract

Seismic risk assessment at designing production facilities is carried out through maps SRF-97. Analysis of the seismicity of the Kola Peninsula shows that such estimates may significantly diverge from the values of the intensity fluctuations on the Earth's surface instrumentally registered above earthquake centres. It has been revealed that the intensity of these fluctuations may exceed permissible values for hazardous production facilities. Methodical approaches have been offered for seismic risk assessment and zoning of the Kola Peninsula.

Keywords:

seismic risk, the Kola Peninsula, the intensity of the vibrations, zoning.



Введение

Сейсмическое районирование территории Российской Федерации осуществляется по картам ОСР-97 из СП 14.13330.2014 «Строительство в сейсмических районах» [1] (является актуализированной редакцией СНиП II-7-81* [2]). На рис. 1 представлена карта сейсмического районирования ОСР-97-С, учитывающего сейсмособытия, вероятность которых не ниже 1 % за 50 лет для территории европейской части России.

По данным карты ОСР-97-С, вся территория Кольского п-ова характеризуется слабой сейсмичностью с максимальной интенсивностью 7 баллов движения земной поверхности в результате землетрясений.

При изучении сейсмичности слабосейсмичных регионов России и других стран исследователями отмечалось, что оценка сейсмической опасности по нормативным документам часто может быть существенно заниженной за счет целого ряда неучтенных факторов [3].

В связи с этим следует ожидать, что оценка сейсмической опасности по картам ОСР-97 для территории Кольского п-ова, вероятно, также занижена. Поэтому в данной работе выполнен анализ данных о произошедших здесь зарегистрированных сейсмических событиях, в том числе энергонасыщенности массивов пород в приповерхностной части земной коры.

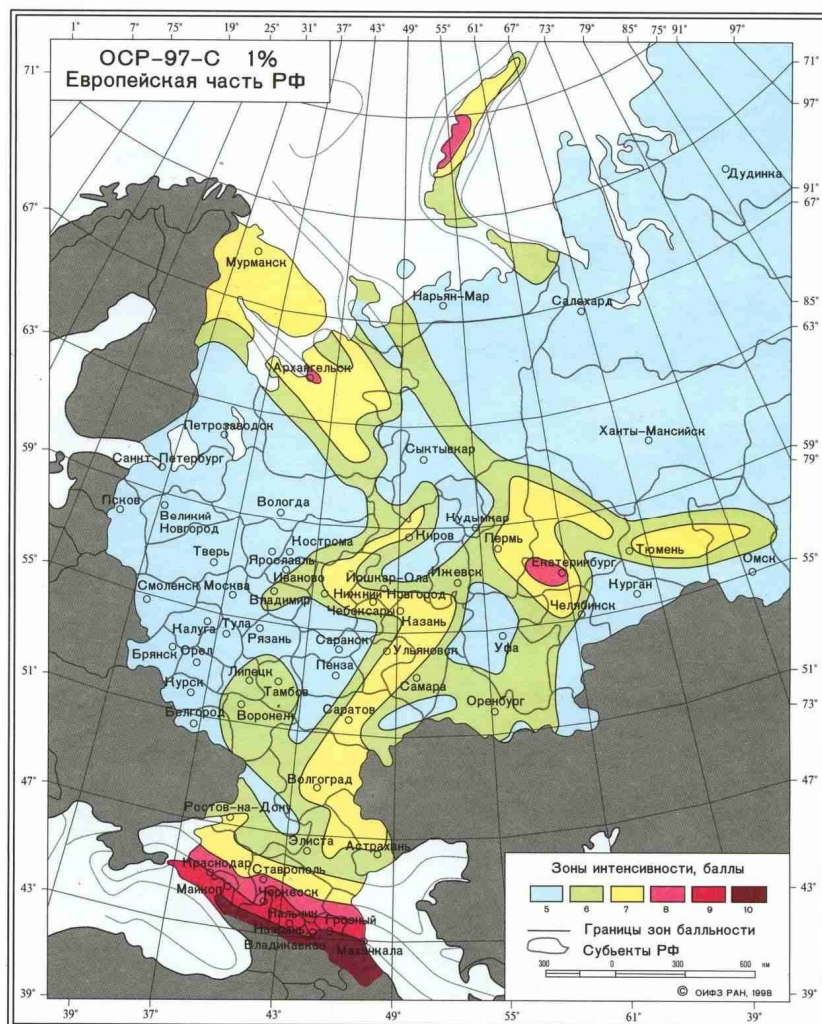


Рис. 1. Карта ОСР-97-С для европейской части России. Степень сейсмической опасности «С» (1 % за 50 лет) [2]

Сейсмичность Кольского полуострова

На основе «Сводного каталога сейсмособытий Кольского полуострова» [4] авторами настоящей статьи выполнены обобщение, систематизация, а также анализ имеющихся данных. Выявлено, что в целом сейсмичность Кольского п-ова характеризуется относительно стабильным по годам уровнем распределения энергии, выделяющейся в результате сейсмособытий, о чем может свидетельствовать построенный авторами график Бенъоффа, характеризующий накопление высвобожденной в результате тектонических сейсмособытий энергии деформирования (рис. 2).

Как видно из табл. 1, наибольшее число землетрясений (более 90 %) имело магнитуду в диапазоне от 1 до 4. Вместе с тем, «Сводный каталог сейсмособытий» [4] содержит информацию как минимум о двух сейсмособытиях магнитудой 5 и выше, то есть вероятность землетрясения магнитудой 5 на Кольском п-ове за 50 лет статистически приближается к 100 %.

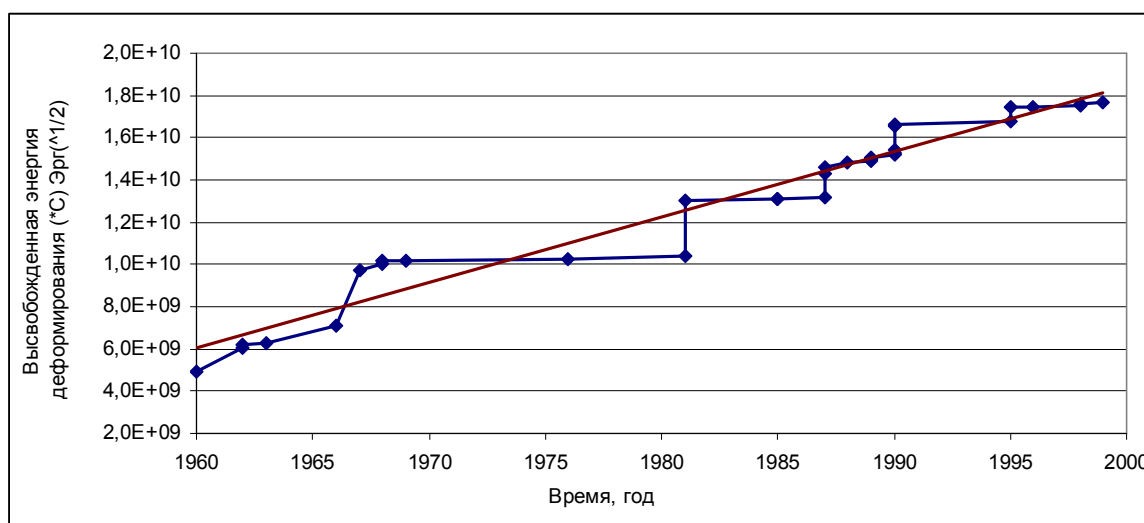


Рис. 2. График Бенъофа для тектонических землетрясений Кольского п-ова за период 1960–2000 гг.

Анализ данных о сейсмособытиях

Информация о количестве землетрясений в зависимости от их магнитуды (с шагом 0.5) за последние 100 лет сведена в табл. 1.

Таблица 1

Распределение количества сейсмособытий на Кольском полуострове в зависимости от их магнитуды

Диапазон магнитуды	0–0.5	0.5–1	1–1.5	1.5–2	2–2.5	2.5–3	3–3.5	3.5–4	4–4.5	4.5–5	5–5.5
Количество сейсмособытий	1	7	10	45	29	41	26	10	4	2	2

Чтобы ответить на вопрос о возможности превышения фактической степени сейсмической опасности над определяемой по картам ОСР-97, необходимо перейти от магнитуды землетрясения к интенсивности колебания земной поверхности. Данный переход необходим для решения задач районирования, так как ущерб, причиняемый землетрясением сооружениям, зависит не только от магнитуды сейсмособытия, но и от глубины его очага и расстояния от эпицентра до рассматриваемого объекта. Очевидно, что наибольшее значение интенсивности колебаний земной поверхности наблюдается в эпицентре сейсмособытия, поэтому выявим распределение интенсивности колебаний земной поверхности над очагом сейсмособытия в зависимости от его магнитуды и глубины гипоцентра. Расчет интенсивности произведен по формуле Блэйка – Шебалина [5]:

$$I = 1.5M - 3.5 \lg(\sqrt{r^2 + h^2}) + 3.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 2. В графическом виде результаты расчета интенсивности колебаний земной поверхности над очагом землетрясения представлены на рис. 3 в виде зависимости интенсивности от глубины и магнитуды землетрясения.

Таблица 2

Распределение интенсивности колебаний земной поверхности над очагом землетрясения от его магнитуды и глубины гипоцентра [6]

Глубина, км	Магнитуда, балл									
	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5
1.0	3.8	4.5	5.3	6.0	6.8	7.5	8.3	9.0	9.8	10.5
1.5	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.6	8.4	9.1	9.9
2.0	2.7	3.4	4.2	4.9	5.7	6.4	7.2	7.9	8.7	9.4
2.5	2.4	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.6	8.4	9.1
3.0	2.1	2.8	3.6	4.3	5.1	5.8	6.6	7.3	8.1	8.8
3.5	1.8	2.6	3.3	4.1	4.8	5.6	6.3	7.1	7.8	8.6
4.0	1.6	2.4	3.1	3.9	4.6	5.4	6.1	6.9	7.6	8.4
4.5	1.5	2.2	3.0	3.7	4.5	5.2	6.0	6.7	7.5	8.2
5.0	1.3	2.1	2.8	3.6	4.3	5.1	5.8	6.6	7.3	8.1
5.5	1.2	1.9	2.7	3.4	4.2	4.9	5.7	6.4	7.2	7.9
6.0	1.0	1.8	2.5	3.3	4.0	4.8	5.5	6.3	7.0	7.8
6.5	0.9	1.7	2.4	3.2	3.9	4.7	5.4	6.2	6.9	7.7
7.0	0.8	1.5	2.3	3.0	3.8	4.5	5.3	6.0	6.8	7.5
7.5	0.7	1.4	2.2	2.9	3.7	4.4	5.2	5.9	6.7	7.4
8.0	0.6	1.3	2.1	2.8	3.6	4.3	5.1	5.8	6.6	7.3
8.5	0.5	1.2	2.0	2.7	3.5	4.2	5.0	5.7	6.5	7.2
9.0	0.4	1.2	1.9	2.7	3.4	4.2	4.9	5.7	6.4	7.2
9.5	0.3	1.1	1.8	2.6	3.3	4.1	4.8	5.6	6.3	7.1
10	0.3	1.0	1.8	2.5	3.3	4.0	4.8	5.5	6.3	7.0

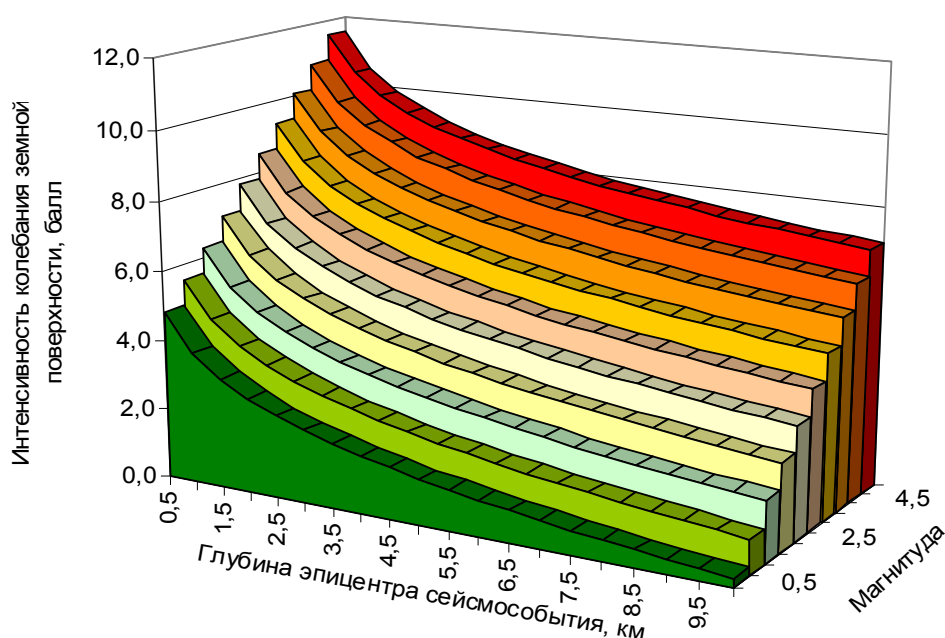


Рис. 3. Зависимость интенсивности колебаний земной поверхности над эпицентром землетрясения от его глубины и магнитуды

Обсуждение результатов

Из сопоставления данных табл. 1 и 2 видно, что интенсивность колебаний земной поверхности над очагом землетрясения для зарегистрированных на Кольском п-ове сейсмособытий может значительно превышать максимальное значение для карты ОСР-97 в 7 баллов. Так, при землетрясении магнитудой 5 интенсивность колебания земной поверхности в эпицентре будет превышать значение в 7 баллов даже при глубинах гипоцентра землетрясения около 10 км. Интенсивность колебания земной поверхности может еще более существенно превысить значение в 7 баллов при небольшой глубине очага сейсмособытия, что представляется вполне вероятным для Кольского п-ова, характеризующегося малой мощностью осадочных отложений (до первых сотен метров).

Из сказанного выше следует, что районирование территории Кольского п-ова по картам ОСР-97 может существенно расходиться с действительными значениями интенсивности колебаний земной поверхности, возможными для данного региона на рассматриваемых промежутках времени. Но эти факты еще не могут однозначно свидетельствовать о важности данной проблемы, поэтому необходимо в первую очередь выяснить, входят ли значения интенсивности колебаний земной поверхности, определяемой разными методами, в диапазон опасных значений. Для этого на примере таких потенциально опасных линейно-протяженных объектов, как магистральные трубопроводы и насыпные гидротехнические сооружения (ГТС) [7], определим значения интенсивности, характеризующие разные степени опасности для объектов.

В соответствии с СП 36.13330.2012 «Магистральные трубопроводы» [8], актуализированной редакцией СНиП 2.05.06-85* [9], выделяются два опасных значения:

- для магистральных надземных трубопроводов – 6 баллов;
- для магистральных подземных трубопроводов – 8 баллов.

Если обратиться к работам по описанию международной шкалы сейсмической интенсивности MSK-64, то классификацию опасных значений для трубопроводов можно расширить, добавив, например, значение интенсивности в 7 баллов, при котором возможны разрушения стыков подземных трубопроводов [10]. На основании нормативных документов и описания шкалы сейсмической интенсивности MSK-64 нами определена зависимость разрушений магистрального трубопровода от интенсивности колебаний земной поверхности (табл. 3).

Таблица 3

Влияние интенсивности сейсмического воздействия на целостность магистрального трубопровода

Сейсмичность, балл	Надземный	Подземный
0–6	Разрушения отсутствуют	Разрушения отсутствуют
6–7	Разрушение трубопровода	То же
7–8	То же	Нарушение стыков трубопровода
8–12	«	Разрушение трубопровода

Согласно нормативным документам, критериями оценки опасности ГТС по сейсмичности являются следующие [1, 11]:

- 8 баллов и выше – высокий уровень опасности;
- от 7 до 8 баллов – средний уровень опасности;
- менее 7 баллов – низкий уровень опасности.

Как видно из приведенной информации, показатели интенсивности колебания земли в эпицентре землетрясений на территории Кольского п-ова могут попадать в диапазон опасных значений для рассмотренных линейно-протяженных объектов. Особенно актуальна данная проблема для ГТС, у которых проектным является землетрясение с повторяемостью 1 раз в 500 лет

[1]. В связи с этим возникает вопрос об источнике информации для оценки сейсмической опасности для инженерных сооружений и районирования линейных протяженных объектов.

О районировании Кольского полуострова

Одним из таких источников может стать схема районирования Кольского п-ова с выделением сейсмогенных зон. Первая подобная схема опубликована Г. Д. Панасенко в 1969 г. [12]. За следующие 50 лет она претерпела ряд изменений, связанных с появлением дополнительной информации о сейсмичности и тектонофизических особенностях Балтийского щита, и приняла вид, представленный на рис. 4 [13].

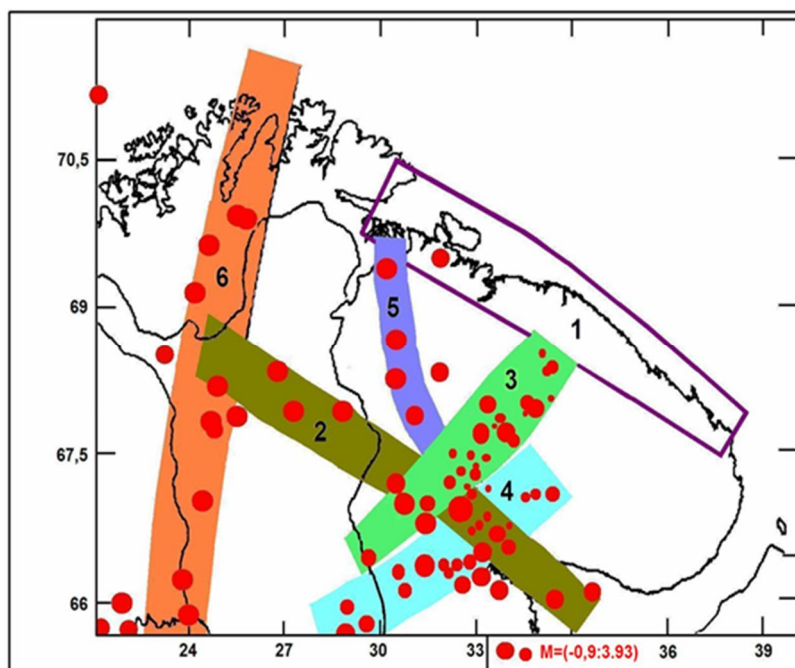


Рис. 4. Схема сейсмогенных зон Кольского п-ова с эпицентрами землетрясений (по данным цифрового сейсмомониторинга за период 1998–2009 гг.). Главные сейсмогенные зоны: 1 – Мурманская («спящая» в настоящее время); 2 – Кандалакшская; 3 – Хибинско-Ловозерская; 4 – Куусамо-Порьегубская; 5 – Варангер-Кандалакшская; 6 – Ботний-Финнмаркская

Еще одним источником информации для оценки сейсмической опасности может служить карта зон повышенной энергонасыщенности массивов горных пород. Идея сейсмического районирования на основании карт энергонасыщенности заключается в измерении математическими и другими методами распределения энергии, которая способна высвободиться в результате землетрясения, с поиском районов концентрации тектонических напряжений. Примером может служить схема, составленная сотрудниками Горного института КНЦ РАН (рис. 5) [14].

На рис. 5 представлены зоны повышенной энергонасыщенности для главных напряжений (σ_1 и σ_2) относительно усилий, действующих на границе Евразийской плиты, то есть зоны концентрации тектонических напряжений. При рассмотрении фактора сейсмичности указанные зоны потенциально опасны ввиду повышенных уровней напряжений.

Сравнив потенциально опасные зоны, приведенные на рис. 4 и 5, видим их сходство по локализации сейсмогенных зон, что может свидетельствовать о достаточном уровне объективности данных методов относительно оценки сейсмичности по картам ОСР-97.

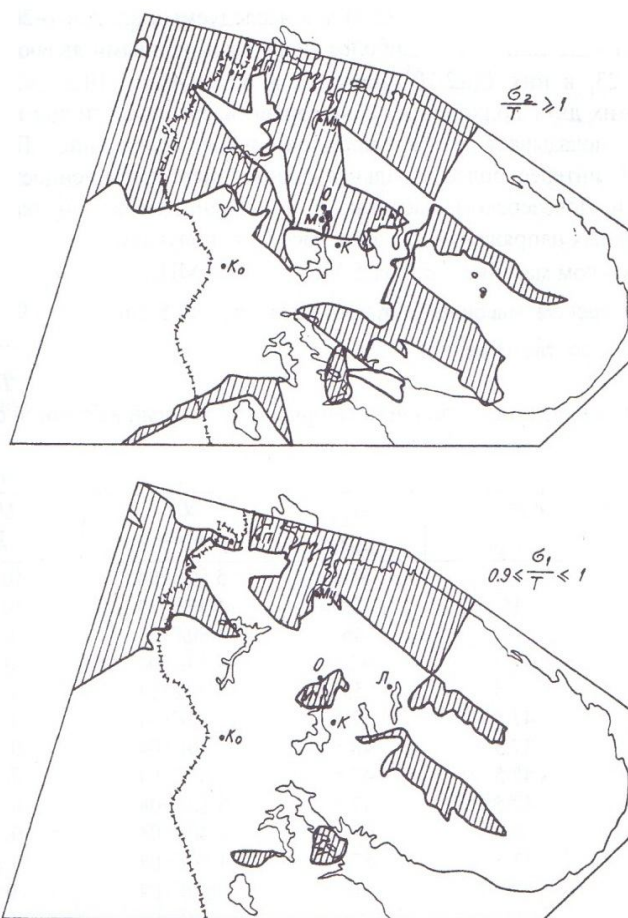


Рис. 5. Зоны повышенной энергонасыщенности массивов горных пород на территории Кольского полуострова с учетом геологического строения блоков III ранга [14]: К – Кировск, М – Мончегорск, О – Оленегорск, Му – Мурманск, П – Печенга, Н – Никель, Л – Ловозеро, Ко – Ковдор

Выводы

Выполненный анализ свидетельствует о том, что использование карт ОСР-97 не в полной мере обеспечивает точность оценки уровня сейсмической опасности для проектируемых и эксплуатируемых производственных объектов Кольского п-ова, прежде всего линейно-протяженных.

Рассчитанные значения интенсивности колебаний земной поверхности в результате ряда землетрясений, зафиксированных на Кольском п-ове, превышают 7 баллов, положенных в основу карт ОСР-97. Для линейно-протяженных объектов эти превышения могут иметь критические значения.

Подходы к районированию территории Кольского п-ова должны базироваться на детализации карт ОСР-97 схемами выделенных сейсмогенных зон и зон повышенной энергонасыщенности массивов пород приповерхностной части земной коры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Строительство в сейсмических районах: свод правил СП 14.13330.2014. Введ. 2014-01-06. М.: Минстрой России, 2014. 131 с.
2. Строительные нормы и правила Российской Федерации «Строительство в сейсмических районах»: СНиП II-7-81*. Введ. 2000-01-01. М.: Госстрой России, 2000.
3. Сейсмичность и сейсмическое районирование слабоактивных территорий / Т. С. Блинова [и др.]; ГИ УрО РАН. Пермь, 2015. 178 с.
4. Годзиковская А. А., Асминг В. Э., Виноградов Ю. А. Ретроспективный анализ первичных материалов

о сейсмических событиях, зарегистрированных на Кольском полуострове и прилегающей территории в XX веке / отв. ред. А. Н. Виноградов. М.: Ваш полиграфический партнер, 2010. 130 с. **5.** Сейсмическое районирование территории СССР / отв. ред. В. И. Бунэ, Г. П. Горшков. М.: Наука, 1980. 308 с. **6.** Максимов Д. А. К вопросу о тектонофизических исследованиях северо-восточной части Балтийского щита // Современная тектонофизика. Методы и результаты: материалы Второй молодежной школы-семинара. М.: ИФЗ, 2011. Т. 1. С. 164–168. **7.** Научно-организационные основы геодинамического мониторинга нефтегазовых объектов в регионе Баренцева моря в целях защиты окружающей природно-технической среды / Н. Н. Мельников [и др.] // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2014. № 6. С. 5–10. **8.** Магистральные трубопроводы: свод правил СП 36.13330.2012. Введ. 2013-01-01. М.: Минстрой России, 2013. 131 с. **9.** Строительные нормы и правила Российской Федерации «Магистральные трубопроводы»: СНиП 2.05.06-85*. Введ. 1986-01-01. М.: Госстрой России, 1997. **10.** Медведев С. В. Международная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмическое районирование СССР. М.: Наука, 1968. С. 151–160. **11.** Гидротехнические сооружения. Основные положения: свод правил СП 58.13330.2012. Введ. 2012-01-07. М.: Минрегион России, 2011. 43 с. **12.** Панасенко Г. Д. Сейсмические особенности северо-востока Балтийского щита. Л.: Наука, 1969. 184 с. **13.** Панасенко Г. Д. Сейсмичность восточной части Балтийского щита // Сейсмичность и современные движения земной коры восточной части Балтийского щита. Апатиты: КФАН СССР, 1980. С. 7–23. **14.** Сейсмичность при горных работах. Апатиты: КНЦ РАН, 2002. 325 с.

Сведения об авторах

Калашник Анатолий Ильич – кандидат технических наук, заведующий лабораторией Горного института КНЦ РАН

E-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Максимов Дмитрий Анатольевич – младший научный сотрудник Горного института КНЦ РАН

E-mail: diman51rus@mail.ru

Author Affiliation

Anatolii I. Kalashnik – PhD (Eng.), Head of Laboratory of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: kalashnik@goi.kolasc.net.ru

Dmitry A. Maksimov – Junior Researcher of the Mining Institute of the KSC of the RAS

E-mail: diman51rus@mail.ru

Библиографическое описание статьи

Калашник А. И. О подходах к оценке сейсмического риска и районированию Кольского полуострова применительно к поверхностным линейно-протяженным объектам / *А. И. Калашник, Д. А. Максимов* // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2016. – № 2 (25). – С. 44–51.

Reference

Kalashnik A. I. On Approaches to Seismic Risk Assessment and Zoning of the Kola Peninsula in Relation to the Surface Linearly Extended Objects / *A. I. Kalashnik, D. A. Maksimov* // *Herald of the Kola Science Centre of the RAS*. – 2016. Vol. 2 (25). – P. 44–51.