

УДК 550.348.436:681.3

© Е.А. Левина

Е.А. Левина

ОПЕРАТИВНАЯ ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ СРЕДСТВАМИ ГИС

Введение

Несмотря на то что землетрясения ежегодно наносят серьезный урон хозяйству сейсмоопасных территорий и приводят к человеческим жертвам, прогноз этого явления до сих пор является нерешенной наукой задачей. Некоторые успехи достигнуты в среднесрочном и долгосрочном виде прогнозах (месяцы, годы) [2, 4, 6], но достижение надежных результатов в краткосрочном прогнозе (дни, часы) представляется маловероятным в обозримом будущем. В связи с этим главное значение в борьбе с последствиями землетрясений приобретают (наряду с сейсмическим районированием и сейсмостойким строительством) методы оперативного реагирования.

Как известно, энергетической характеристикой очага землетрясения является магнитуда (M). В России традиционно в качестве такой характеристики используются энергетические классы (K). Разные авторы применяют разные формулы связи этих величин, наиболее широко распространена формула $K = 1,8M + 4$, которая используется в данной работе. В то же время для оценки интенсивности сейсмических сотрясений на земной поверхности используются баллы по принятой в России 12-балльной шкале MSK-64. Их связь с энергетическими характеристиками – магнитудой и классом – не всегда прямая. Известно, что уровень сейсмических сотрясений существенным образом зависит от глубины расположения очага, от расстояния до эпицентра, а также от местных грунтовых условий. Так Ташкентское землетрясение 1966 года при небольшой магнитуде $M = 5,2$ вызвало 8-9 балльные сотрясения на поверхности, т.к. очаг его располагался на небольшой глубине (от 3 до 8 км) непосредственно под городом [8], в то время как значительно более сильные землетрясения могут не вызвать таких колебаний из-за большой глубины очага.

Интенсивность сотрясений на поверхности обычно падает с удалением от эпицентра землетрясения, но в неодинаковой степени по разным направлениям. Традиционно оценка распределения интенсивности сотрясений устанавливается путем макросейсмического обследования местности, что требует времени и значительных усилий. Построенные

по результатам такого обследования изосейсты (линии равного уровня сотрясений) часто имеют довольно сложную форму. Однако достоверно установлено, что в разных районах наблюдаются некоторые закономерности в распределении интенсивности сотрясений – она спадает по одним направлениям быстрее, чем по другим, что чаще всего зависит от разнообразия физико-механических свойств грунтов. Для принятия соответствующих решений со стороны органов МЧС, проектировщиков и других заинтересованных ведомств бывает важно знать, как распределится на местности интенсивность вибрационного воздействия землетрясения [7].

В настоящее время геоинформационные системы (ГИС) широко применяются для решения разных задач, в том числе и относящихся к анализу сейсмического процесса. Автором настоящей работы под руководством д-ра геол.-минерал. наук В.В. Ружича разработана специализированная ГИС «Prediction» [1], предназначенная для графической визуализации режима развития сейсмического процесса во времени и пространстве, обработки данных о землетрясениях, их статистического анализа и представления результатов в виде различного рода графиков и карт. Подсистемой этой ГИС является модуль «Изосейсты», предназначенный для построения изосейст, что может быть использовано для оценки возможных последствий сейсмических колебаний, которые будут ощущаться в пределах конкретных населенных пунктов и важных коммуникаций в результате прогнозируемого или только что произошедшего землетрясения.

Метод

Исходными данными для модуля «Изосейсты» являются координаты эпицентра землетрясения, его энергетический класс и глубина гипоцентра, если таковая имеется. В качестве уравнения спада балльности используются две формулы: экспонента

$$Y = Ae^{bx}, \tag{1}$$

где A – балл в эпицентре, Y – балл в точке, находящейся на расстоянии x от эпицентра, b – задаваемый коэффициент, и формула Н.В. Шебалина [9]

$$t_r - t_0, \tag{2}$$

где Y – балл в точке, находящейся на расстоянии x от эпицентра, h – глубина гипоцентра, A – балл в эпицентре, b , v и c – задаваемые коэффициенты.

Балл в эпицентре A рассчитывается по формуле:

$$A = (K - 8)/1,1, \text{ если } K > 14,0, \quad (3)$$

$$A = (K - 4)/1,8, \text{ если } K \leq 14,0.$$

Расчет спада балльности производится с заданным шагом по восьми направлениям – север, северо-восток, восток, юго-восток, юг, юго-запад, запад и северо-запад. Полученная таким способом матрица значений изучаемой величины подвергается сплайновой интерполяции, т.е. между каждыми двумя точками функция интерполируется полиномом третьей степени: $P(x) = ax^3 + bx^2 + cx + d$. Результат интерполяции получается составленным из кусков разных кубических парабол [5]. Таким образом, задача сводится к построению графика функции двух переменных в виде линий равных уровней. При задании коэффициентов спада балльности одинаковыми по всем направлениям, изосейсты, понятно, получатся в виде концентрических окружностей. Используя в качестве тестового какое-либо землетрясение, для которого известно поле распределения силы колебаний в различных местах на разных расстояниях от эпицентра, можно подобрать с помощью

программы опытным путем подходящие для этой местности коэффициенты и сохранить этот набор, присвоив ему произвольное название – в терминах программы это и будет модель спада балльности для данного района.

Информация о моделях хранится в виде трех таблиц, их структура и взаимосвязи показаны на рис. 1, где 1, 2, 3 – номера таблиц. Структура таблиц:

1 – Модели: Название – название модели, Тип – используемая формула (1 – экспонента, 2 – формула Н.В. Шебалина), Идентификатор – идентификатор модели;

2 – Коэффициенты: Модель – идентификатор модели, Направление – идентификатор направления, Коэффициенты – коэффициенты формулы для расчета изосейст;

3 – Направления: Направление – идентификатор направления, Ориентация – название направления.

Модуль «Изосейсты»

Для настройки модуля необходимы «тестовые», т.е. реально изученные при макросейсмическом обследовании землетрясения, для которых известно поле распределения интенсивности колебаний в различных местах на разных удалениях от

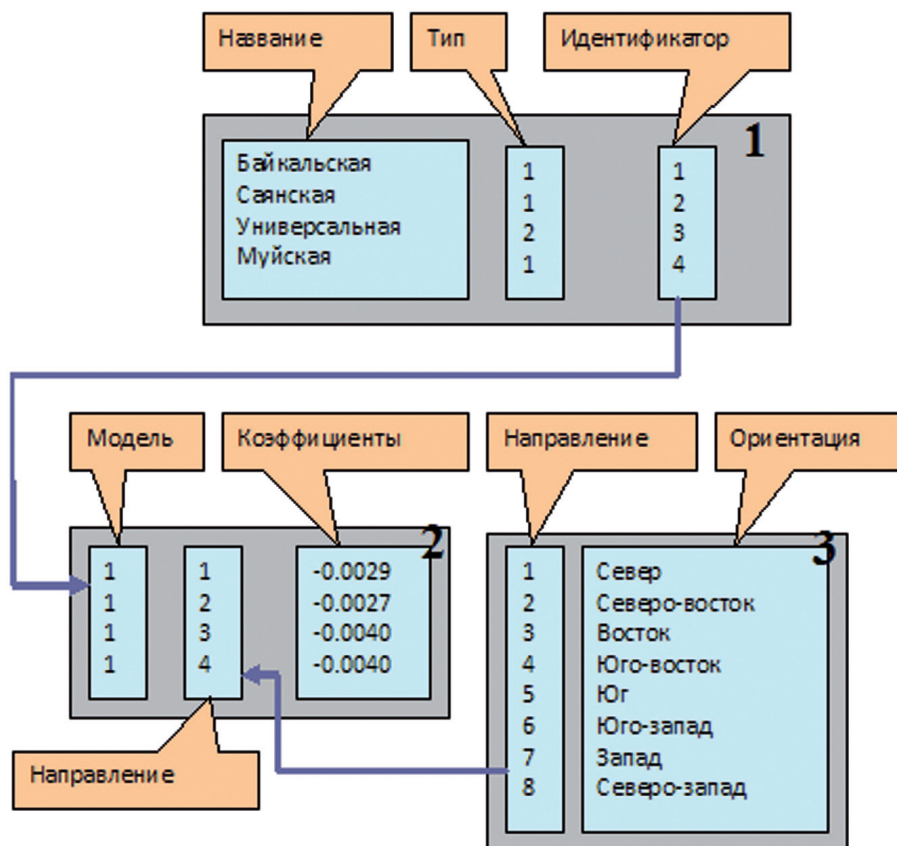


Рис. 1. Структура и взаимосвязи таблиц для хранения информации о моделях для расчета изосейст

эпицентра. С помощью такой информации опытным путем подбираются подходящие для этой местности коэффициенты спада балльности в зависимости от направления и расстояния от эпицентра.

Основное окно модуля «Изосейсты» – окно карты (рис. 2). Если предполагается использование параметров, заданных по умолчанию, можно приступить непосредственно к построению изосейст.

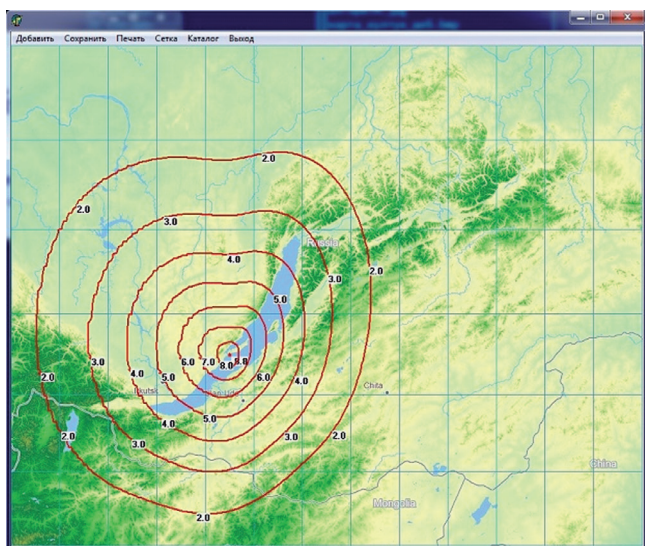


Рис. 2. Окно карты с построенными изосейстами тестового землетрясения с $K = 15$

В верхней части окна находится меню, а основную его часть занимает карта, поверх которой будут нарисованы построенные изосейсты. Построение изосейст начинается при выборе пункта меню «Добавить». Окно для задания параметров эпицентра землетрясения показано на рис. 3.

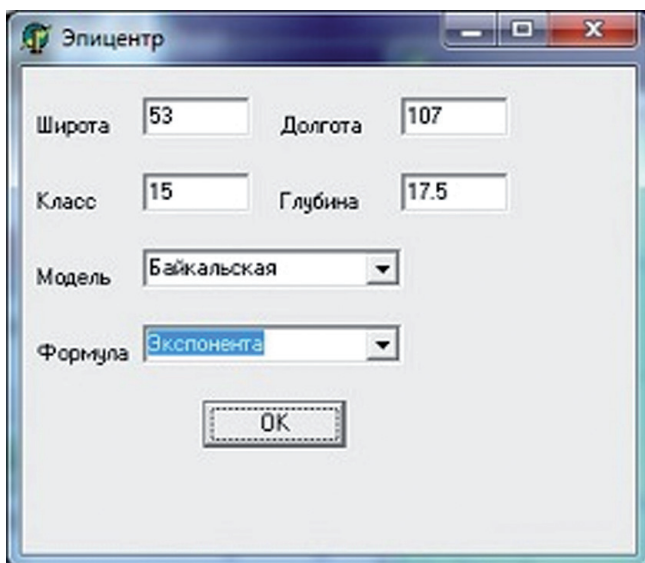


Рис. 3. Окно параметров эпицентра землетрясения

Здесь задаются широта и долгота эпицентра (в долях градуса), его класс и глубина гипоцентра. Затем необходимо выбрать модель и формулу, по которым будут строиться изосейсты. Модель выбирается из списка, заданного в таблице настроек. Формула выбирается из списка: экспонента или формула Н.В. Шебалина. После указания всех параметров в окне карты будут нарисованы построенные изосейсты для данного землетрясения, как это видно на рис. 2. Рядом с каждой изосейстой указано ее значение в баллах, а в центре указан расчетный балл в эпицентре.

Если требуется построить изосейсты сразу для нескольких землетрясений, то для этого предусмотрен режим ввода всей необходимой информации из заранее подготовленного файла. При выборе в окне соответствующего пункта меню карту с изосейстами можно сохранить в виде графического файла или распечатать.

Пункт меню «Каталог» предназначен для ретроспективного анализа точности прогноза землетрясений. Его окно показано на рис. 4. Здесь можно выбрать каталог и указать промежуток времени и диапазон классов, в соответствии с которыми надо произвести выборку. Все выбранные события будут нарисованы на карте кружками указанного цвета и радиуса. Если указать в качестве начальной дату составления прогноза, то можно убедиться, сколько землетрясений попало в прогнозируемые опасные районы, а сколько произошло в других местах.

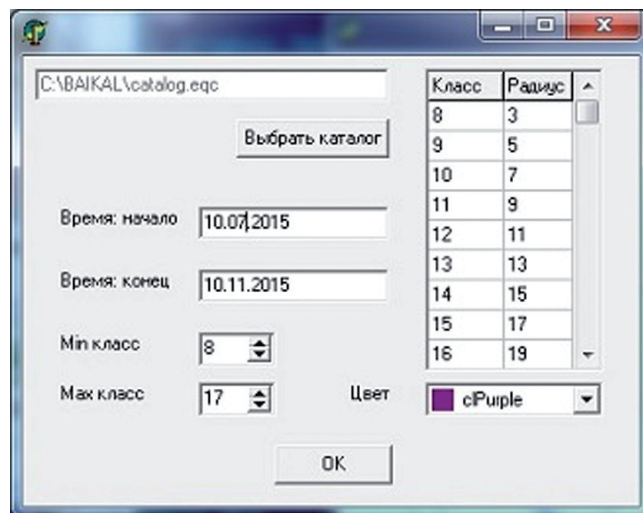


Рис. 4. Окно работы с каталогом землетрясений

С помощью окна настроек можно изменить заданные по умолчанию параметры программы. Окно содержит четыре закладки, первой появляется закладка «Карта», в полях ввода которой можно изменить координаты границ рассматриваемого

района (рис. 5а) и выбрать карту-подложку. Все координаты задаются в долях градуса. Вторая закладка «Оформление» позволяет изменить вид карты (рис. 5b) – выбрать, начиная с какого уровня рисовать изосейсты, каким цветом и толщиной; нужна ли оцифровка изосейст и координатной сетки. Третья закладка позволяет изменить параметры построения изосейст по формуле (1) – экспоненте (рис. 5с). Параметры меняются в соответствующих полях ввода для восьми направлений и для любой из заданных моделей (выбирается из меню). Четвертая закладка позволяет изменить параметры построения изосейст по формуле (2) – формуле Н.В. Шебалина (рис. 5d). Все внесенные таким образом изменения действительны только на время текущего сеанса.

Результаты

Рассмотрим возможности ГИС в построении изосейст на примере Култукского землетрясения ($K=15,3$) 27 августа 2008 г. Результаты макросейсмического обследования зоны, близкой к его эпицентру, описаны в [3]. На рис. 6 показана карта с изосейстами этого землетрясения из этой же работы. На рис. 7 показана карта с изосейстами силы колебаний Култукского землетрясения 2008 г., построенными с использованием экспоненциального уравнения спада балльности и модели «Байкальская»,

а на рис. 8 – такая же карта, но с использованием модели «Саянская» и формулы Н.В. Шебалина. Коэффициент b формулы (1) и коэффициенты b , v и c формулы (2) приведены в табл. 1.

Как видно из рис. 7 и 8, выбор формулы спада балльности и ее коэффициентов имеет важное значение – на картах с экспоненциальным уравнением спада балльности Иркутск, например, попадает в 7-балльную зону, а на карте с формулой Н.В. Шебалина – только в 6-балльную, что совпадает с результатами макросейсмического обследования. В приведенных расчетах взято значение энергии Култукского землетрясения $K=15,3$ по данным сейсмостанции «Иркутск» [10]. Важно также отметить, что точность оперативной оценки интенсивности сотрясений с применением ГИС во многом зависит как от точности определения энергетического класса, так и от выбранных коэффициентов той или иной модели, учитывающих параметры неравномерного затухания сейсмических колебаний в зависимости от строения земной коры в различных сейсмоактивных регионах.

Если не учитывать эти условия, ошибка в оперативных оценках балльности сейсмических сотрясений может достигать 1,5-2,0 баллов, что немаловажно, поскольку по этой информации приходится судить о степени негативных последствий

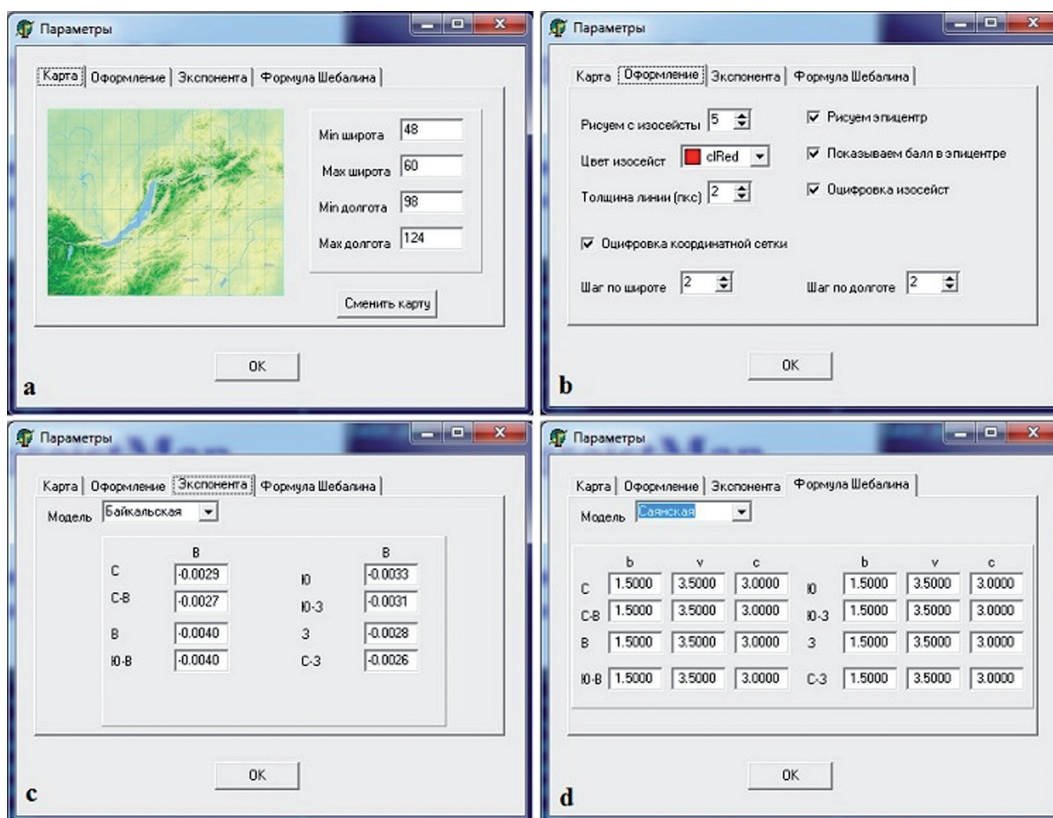


Рис. 5. Четыре закладки окна параметров: а – задание координат района и выбор карты-подложки; б – элементы оформления карты; с – коэффициенты экспоненциальной формулы; д – коэффициенты формулы Н.В. Шебалина

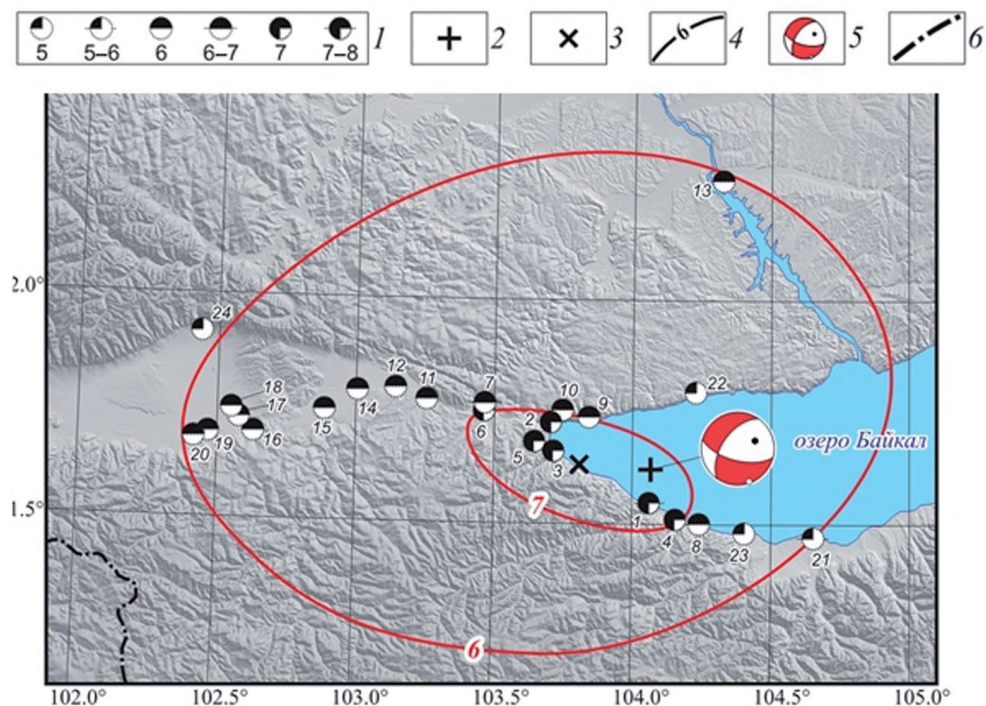


Рис. 6. Схема макросейсмических проявлений Култукского землетрясения 27 августа 2008 г. по результатам полевого обследования: 1 – интенсивность сотрясений по шкале MSK-64; 2 – инструментальный эпицентр; 3 – макросейсмический эпицентр; 4 – изосейста; 5 – механизм очага в проекции нижней полусферы согласно решению Сейсмологического центра Гарвардского университета (США); 6 – государственная граница. Рисунок взят из работы [3]

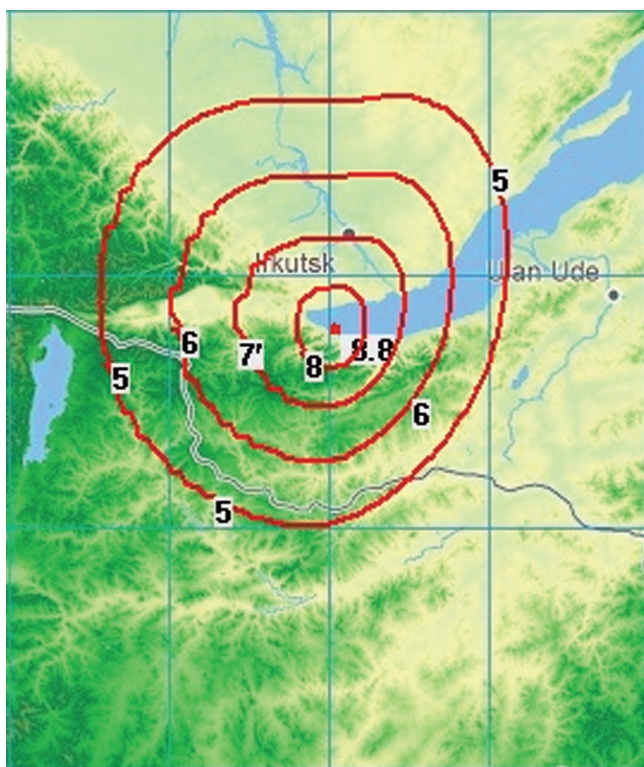


Рис. 7. Карта с изосейстами интенсивности колебаний Култукского землетрясения 2008 г., построенными с использованием экспоненциального уравнения спада бальности, модель «Байкальская»

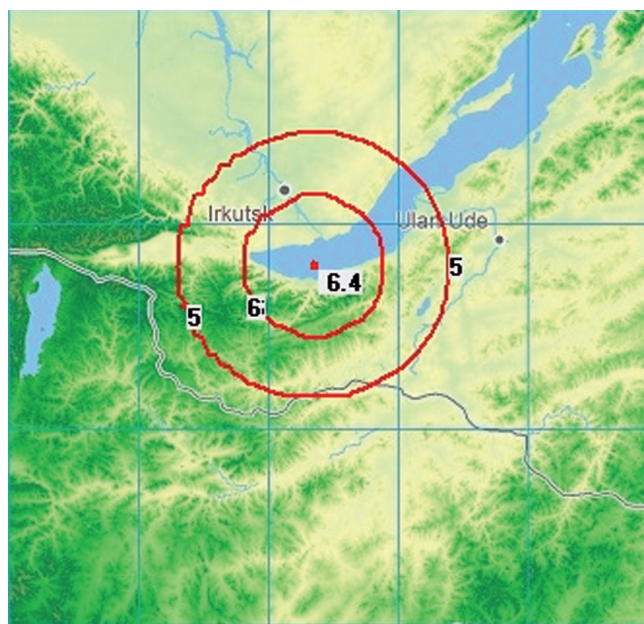


Рис. 8. Карта с изосейстами силы колебаний Култукского землетрясения 2008 г., построенными с использованием формулы Н.В. Шибалина для расчета спада бальности, модель «Саянская»

Таблица 1

Коэффициенты спада балльности по сторонам света для разных моделей

Направление	Модель «Байкальская», формула – экспонента	Модель «Саянская», формула Н.В. Шебалина		
	<i>b</i>	<i>b</i>	<i>v</i>	<i>c</i>
Север	-0,0029	1,5	3,5	3,0
Северо-восток	-0,0027	1,5	3,5	3,0
Восток	-0,0040	1,5	3,5	3,0
Юго-восток	-0,0040	1,5	3,5	3,0
Юг	-0,0033	1,5	3,5	3,0
Юго-запад	-0,0031	1,5	3,5	3,0
Запад	-0,0028	1,5	3,5	3,0
Северо-запад	-0,0026	1,5	3,5	3,0

от произошедшего землетрясения и выбирать меры для их ликвидации.

В настоящее время модуль «Изосейсты» используется для ежеквартального представления результатов среднесрочного прогноза землетрясений, подготовленного в ИЗК СО РАН, в ГУ МЧС РФ по Иркутской области.

Ключевые слова: изосейсты, уравнение спада балльности, оценка сейсмической опасности, прогноз землетрясений.

ЛИТЕРАТУРА

- Левина Е.А. Геоинформационная система для прогноза землетрясений и горных ударов: разработка и примеры применения в Байкальской рифтовой зоне и Норильском месторождении : автореф. дис. ... канд. геол.-минералогич. наук : 25.00.35. – Иркутск, 2011. – 19 с.
- Пономарева Е.И., Ружич В.В., Левина Е.А. Оперативный среднесрочный прогноз землетрясений в Прибайкалье и его возможности // Иркутский государственный университет, 2014.
- Радзиминович Я.Б., Имаев В.С., Радзиминович Н.А., Ружич В.В., Смекалин О.П., Чипизубов А.В. Эффекты култукского землетрясения 27 августа 2008 года с $MW = 6,3$ в ближней к Эпицентру зоне: результаты макросейсмического обследования // Вопросы инженерной сейсмологии. – ISSN 0132-2826. – 2009. – Т. 36. – № 1. – С. 56-71.
- Ружич В.В. Сеймотектоническая деструкция в земной коре Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1997. – 144 с.
- Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. – М. : Наука, 1989.
- Соболев Г.А. Концепция предсказуемости землетрясений на основе динамики сейсмичности при триггерном воздействии – М. : ИФЗ РАН, 2011. – 56 с.
- Тюньков В.В, Ружич В.В., Левина Е.А. Уровень демпфирования как дополнительный фактор оценки устойчивости системы железнодорожных сооружений при экстремальных динамических воздействиях // Известия Иркутской государственной экономической академии. – 2014. – № 6 (98). – С. 159-167.
- Уломов В.И., Захарова А.И., Уломова Н.В. Ташкентское землетрясение 26 апреля 1966 г. и его повторные толчки // ДАН СССР. – 1967. – Т. 177. – № 3. – С. 567-570
- Шебалин Н.В. Методы использования инженерно-сейсмологических данных при сейсмическом районировании // Сейсмическое районирование СССР. – М. : Наука, 1968. – С. 95-111.
- Байкальский филиал Геофизической службы СО РАН [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.seisbykl.ru/> (дата обращения 12.09.2015).