УДК 550.348:550.834(265.53)

Уточнение фоновой сейсмичности на участке изысканий «Сахалинская ГРЭС-2» (о. Сахалин)

В.Н. Соловьев¹, И.Н. Тихонов¹, А.И. Кожурин^{2, 3}

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, Россия

²Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, Россия

ЗГеологический институт РАН, г. Москва, Россия

Аннотация. Осуществлено уточнение фоновой сейсмичности территории в окрестности планируемого строительства Сахалинской ГРЭС-2 в районе перешейка Поясок. Выполнено дешифрирование аэрофотоснимков изучаемой территории, включая участок изысканий. Обнаружено пять неизвестных прежде активных разломов, четыре из которых — с высокой степенью достоверности. Все они расположены за пределами участка изысканий. В пределах участка изысканий признаков активных разломов не обнаружено. Рассчитаны проектные спектры реакции для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет и сделан подбор акселерограмм-аналогов. Разработаны карты ДСР в параметрах макросейсмической интенсивности сотрясений (I_{MSK}) и пикового ускорения грунта (*PGA*, g) при 5%-ном затухании для периодов повторяемости 500, лет. Оценки I_{MSK} на картах ДСР в центральном пункте изысканий для средних грунтов категории II оказались ниже по сравнению с аналогичными данными ОСР-97 на 0.4 (карта A), 1.0 (карта B) и 0.3 (карта C) балла.

Ключевые слова: о. Сахалин, мелкофокусная сейсмичность, активные разломы, модели сейсмичности, вероятностный анализ, оценка сейсмической опасности, детальное сейсмическое районирование.

Введение

Официальным документом, определяющим уровень фоновой сейсмичности и влияние грунтовых условий, для территории Российской Федерации является СНиП-II-7-81* [2000] и комплект карт общего сейсмического районирования ОСР-97 [Уломов, Шумилина, 1999]. Карты ОСР-97 отражают расчетную интенсивность сейсмических сотрясений в баллах шкалы MSK-64, ожидаемых на данной площади с заданной вероятностью p(%) в течение определенного интервала времени t на средних грунтах, соответствующих грунтам категории II по СНиП-II-7-81*.

Комплект карт ОСР-97 состоит из трех карт: ОСР-97А (карта А), ОСР-97В (карта В) и ОСР-97С (карта С), которые соответственно отвечают вероятности 10, 5 и 1% возможного превышения (или 90, 95 и 99% непревышения) расчетной сейсмической интенсивности в течение 50-летних интервалов времени, что соответствует повторяемости сейсмического эффекта на зем-

60 © В.Н. Соловьев, И.Н. Тихонов, А.И. Кожурин, 2014 г.

ной поверхности в среднем один раз в 500, 1000 и 5000 лет.

Таким образом, на картах отображены значения баллов, которые с поправкой за грунтовые условия являются исходными данными для расчета сейсмической нагрузки на сооружение. Набор карт OCP-97 позволяет оценивать степень сейсмической опасности на трех уровнях при строительстве объектов различной ответственности. Карта А предназначена для объектов нормальной (массовое строительство) и пониженной ответственности, карты В и С — для объектов повышенной ответственности (особо опасные, технически сложные или уникальные сооружения).

О высоком уровне сейсмичности о. Сахалин говорит тот факт, что согласно карте А Северный Сахалин и западная часть Среднего Сахалина относятся к 9-балльной зоне. Объект изысканий («Сахалинская ГРЭС-2») расположен в Томаринском городском округе Сахалинской обл., севернее пос. Ильинский, в районе перешейка Поясок. Для пос. Ильинский уровень сейсмической опасности по данным ОСР-97 определен в 8 (карта А), 9 (карта В) и 9 (карта С) баллов [Уломов, Шумилина, 1999].

Карты общего сейсмического районирования составлены в масштабе 1:8 000 000-1:2 500 000. При оценке фонового уровня сейсмической опасности расчеты выполняются с учетом региональных (генерализованных) сейсмотектонических моделей. В связи с этим актуальна проблема перехода от карт ОСР к более крупномасштабным картам (1:500 000-1:100 000 и крупнее). Эти исследования условно называются уточнением исходной сейсмичности (УИС), или уточнением карт общего сейсмического районирования (УОСР). Проблема решается путем проведения детального сейсмического районирования (ДСР), учитывающего локальные особенности сейсмотектонической модели того или иного региона. При этом выделение зон ВОЗ делается на картах более крупного масштаба (по сравнению с картами ОСР-97) на основе данных о геологическом строении, тектонике, геофизических полях, сейсмостатистике и других имеющихся материалах.

В настоящей статье описаны результаты дешифрирования аэрофотоснимков, выполненного с целью выявления активных разломов на изучаемой территории, включая участок изысканий, положение которого показано на рис. 1. Проведены расчеты по детальному сейсмическому районированию территории в окрестности участка изысканий «Сахалинская ГРЭС-2». В ходе выполнения работ привлекались материалы многолетних исследований разломной тектоники земной коры региона, исторические и инструментальные данные о сейсмичности и сейсмическом режиме, существующие сейсмотектонические модели региона, а также современная технология вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) с идентификацией и количественной оценкой возникающей при этом неопределенности на основе логического дерева.

Активные разломы о. Сахалин

Активные разломы в пределах о. Сахалин образуют две зоны меридионального простирания, соответствующие вытянутости острова (см. рис. 1). Первая зона (I на рис. 1) расположена в южной и центральной частях острова, смещена относительно его оси к западу и отделяет поднятие Западно-Сахалинских гор от расположенных восточнее позднекайнозойских Сусунайской и Тымь-Поронайской депрессий. Подтверждений тому, что эта зона продолжается в пределы Северного Сахалина, пока нет, хотя это кажется вполне возможным. Зона известна как Центрально-Сахалинская, или Тымь-Поронайская [Рождественский, 1982, 1984] и Ключевская [Кучай, 1987]. Кинематика активных перемещений по разломам зоны — взбросовая [Кучай, 1987; Булгаков и др., 2002; Tsutsumi et al., 2005]; выявленные периоды (интервалы повторяемости) подвижек по составляющим ее отдельным разломам достигают 3000–5000 лет, а выявленные величины разовой общей подвижки — до 4 м [Стрельцов, Кожурин, 2002; Tsutsumi et al., 2005]. Ни по одному из разломов зоны сдвиговых смещений молодых форм рельефа не обнаружено, хотя элементы кулисности в образуемом ими плановом рисунке позволяют предполагать наличие сдвиговой компоненты правого знака.

Разломы второй, Северо-Сахалинской, зоны (название по [Рождественский, 1982]) (II на рис. 1) протягиваются ближе к восточному краю острова, в его северной низинной части и на п-ове Шмидта. Это (с юга на север) — Горомайский, Пильтунский, Лонгрийский и Хейтонский разломы. Первые два разлома иногда объединяют в один — Пильтун-Эхабинский (название по [Рождественский, 1982]). Кроме них, в зону, очевидно, входят также Верхне-Пильтунский разлом, подвижка по которому в 1995 г. вызвала Нефтегорское землетрясение и появление Нефтегорского сейморазрыва, Дагинский (в осевой части Дагинского поднятия-антиклинали, см. рис. 1) и другие относительно непротяженные разломы, обнаруженные при дешифрировании космических снимков.

Кроме рассмотренных выше двух зон, выделяется третья зона — Западно-Сахалинская, протягивающаяся, как предполагается, в основании западного континентального склона острова (III на рис. 1). Зона известна последовательностью сильных землетрясений прошлого и нынешнего столетий (Лесогорско-Углегорское 1924 г. $(M_S = 6.8)$, Монеронское 1971 г. $(M_S = 7.5)$, Углегорское 2000 г. ($M_S = 7.2$), Невельское 2007 г. $(M_w = 6.2)$ и др.). Лишь короткими участками зона или ее частные ответвления выходят на сушу Ivashchenko et al., 2003 |. Разделяя поднятие острова и прогиб Татарского пролива, эта зона, несомненно, основная, в то время как две первые зоны — элементы внутренней деформации поднятия острова.

Краткая характеристика сейсмичности Сахалинского региона

Территория Сахалинской обл. находится в пределах Тихоокеанского сейсмического пояса, что определяет высокую сейсмическую активность ее территории. В районе Курильских островов



← Рис. 1. Основные активные разломы и разломные зоны о. Сахалин

1 — разломы (а — активные; б — предполагаемые); 2 — взбросы и надвиги; 3 — участок изысканий «Сахалинская ГРЭС-2». Цифры на карте — разломные зоны: I — Центрально-Сахалинская (Тымь-Поронайская); II — Северо-Сахалинская; III — Западно-Сахалинская; разломы: 1 — Апреловский; 2 — Ключевской; 3 — Горомайский; 4 — Пильтунский; 5 — Лонгрийский; 6 — Хейтонский; 7 — Верхне-Пильтунский (Нефтегорский); 8 — Дагинский. С и ТП — соответственно Сусунайская и Тымь-Поронайская центральные депрессии. Основа — SRTM30_PLUS [Becker et al., 2009]

и Охотского моря гипоцентры землетрясений сосредоточены главным образом в сейсмофокальной зоне мощностью около 70 км, простирающейся под материк до глубин около 650 км Сейсмическое районирование..., 1980; Тараканов, 2006]. Эта зона выходит на дневную поверхность в 60-70 км восточнее Курильских островов, вблизи глубоководного Курильского желоба. Здесь сейсмическая активность достигает почти максимального на Земле уровня. Более половины землетрясений зоны происходят на глубинах 30-50 км. Каждые 10 лет вблизи Курильских островов регистрируется в среднем 1 землетрясение с $M \ge 8$ и около 10 событий с $M \ge 7$. Наиболее разрушительными на Курильских островах были Камчатское 1952 г. ($M_{w} = 9.0$), Итурупское 1958 г. $(M_{\omega} = 8.4)$, Шикотанское 1994 г. $(M_{\omega} = 8.3)$, Итурупское 1995 г. (*M*_w = 7.9), Симуширские 2006 г. $(M_{\omega} = 8.3)$ и 2007 г. $(M_{\omega} = 8.1)$ землетрясения.

В Сахалинском регионе сейсмическая активность носит более умеренный характер; она распределена крайне неравномерно и подразделяется на коровую и мантийную (h = 250-650 км; в основном 280–350 км). Глубокофокусные (мантийные) землетрясения связаны с проходящей под островом наклонной сейсмофокальной зоной. Представляется, что режим коровой сейсмичности не зависит существенным образом от режи

→**Рис. 2.** Карта эпицентров мелкофокусных землетрясений (*M* ≥ 3.0) Сахалинского региона за период 1906–2012 гг. по данным регионального каталога [Поплавская и др., 2006], дополненных с 2005 г. данными каталога землетрясений южной части о. Сахалин [Каталог..., 2011] и Оперативного каталога Сахалинского филиала Геофизической службы РАН



63

ма мантийной сейсмичности, а глубокие землетрясения не имеют значительной сейсмической опасности. В связи с этим ниже рассматриваются только коровые землетрясения (рис. 2), большинство очагов которых располагается в верхней части земной коры на глубинах до 30 км, а максимум распределения отвечает глубине ~10 км.

Сильные ($M \sim 5.0$ и более) землетрясения приурочены к Западно-Сахалинскому, Центрально-Сахалинскому и Северо-Сахалинскому разломам или их оперениям. На о. Сахалин в течение 10 лет регистрируется в среднем 1 землетрясение с $M \ge 6$ и около 10 событий с $M \ge 5$. За период инструментальных наблюдений самыми значительными сейсмическими событиями на о. Сахалин были Лесогорско-Углегорское 1924 г. ($M_S = 6.8$), Онорское 1909 г. ($M_S = 6.1$), Монеронское 1971 г. ($M_S = 7.5$), Нефтегорское 1995 г. ($M_S = 7.2$), Углегорское 2000 г. ($M_S = 7.2$) и Невельское 2007 г. ($M_w = 6.2$) землетрясения.

На карте, приведенной на рис. 2, видно, что район перешейка Поясок, где расположен объект изысканий, характеризуется невысоким уровнем сейсмичности.

Методология уточнения фоновой сейсмичности

Уточнение фоновой сейсмичности базируется на вероятностном анализе сейсмической опасности (BACO) [Cornell, 1968; Kramer, 1996; Левин и др., 2012]. Этот подход является аналитическим методом, в котором оценивается вероятность превышения (заданного) уровня движения грунта, вызываемого землетрясениями, в заданном пункте в течение заданного будущего периода времени. Целью такого анализа является оценка годовой частоты превышения уровня движения, а главный результат состоит в определении зависимости годовой частоты превышения от уровня движения (кривая опасности). Чаще всего, а во многих случаях обязательно, в качестве параметра движения грунта используется спектральное ускорение $S_a(f, \xi)$, зависящее от частоты f и затухания ξ осциллятора, поскольку спектр реакции адекватно описывает динамическую нагрузку и удобен при подборе проектных эмпирических или синтетических акселерограмм.

Двумя главными компонентами модели ВАСО являются:

- характеризация сейсмичности в окрестности исследуемого пункта;
- предсказание движения грунта в пункте, вызванного воздействием землетрясения заданного размера (магнитуды) и происшедшего на заданном расстоянии от пункта.

Подчеркнем, что обе компоненты — экспертные оценки, т.е. не единственны.

Исходными данными для проведения ВАСО служат:

- модели зон возможных очагов землетрясений (зон BO3);
- модели повторяемости землетрясений разных магнитуд;
- модели затухания параметров движений грунта в зависимости от магнитуды землетрясения и расстояния до пункта наблюдений.

Сейсмотектоническая модель региона описывается набором из *s* независимых «источников»: линейных (разломы или зоны разломов) и площадных (рассеянная сейсмичность, не имеющая явной связи с выявленными разломами).

Предсказание движения грунта выполняется посредством функции g(M, R), определяющей зависимость среднего значения (натурального) логарифма параметра движения грунта $\ln S_a$ от события с магнитудой M и на расстоянии R. Эта функция, называемая соотношением затухания (или инженерной моделью затухания), представляется регрессионным соотношением, построенным на основе региональной базы данных по сильным движениям грунта.

Выходными результатами ВАСО обычно являются оценки пиковых амплитуд ускорений (PGA) движения грунта при заданном периоде времени T и/или оценки однородных спектров реакции по ускорению (SA), моделирующих реакцию простых колебательных систем на внешнее сейсмическое воздействие. В рамках данной работы в соответствии с российской практикой использована магнитудная шкала M_{LH} , а в качестве окончательного выходного параметра представлена макросейсмическая интенсивность по шкале MSK-64.

ВАСО обычно проводится для одного или нескольких классов грунтов, определяемых как опорные. Обычно выбирают грунты категории II по таблице из СНиП-П-7-81*. Результаты ВАСО, полученные для опорного грунта, являются, в свою очередь, исходными данными для детальной оценки параметров сейсмических воздействий на той или иной площадке с учетом сейсмических свойств местного грунта и инженерно-геологических условий площадки. В данной работе расчеты проводились для шести типов грунтов (со скоростями поперечных волн в верхнем 30-метровом слое) $V_{S30} = 760, 540, 430,$ 350, 230 и 160 м/с. Результаты расчетов приведены в таблице, а иллюстрации даны только для одного типа грунтов со скоростью $V_{S30} = 430$ м/с.

Для реализации процедур ВАСО одним из авторов настоящей статьи (В.Н. Соловьевым) был подготовлен пакет вычислительных программ: Результаты детального сейсмического районирования для центра участка изысканий «Сахалинская ГРЭС-2» (круговая область 1 на рис. 4)

Период повторяе- мости, лет	Скорость поперечных волн верхних 30 м грунта, V _{s30} , м/с											
	160		230		350		430		540		760	
	PGA	I _{MSK}	PGA	I _{MSK}	PGA	I _{MSK}	PGA	I _{MSK}	PGA	I _{MSK}	PGA	I _{MSK}
500	0.194	8.0	0.178	7.8	0.166	7.7	0.155	7.6	0.147	7.6	0.129	7.4
1000	0.243	8.3	0.226	8.2	0.213	8.1	0.200	8.0	0.191	7.9	0.168	7.8
5000	0.378	8.9	0.360	8.8	0.349	8.8	0.333	8.7	0.320	8.7	0.286	8.5

Примечание. Значения горизонтальных пиковых ускорений (*PGA*) даны в долях g, а макросейсмической интенсивности (*I*_{MSK}) — в баллах.

- TR4RISK3 для вероятностного анализа сейсмической опасности с использованием логических деревьев;
- DMR3RISK для определения параметров (*M*, *R*) наиболее вероятного землетрясения по заданным уровням сейсмической опасности (деагрегация);
- SEIS_SELECT для подбора акселерограмманалогов по результатам деагрегации и однородным спектрам реакции.

Первые две из перечисленных программ основаны на программе SEISRISK III [Bender, Perkins, 1987] и полностью сохраняют ее идеологию. Для генерации случайных чисел использовались подпрограммы из известной библиотеки IMSL.

Так как спектральные ускорения грунта (*PSA*) распределены по логнормальному закону, расчет в программе производится для средних значений $\ln(PSA)$, а разброс пикового ускорения (*PGA*) относительно среднего значения учитывается по величине стандартного отклонения $\sigma_{\ln(PGA)}$ для величины $\ln(PGA)$. Пиковое ускорение есть спектральное ускорение *PSA* на нулевом периоде (или на бесконечной частоте).

В соответствии с требованиями СНиП II-7-81^{*} в данной работе вероятностный расчет значений *PGA* и *PSA* (для T = 0.2 с и T = 1.0 с) проводился для трех значений среднего периода повторения: 500, 1000 и 5000 лет. Пересчет значений *PGA* и *PSA* в соответствующие величины макросейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 проводился по формуле, рекомендованной в СНиП II-7-81^{*}:

$$I_{\rm MSK} = 7 + \lg (10PGA) / \lg (2).$$

Более подробно используемая нами методология ВАСО изложена в работе [Левин и др., 2012].

Модели источников землетрясений

В 1995–1996 гг. Л.С. Оскорбиным [1997] на основе метода качественного сейсмотектонического анализа была построена модель сейсмических источников о. Сахалин. Суть метода состоит в экстраполяции сейсмотектонической информации в пространстве на основе общих и частных критериев сейсмичности [Кириллова, Сорский, 1970; Рейснер, 1980]:

- выяснение сейсмотектонической ситуации в местах наблюдаемой сейсмичности;
- нахождение и объединение близких областей со сходными сейсмотектоническими условиями;
- оценка в этих зонах параметров максимального землетрясения.

Разработанная Л.С. Оскорбиным модель была положена в основу построения карты ОСР-97 для о. Сахалин и прилегающих регионов. В этой модели источники землетрясений с магнитудой $M_{LH} \ge 6$ представлены обобщенными линиями главных разломных зон о. Сахалин. Для детального анализа сейсмической обстановки была разработана модель, названная модель ИМГиГ-97, в которой из модели Л.С. Оскорбина используется только оригинальная геометрия сейсмических источников (рис. 3, *a*). Для всех источников модели ИМГиГ-97 принято экспоненциальное магнитудное распределение.

Потребность в новой сейсмотектонической модели [Невельское землетрясение..., 2009] (далее — ИМГиГ-07; рис. 3, б) связана с появлением в последние годы новой информации, а именно:

- палеосейсмическими исследованиями установлены размеры характеристических землетрясений на крупных сегментах активных разломов;
- существенно уточнены положения гипоцентров и тем самым установлены вариации мощности сейсмоактивного слоя;



Рис. 3. Конфигурация и параметры зон сейсмических источников о. Сахалин согласно линеаментно-доменным моделям ИМГиГ-97 (а) и ИМГиГ-07 (б) а. 1 — очаговые зоны сильнейших землетрясений с указанием магнитуды и года события. Сейсмогенные зоны: СЗШ — Северо-Западная Сахалинская шельфовая; СЗХ — Северо-Западная Сахалинская; СВХ — Северо-Восточная Сахалинская; СОХ — Сахалино-Охотоморская; BCX — Восточно-Сахалинская; ЗПХ — Западно-Сахалинская; ЗПШ — Западно-Сахалинская шельфовая; ПСК — Поясковая Сахалинская; ТРП — Терпеньевская; МНР — Монеронская; ЮЗШ — Юго-Западная Сахалинская шельфовая; ЮЗХ — Юго-Западная Сахалинская; СТА — Сусунайско-Тонино-Анивская; АНВ — Анивская; СЮК — Сахалино-Южно-Курильская.

б. 1 — номера и границы зон ВОЗ; 2 — линейные источники (сейсмолинеаменты) и их номера; 3 — разломы различного генезиса; 4 — сейсмостанции

Вопросы инженерной сейсмологии 2014. Т.41. №2. С.60-76



 измерены средние скорости смещения на ряде крупных разломов.

Доменно-линеаментная модель ИМГиГ-07 содержит 19 площадных зон источников, которые отвечают структурным элементам о. Сахалин и прилегающей акватории. Кроме того, выделен ряд линейных источников (сейсмолинеаментов), которые соответствуют достоверно установленным или вероятным (по косвенным признакам) разломам.

Оценка параметров графиков повторяемости землетрясений и магнитуд максимально возможных событий

По модели повторяемости землетрясений определяется среднегодовое число землетрясений разных магнитуд $n(M_{LH})$ для каждой из площадных зон источников. Решающее влияние на оценку сейсмической опасности для изучаемой территории оказывает модель повторяемости землетрясений максимальных магнитуд для трех зон: 1) ЗПХ (Западно-Сахалинской); 2) ЮЗХ (Юго-Западной Сахалинской); 3) ПСК (Поясковой Сахалинской) и ТРП (Терпеньевской) (см. рис. 3, a), расположенных в непосредственной близости к объекту исследования.

В настоящей работе за основу брались графики повторяемости из статьи [Оскорбин, Бобков, 1997], построенные для всего о. Сахалин и отдельно для разных площадных зон ВОЗ. В упомянутой работе графики повторяемости определялись только по представительным землетрясениям, т.е. за интервалы времени, в течение которых землетрясения той или иной магнитуды регистрировались без пропусков. После 1980 г. на о. Сахалин регистрируются без пропусков почти все толчки с $M_{LH} \ge 3.0$; и это значение магнитуды было взято в качестве M_{\min} при расчетах графиков повторяемости для всех зон ВОЗ.

Для определения повторяемости взяты максимальные магнитуды M_{max} наблюденных событий. Число событий для магнитуд от $M_{\rm min}$ = 3.0 до $M_{\rm max}$ с шагом $\Delta M_{LH} = 0.5$ подсчитывалось в интервалах магнитуд $M_{LH} - 0.25 < M_{LH} \le M_{LH} + 0.25$ и относилось к центру интервала. Для получения сопоставимых оценок повторяемости (с учетом представительности землетрясений разных магнитуд) число землетрясений нормировалось на единицу времени 1 год и относилось к площади 10 000 км². Для того же диапазона магнитуд и с тем же шагом по магнитуде определялось кумулятивное число $N(M_{LH})$ землетрясений с магнитудой $M \ge M_{LH}$. Расчет параметров графиков повторяемости для зон ВОЗ проводился по каталогу основных толчков после удаления афтершоков сильных событий

с помощью двух методов, описанных в работах [Gardner, Knopoff, 1974; Reasenberg, 1985].

Для сейсмолинеаментов повторяемость отдельно не определялась вследствие недостаточной статистики данных о сильнейших землетрясениях. При последующих расчетах сейсмической опасности повторяемость землетрясений в окрестности линеамента рассчитывалась по тому же графику повторяемости, что и для включающей его площадной зоны ВОЗ, но только для диапазона магнитуд $M > M_{max1}$, где M_{max1} — максимальная возможная магнитуда для данной площадной зоны ВОЗ. При $M \le M_{max1}$ графики повторяемости определяют среднегодовое число землетрясений в пределах всей площадной зоны ВОЗ, в том числе, конечно, и в окрестности сейсмолинеамента как некоторой части этой зоны.

Оценка максимально возможных землетрясений для зон источников и линеаментов весьма затруднена. Палеосейсмологические исследования ставят под сомнение возможность параметризации отдельных зон ВОЗ при помощи закона Гуттенберга – Рихтера. Очевидно, что на большинстве разломов о. Сахалин за период инструментальных наблюдений сильные землетрясения еще не проявились. Следы древних сильных землетрясений выявлены в пределах Пильтунского и Гаромайского разломов на севере о. Сахалин, а также в районе Центрально-Сахалинского разлома (пос. Смирных и р. Лира) [Стрельцов, Кожурин, 2002].

Данные палеосейсмологических исследований показывают, что последовательные подвижки по разломам или по их сегментам имеют примерно одну и ту же амплитуду. Другими словами, отдельные разломы генерируют землетрясения примерно одной (в пределах ±0.5) магнитуды, известные как характеристические землетрясения, близкие к их максимальной магнитуде. Датируя эти характеристические события, можно оценить их период повторяемости. Геологические данные показывают, что такие землетрясения происходят чаще, чем можно полагать из экстраполяции закона Гуттенберга – Рихтера. Модель характеристических землетрясений предсказывает более высокую повторяемость вблизи магнитуды характеристических событий и пониженную — при более низких значениях магнитуды.

Оценка того, какая модель является наиболее подходящей для данной зоны ВОЗ, затруднена краткостью исторических и/или инструментальных наблюдений. Однако ясно, что по сравнению с законом повторяемости Гуттенберга – Рихтера модель характеристических землетрясений лучше описывает наблюдаемое распределение магнитуд землетрясений. По палеосейсмологическим данным, полученным на разломах

Вопросы инженерной сейсмологии 2014. Т.41. №2. С.60-76 о. Сахалин, в 2009 г. была сделана попытка оценить параметры характеристического землетрясения. Подробно этот вопрос изложен в научнотехническом отчете «Детальное сейсмическое районирование территории Сахалинской области: Карты ДСР-07 территории городов Южно-Сахалинск, Долинск, Корсаков, Анива, Холмск, Александровск-Сахалинский, Ноглики, Оха и Невельск» [Фонды ИМГиГ ДВО РАН. Южно-Сахалинск, 2007 г.]. При этом оценка $M_{\rm max}$ производилась по корреляционным соотношениям [Wells, Coppersmith, 1994], исходя либо из длины разлома, либо из величины одноактной подвижки по разлому (с учетом смещения или без него).

В связи с этим возникает проблема сегментации зоны разломов. Геометрические параметры зон разломов в плане позволяют делить зону на сегменты длиной порядка 35–45 км. Эти данные не противоречат исследованиям В.В. Харахинова с соавторами [Харахинов и др., 1984], который отметил, что главные меридиональные разломы о. Сахалин разделены субширотными разломами на сегменты длиной около 40 км. Величина одноактного общего смещения по взбросам достигает 4.6 м (район пос. Смирных и р. Лира). Таким образом, оценка максимальной магнитуды землетрясения оказывалась примерно одинаковой величины — ~7–7.2.

Модели затухания движений грунта

Для о. Сахалин число инструментальных записей сильных движений грунта, для которых $I_{\rm MSK} > 5$, весьма незначительно, поэтому построение регионального соотношения затухания для пиковых и спектральных движений грунта весьма затруднительно. Удовлетворительное решение этой проблемы появилось сравнительно недавно, когда в 2008 г. в США был реализован проект под названием Next Generation Attenuation (NGA). В работах [Abrahamson, Silva, 2008; Boore, Atkinson, 2008; Campbell, Bozorgnia, 2008; Chiou, Youngs, 2008; Idriss, 2008 | были построены 5 разных моделей затухания для широкого (0–10 с) диапазона спектральных ускорений и $\xi = 5\%$. Эти модели строились на основе одной общемировой базы данных (записей ряда турецких, итальянских, китайских, тайваньских, калифорнийских землетрясений с естественным преобладанием записей последних). В ряде работ (например, [Stafford et al., 2008]) была установлена их применимость ко многим сейсмически активным районам мира. Иными словами, было установлено приемлемое согласие между соотношениями затухания NGA и местными базами данных по сильным движениям.

Для о. Сахалин это соответствие устанавливается лишь по записям событий малых (в инженерном смысле) магнитуд. Однако имеющаяся представительная база данных по макросейсмическим наблюдениям позволяет вполне надежно определить коэффициенты регионального уравнения затухания для макросейсмической интенсивности *I*_{МSK}. Затухание пиковых и некоторых спектральных ускорений, рассчитанных по известным эмпирическим формулам (в частности, [Atkinson, Sonley, 2000]) из затухания I_{MSK} на о. Сахалин, вполне согласуется с затуханием тех же ускорений в моделях NGA для магнитуд M_{LH} в диапазоне 5.0-6.5. Поэтому разумно предполагать, что без заметной ошибки это соответствие можно перенести также на весь диапазон спектральных периодов, магнитуд и расстояний.

Тем не менее разработка соотношений затухания на основе гибридного метода [Campbell, 2003b] для о. Сахалин остается насущной задачей. Возможно, стоит заметить также, что спектры реакции, рассчитанные по записям из японских баз данных, часто резко отличаются по форме от спектров реакции записей сахалинских землетрясений; поэтому японские модели затухания нами не использовались.

Результаты уточнения фоновой сейсмичности изучаемой территории

Уточнение фоновой сейсмичности производилось для прямоугольной площадки размером 150×150 км с центром, совпадающим с центром круговой области 1 на рис. 4, т.е. там, где планируется строительство Сахалинской ГРЭС-2. Этот объект будет расположен в Томаринском городском округе Сахалинской обл., севернее пос. Ильинский. Как сказано выше, уровень сейсмической опасности для пос. Ильинский по данным ОСР-97 определен в 8 (карта А) и 9 (карты В и С) баллов.

Обнаружение и картирование возможных активных разломов на изучаемой территории

При выделении и картировании активных разломов мы опирались на такой их признак, как выраженность в деформациях молодых форм рельефа. Выраженность активных разломов в рельефе, как правило, в виде уступов разной, часто меняющейся по простиранию разлома высоты, представляет практически эффективный и (в силу того, что рельеф есть везде) универсальный признак обнаружения и картирования активных разломов.

Конкретное морфологическое выражение смещения в рельефе есть результат сочетания многих



Рис. 4. Результаты анализа аэрофотоматериалов

1 — территория, покрытая аэрофотоснимками; 2 — участок изысканий «Сахалинская ГРЭС-2»; 3 — обнаруженные при дешифрировании активные (*a*) и предполагаемые (*б*) разломы; 4 — примерное положение разлома, оперяющего региональный Западно-Сахалинский разлом

факторов, главными из которых являются тип (генетический) смещенной формы и кинематические параметры конкретного разрыва. Уступами выражены не только разломы с преимущественно вертикальными движениями, но и разломы, по которым движения — практически чисто сдвиговые: смещаемые поверхности никогда не являются идеально ровными и горизонтальными, так что в одной точке разлома горизонтальными движениями могут быть совмещены первично разновысотные участки смещаемой поверхности. В этом случае вертикальное смещение является только видимым, при этом вертикальной компоненты смещений может и не быть. В целом при дешифрировании дистанционных изображений земной поверхности (в нашем случае — аэрофотоснимков) возможным оказывается определение (часто с высокой точностью) основных параметров активных разломов — кинематики движений (направления смещений), их величины и соотношения вертикальной и горизонтальной компонент, а также средних скоростей движений, когда смещаемые формы удается датировать.

Результаты дешифрирования дают основу для детальных палеосейсмологических исследований, направленных на получение данных о повторяемости подвижек по разлому и о возрасте последней из них. В настоящее время, как правило, это осуществляется при тренчинге — заложении канав через разломы и изучении деформированных движениями по разлому отложений.

Нами выполнено дешифрирование аэрофотоснимков территории площадью примерно 1200 км², включающую участок изысканий (2 на рис. 4). Дешифрировались аэрофотоснимки 1952 и 1966 г. съемки масштаба 1:30 000–1:35 000. Дешифрирование выполнялось в стереорежиме с применением как стандартного настольного стереоскопа, так и (для выбранных стереопар) специального программного обеспечения Photomod Light 5.0 российской фирмы «Pakypc». Всего выявлено пять разломов, четыре из которых — с высокой степенью достоверности.

В частности, к западу от р. Айнская обнаружены два разлома, возможно, оперяющие по отношению к Западно-Сахалинской зоне. Можно предположить, что вдоль одного из этих разломов мог продолжаться на юг Углегорский сейсморазрыв 2000 г. К сожалению, на время изучения сейсморазрыва выделенные при настоящем исследовании разломы известны не были. Еще один дешифрированный разлом, к югу от р. Тихая, оказался ближайшим (примерно в 12–13 км) к восточному краю участка изысканий. Этот разлом, вероятно, является взбросовым разломом в висячем крыле Тымь-Поронайского разлома. В пределах самого участка изысканий признаков активных разломов не обнаружено.

Таким образом, на участке изысканий сейсмогенерирующие разломные структуры отсутствуют. Ближайшей с запада (примерно в 10 км от западного края участка изысканий) сейсмогенерирующей структурой может быть предполагаемое ответвление подводного Западно-Сахалинского разлома (линия 4 на рис. 4). С востока ближайшей сейсмогенерирующей структурой (примерно в 12–13 км от восточного края участка изысканий) является обнаруженный дешифрированием активный разлом к югу от р. Тихая.

Карты детального сейсмического районирования

На рис. 5, 6 представлены карты детального сейсмического районирования (ДСР) изучаемой территории в параметрах пиковых ускорений (*PGA*) и макросейсмической интенсивности сотрясений ($I_{\rm MSK}$) для периодов повторяемости 500 (см. рис. 5) и 1000 (см. рис. 6) лет и грунтов категории II ($V_{S30} = 430 \text{ м/c}$). При построении карт ДСР в параметрах макросейсмической интенсивности на основе рассчитанного спектрального ускорения использовалась ранее приведенная формула.

Расчеты карт ДСР выполнены для прямоугольной площадки размером 150×150 км в узлах сетки с шагом 8.3 км по координате X и 8.5 км — по координате Y с центром, совпадающим с центром круговой области 1 на рис. 4. Оценки пиковых ускорений грунта и макросейсмической интенсивности сотрясений по шкале MSK-64 для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет для данного пункта с учетом грунтовых условий сведены в таблицу.

Заключение

На основе входных данных (характеристик активных разломов, зон ВОЗ, сейсмического режима, сейсмотектонических моделей и т.д.) с помощью вычислительных программ, разработанных в ИМГиГ ДВО РАН, выполнено уточнение фоновой сейсмичности на участке изысканий под строительство Сахалинской ГРЭС-2. Возведение данного объекта планируется в районе перешейка Поясок (Томаринский городской округ Сахалинской обл., севернее пос. Ильинский). Фоновая сейсмичность для пос. Ильинский по данным карт общего сейсмического районирования ОСР-97 определена в 8 (карта А) и 9 (карты В и С) баллов. В ходе выполненных работ получены следующие результаты.



Рис. 5. Карта детального сейсмического районирования изучаемой территории и ее окрестностей в параметрах пиковых ускорений грунта (*a*) и макросейсмической интенсивности сотрясений (*б*) для периода повторяемости *T* = 500 лет и грунтов категории II (*V*₅₃₀ = 430 м/с) *1* — береговая линия; *2* — пос. Ильинский



Рис. 6. Карта детального сейсмического районирования изучаемой территории и ее окрестностей в параметрах пиковых ускорений грунта (*a*) и макросейсмической интенсивности сотрясений (*б*) для периода повторяемости *T* = 1000 лет и грунтов категории II (*V*_{S30} = 430 м/с) *1* — береговая линия; *2* — пос. Ильинский

Выполнено дешифрирование аэрофотоснимков масштаба 1:30 000-1:35 000 на территорию площадью примерно 1200 км², включающую участок изысканий. Всего выявлено пять разломов, четыре из которых — с высокой степенью достоверности. В частности, к западу от р. Айнская обнаружены два разлома, представляющие, возможно, южное продолжение Углегорского сейсморазрыва, который является оперяющим разломом Западно-Сахалинской зоны активных разломов. Еще один дешифрированный разлом, к югу от р. Тихая, оказался ближайшим (примерно в 12–13 км) к восточному краю участка изысканий. Этот разлом, вероятно, является вторичным по отношению к Тымь-Поронайской зоне активных разломов. В пределах самого участка изысканий признаков активных разломов не обнаружено.

Для исследуемого района уточнены (по сравнению с картами ОСР-97) вероятностные оценки сейсмической опасности в параметрах макросейсмической интенсивности (I_{MSK}). Рассчитаны средние горизонтальные пиковые ускорения (PGA, g) и горизонтальные псевдоспектральные ускорения (PSA, g) на периодах 0.2 и 1.0 с при 5%-ном затухании для трех периодов повторяемости (500, 1000 и 5000 лет).

На основе расчетных параметров сильных движений грунта построены карты детального сейсмического районирования исследуемой территории в параметрах пиковых ускорений грунта и макросейсмической интенсивности сотрясений по шкале MSK-64 для периодов повторяемости 500, 1000 и 5000 лет с учетом грунтов категорий I, II и III. Оценки $I_{\rm MSK}$ на картах ДСР в центральном пункте изысканий для грунтов категории II оказались ниже по сравнению с аналогичными данными ОСР-97 на 0.4 (карта А), 1.0 (карта В) и 0.3 (карта С) балла.

Литература

- Булгаков Р.Ф., Иващенко А.И., Ким Ч.У., Сергеев К.Ф. и др. Активные разломы Северо-Восточного Сахалина // Геотектоника. 2002. № 3. С. 66–86.
- Каталог землетрясений юга Сахалина за период с 2000 по 2010 г. (по данным автономных цифровых сейсмических станций) / Ч.У. Ким, Е.П. Семенова, О.А. Жердева, Сен Рак Се, В.И. Михайлов, Ю.Н. Левин, И.С. Паршина, Н.А. Урбан, М. Касахара, М. Ичиянаги, Х. Такахаши. Владивосток: Дальнаука, 2011. 357 с.
- Кириллова И.В., Сорский А.В. О методике составления карты сейсмического районирования на примере Кавказа. М-б 1:1 000 000 // Бюл. Совета по сейсмологии. 1970. № 8. С. 121–124.

- Кожурин А.И., Пономарева В.В., Пинегина Т.К. Активная разломная тектоника юга Центральной Камчатки // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. Вып. 12, № 2. С. 10–27.
- *Кучай В.К.* Современная орогенная структура южной части о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 1987. № 1. С. 50–57.
- Левин Б.В., Ким Ч.У., Соловьев В.Н. Оценка сейсмической опасности и результаты детального сейсмического районирования для городов о. Сахалин // Тихоокеанская геология. 2012. Т. 31, № 5. С. 93–103.
- Невельское землетрясение и цунами 2 августа 2007 г., о. Сахалин / Б.В. Левин, И.Н. Тихонов, В.М. Кайстренко и др.; ред. Б.В. Левин, И.Н. Тихонов. М.: Янус-К, 2009. 204 с.
- Никонов А.А. Активные разломы: определение и методы выделения // Геоэкология. 1995. № 4. С. 16–27.
- Оскорбин Л.С. Сейсмогенные зоны Сахалина и сопредельных областей // Проблемы сейсмической опасности Дальневосточного региона. Южно-Сахалинск, 1997. С. 154–178.
- Оскорбин Л.С., Бобков А.О. Сейсмический режим сейсмогенных зон юга Дальнего Востока // Геодинамика тектоносферы зоны сочленения Тихого океана с Евразией. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 1997. Т. VI. Проблемы сейсмической опасности. С. 179–198.
- ОСР-97: Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации ОСР-97: Комплект карт и другие материалы для Строительных норм и правил — СНиП «Строительство в сейсмических районах». М.: Миннауки РФ, ОИФЗ РАН, 1998.
- Поплавская Л.Н., Иващенко А.И., Оскорбин Л.С. и др. Региональный каталог землетрясений острова Сахалин, 1905–2005 гг. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 103 с.
- Рейснер Г.И. Геологические методы оценки сейсмической опасности. М.: Недра, 1980. 172 с.
- Рождественский В.С. Роль сдвигов в структуре Сахалина // Геотектоника. 1982. № 4. С. 99–111.
- Рождественский В.С. О влиянии сдвигов на формирование структуры острова Сахалин // Изв. вузов. Геология и разведка. 1984. № 9. С. 16–22.
- Сейсмическое районирование территории СССР: Методические основы и региональное описание карты 1978 г. М.: Наука, 1980. 307 с.
- Стрельцов М.И., Кожурин А.И. Активные разломы и катастрофические землетрясения Сахалина: Апреловский активный разлом, результаты тренчинга. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2002. 7 с.
- Строительные нормы и правила (СНиП II-7-81*): Строительство в сейсмических районах. М., 2000. 52 с.

Вопросы инженерной сейсмологии 2014. Т.41. №2. С.60-76

74

- Тараканов Р.З. Сейсмичность, глубинное строение и сейсмическая опасность Курило-Охотского региона: Дис. в виде науч. докл. ... д-ра физ.мат. наук. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН, 2006. 76 с.
- Трифонов В.Г. Особенности развития активных разломов // Геотектоника. 1985. № 2. С. 16–26.
- *Трифонов В.Г.* Позднечетвертичный тектогенез. М.: Наука, 1983. 224 с.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. М-б 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
- Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенков А.А. Разломы Сахалина // Тихоокеанская геология. 1984. № 2. С. 77–86.
- Abrahamson N., Silva W. Summary of Abrahamson and Silva NGA ground-motion relations // Earthq. Spectra. 2008. V. 24. P. 67–98.
- Allen C.R. Geological criteria for evaluating seismicity // Bull. Geol. Soc. Amer. 1975. V. 86, No. 8. P. 1041–1057.
- Atkinson G.M., Sonly E. Empirical relationships between modified mercalli intensity and response spectra // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2000. V. 90, No. 2. P. 537–544.
- Becker J.J., Sandwell D.T., Smith W.H.F., Braud J., Binder B., Depner J., Fabre D., Factor J., Ingalls S., Kim S.-H., Ladner R., Marks K., Nelson S., Pharaoh A., Sharman G., Trimmer R., von Rosenburg J., Wallace G., Weatherall P. Global bathymetry and elevation data at 30 arc seconds resolution: SRTM30_PLUS // Marine Geodesy. 2009. V. 32, No. 4. P. 355–371.
- Bender D., Perkins D.M. SEISRISK III: A computer program for seismic hazard estimation. Washington, 1987. 48 p. (U.S. Geol. Surv. Bull. 1772).
- *Boore D.M., Atkinson G.M.* Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01 s and 10.0 s // Earthq. Spectra. 2008. V. 24. P. 99–138.
- *Gardner J.K., Knopoff L.* Is the sequence of earthquake in Southern California with aftershocks removed, Poissonian? // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1974. V. 64. P. 1363–1367.
- *Campbell K.W.* Engineering models of strong ground motion // Earthquake Engineering Handbook / Ed. by W.F. Chen and C. Scawthorn. Boca Raton, Florida: CRC Press, 2003a. P. 5-1–5-76.
- *Campbell K.W.* Prediction of strong ground motion using hybrid empirical method and its use in the

development of ground motion (attenuation) relations in Eastern-North America // Bull. Seismol. Soc. Amer. 2003b. V. 93. P. 1012–1033.

- *Campbell K.W., Bozorgnia Y.* NGA ground motion model for the geometric mean horizontal component of PGA, PGV, PGD and 5%-damped linear elastic response spectra for periods ranging from 0.01 to 10 s // Earthq. Spectra. 2008. V. 24. P. 139–172.
- Chiou B.S.J., Youngs R.R. Chiou-Youngs NGA ground motion relations for the geometric mean horizontal component of peak and spectral ground motion parameters // Earthq. Spectra. 2008. V. 24. P. 173–216.
- *Cornell C.A.* Engineering seismic risk analysis // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1968. V. 58. P. 1583– 1606.
- *Idriss I.M.* An NGA empirical model for estimating the horizontal spectral values generated by shallow crustal earthquakes // Earthq. Spectra. 2008. V. 24. P. 217–242.
- Ivashchenko A.I., Kim Choon Oun, Streltsov M.I., Kozhurin A.I., Fokina T.A., Yust A.A. Surface faulting and aftershocks associated with the $M_w = 6.8$ Uglegorsk earthquake of August 4, 2000 in the Central Sakhalin island, Russia // IUGG: Abstr. Sapporo, Japan, 2003.
- *Kramer S.L.* Geotechnical earthquake engineering. New Jersey: Prentice-Hall Publ., 1996. 653 p.
- *Kumamoto T*. Long-term conditional seismic hazard of Quaternary active faults in Japan // J. Seismol. Soc. Japan. 1998. V. 50. P. 53–71 (in Japan., Engl. abstr.).
- Reasenberg P. Second-order moment of Central California seismicity, 1969–1982 // J. Geophys. Res. 1985. V. 90. P. 5479–5495.
- Stafford P.J, Strasser F.O., Bommer J.J. An evaluation of the applicability of the NGA models to ground-motion prediction in the Euro-Mediterranean region // Bull. Earthq. Eng. 2008. P. 149–177.
- *Trifonov V.G.* Using active faults for estimating seismic hazard // J. Earthq. Pred. Res. 2000. V. 8, No. 2. P. 170–182.
- Tsutsumi H., Suzuki Y., Kozhurin A.I., Strel'tsov M.I., Ueki T., Goto H., Okumura K., Bulgakov R.F., Kitagawa H. Late Quaternary faulting along the western margin of the Poronaysk Lowland in Central Sakhalin, Russia // Tectonophysics. 2005. V. 407. P. 257–268.
- Wells D.L., Coppersmith K.J. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement // Bull. Seismol. Soc. Amer. 1994. V. 84, No. 4. P. 974–1002.

Сведения об авторах

СОЛОВЬЕВ Владимир Николаевич — научный сотрудник, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б. Тел.: +7 (4242) 791-692.

ТИХОНОВ Иван Николаевич — доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией, Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН. 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, д. 1Б. Тел.: +7 (4242) 791-692. E-mail: tikhonov@imgg.ru

КОЖУРИН Андрей Иванович — доктор геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН. 683006, г. Петропавловск-Камчатский, б-р Пийпа, 9; заведующий лабораторией неотектоники и современной геодинамики, Геологический институт РАН. 119017, г. Москва, Пыжевский пер., д. 7.

Тел.: +7 (495) 951-99-81. E-mail: anivko@yandex.ru

REFINEMENT OF BACKGROUND SEISMICITY WITHIN THE SITE LOCATION OF THE POWER PLANT «SAKHALINSKAJA GRES-2» (SAKHALIN ISLAND)

V.N. Solovjev¹, I.N. Tikhonov¹, A.I. Kozhurin^{2, 3}

¹Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

²Institute of Volcanology and Seismology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatskii, Russia

³Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. We have reexamined background seismicity around the future power plant «Sakhalinskaja GRES-2», which will be located in the area of the Pojasok Isthmus (Tomari Borough, Sakhalin region, north of the village Il'inskii). We interpreted aerial photographs of the study area and performed land surveys as well. In total, we discovered five active faults, previously unknown, all of them close to but beyond the limits of the study area. We designed the response spectra for the recurrence periods of 500, 1000, and 5000 years and made the choice of accelerograms-analogues. We designed maps of detailed seismic zoning (DSZ) for the macroseismic intensity parameter (I_{MSK}) and for peak ground acceleration (*PGA*, g) at 5% damping for the recurrence periods of 500, 1000, and 5000 years. Our estimations of I_{MSK} on the central site for the soils of the second category are lower compared with General Seismic Zoning Map (GSZ-97). The reductions found are 0.4 (for Map A), 1.0 (for Map B), and 0.3 (for Map C) points.

Keywords: Sakhalin Island, shallow seismicity, active faults, model of seismicity, probabilistic analysis, seismic hazard assessment, detailed seismic zoning.