

УДК 550.34.004.94

Терещенко Максим Викторович

ведущий инженер,
Технический институт (филиал)
СВФУ им. М.К. Аммосова в г. Нерюнгри,
678960, Республика Саха (Якутия),
г. Нерюнгри, ул. Кравченко, 16
e-mail: terexa@pochta.ru

Гриб Николай Николаевич,

доктор технических наук, профессор,
Технический институт (филиал)
СВФУ им. М.К. Аммосова в г. Нерюнгри,
e-mail: grib@nfygu.ru

МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ НА ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ*

Аннотация:

Обосновывается необходимость проведения оценки сейсмической активности территории Южной Якутии. Рассматривается вопрос моделирования сейсмической среды с учетом особенностей строения геологической среды для обеспечения необходимой достоверности результатов. Описана структура разработанной реляционной базы данных, обеспечивающей хранение результатов многолетних наблюдений сейсмической активности изучаемого региона. В предлагаемом программном обеспечении реализована возможность динамической визуализации геологических и промышленных объектов с целью сопоставления зарегистрированных сейсмических событий и расположения тектонических разломов для повышения достоверности оценки сейсмической опасности. Приведены основные формулы из математического аппарата, используемые при разработке программного обеспечения *SeismicAnalysis* и математической модели сейсмической активности. Описан подход к реализации геоинформационной системы с использованием функционала среды разработки программного обеспечения *Embarcadero Delphi* и *GoogleMap*.

Ключевые слова: сейсмическая активность, моделирование, сейсмическая опасность, сейсмоусиление, разломы, база данных, программное обеспечение

DOI: 10.18454/2313-1586.2016.03.064

Tereshchenko Maxim V.

principal engineer,
Technical Institute (branch) of North-Eastern
Federal University named after M. K. Ammosov,
678960, Russia, Nerungri, st. Kravchenko, 16
e-mail: terexa@pochta.ru

Grib Nicholas N.

Ph.D., professor,
Technical Institute (branch) of North-Eastern
Federal University named after M. K. Ammosov
e-mail: grib@nfygu.ru

THE SEISMIC ACTIVITY MODELLING FOR ASSESSING THE IMPACT OF EARTHQUAKES ON INDUSTRIAL FACILITIES

Abstract:

The authors justify the need to assess the seismic activity of South Yakutia. Discusses the seismic environment modeling based on characteristics of the geological environment structure to ensure the necessary reliability of the results. The article describes the structure of the developed relational database that stores the results of long-term seismic activity observations of the region under study. The proposed software allows dynamic visualization of geological and industrial facilities in order to compare the recorded seismic events and the tectonic faults location to improve the reliability of seismic hazard assessment. The paper contains the basic formulas of mathematical tools used in software *SeismicAnalysis* and seismic activity mathematical model. The authors describe the approach to the implementation of a geographic information system with functions *SDK Embarcadero Delphi* and *GoogleMap*.

Key words: seismic activity, modeling, seismic hazard, seismic strengthening, faults, database, software

В соответствии со "Схемой комплексного развития производительных сил, транспорта и энергетики Якутии до 2020 года" Южная Якутия должна получить новый импульс развития как инфраструктурный узел и промышленный центр, включающий в себя

* Работа выполнена при поддержке Грантом Главы Республики Саха (Якутия) для молодых ученых, специалистов и студентов, 2015

объекты гидроэнергетики, нефте- и газопроводы, а также промышленные производства, связанные с глубокой переработкой полезных ископаемых [1].

Оценка сейсмической активности этого региона является актуальной несколько десятилетий в связи с необходимостью обеспечения сейсмобезопасного функционирования кластера крупных промышленных и гражданских объектов. Среди них функционирующие угольный разрез «Нерюнгринский» и связанные с ним производства, нефтепровод «Восточная Сибирь – Тихий океан», развивающиеся Эльгинский угольный комплекс, Амуро-Якутская железнодорожная магистраль и 320-километровая железнодорожная ветка Улак-Эльга, включающая в себя порядка 420 искусственных сооружений, а также строящийся газопровод «Сила Сибири».

Данные многолетних наблюдений сейсмической активности и регистрация потенциально опасных событий, в том числе подробно изложенных в работе [2], и указанные выше обстоятельства доказывают необходимость изучения сейсмической активности Южной Якутии, параметров и степени опасности зафиксированных землетрясений для последующей оценки, районирования и моделирования сейсмической среды.

Важно определить влияние потенциальных сейсмоопасных зон на определенные объекты, оценить максимально возможную энергию землетрясений для принятия необходимых мер по сейсмоусилению зданий и сооружений еще на этапе проектирования. При этом необходимо учитывать и влияние такого значимого геозкологического фактора, как сейсмическое воздействие крупных промышленных взрывов, особенно при открытом способе разработки полезных ископаемых [3].

Определение основных тенденций в динамике развития сейсмических и геофизических процессов, выявление аномального распределения сейсмических событий и параметров сейсмического процесса во времени ведет к возможности построения модели сейсмических событий. Для этого необходимо осуществить формирование базы данных регистрируемых на постоянной основе показателей, проведение необходимой обработки экспериментальных данных, расчет значений основных параметров сейсмического процесса, визуализацию статистических данных в соответствии с запросами исследователя. Основу при этом составляют данные регулярных наблюдений научно-исследовательской лаборатории мониторинга и прогноза сейсмических событий в г. Нерюнгри.

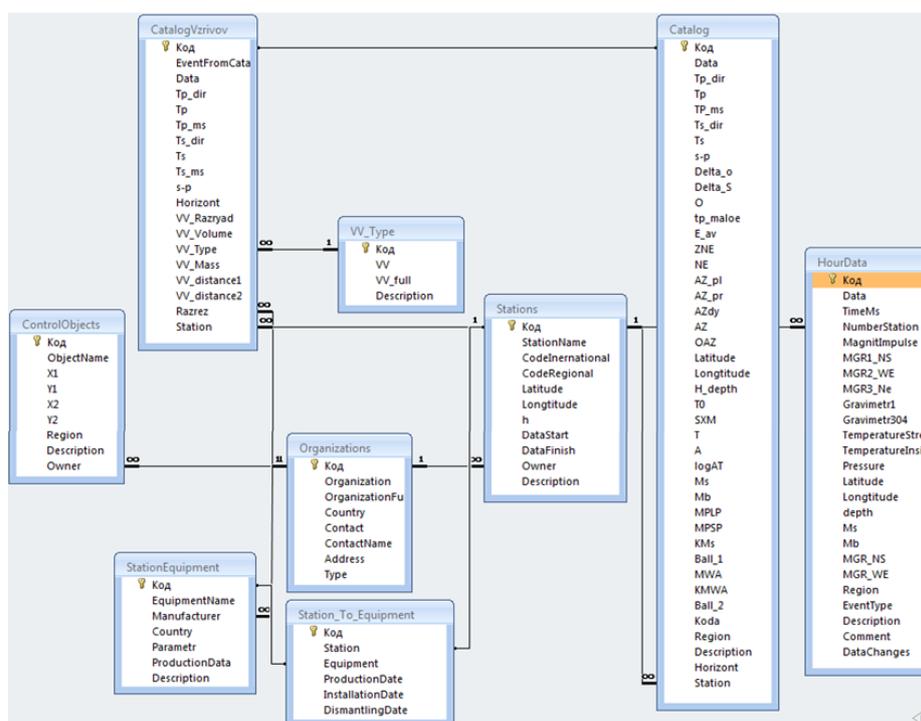


Рис. 1 – Структура базы данных SeismicAnalysis v.1.0

Результаты регистрации динамики геофизических и сейсмологических параметров за период с 2002 по 2015 годы включены в реляционную базу данных SeismicAnalysis, представленную на рис. 1.

При этом структура указанной базы данных описывает также такие объекты, как промышленные предприятия и инфраструктурные объекты ControlObjects, зарегистрированные взрывы на участках разработки полезных ископаемых CatalogVzrivov, типы применяемых взрывчатых веществ при проведении взрывных работ VV_type, используемое на сейсмостанции оборудование StationEquipment и пр.

С целью оценки сейсмической опасности для существующих, развивающихся и проектируемых промышленных и гражданских объектов необходимо реализовать информационную систему, представляющую возможность осуществления необходимых расчетов с отображением как исходных, так и полученных в результате вычислений данных на карте:

- сейсмических событий и их параметров;
- объектов, для которых проводится оценка;
- степени сейсмической опасности для объектов;
- оценки воздействия сейсмических событий на объекты.

Наличие модуля графической визуализации позволяет реализовать геоинформационную систему, что является одним из необходимых условий для создания программного продукта, востребованного исследователями, с целью моделирования. При этом важно при визуализации основных параметров избежать избыточности отображаемых данных, т. к. нагромождение параметров может не только затруднить чтение визуального каталога, но и скрыть имеющиеся тенденции и возможные предпосылки их возникновения. Для этого пользовательский интерфейс содержит опции по ограничению периода выборки данных, диапазонов изучаемых параметров и др.

С целью реализации геоинформационной системы принято решение использовать возможности и функционал интегрированной среды разработки программного обеспечения Embarcadero Delphi, входящего в пакет Embarcadero RAD Studio XE7, и Google Maps, набора приложений, построенного на базе бесплатного картографического сервиса и технологии Google (рис. 2).

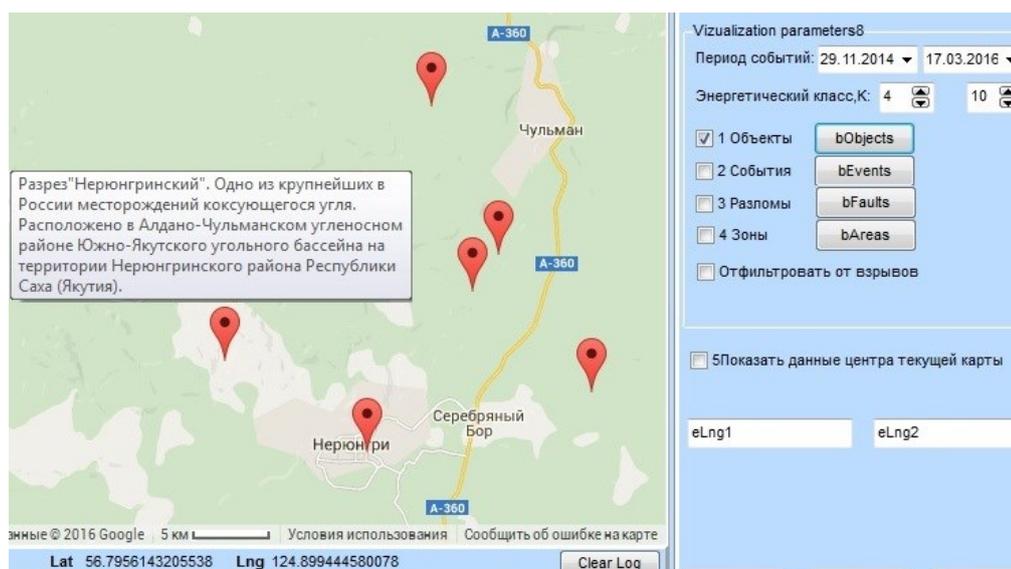


Рис. 2 – Скриншот части экрана программы Seismic Analysis

При этом в качестве решения, позволяющего использовать возможности Google Maps API, применяется библиотека GMLib (Google Maps Library). GMLib – это компоненты для Delphi, инкапсулирующие GoogleMaps API, которые могут достаточно легко

отображать карты Google. Результат на экран выводится с помощью компонента-браузера TWebBrowser, использующего элемент управления ActiveX WebBrowser, который входит в состав Microsoft Internet Explorer. В качестве основных компонент библиотеки также применяются GMMar – компонент для управления картой, GMMarker – компонент для управления отметками на карте, GMGeoCode – компонент для запросов и геокодирования. Использование технологии GoogleMaps позволяет встраивать в приложение базовые карты, снимки со спутника без их разработки при наличии возможности добавления на них необходимых объектов – от эпицентров землетрясений и простых объектов до разломов и крупных промышленных и инфраструктурных контролируемых объектов (угольные разрезы, ЛЭП, железная дорога).

Необходимость визуализации тектонических разломов обусловлена задачей повышения достоверности оценки сейсмической опасности в пределах исследуемой области. Учитывая, что очаги землетрясений, как правило, образуются в первично-трещиноватой среде и при этом расположение их гипоцентров от осевой линии разломов прямо зависит от величины магнитуды, необходимость учета расположения активных разломов с целью оценки сейсмоопасных зон получает соответствующее обоснование. При этом при оценке вероятной балльности максимальные радиусы откладываются от эпицентра вдоль простирания сейсмогенерирующих структур, в том числе и разломов. Сопоставимость зарегистрированных сейсмических событий и карты тектонических разломов позволяет выстроить теоретическую базу для физического обоснования предлагаемых алгоритмов и положений.

С целью моделирования потенциального воздействия сейсмических событий на промышленные и гражданские объекты и минимизации возможных последствий необходимо проводить оценку средней балльности от известного и вероятного очагов землетрясений. Макросейсмическое поле при $M \leq 6,0$, создаваемое точечной моделью очага на некотором расстоянии от пункта наблюдения описано уравнением, предложенным Н.В. Шебалиным [4]:

$$I_i = bM - \gamma \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h_i^2} + c, \quad (1)$$

где I_i – балльность на расстоянии Δ_i , км; h – глубина очага, км; b, γ, c – свободные члены уравнения макросейсмического поля, в среднем равные 1,5, 3,5, 3,0, соответственно. В рамках Олекмо-Становой сейсмической зоны (ОССЗ), к которой относится и Южная Якутия, на основании установленной В.С. Имаевым зависимости, коэффициенты принимают значения 1,5, 3,0 и 2,5.

Исходя из вышесказанного, уравнение оценки интенсивности принимает следующий вид:

$$I_i = 1,5 \cdot M - 3,0 \cdot \lg \sqrt{\Delta_i^2 + h_i^2} + 2,5. \quad (2)$$

При этом установленные значения интервалов глубин h для отдельных районов ОССЗ приводятся в работе [2].

Для оценки воздействия сейсмического события на контролируемый объект используется абсолютный предел балльности для точки на расстоянии Δ_i , который определяется следующим образом:

$$I_i \leq 1,5 \cdot M - 3,0 \cdot \lg \sqrt{\Delta_i^2 - \alpha 10^{\beta M}} + 2,5, \quad (3)$$

где численные коэффициенты $\alpha \approx 0,0033$ и $\beta \approx 0,68$.

В случае $M \geq 6,5$ необходимо учитывать и протяженность очага с учетом приближенных оценок размеров первых изосейст, рекомендованных Н.В. Шебалиным [4].

При этом моделирование сейсмической активности и воздействия сейсмических событий на промышленные и гражданские объекты невозможно без применения выстроенной теоретической базы для физического обоснования предлагаемых алгоритмов и положений. Детальный анализ в привязке к областям динамического влияния разломов [5] и сейсмоактивным зонам, определенным на основании анализа ретроспективных данных, позволяет повысить достоверность результатов моделирования.

Разработанное программное обеспечение предоставило исследователю возможность оптимизации трудоемких процессов первичной обработки результатов наблюдений и их визуализации. Совместное применение с реализованной базой данных позволило организовать эффективное хранение и обработку исходной информации и преобразованных данных в соответствии с требованиями, предъявляемыми к реляционным базам данных. В свою очередь, это позволит решить задачи оценки сейсмического воздействия на инфраструктуру и минимизации возможного ущерба от наступления сейсмических событий.

Литература

1. Инвестиционный проект "Комплексное развитие Южной Якутии" [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <http://www.sakha.gov.ru/node/4748>
2. Трофименко С.В. Структура и динамика геофизических полей и сейсмических процессов в блоковой модели земной коры / С.В. Трофименко. – Якутск: Издательский дом СВФУ, 2013. – 360 с.
3. Методика оценки и прогноза сейсмической опасности промышленных взрывов на разрезе «Нерюнгринский» / Н.Н. Гриб, Е.Н. Черных, А.Ю. Пазынич, А.А. Сясько, М.В. Терещенко и др. - Иркутск-Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) ЯГУ, 2007. – 41 с.
4. Региональные шкалы сейсмической интенсивности (опыт создания шкалы для Прибайкалья) / С.И. Шерман, Ю.А. Бержинский, В.А. Павленов, Ф.Ф. Аптикаев. — Новосибирск: СО РАН филиал «ГЕО», 2003. – 189 с.
5. Разломная тектоника и геодинамика в моделях очаговых зон сильных землетрясений Южной Якутии / В.С. Имаев, С.В. Трофименко, Н.Н. Гриб и др. – Нерюнгри: Изд-во Технического института (ф) ЯГУ, 2007. – 272 с.