

**ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАКОНА ЗАТУХАНИЯ МАКРОСЕЙСМИЧЕСКОЙ
ИНТЕНСИВНОСТИ ТУВИНСКИХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 2011 и 2012 гг.**

Н.И. Фролова¹, И.П. Габсатарова²

¹*Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, г. Москва, frolova@esrc.ru*

²*ФИЦ ЕГС РАН, г. Обнинск, ira@gsras.ru*

Аннотация. Приводятся результаты исследования особенностей затухания интенсивности сотрясений I_i по материалам Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. Вопреки распространенному правилу для расчета закона затухания в Алтае-Саянском регионе по уравнению с коэффициентами $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$, наилучший результат был получен по уравнению с коэффициентами $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$, рекомендованными для Прибайкалья.

Abstract. The results of the investigation of the features of attenuation of the seismic intensity I_i are presented on the basis of the materials of the Tuva earthquakes of 2011 and 2012. Contrary to the generally accepted rule to use the macroseismic field coefficients $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$ for the Altai-Sayan region, the comparison of simulated intensities obtained with coefficients $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$ and observed ones showed the best agreement.

Оперативное прогнозирование последствий сильных землетрясений с целью повышения эффективности планирования спасательных мероприятий является актуальной задачей. Неоднократно было показано, что точность оперативного прогноза существенно повышается, если для данной сейсмоопасной территории известны параметры зависимости, описывающей особенности затухания сейсмической интенсивности I_i [1–5]. Для Алтае-Саянского региона по рекомендации [6, 7] используются осредненные оценки параметров b , v , c закона затухания $I=f(M, r)$ для неглубоких землетрясений ($b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$), что было сделано и для расчета круговых изосейст Тувинского-I и Тувинского-II землетрясений в работе [8]. В упомянутой статье, несмотря на собранный большой материал по осязательности в населенных пунктах, не приведено результатов проверочных построений и согласования наблюдаемых данных пунктов-баллов с кривыми закона затухания интенсивности ни по первому, ни по второму Тувинским землетрясениям. Поэтому данная статья дополняет имеющийся большой информационный блок по Тувинским землетрясениям 2011 и 2012 гг. результатами такого исследования.

В настоящей работе для расчета гипоцентральных расстояний населенных пунктов от первого и второго Тувинских землетрясений использовались координаты макросейсмических эпицентров из работы [9] как центр площади, оконтуренной 8- и 9-балльными изосейстами: Тувинское-I – 51.81°N, 95.88°E, Тувинское-II – 51.75°N, 95.94°E. Значения глубин взяты по инструментальным данным: $h^I=17$ км [10], $h^{II}=10$ км [11]. В приложениях [12, 13] к статье [8] собраны воедино макросейсмические сведения в виде пунктов-баллов, полученные в Алтае-Саянском ($n=35$) и Байкальском филиалах ($n=245$) [14]. Они послужили данными для анализа.

На рис. 1 представлены наблюдаемые пункты-баллы из названных источников в виде графика с нанесенными некоторыми кривыми (1, 2, 3, 4, 5) закона затухания макросейсмической интенсивности по формуле Н.В. Шебалина $I_i = bM - v \cdot \log \sqrt{\Delta^2 + h^2} + c$, где Δ – эпицентральное расстояние, км; h – глубина очага, км; M – магнитуда землетрясения по поверхностным волнам. Как видно из рисунка, на расстояниях менее 200 км примерно одинаково подходят оба закона: с коэффициентами для Прибайкалья $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$ [7] и с коэффициентами для Алтае-Саян $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$ [7] или осредненный закон для неглубоких землетрясений. При большем удалении предпочтительным остается уравнение с коэффициентами для Прибайкалья $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$ [7].

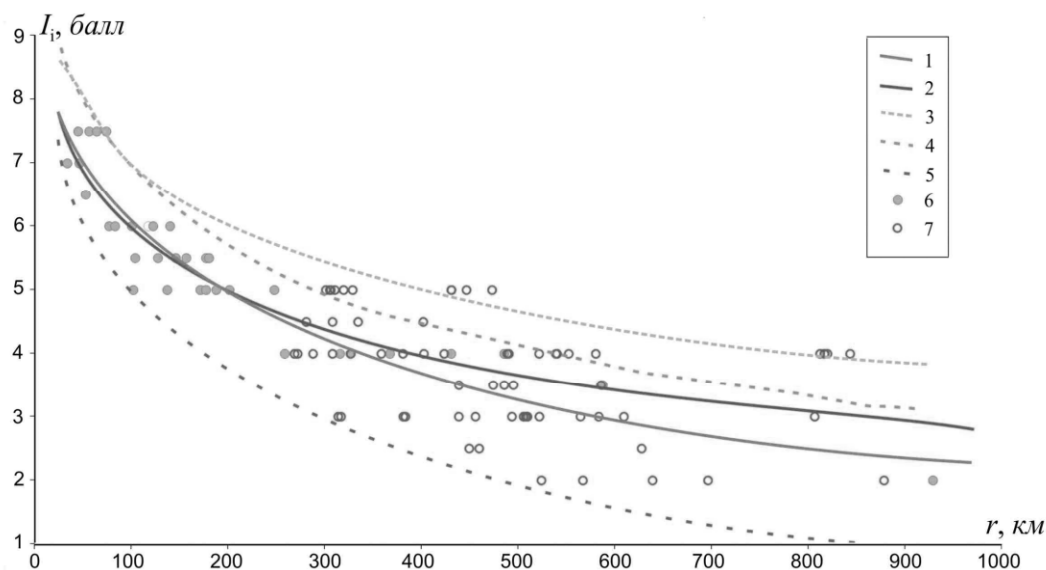


Рис. 1. График взаимосвязи наблюдаемой интенсивности I сотрясений от Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2011 г. и гипоцентральных расстояний r (макросейсмический эпицентр (51.81°N , 95.88°E) при $h=17$ км

1 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Прибайкалья $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$ [7]; 2 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Алтае-Саян $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$ [7]; 3 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами $b=1.5$, $v=3.43$, $c=3.83$ [15]; 4 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Прибайкалья, глубина $h=20$ км, $b=1.5$, $v=4.1$, $c=4.4$ [7]; 5 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Сибири $b=1.6$, $v=4.5$, $c=3.3$ [16]; наблюдаемые данные (пункты-баллы): 6 – собранные Алтае-Саянским филиалом, 7 – собранные Байкальским филиалом.

Это еще в большей степени подтверждается данными о втором Тувинском землетрясении 26.02.2012 г. (рис. 2, показаны красными точкам на рис. 1).

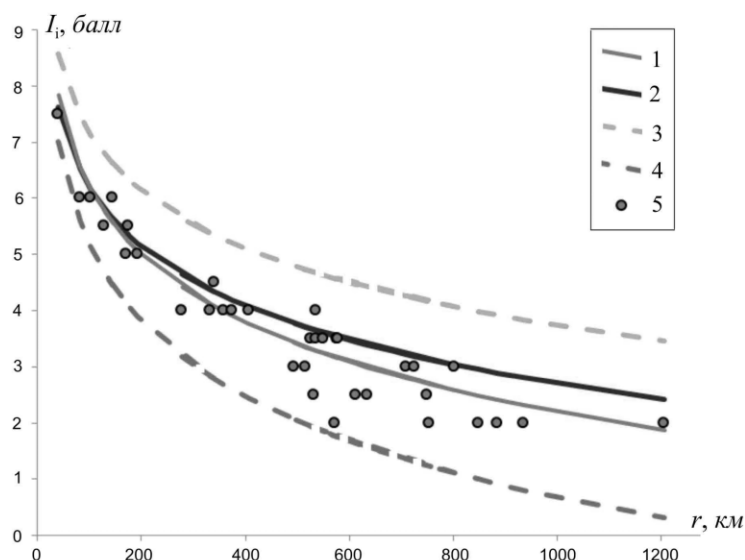


Рис. 2. График взаимосвязи наблюдаемой интенсивности I сотрясений от Тувинского-II землетрясения 26 февраля 2012 г. и гипоцентральных расстояний r (макросейсмический эпицентр (51.75°N , 95.94°E) при $h=10$ км

1 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Прибайкалья $b=1.5$, $v=4.0$, $c=4.0$ [7]; 2 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Алтае-Саян $b=1.5$, $v=3.5$, $c=3.0$ [7]; 3 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами $b=1.5$, $v=3.43$, $c=3.83$ [15]; 4 – кривая затухания макросейсмического поля с коэффициентами для Сибири $b=1.6$, $v=4.5$, $c=3.3$ [16]; наблюдаемые данные (пункты-баллы): 5 – собранные Алтае-Саянским филиалом.

Уравнение затухания с коэффициентами $b=1.5$, $\nu=4.0$, $c=4.0$ позволяет получить отклонения от наблюдаемых баллов, в основном не превышающие 0.5 балла (рис. 3).

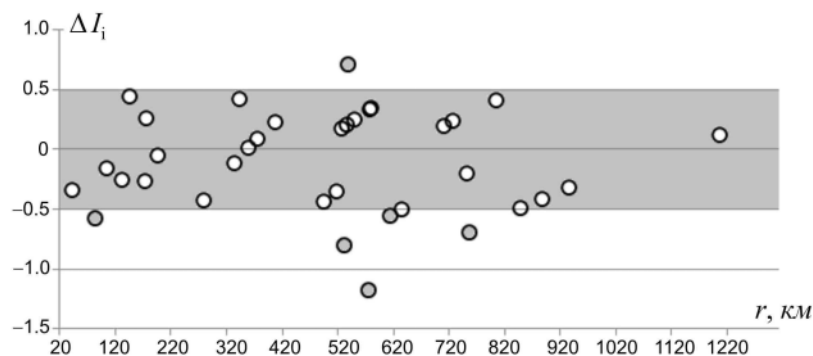


Рис. 3. Отклонения ΔI_i наблюдаемых данных от расчетных по уравнению затухания с коэффициентами $b=1.5$, $\nu=4.0$, $c=4.0$

Таким образом, предпочтительным для описания затухания макросейсмической интенсивности Тувинских землетрясений оказался закон, описываемый уравнением с коэффициентами $b=1.5$, $\nu=4.0$, $c=4.0$. Однако если имеются данные только в ближней зоне ($r < 200$ км), вполне удовлетворительный и сопоставимый результат может быть получен и при коэффициентах $b=1.5$, $\nu=3.5$, $c=3.0$.

Как показали расчеты потерь, выполненные с помощью системы «Экстремум» [1–5], наилучшее согласие между наблюдаемыми и расчетными значениями интенсивности наблюдается при учете не только региональных коэффициентов в уравнении макросейсмического поля. Важны и другие особенности затухания интенсивности в рассматриваемом регионе: ориентация эллипса вдоль разлома или под углом (в соответствии с решением механизма очага) и отношения большой и малой осей эллипса изосейст.

На рис. 4 приведен пример моделирования последствий Тувинского землетрясения 2011 г. с помощью системы «Экстремум». В качестве исходных данных использовались коэффициенты в формуле Шебалина для Прибайкалья; ориентация эллипса под углом 345° в соответствии с решением механизма очага по NEIC [17] и отношение большой и малой осей эллипса $k=1/5$.

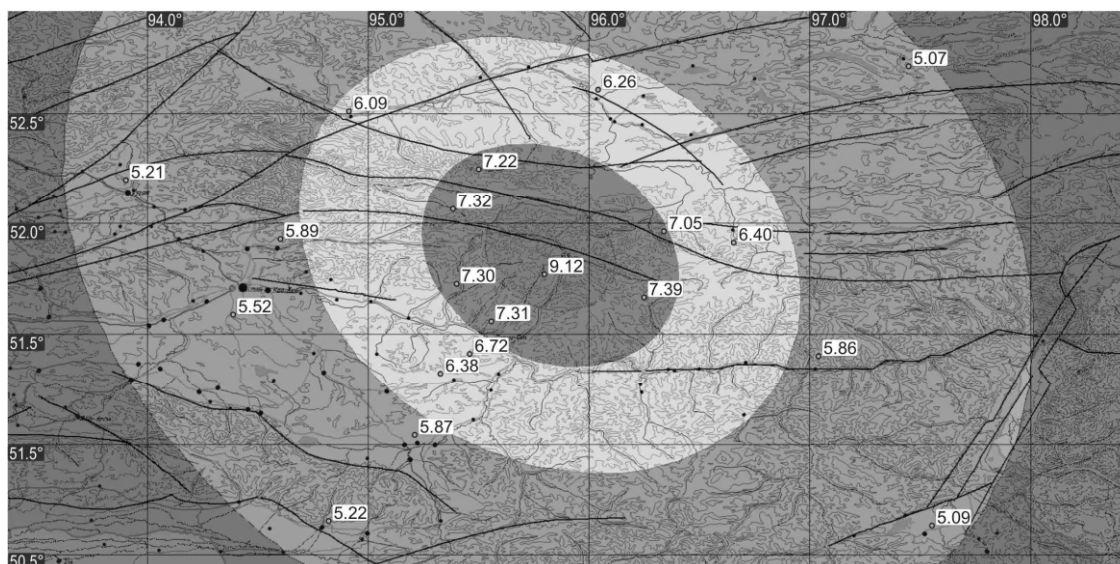


Рис. 4. Последствия Тувинского землетрясения 2011 года: цифры – расчетные значения интенсивности в населенных пунктах

При определенной средней степени повреждения зданий в населенном пункте с разной вероятностью могут наблюдаться и большие, и меньшие степени повреждений.

Учитывая высокий уровень потенциального сейсмического риска для Республики Тува (рис. 5, 6), продолжение исследований по изучению параметров закона затухания макросейсмической интенсивности и других особенностей затухания интенсивности в регионе представляется крайне актуальным для повышения надежности оценок потерь в оперативном режиме.

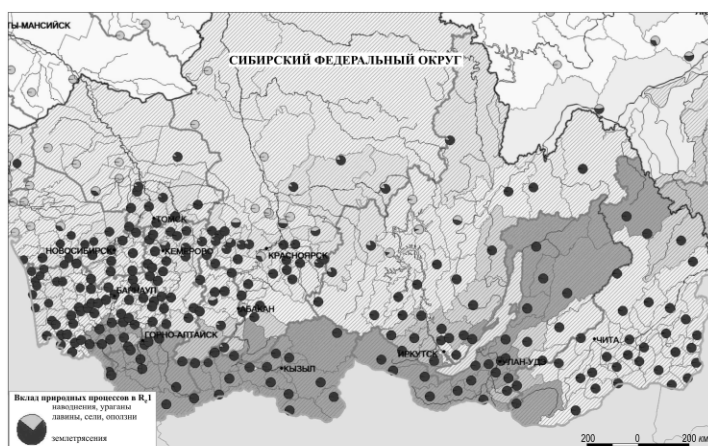


Рис. 5. Фрагмент карты индивидуального интегрального природного риска R_e1 для Сибирского федерального округа

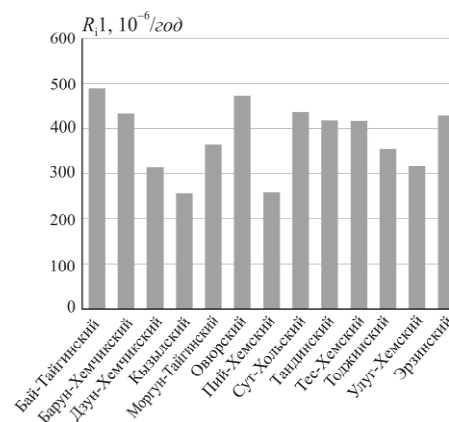


Рис. 6. Диаграмма распределения значений R_e1 для административных районов Республики Тува

Л и т е р а т у р а

1. Фролова Н.И., Чепкунас Л.С., Малаева Н.С. Учет региональных особенностей затухания сейсмической интенсивности при оперативной оценке потерь от землетрясений // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2012. – № 1. – С. 63–74.
2. Фролова Н.И., Габсатарова И.П. Использование макросейсмических данных для повышения надежности оперативных оценок потерь на примере Курчалойского землетрясения // Анализ, прогноз и управление природными рисками в современном мире: материалы 9-й Международной научно-практической конференции «Геориск-2015», Т. 2. – М.: РУДН, 2015. – С. 391–399. – ISBN: 978-5-209-06741-2.
3. Фролова Н.И., Боннин Ж., Габсатарова И.П., Угаров А.Н., Барская Т.В. Анализ факторов, влияющих на надежность оперативных оценок потерь от землетрясений // Сборник трудов Юбилейной конференции, посвященная 25-летию образования ИГЭ РАН. – М.: РУДН, 2016. – С. 230–234. ISBN 978-5-209-07024-5.
4. Frolova N.I., Larionov V. I., Bonnin J., Sushchev S. P., Ugarov A. N., Kozlov M. A. Loss Caused by Earthquakes: Rapid Estimates. Nat Hazards 88:S63-S80. – DOI 10.1007/s11069-016-2653-x, 2017 a.
5. Frolova N.I., Larionov V. I., Bonnin J., Gabsatarova I.P., Sushchev S. P., Ugarov A.N., Kijko A. Knowledge base about past earthquakes consequences as a tool to increase the reliability of near real time loss estimation. GEOINFORMATICS RESEARCH PAPERS. – 5. – BS1002, <https://doi.org/10.2205/CODATA2017>, 2017 б.
6. Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. – М.: Наука, 1968. – С. 95–121.
7. Шебалин Н.В. Коэффициенты уравнения макросейсмического поля по регионам // Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. – М.: Наука, 1977. – С. 30.
8. Еманов А.Ф., Еманов А.А., Фатеев А.В., Подкорытова В.Г., Гилёва Н.А., Массальский О.К. Афтершоки Тувинского-I землетрясения 27 декабря 2012 г. с $ML=6.7$ и Тувинского-II – 26 февраля 2012 г. с $ML=6.8$ (Республика Тува) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 302–312.
9. Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Ларьков А.С. Результаты сеймотектонических и палеосейсмо-

- гических исследований Тувинских землетрясений 2011 и 2012 гг. (Республика Тува) // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – С. 313–317.
10. **Филина А.Г., Лескова Е.В. (отв. сост.), Артёмов А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В. (сост.)**. Каталог землетрясений Алтая и Саян за 2011 г. // Землетрясения Северной Евразии, 2011 год. – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2017. – Приложение на CD_ROM.
 11. **Подкорытова В.Г., Подлипская Л.А. (отв. сост.), Артёмов А.И., Ворона У.Ю., Денисенко Г.А., Еманов А.А., Манушина О.А., Лескова Е.В., Шаталова А.О., Шевелёва С.С., Шевкунова Е.В., Кузнецова Н.В. (сост.)**. Каталог землетрясений Алтая и Саян в 2012 г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
 12. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А., Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А. (сост.)**. Макросейсмические сведения о Тувинском-I землетрясении 27.12.2011 г., $M_L=6.7$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
 13. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А., Радзиминович Я.Б., Гилева Н.А. (сост.)**. Макросейсмические сведения о Тувинском-II землетрясении 26.02.2012, $M_L=6.8$, $\varphi=51.73^\circ$, $\lambda=95.97^\circ$ // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
 14. **Подкорытова В.Г. (отв. сост.), Лескова Е.В., Филина А.Г., Подлипская Л.А. (сост.)**. Макросейсмический эффект ощутимых землетрясений Алтае-Саянского региона в 2012г. // Землетрясения Северной Евразии. – Вып. 21 (2012 г.). – Обнинск: ФИЦ ЕГС РАН, 2018. – Приложение на CD_ROM.
 15. **Радзиминович Я.Б., Кириллов П.Г.** К вопросу о региональных коэффициентах макросейсмического уравнения для территории Южного Прибайкалья. // Современные вопросы геологии. – Материалы молодежной конференции 2-е Яншинские чтения. – М.: Научный мир, 2002.
 16. **Рогожин Е.А., Арефьев С.С., Быкова В.В., Овсяченко А.Н.** Совершенствование методики определения сейсмических воздействий по данным установленных сейсмостанций, оперативной информации службы срочных донесений Геофизической службы РАН. Отчет ИФЗ РАН. – М.: ИФЗ, 2011. – 91 с.
 17. **USGS National Earthquake Information Centre** [Сайт]. – URL: <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/epic/>