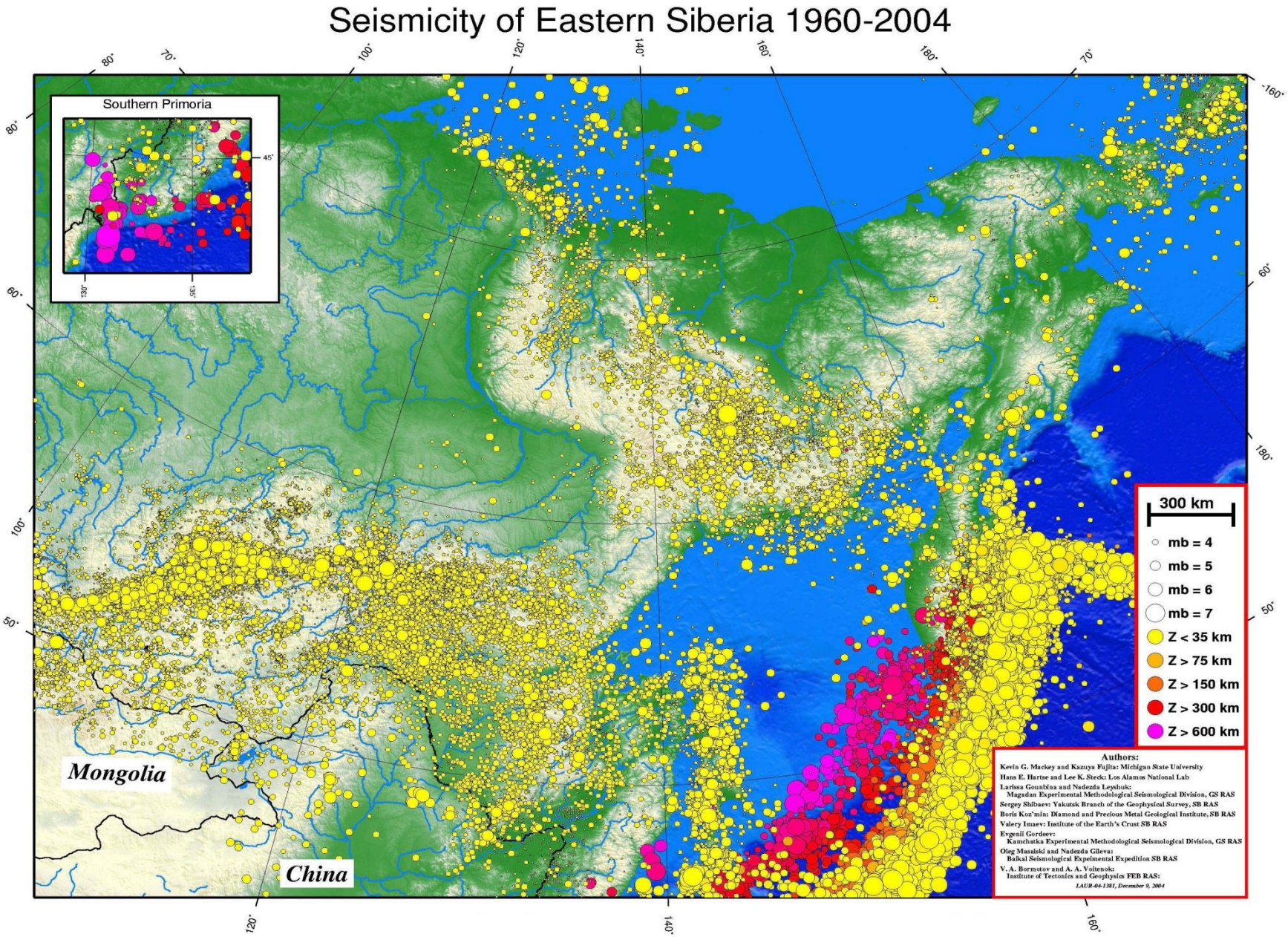
«ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ОБЪЕКТАХ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЮБОГО УРОВНЯ ОТВЕТСТВЕННОСТИ»

(современные технологии оценки реакции геологической среды на воздействия землетрясений)

Сейсмичность Восточной Сибири за период 1960-2004 гг.



СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ: ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ТЕРМИНЫ

Корень «СЕЙСМО-» происходит от греческого слова “SEISMOS”, обозначающего колебание, сотрясение поверхности земли, т.е. землетрясение.

СЕЙСМОЛОГИЯ – наука, изучающая природу землетрясений и их последствия, а также глубинное строение Земли с помощью упругих волн, возбуждаемых землетрясениями.

СЕЙСМИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ – опасность, обусловленная землетрясениями: сотрясения и разрывы поверхности земли, вторичные явления в грунте – обвалы, оползни, просадка, разжижение грунта и др. Уровень сейсмической опасности – это характеристика той или иной территории (акватории) вне зависимости от степени ее заселенности и застройки.

СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ – районирование территории по уровню сейсмической опасности.

СЕЙСМИЧЕСКИЙ РИСК – это экономическое понятие, отражающее возможный ущерб, который могут нанести землетрясения на данной территории с учетом ее реальной заселенности и застройки. Оценка риска обязательно учитывает <u>уязвимость</u> застройки по отношению к землетрясениям, т.е. густоту застройки, прочность зданий и сооружений, численность населения, наличие особо опасных производств, например, атомных станций, объектов гидроэнергетики, химических производств и т.п.

СЕЙСМОГРАФ – прибор, записывающий колебания поверхности земли, вызванные землетрясениями.

СЕЙСМОГРАММА – запись колебаний, полученная с помощью сейсмографа.

ОЧАГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – область внутри Земли, в которой произошло внезапное разрушение горных пород. Размеры области разрушения меняются в очень широких пределах – от первых метров до 1000 километров.

ГИПОЦЕНТР – точка, в которой началось внезапное разрушение пород.

ЭПИЦЕНТР – проекция гипоцентра на поверхность Земли.

ГЛУБИНА ОЧАГА (ГИПОЦЕНТРА) – глубина, на которой началось внезапное разрушение пород. Землетрясения могут возникать на глубинах от 0 до 750 км, более глубокие землетрясения пока неизвестны.

МАГНИТУДА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – упругая энергия землетрясения, выраженная условно в логарифмических единицах:

$$\log E\ (\text{дж}) = 1.5 * M + 4.8,$$

где E – упругая энергия в дж., M – магнитуда по шкале Рихтера.

Магнитуда – это самая универсальная характеристика силы (величины, размера) землетрясения.

ПЛОСКОСТЬ РАЗРЫВА В ОЧАГЕ – плоскость, вдоль которой произошло разрушение горных пород в очаге и смещение блоков пород.

Характеризуется длиной, шириной и углом наклона к поверхности Земли.

МЕХАНИЗМ ОЧАГА – условная характеристика типа смещений в очаге и их ориентации в пространстве. Смещения блоков могут иметь характер сброса, взброса и сдвига или их комбинации.

ИНТЕНСИВНОСТЬ (СИЛА) ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ – величина, которая характеризует степень воздействия землетрясения в данном пункте на людей, здания и сооружения,а также на грунт. Выражается в баллах по 12-балльной шкале MSK-64 и зависит не только от магнитуды землетрясения, но и от расстояния до эпицентра. Интенсивность часто путают с магнитудой, хотя эти величины относятся к разным сторонам явления: магнитуда – к очагу землетрясения, а интенсивность – к воздействию землетрясения на людей и различные объекты.

ПИКОВОЕ УСКОРЕНИЕ (СКОРОСТЬ, СМЕЩЕНИЕ) ГРУНТА – величины, отражающие реальное движение грунта при землетрясении в данной точке. Интенсивность землетрясения в данной точке приблизительно пропорциональна логарифму пикового ускорения:

$$\log_2(A_{max}) \approx 0.1 * 2\,(I - 7),$$

где Amax – пиковое ускорение в долях ускорения силы тяжести g, I – интенсивность землетрясения в данном пункте.

АКСЕЛЕРОГРАММА – запись ускорения движения грунта при землетрясении, полученная с помощью акселерографа.

СПЕКТР РЕАКЦИИ – характеризует отклик простейшего линейного осциллятора (маятника) с небольшим затуханием на входное движение грунта, заданное в виде акселерограммы. Большинство сооружений можно представить в виде совокупности таких простейших осцилляторов. Зная их отклики на движение грунта, можно рассчитать реакцию всего сооружения на сейсмические воздействия.

Сейсмическая опасность **понимается как система вероятностей возникновения сейсмических колебаний разной интенсивности на определенном участке поверхности Земли за определенный период времени.**

Сейсмическое районирование (СР) имеет целью картирование сейсмической опасности для использования этой информации в инженерных решениях.

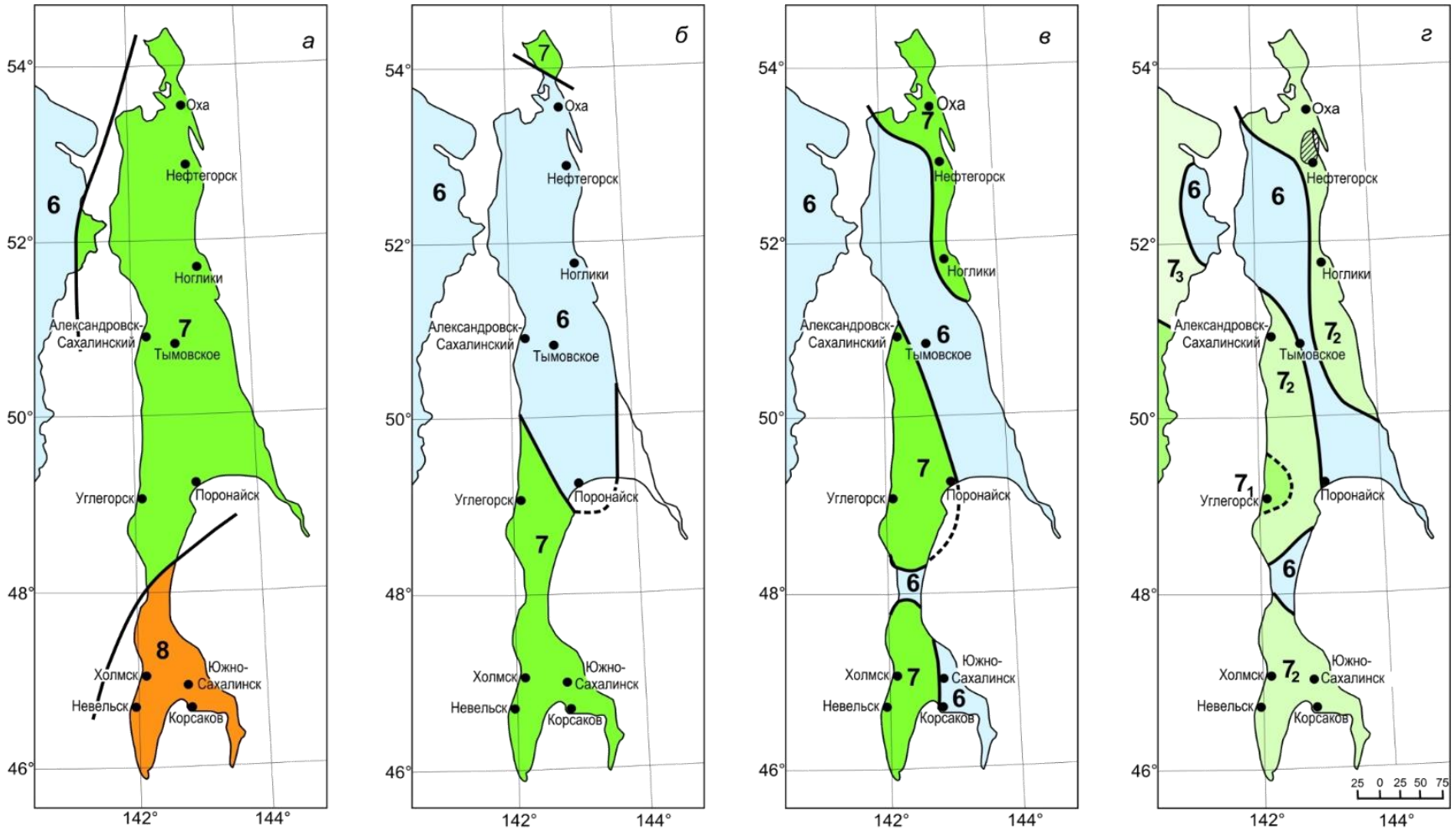
Парадигмы построения карты СР

1. **Карты 1937, 1947 построены на основе парадигмы «сейсмического актуализма» (там, где было, там и будет).**

2. **Карты 1957, 1962, 1968 – на основе сейсмогенетического двухстадийного метода оценки сейсмической опасности с элементами прогноза (1 стадия – выделяется реальные и потенциальные очаговые зоны, 2 стадия – рассчитываются генерируемые ими сотрясения на земной поверхности).**

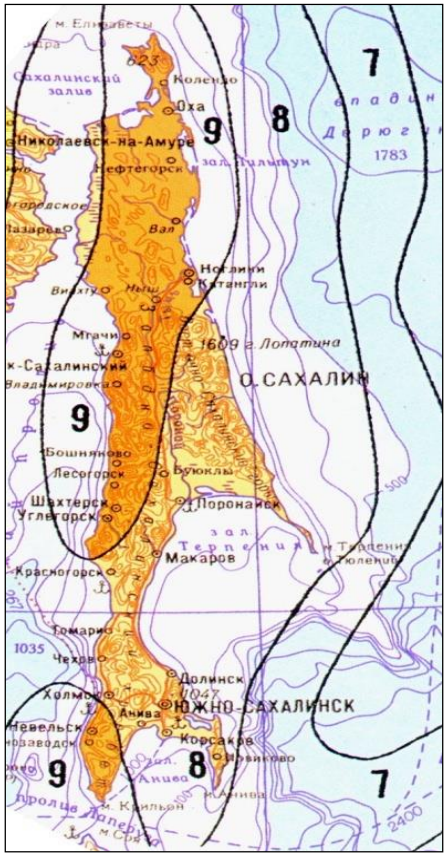
3. **Карта 1978 – попытка оценки вероятностных характеристик повторяемости сотрясений на основе расчетов сейсмической активности и сейсмической сотрясаемости по методу Ю.В.Ризниченко.**

4. **ОСР-97 – детерминистко-вероятностная оценка сейсмической опасности на основе создания виртуальных каталогов землетрясений по методу Монте Карло.**

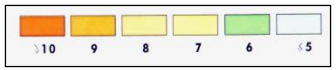


Фрагменты карты сейсмического районирования Сахалина, принятого в нормах и правилах строительства в сейсмических районах страны: а – СР-1957 г., СН-8-57; – СниП II-А.12-62; в – СР-1968 г., СНиП II-А.12-69; г – СР-1978 г., СНиП II-7-81.

Карта общего сейсмического районирования (ОСР) территории о. Сахалин

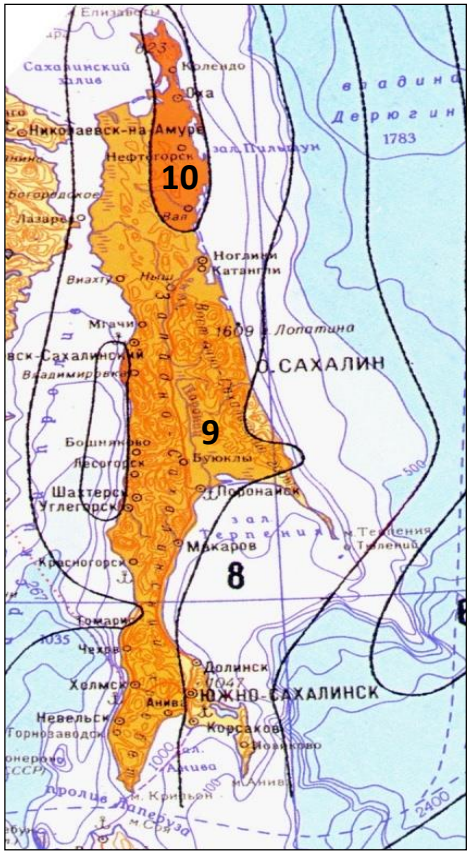


Зоны интенсивности сотрясений
на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64

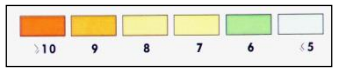


Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 1%, что соответствует среднему периоду T=500 лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами.

ОСР-97-А

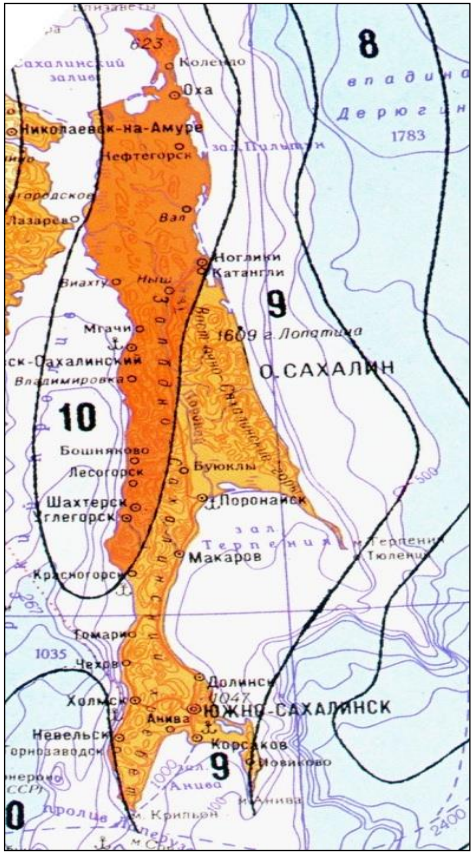


Зоны интенсивности сотрясений
на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64

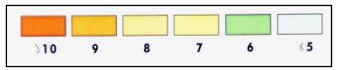


Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 5%, что соответствует среднему периоду T=1000 лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами.

ОСР-97-В

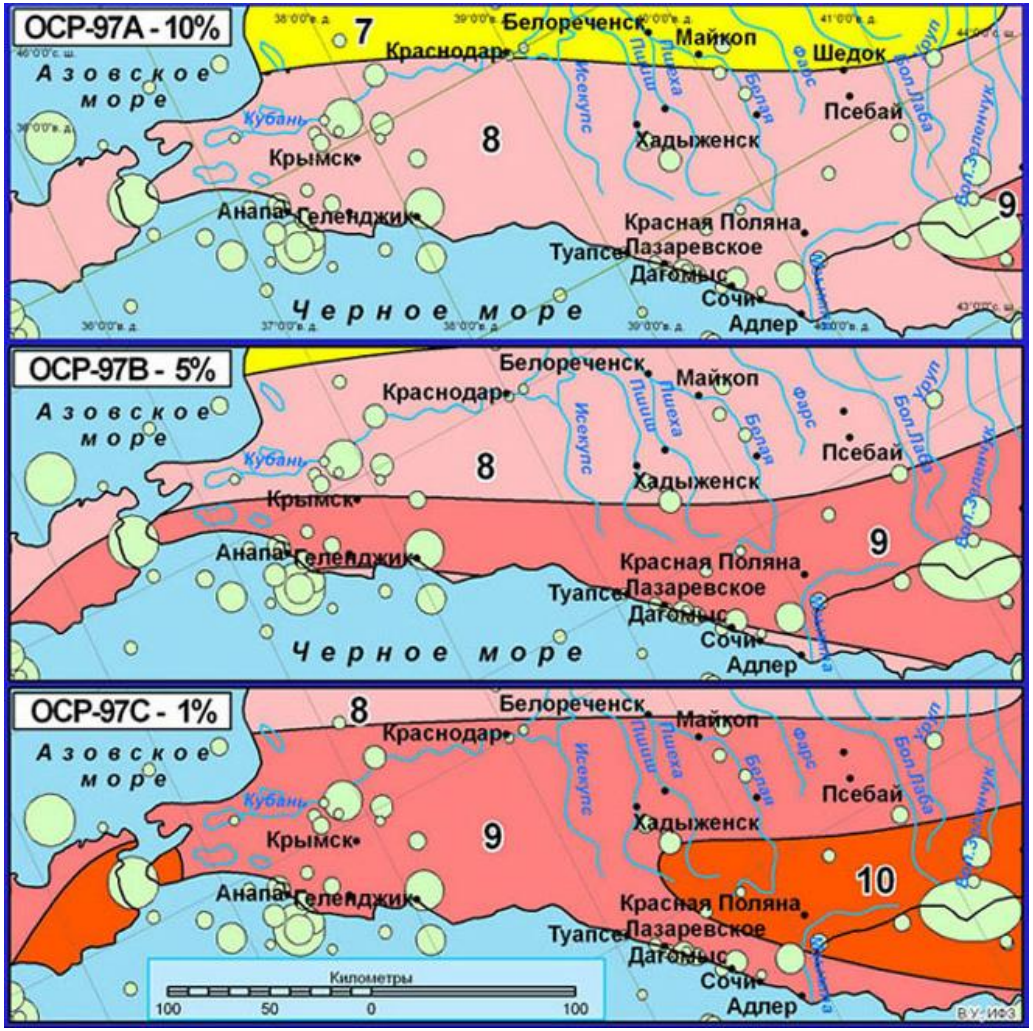


Зоны интенсивности сотрясений
на средних грунтах в баллах шкалы MSK-64



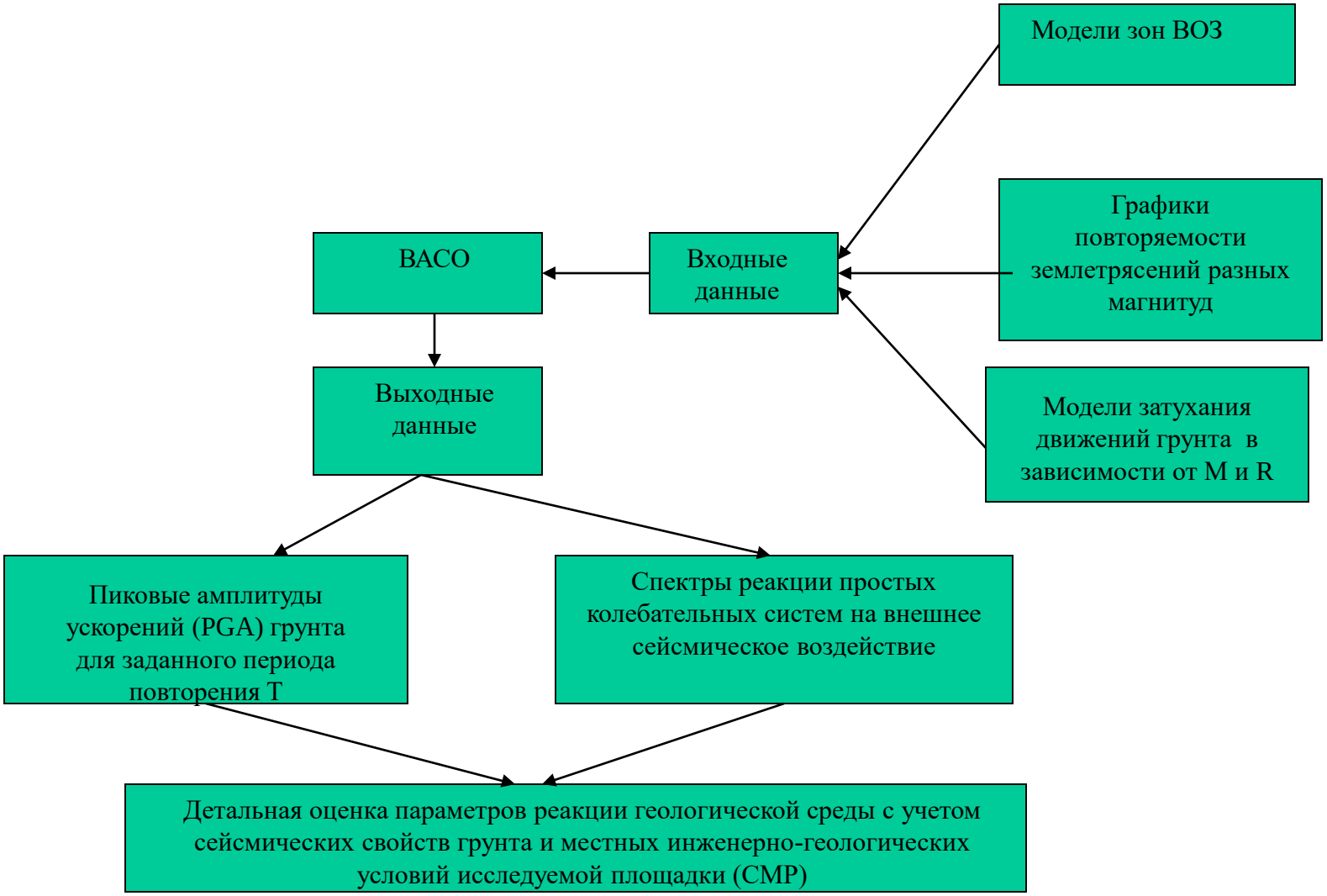
Вероятность превышения расчетной интенсивности в любом пункте зоны в течение 50 лет составит 10%, что соответствует среднему периоду T=5000 лет повторяемости таких сотрясений. На шельфе интенсивность сотрясений в зонах указана цифрами.

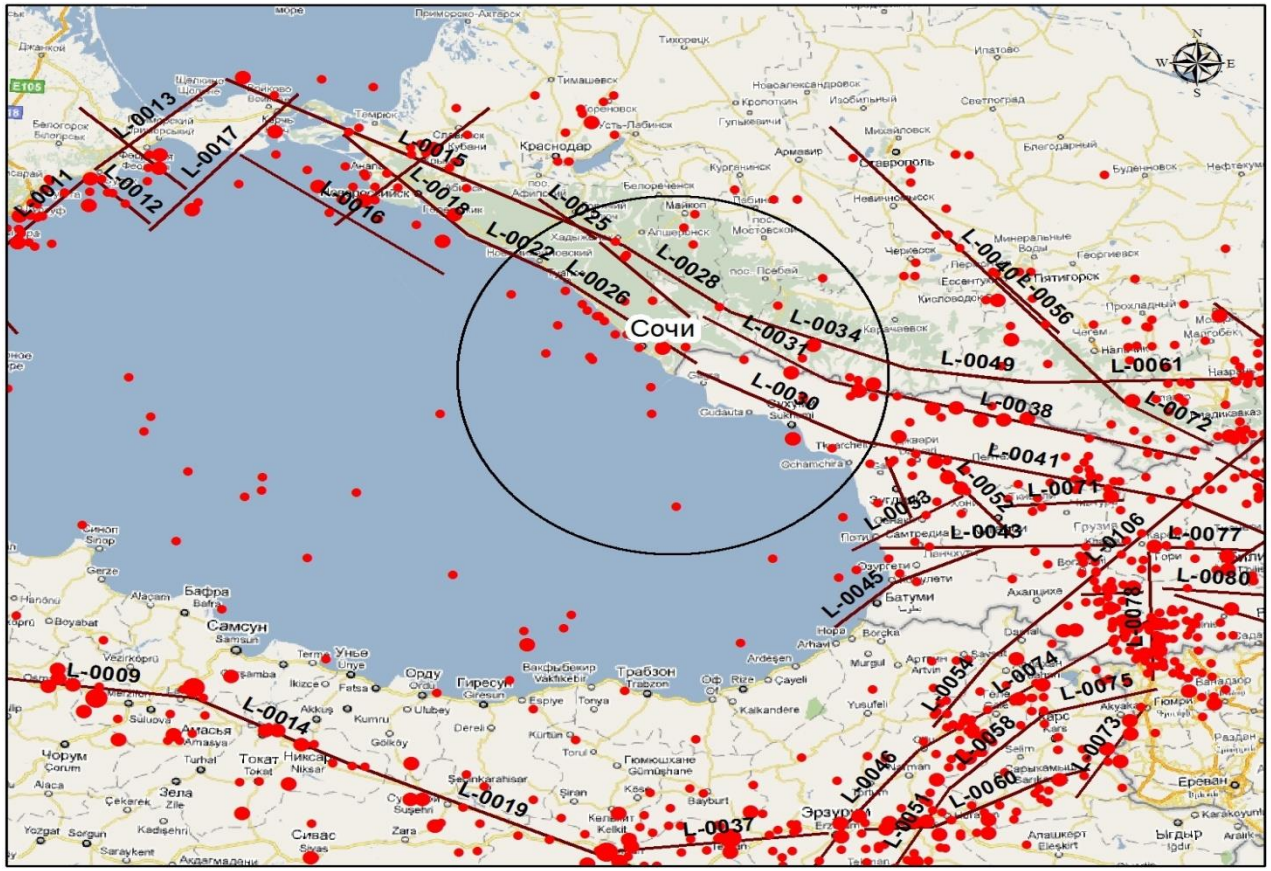
ОСР-97-С



Фрагменты карт ОСР-97 (А, В, С) Черноморского побережья Кавказа (по В.И. Уломову). Показаны зоны сейсмической интенсивности по шкале MSK-64 и очаги землетрясений с магнитудами M=7.0 (эллипсы) и M=6.5 и менее (кружки).

Блок схема последовательности принятия решений при оценке исходной (фоновой) сейсмической опасности





Километры

0 50 100 200 300 400

Условные обозначения

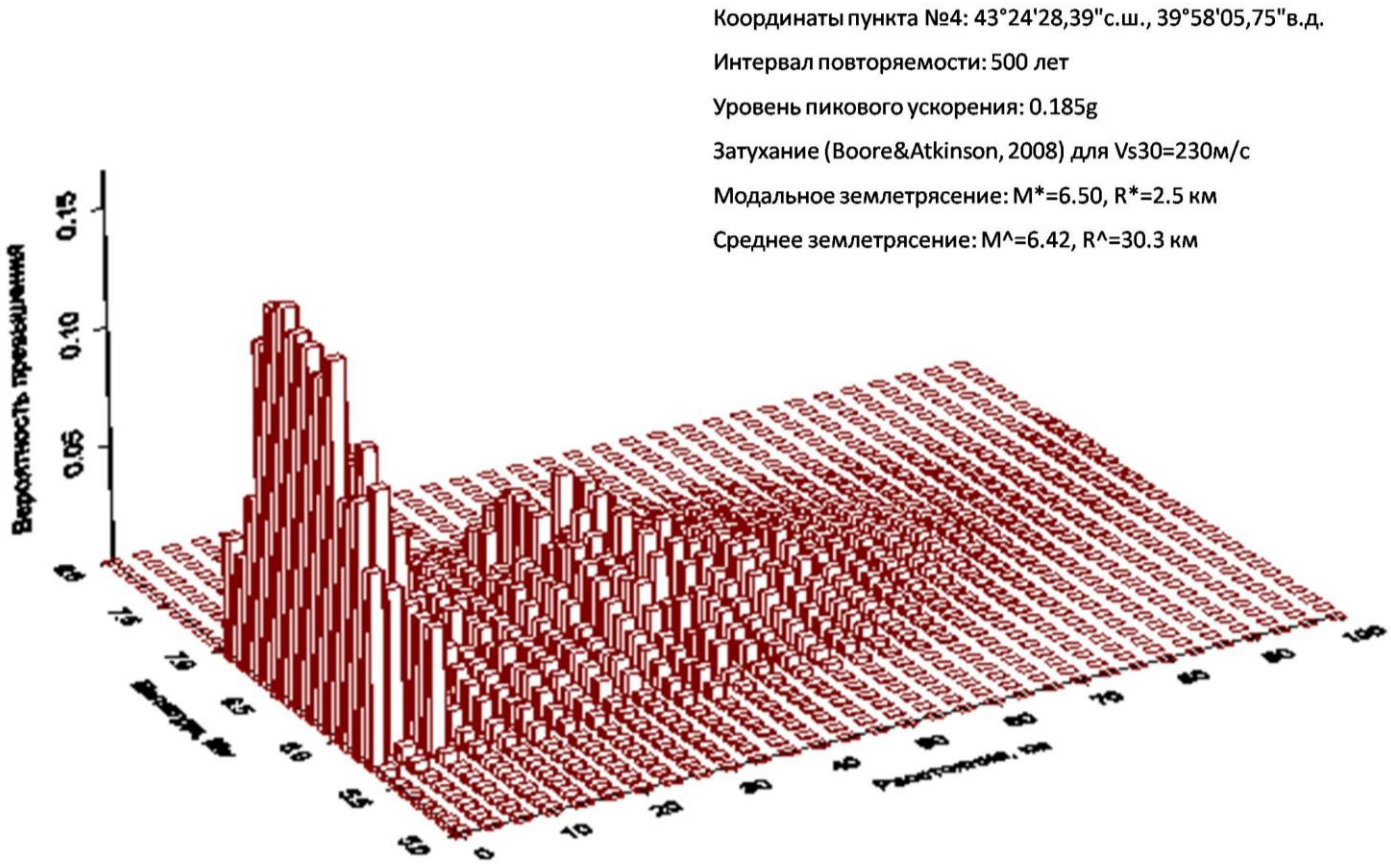
Эпицентры землетрясений с указанием магнитуды

- 3-5
- 5,1-7
- 7,1-8

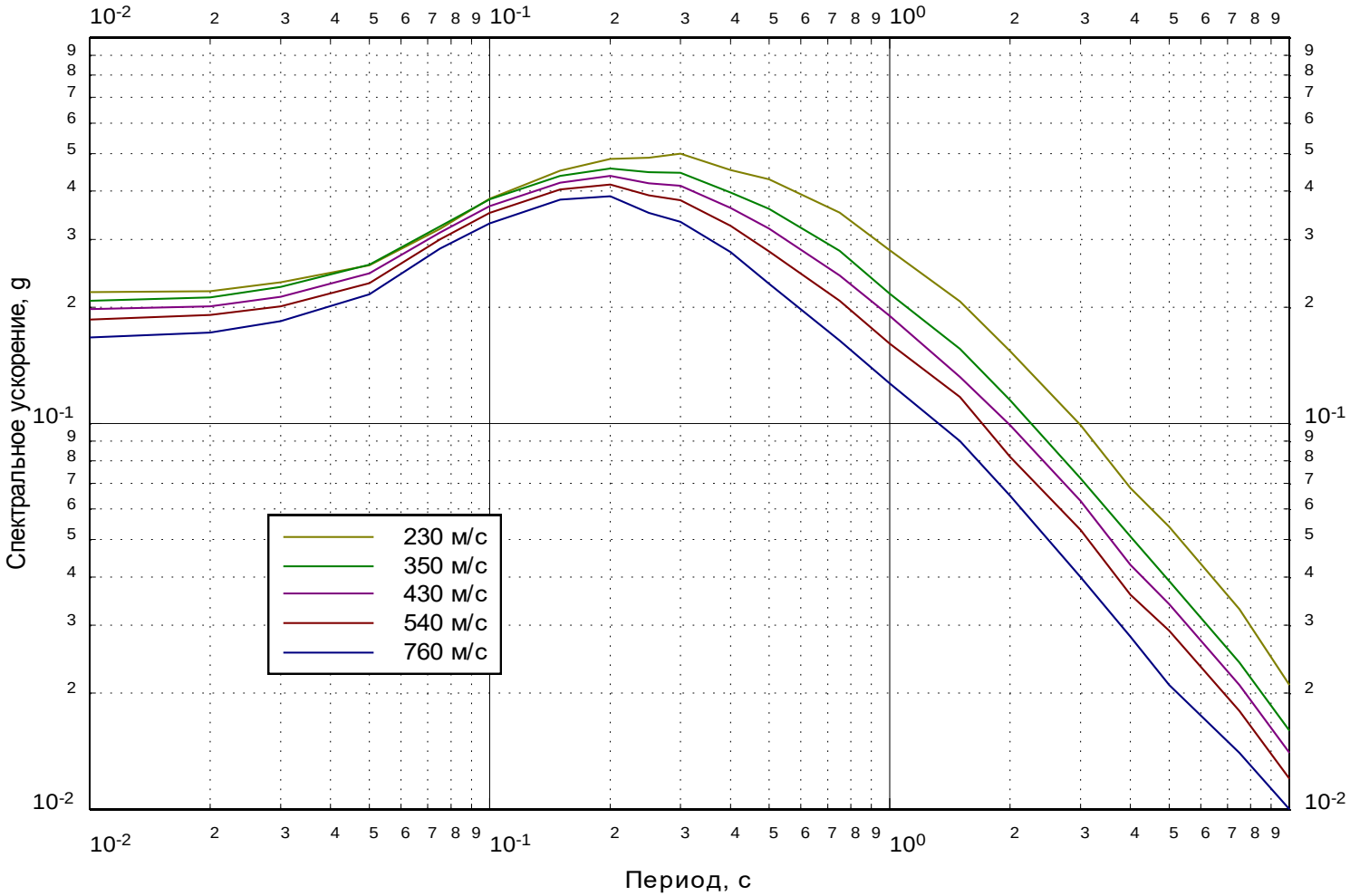
Зона сбора информации о параметрах землетрясений (r=300 км)

L - 0045 Линеаменты

Карта сейсмолинеаментов, определяющих сейсмическую опасность в районе Большого Сочи.



Параметры модального землетрясения, полученные по результатам деагрегационного анализа

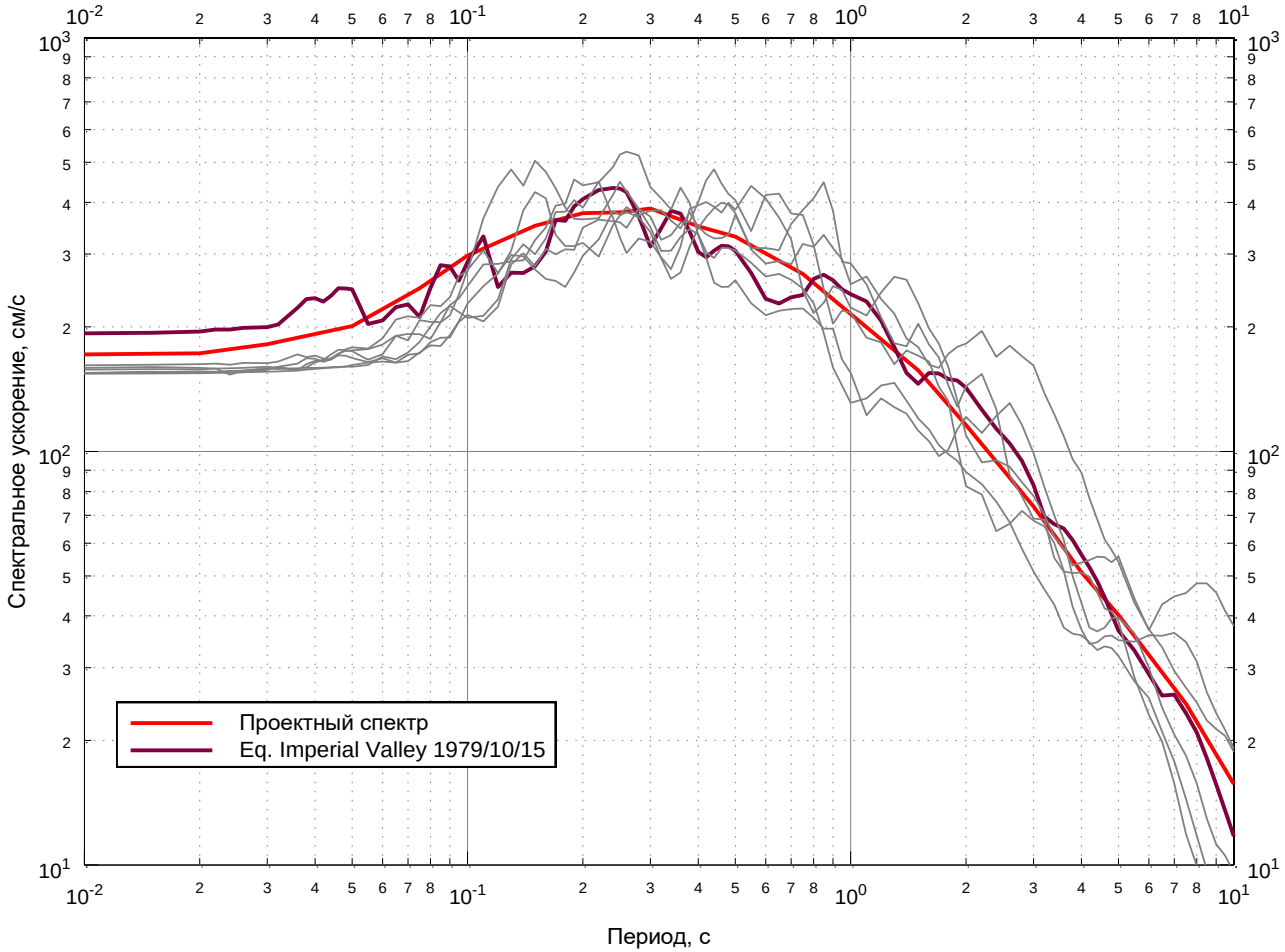


Проектные спектры реакции в базовом расчётном пункте Имеретинской низменности. Период повторяемости сильных землетрясений T = 1000 лет, средняя скорость верхней 30-метровой толщи Vs = 230, 350, 430, 540 и 760 м/с.

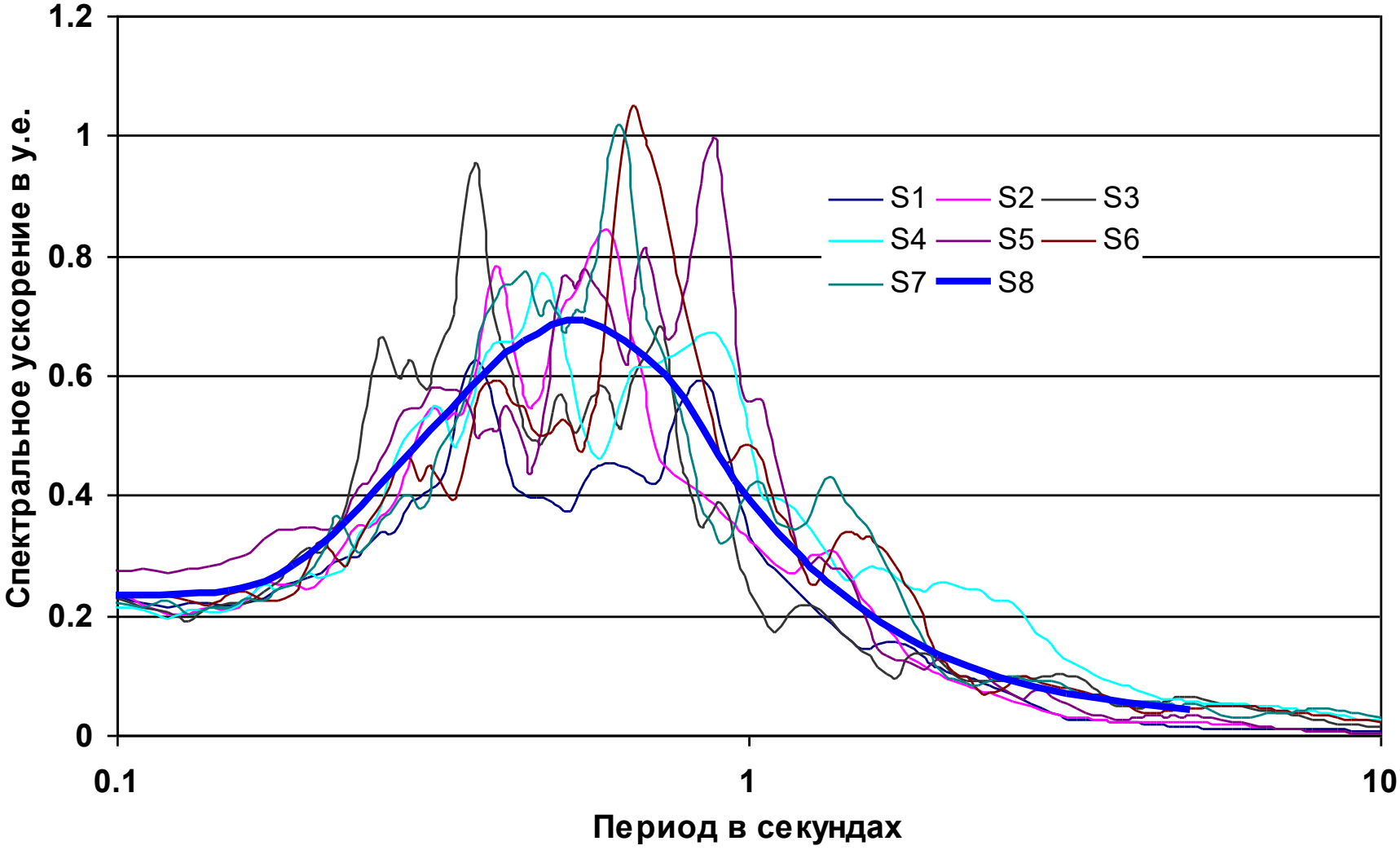
M_b

Землетрясение	Код	Дата	Магнитуда	Расстояние Джойнера-Бура, км
Imperial Valley	S1	1979/10/15	= 6,5	6,5
Imperial Valley	S2	1979/10/15	= 6,5	6,5
Loma Prieta	S3	1989/10/18	= 7,1	27,0
Cape Mendocino	S4	1992/04/25	= 7,1	13,7
Northridge	S5	1994/01/17	= 6,6	27,9
Kocaeli, Turkey	S6	1999/08/17	= 7,8	63,0
Chi-Chi, Taiwan	S7	1999/09/20	= 7,6	94,6

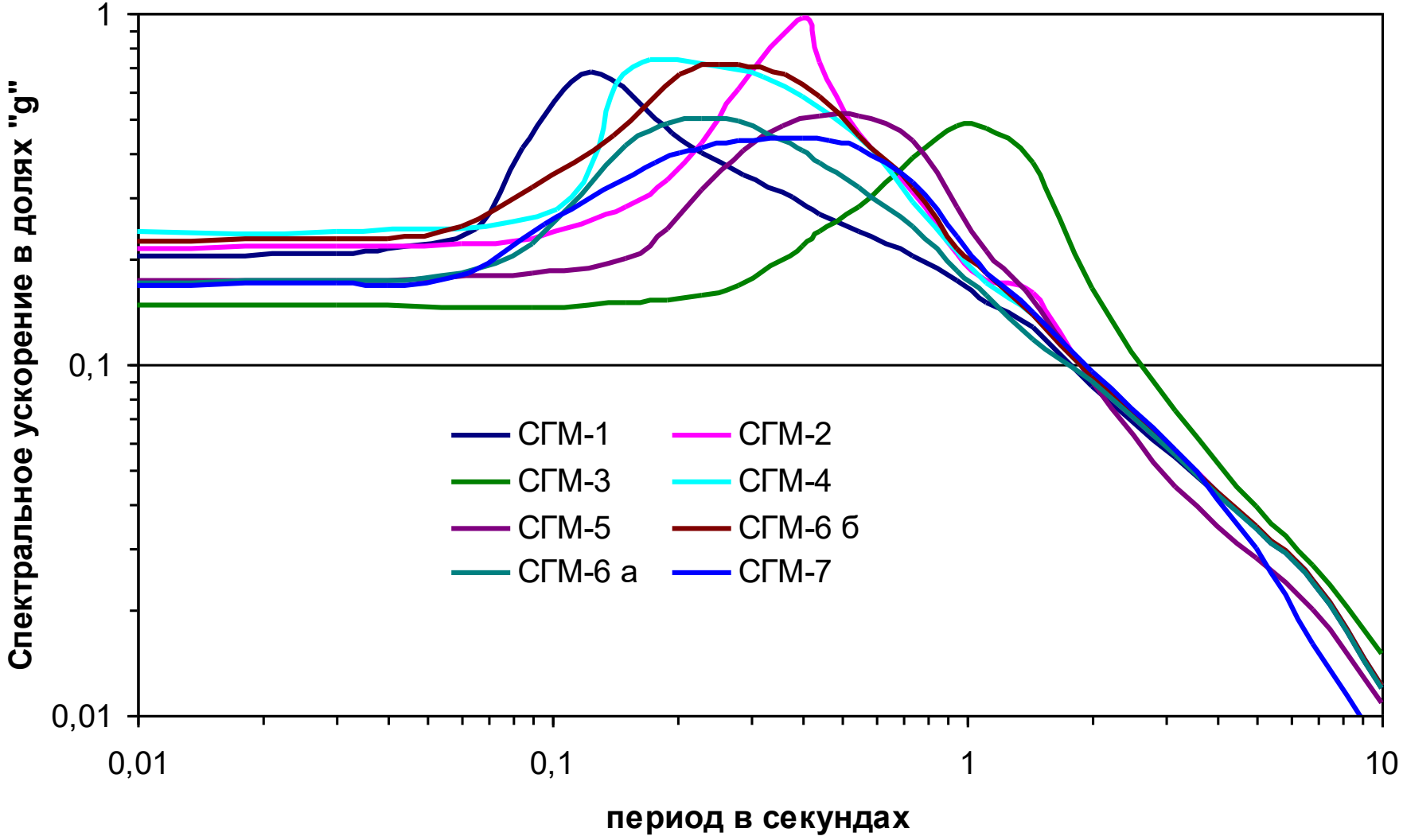
Сводная таблица параметров землетрясений-аналогов выбранных из записей сильных движений, содержащихся в базе данных PEER-NGA (http://peer.berkeley.edu/smcat/)



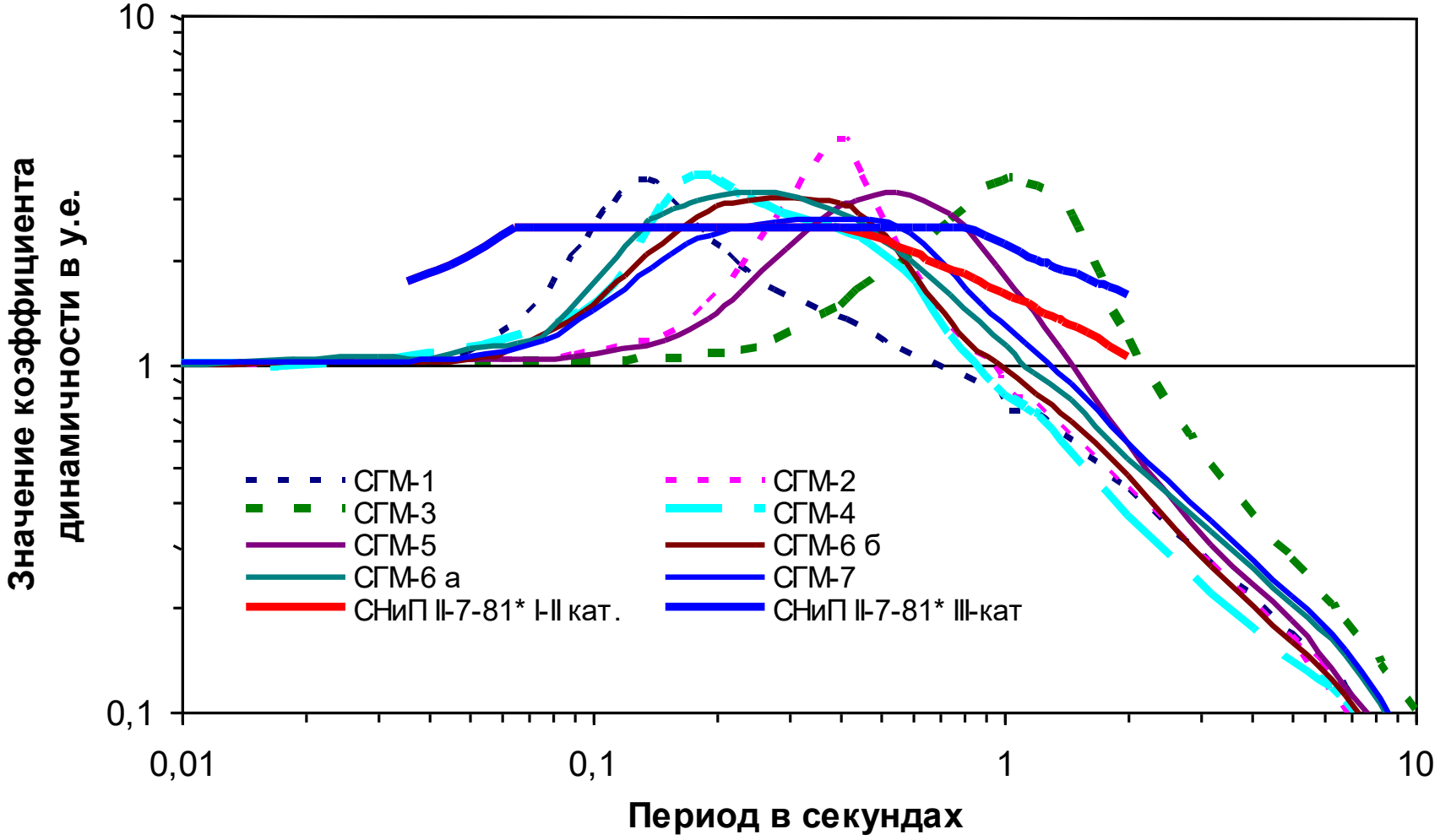
Спектры реакции землетрясений- аналогов и их соответствие проектному спектру реакции для средних грунтовых условий (Vs = 230 м/с, период повторяемости 500 лет).



Спектры реакции X-компоненты землетрясений аналогов S1-S7 для грунтовых условий, представленных морскими отложениями (СГМ-5, S8- осреднённый спектр реакции, T = 1000 лет)



Сводные графики спектров реакции для типизированных СГМ Имеретинской низменности (Т = 500 лет).



Сводные графики коэффициентов динамичности для типизированных СГМ Имеретинской низменности

ПРОБЛЕМЫ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧНОСТИ

МЕТОДОЛОГИЯ
ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗОН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОЧАГОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ
И РАЙОНИРОВАНИЯ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

КОНЦЕПЦИЯ
СТРУКТУРНО-ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ – ПО СОДЕРЖАНИЮ
ВЕРОЯТНОСТНО-ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МОДЕЛИ – ПО ФОРМЕ

ДЕТЕРМИНИЗМ

КАТАЛОГ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ДРУГИЕ БАЗЫ ДАННЫХ

СОВРЕМЕННАЯ ГЕОДИНАМИКА

РЕГИОНАЛЬНАЯ СЕЙСМИЧНОСТЬ

СИЛЬНЫЕ ДВИЖЕНИЯ

МОДЕЛЬ ОЧАГОВЫХ ЗОН

МАКСИМАЛЬНАЯ ВОЗМОЖНАЯ МАГНИТУДА;
ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ В РЕГИОНЕ, В СЕЙСМОЛИНЕАМЕНТАХ, ДОМЕНАХ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ОЧАГАХ

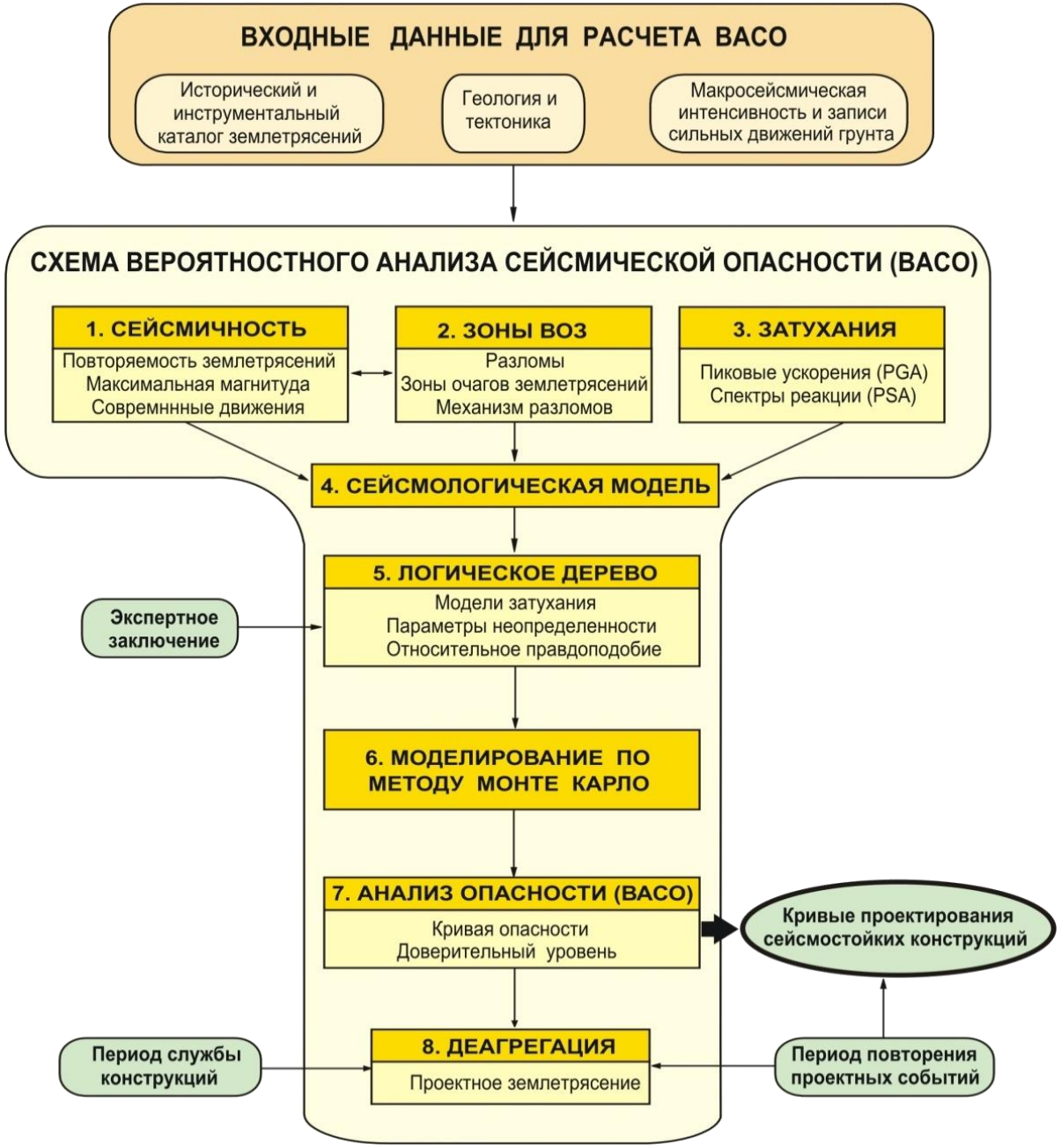
МОДЕЛЬ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА

МАКСИМАЛЬНАЯ ИНТЕНСИВНОСТЬ СОТРЯСЕНИЙ;
ЗАТУХАНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА С РАССТОЯНИЕМ;
СООТНОШЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ.

ВЕРОЯТНОСТЬ

РАСЧЕТ ПОВТОРЯЕМОСТИ СЕЙСМИЧЕСКИХ СОТРЯСЕНИЙ И ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ЗАДАННЫЕ ИНТЕРВАЛЫ ВРЕМЕНИ

СЕЙСМИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ


ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТА ВАСО
Исторический и инструментальный каталог землетрясений
Геология и тектоника
Макросейсмическая интенсивность и записи сильных движений грунта
СХЕМА ВЕРОЯТНОСТНОГО АНАЛИЗА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ (ВАСО)
1. СЕЙСМИЧНОСТЬ
Повторяемость землетрясений
Максимальная магнитуда
Современные движения
2. ЗОНЫ ВОЗ
Разломы
Зоны очагов землетрясений
Механизм разломов
3. ЗАТУХАНИЯ
Пиковые ускорения (PGA)
Спектры реакции (PSA)
4. СЕЙСМОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ
5. ЛОГИЧЕСКОЕ ДЕРЕВО
Модели затухания
Параметры неопределенности
Относительное правдоподобие
Экспертное заключение
6. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПО МЕТОДУ МОНТЕ КАРЛО
7. АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ (ВАСО)
Кривая опасности
Доверительный уровень
Кривые проектирования сейсмостойких конструкций
8. ДЕАГРЕГАЦИЯ
Проектное землетрясение
Период службы конструкций
Период повторения проектных событий

Год исследова-ний	Ускорения		Скорости		Источник
	a_{max} - интервал, g	a_{max}- точечное, g	v_{max}- интервал, см/с	v_{max}- точечная, см/с	
1942	-	0.32	-	-	Гуттенберг, Рихтер (*1961)*
1964	0.2-0.4	0.28	16-32	22	MSK-64 (*Медведев, 1968)*
1973	0.24-0.48	0.34	24-48	34	Проект шкалы . (*1975)*
1975	-	0.52	-	-	Трифунак, Бради (*Trifunac, Brady, 1975)*
1988	0.4-0.8	0.6*	50-100	70	Аптикаев, Шебалин (*1988)*
1999	0.65-1.24	0.92*	60-116	83	Вальд и др. (*Wald et al, 1999)*

Динамика роста средних значений наблюденных максимальных амплитуд при I= *9* баллов в связи с ростом количества зарегистрированных акселерограмм

Оценка сейсмической опасности выполняется с помощью компьютерных программ типа, например, программы SEISRISK III (Bender, Perkins, 1987), в которой на основе вероятностных оценок учитывается 5 основных типов неопределенностей:

1. положение зон ВОЗ и их границ;

2. положение зон разрывных нарушений и их границ;

3. параметры графика повторяемости в зонах ВОЗ;

4. вид функции затухания движений грунта;

5. механизм очагов.