

**НАИБОЛЕЕ РАЗРУШИТЕЛЬНЫЕ ПРИРОДНЫЕ КАТАКЛИЗМЫ**  
(СОВОКУПНЫЕ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОТЕРИ  
НАРАСТАЮЩИМ ИТОГОМ, \$ МЛРД)

ИСТОЧНИК: AON.

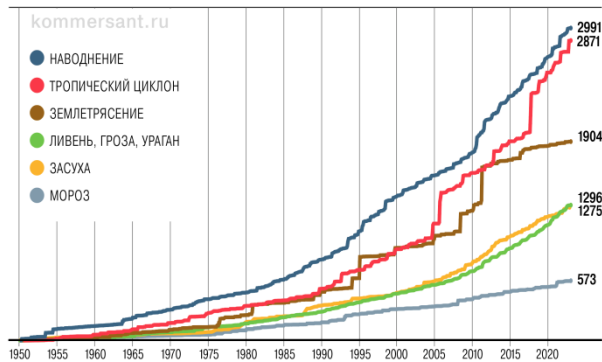


Рисунок 1. Совокупные экономические потери нарастающим итогом по оценкам страхового брокера AON (источник kommersant.ru)

Оценка глобальных рисков является важной составляющей с точки зрения понимания и принятия мер по снижению вероятности наступления и влияния различных угроз. Сейчас существует множество рисков, способных оказать серьезные последствия как для людей, проживающих в нашей стране, так и на экономическую стабильность Российской Федерации в целом. Такими рисками являются климатические изменения, катастрофические землетрясения, наводнения

и многие другие природные катастрофы, которые периодически происходят на территории РФ. Таким примером служит землетрясение 1995 года в Нефтегорске, общий экономический ущерб которого по разным оценкам составил более \$425 млн.

Мировое сообщество уже довольно давно ведет исследования в части оценки возможных глобальных рисков и создает соответствующие методики и инструменты моделирования рисков и возможного ущерба от них. Многие развитые страны уже давно зарекомендовали себя как опытные специалисты в данном направлении, в частности, США уже более 30 лет находится в этой индустрии, Европа и Индия более 25 лет, Китай более 15. В этих странах созданы соответствующие программные комплексы, которые используются для различных задач, в частности, в страховании и перестраховании для вероятностных оценок возникновения различных рисков событий, а также возможных экономических последствий от них, наиболее известными в данной области компании: Swiss Re, Munich Re, AON и другие.

В России первой подобной организацией является Акционерное общество Российская национальная перестраховочная компания, созданная в 2016 году, единственным акционером которой является Банк России. Именно она первой занялась проработкой подобных рисков в масштабах страны для обеспечения своей деятельности в полном объеме. Вследствие наложенных санкций и ограничений на различные сферы деятельности РФ, было принято решение разрабатывать

собственные методики и инструменты оценки экономического риска, основанные исключительно на отечественных научных знаниях и разработках в соответствующих сферах.

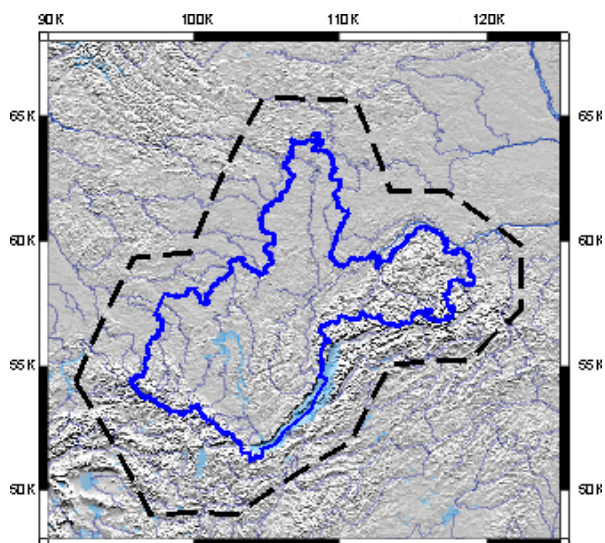


Рисунок 2. Административные границы Иркутской области (синим). Границы территории, для которой создается синтетический каталог землетрясений (черным пунктиром).

Проект по созданию прототипа автоматизированной аналитико-информационной системы Риск-офиса был выполнен в рамках задания ЦБ РФ. Одним из основных направлений деятельности в данном проекте было создание комплексной методики прогнозирования экономического ущерба от землетрясений (далее – Методика).

Для решения данной задачи со стороны АО РНПК были сформированы договорные отношения с ФГБУН ИТПЗ РАН и АО «НИЦ «Строительство», задача которых заключалась

в непосредственной разработке следующего:

- Методика моделирования землетрясений;
- Методика моделирования сейсмического воздействия;
- Создание синтетического каталога землетрясений на условный период 20000 лет;
- Создание методики оценки экономического ущерба от воздействия землетрясений для объектов капитального строительства (ОКС);
- Создание функций уязвимости для ОКС с определенным набором характеристик.

Для реализации и апробации данного подхода в качестве пилотного региона была выбрана Иркутская область, которая является одним из наиболее сейсмоопасных субъектов Российской Федерации с развитой инфраструктурой.

Первоочередной задачей для анализа возможного экономического ущерба от воздействий землетрясений является определение возможных сейсмических воздействий на территории, для которой производится оценка. Единственным существующим инструментом в России, позволяющим оценить сейсмическую

опасность территории являются карты Общего сейсмического районирования, которые базируются на международных принципах оценки сейсмической опасности PSHA (Probabilistic seismic hazard assessment), и которые имеют в себе ряд существенных недочетов. Разработанная в рамках данного проекта методика моделирования землетрясений и сейсмических воздействий от них учитывает результаты современных научных исследований в области сейсмологии.

### ***Разработка методики моделирования землетрясений и воздействий от них***

Первый этап работы заключался в сборе и обработке данных о землетрясениях, которые происходили ранее в регионе исследований. Для этого были отобраны пять каталогов землетрясений, которые содержат необходимую информацию.

В рамках данного этапа по созданию калиброванного каталога землетрясений для территории Иркутской области (рисунок 3) были выполнены следующие виды работ:

- Идентификация дублей и последующее их удаление при объединении каталогов;
- Унификация магнитуды в объединенном каталоге;
- Построение калиброванного каталога землетрясений в области исследования.

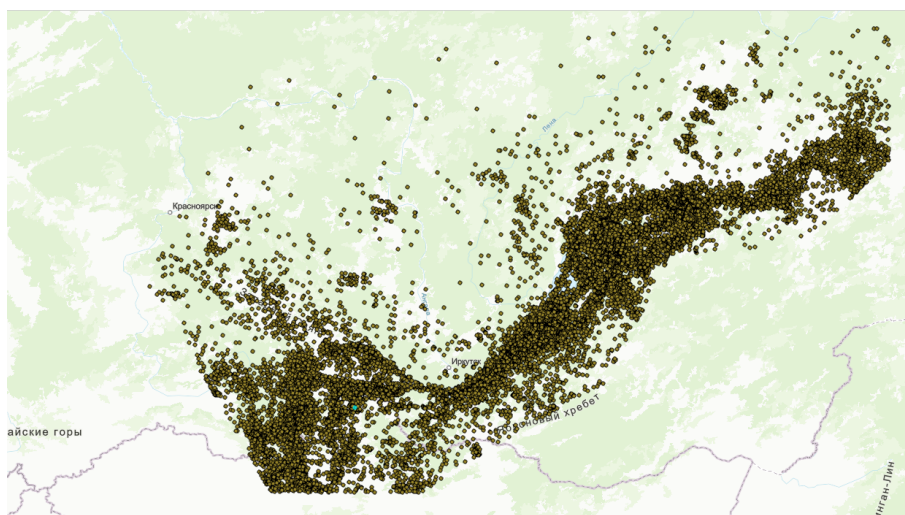


Рисунок 3. Калиброванный каталог землетрясений. Точками показаны землетрясения, произошедшие в пределах района Иркутской области.

Второй этап заключался в оценке параметров сейсмического режима в объединенном каталоге. Известный факт, что землетрясения подразделяются на фоновые события и связанные события – афтершоки. Объединенный каталог включает в себя все события, которые необходимо разделить для наиболее корректной оценки сейсмического режима исследуемого региона. Работа включала в себя:

- Определение представительной магнитуды для всего объединенного каталога, разделение каталога на фоновые и связанные события с последующим созданием каталога фоновых событий;
- Была произведена оценка максимальной возможной региональной магнитуды;
- Произведены локальные оценки параметров закона Гутенберга-Рихтера – это необходимо для того, чтобы учесть неравномерность пространственного распределения сейсмичности в Иркутской области и прилегающих районах;
- Построены карты вариации сейсмической активности (Рис. 4а);
- Произведены оценки и картирование вариаций наклона графика повторяемости (рисунок 4б);
- Верификация модели сейсмического режима для каталога фоновых событий;
- Оценка параметра закона Гутенберга-Рихтера для каталога афтершоков;
- Оценка параметров закона Омори-Утсу;
- Оценка локальных параметров закона продуктивности землетрясений.

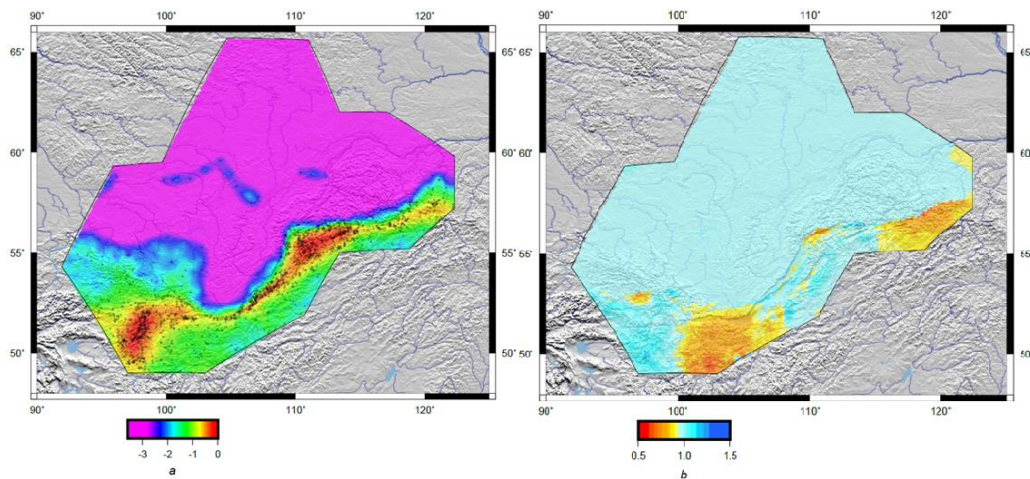


Рисунок 4. а) Карта вариации сейсмической активности. б) Карта вариации наклона графика повторяемости.

Третий этап заключался в определении мест возможного возникновения сильных землетрясений с применением алгоритмов распознавания образов. Данный этап включал в себя следующие виды работ:

- Морфоструктурное районирование территории исследования (рисунок 5);
- Определение характеристик узлов, которые используются для их описания;
- Распознавание потенциально сейсмоопасных морфоструктурных узлов с применением алгоритмов распознавания образов (рисунок 5).

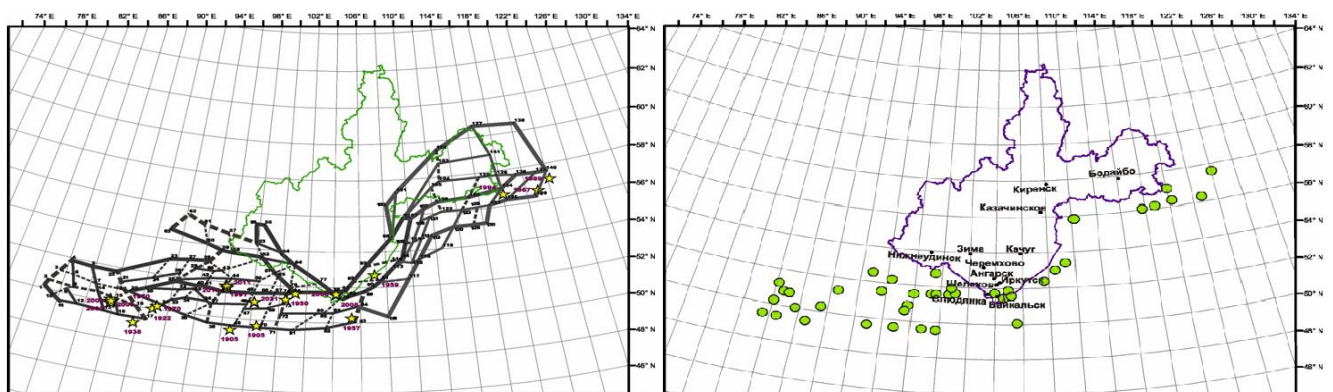


Рисунок 5. Слева – морфоструктурное районирование территории. Справа – зеленым кругами показаны распознанные потенциально сейсмоопасные морфоструктурные узлы.

На четвертом этапе происходила генерация синтетического каталога землетрясений(СКЗ) на условный период времени – в данном случае 20 000 лет (рисунок 6). Это является финальным результатом в моделировании сейсмического режима.

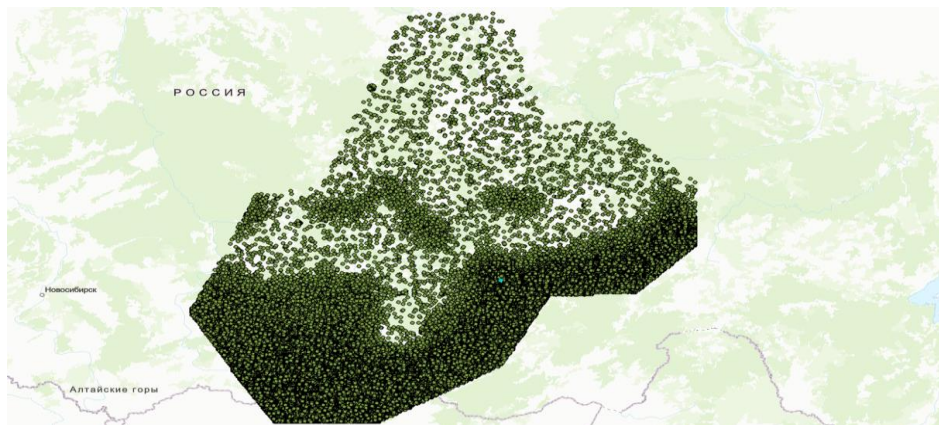


Рисунок 6. Модель сейсмического режима для территории Иркутской области в виде СКЗ на условный период 20000 лет.

Данный этап предполагает следующий алгоритм:

- Моделирование фоновой сейсмичности – формирование Пуассоновского потока событий в соответствии с интенсивностью событий из калиброванного каталога;
- Отнесение событий с магнитудой больше  $M_{max}$  к узлам, которые были ранее распознаны как сейсмоопасные, с нормальным круговым распределением со среднеквадратичным отклонением равным радиусу круга, определенного на третьем этапе;
- Моделирование афтершоковой активности в несколько итераций – афтершоки первого уровня иерархии (генерация непосредственных афтершоков) и т.д., пока появляются новые уровни иерархии;

На пятом этапе задача состояла в создании модели сейсмического воздействия для исследуемого региона (рисунок 7). На этом этапе были выполнены следующие шаги:

- Оценка доминирующих направлений активных разломов для территории Иркутской области, при использовании БД активных разломов Евразии;

- Определение необходимых параметров для моделирования распространения сейсмического воздействия к точке наблюдения.

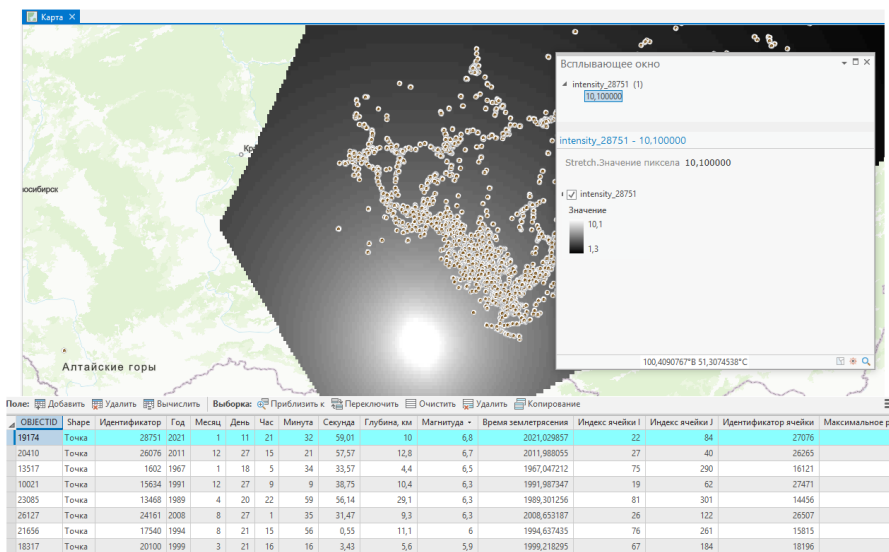


Рисунок 7. Модель распространения сейсмического воздействия от землетрясения. Цвет характеризует силу воздействия в баллах по шкале MSK-64.

Заключительным этапом при создании модели сейсмического режима и модели сейсмического воздействия являлись работы по верификации результатов моделирования. Были определены ряд тестов, которые проверяли соответствие моделей реально наблюдаемым данным.

### ***Разработка методики оценки экономического ущерба от землетрясений для ОКС***

Основная цель данной работы заключается в определении сейсмической уязвимости объектов капитального строительства в зависимости от степени сейсмического воздействия на них.

Для оценок возможного экономического ущерба от землетрясений необходимо иметь данные об объектах капитального строительства. Такие данные были получены от ППК «Роскадастр», содержат в себе ряд основных атрибутов: 1) координаты объекта; 2) информация о кадастровой стоимости (КС) объекта; 3) наименование объекта; 4) назначение объекта; 5) дата определения КС; 6) материал из которого преимущественно построен объект; 7) количество этажей – всего; 8) количество подземных этажей; 9) год постройки объекта.

Для решения задачи по оценке ущерба для объекта в первую очередь необходимо определить основные параметры понижения сейсмической устойчивости ОКС в соответствии с их атрибутивным составом:

- Ответственность ОКС – к какой категории ответственности при строительстве относится объект;
- Фоновая сейсмичность – определяется в зависимости от ответственности по картам ОСР;
- Материал, из которого преимущественно построен объект – материал стен;
- Класс уязвимости – в зависимости от материала стен;
- Конструктивно-планировочные решения при строительстве – зависит от материала стен и этажность объекта;
- Год постройки ОКС.

Представленный набор параметров позволяет вычислить фактическую сейсмостойкость для каждого конкретного объекта путем определения разности фоновой сейсмичности и дефицита сейсмостойкости, который в свою очередь определяется индивидуально для каждого объекта с учетом тех же атрибутивных параметров.

Дефицит сейсмостойкости определяется путем вычисления суммарного эффекта от каждого фактора понижения сейсмической устойчивости здания.

По результатам анализа сейсмического воздействия на различные типы объектов были получены функции уязвимости (таблица 1). Законы разрушения, при определении функции уязвимости строились на основе данных инженерного анализа последствий сильных землетрясений.

Таблица 1. Степень повреждения здания фактической сейсмостойкости при воздействии землетрясения в баллах.

Фактическая сейсмостойкость	Степень повреждения ОКС при расчетном воздействии в баллах				
	6	7	8	9	10
4-4,5	1	2	5	5	5
5-5,5	1	2	4	5	5
6-6,5	0	2	3	5	5
7-7,5	0	1	2	4	5
8-8,5	0	0	1	3	4
9-9,5	0	0	0	1	2
10	0	0	0	0	1



В результате было определено 5 степеней повреждений в зависимости от фактической сейсмостойкости объекта для набора возможных значений интенсивности землетрясений по шкале MSK-64. Для определения непосредственно возможного экономического ущерба для каждой степени повреждения было определено отношение стоимости восстановления здания к его первоначальной стоимости – сейсмическая уязвимость (таблица 2).

Таблица 2. Взаимосвязь степени повреждения и уязвимости для ОКС.

Степень повреждения	0	1	2	3	4	5
Уязвимость	0	0,06	0,3	0,6	1	1,2

На основании разработанной комплексной методики был разработан инструмент, позволяющий рассчитывать возможный экономический ущерб для отдельного ОКС от каждого события из СКЗ. По полученным значениям ущербов строится график вероятностного распределения ущерба от землетрясений для исследуемой территории (рисунок 8).

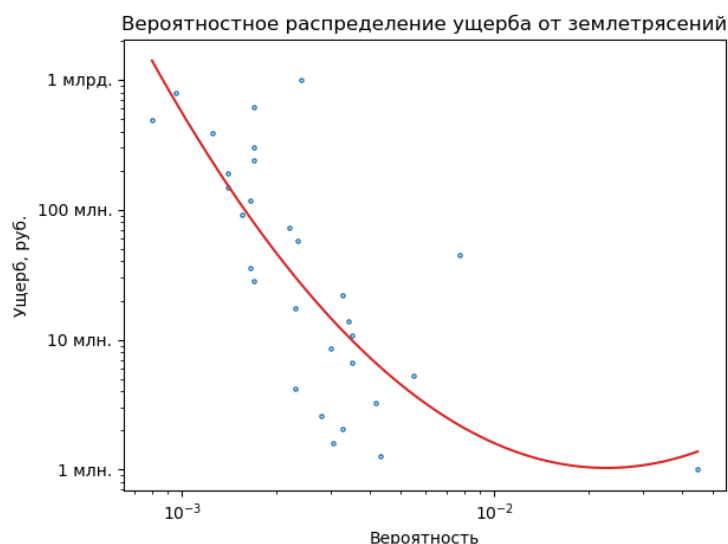


Рисунок 8. График вероятностного распределения ущерба для территории Иркутской области.

После ознакомления с результатами выполнения пилотного проекта и апробации Методики главным акционером АО РНПК - Банком России было дано задание по масштабированию Методики для остальной территории Российской Федерации.