Вопросы инженерной сейсмологии. ISSN 0132-2826
2012. Т.39. № 1. С. 5—38

УДК 550.343.4

Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе единой информационной системы «Сейсмобезопасность России»

В.И. Уломов

Институт физики Земли им. О.Ю.Шмидта РАН
г. Москва, Россия

Аннотация. Рассматриваются вопросы актуализации баз данных и комплекта карт общего сейсмического районирования территории России — ОСР-97. Обсуждается создание новых карт — ОСР-2012. Даются рекомендации по актуализации строительных норм. Сообщается о создании единой информационной системы «Сейсмобезопасность России», в состав которой включены и интерактивно функционируют специализированные карты прогноза сейсмической опасности.

Ключевые слова: сейсмическое районирование, сейсмическая опасность, сейсмические воздействия, макросейсмический режим, строительные нормы.

Введение

Первым шагом на пути снижения разрушительных последствий сильных землетрясений является надежное районирование сейсмической опасности и соответствующее ему адекватное сейсмостойкое строительство. К важным факторам, от которых зависит число человеческих жертв и размер причиняемого ущерба, относятся осведомленность населения и органов государственной власти об угрозе землетрясений и умение противостоять подземной стихии. Решению этих и других проблем обеспечения сейсмической безопасности на территории страны призвана служить Федеральная целевая программа (ФЦП) «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2014 годы», утвержденная постановлением правительства от 23 апреля 2009 г. В соответствии с этой Программой в России активизировались научно-исследовательские работы по целому ряду проблем, в том числе по актуализации нормативных документов – СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах», а также действующих в стране нормативных карт общего сейсмического районирования территории страны – ОСР-97. При Министерстве регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) в целях выработки предложений и рекомендаций по решению вопросов обеспечения сейсмобезопасности зданий и сооружений 15 августа 2009 г. создана Экспертная комиссия по сейсмостойкому строительству, одним из членов которой является автор настоящей статьи.

В числе важнейших задач Минрегионом России было предусмотрено создание в стране единой и постоянно функционирующей информационной системы (ЕИС) «Сейсмобезопасность России», которая начала действовать в тестовом режиме с конца 2011 г. Ее основное назначение – обеспечение государственных органов, заинтересованных организаций и лиц наиболее полной, актуальной и достоверной информацией по вопросам обеспечения сейсмической безопасности жизнедеятельности на территории России.

© Уломов В.И., 2012

Головным разработчиком ЕИС «Сейсмобезопасность России» стал Проектный и научно-исследовательский институт инженерных изысканий в строительстве (ОАО ПНИИИС), а основным исполнителем сейсмологической части — Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, продолживший начатую ранее работу по актуализации сейсмического районирования [Уломов, 2008а, б; 2009б]. В этот же период возобновились работы по актуализации нормативной базы сейсмостойкого строительства — СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» [Айзенберг, 2010].

По нашей инициативе наряду с актуализацией ОСР-97 в составе ЕИС стал разрабатываться не входивший в задание Минрегиона России проект новых нормативных карт ОСР-2012 следующего поколения. На первом этапе работ в 2010–2011 гг. были созданы тестовые макеты двух версий моделей зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ) на территории России и сопредельных регионов. Получили дальнейшее развитие принципы вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) и гармонизации общего (ОСР), детального (ДСР), сейсмического микрорайонирования (СМР) и СНиП II-7-81*. Разработаны проекты технических регламентов проведения работ по общему сейсмическому районированию (Свод правил, статусы ОСР, ДСР и СМР) [Уломов, Никитин, 2010].

С целью координации всего комплекса исследований по ФЦП созданы специализированные рабочие группы по актуализации ОСР (рук. В.И. Уломов, ИФЗ РАН) и СНиП-II-7-81* (рук. Н.И. Фролов, НП СРО «НОСТРОЙ»). В их состав вошли ведущие специалисты из академических институтов и других специализированных организаций из разных регионов страны.

Исследования по сейсмическому районированию проводились одновременно по двум главным направлениям:

- 1) создание актуализированного комплекта карт ОСР-97*, являющегося обновленной и дополненной версией действующих нормативных карт ОСР территории Российской Федерации;
- 2) разработка концепции общего сейсмического районирования следующего поколения и создание макетов карт зон возникновения очагов землетрясений для ОСР-2012 территории Российской Федерации.

Ниже излагаются основные результаты сейсмологических исследований, полученные в 2010–2011 гг. большим коллективом специалистов при участии и под руководством автора.

Настоящая статья публикуется в соответствии с предложением совместного заседания Научного совета РАН по проблемам сейсмологии (председатель – член-корреспондент РАН Г.А. Соболев) и Проблемного совета «Сейсмичность Земли, природные и природно-техногенные катастрофы» ИФЗ РАН (председатель – доктор физико-математических наук А.Д. Завьялов), состоявшегося 17 февраля 2011 г.: «Просить члена Совета по проблемам сейсмологии РАН проф. В.И. Уломова выступить на расширенном заседании Совета с докладом о планируемых и проводимых работах по совершенствованию карты общего сейсмического районирования России, а также изложить в научном журнале методические вопросы готовящихся изменений» (протокол № 1/2011).

Исходные данные и методы исследований

Основные определения

Сейсмическая опасность (СО) – ожидаемые на данной площади максимальные сейсмические воздействия, которые с заданной вероятностью могут быть превышены в течение заданного интервала времени. Сейсмические воздействия измеряются в баллах макросейсмической шкалы интенсивности землетрясений, а также в пиковых ускорениях и других количественных параметрах колебаний грунта, используемых для обеспечения сейсмостойкого строительства. Уровень сейсмической опасности и степень уязвимости строительных и природных объектов обусловливают величину сейсмического риска, оцениваемого по ожидаемому социально-экономическому ущербу.

Общее сейсмическое районирование (ОСР) – картографирование сейсмической опасности на всей территории страны, основанное на изучении сейсмичности и сейсмического режима региональных, межрегиональных и крупных глобальных сейсмогенерирующих структур (СГС). Карты ОСР являются составной частью нормативно-правовых документов, обеспечивающих в общегосударственном, региональном и субрегиональном масштабах рациональное землепользование, социально-экономическое развитие, охрану окружающей среды, сейсмостойкое строительство и безопасность населения при сильных землетрясениях.

Сейсмичность России

Здесь и далее понятие «сейсмичность» употребляется в его профессиональном, геолого-геофизическом, определении, а не в смысле, подразумеваемом отечественными проектировщиками и строителями в отношении результатов сейсмического районирования. В иностранной литературе такие результаты получили название «сейсмическая опасность» (seismic hazard), или «сотрясаемость» (shakebility), как это предлагал в середине 1960-х годов Ю.В. Ризниченко [Ризниченко, 1965, 1966]. Во избежание путаницы и дальнейших недоразумений вполне приемлемо определять результаты сейсмического районирования термином «макросейсмика», но не «сейсмичность» [Уломов, 2009б].

Сейсмичность в сейсмологическом смысле – это пространственно-временное и энергетическое распределение очагов землетрясений, которое характеризуется магнитудой, глубиной залегания и размером очага, сейсмическим режимом и другими геофизическими параметрами. Иными словами, сейсмичность и сейсмический режим – это то, что происходит на глубине в земных недрах, а макросейсмика и макросейсмический режим – это проявление сейсмического эффекта на земной поверхности. Последний оценивается баллами макросейсмической шкалы, ускорениями колебаний грунта и другими параметрами, имеющими отношение к сейсмическим воздействиям.

Территория Российской Федерации по сравнению с другими странами мира, расположенными в сейсмоактивных регионах, в целом характеризуется умеренной сейсмичностью (рис. 1) [Уломов, 2004, 2007]. Исключение составляют регионы Северного Кавказа, юга Сибири и Дальнего Востока, где интенсивность сейсмических сотрясений достигает 8–9 и 9–10 баллов по макросейсмической шкале MSK-64. Определенную угрозу представляют и 6–7-балльные зоны в густозаселенной Европейской части страны.

В сейсмологическом отношении территория России принадлежит Северной Евразии, сейсмичность которой обусловлена интенсивным геодинамическим взаимодействием нескольких крупных литосферных плит – Евразийской, Африканской, Аравийской, Индо-Австралийской, Китайской, Тихоокеанской, Северо-Американской и Охотоморской. Наиболее подвижны и, следовательно, активны границы плит, где формируются крупные сейсмогенерирующие орогенические пояса: Альпийско-Гималайский – на юго-западе, Трансазиатский – на юге, пояс Черского – на северо-востоке и Тихоокеанский пояс – на востоке Северной Евразии.

Каждый из поясов неоднороден по строению, прочностным свойствам, сейсмогеодинамике и состоит из своеобразно структурированных сейсмоактивных регионов, представляющих собой упорядоченные и генетически связанные геоструктуры [Уломов, 1993, 1997].

Характерная особенность всех сейсмоактивных регионов – примерно одинаковая протяженность (около 3000 км), обусловленная размерами древних и современных зон субдукции, расположенных по периферии океанов, и их орогенических реликтов на континентах. Преобладающее число очагов землетрясений сосредоточено в верхней части земной коры на глубинах до 15—20 км. Самыми глубокими (до 650 км) очагами характеризуется Курило-Камчатская зона субдукции. Землетрясения с промежуточной глубиной залегания очагов (70—300 км) действуют в Восточных Карпатах (Румыния, зона Вранча, глубина – до 150 км), в Центральной Азии (Афганистан, зона Гиндукуша, глубина – до 300 км), а также под Большим Кавказом и в центральной части Каспийского моря (до 100 км и глубже) [Уломов и др., 2007]. Наиболее сильные из них ощущаются на территории России.

Каждому региону свойственны определенная периодичность возникновения землетрясений, определяющая их сейсмический режим, и миграция сейсмической активизации вдоль зон сейсмоактивных разломов. Размеры (протяженность) каждого из очагов обусловливают величину магнитуды землетрясений. Длина разрыва пород в очагах землетрясений с магнитудой M_s=7.0 и выше достигает десятков и сотен километров.

Районирование сейсмической опасности

В 1991–1997 гг. благодаря разработке целостной методологии и развитию вероятностных подходов к общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации произошла смена парадигмы в оценке сейсмической опасности. Впервые для обширной территории Северной Евразии, охватывающей Россию и сопредельные с ней сейсмоактивные регионы, была создана единая однородная база исходных сейсмологических и других геолого-геофизических

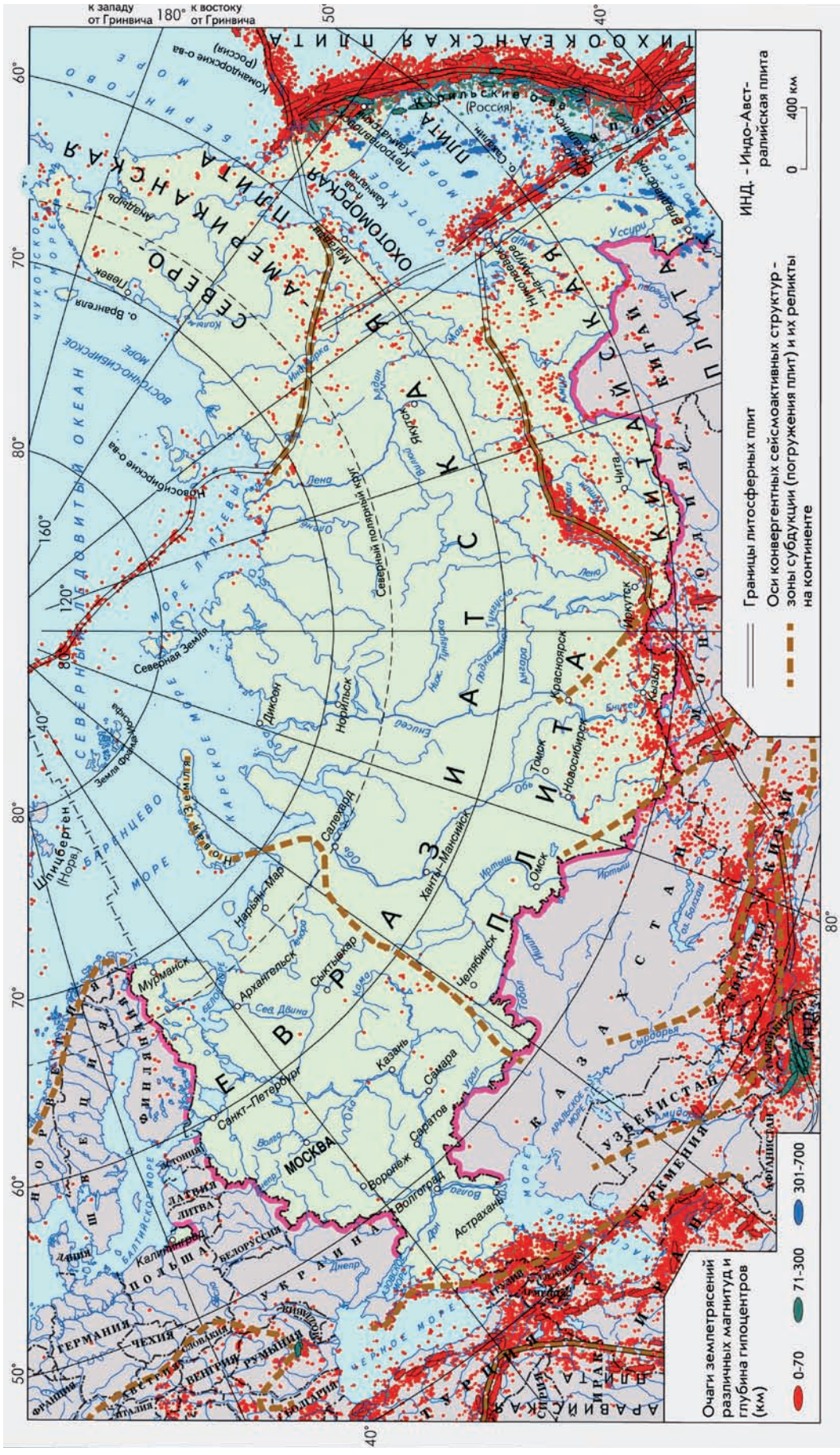

Рис. 1. Сейсмичность территории России и сопредельных регионов. Масштаб 1 : 40 000 000. Специальное содержание разработано В.И. Уломовым

данных, разработана принципиально новая линеаментно-доменно-фокальная модель (ЛДФ-модель) зон ВОЗ с адекватной сейсмогеодинамической параметризацией [Уломов, 1998]. Вместо традиционно одной детерминистской карты впервые в мировой сейсмологической и строительной практике в нашей стране стал использоваться комплект вероятностных нормативных карт – ОСР-97 (рис. 2), положивший начало принципиально новому сейсмическому районированию – динамическому, учитывающему фактор времени [Уломов, Шумилина, 1999а, б; 2000; Сейсмическое..., 2000].

Карты ОСР-97 территории Российской Федерации, официально утвержденные 23 марта 1998 г. вице-президентом Российской академии наук академиком Н.П. Лаверовым, стали нормативными и с 2000 г. вошли в состав адаптированной к ним модифицированной версии строительных норм и правил – СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах». Новая методология и комплект карт ОСР-97 широко обсуждались на различных научных и административных уровнях и были отмечены Государственной премией 2002 г. Российской Федерации по науке и технике. Эти карты выдержали все «сейсмические испытания», возникшие на территории страны за прошедшие с момента их создания 15 лет. За это время наряду с многочисленными слабыми и умеренными произошли 8–9-балльные и более сильные землетрясения, в том числе на Сахалине, в Горном Алтае, Корякии, на Курилах, сейсмический эффект которых не противоречил прогнозным оценкам карт ОСР-97. Вместе с тем, подобно предыдущим картам ОСР, обновлявшиеся в среднем каждые 10 лет начиная с 1937 г., карты ОСР-97 подлежали обновлению в силу накопившихся данных о сейсмичности изучаемой территории, а также в связи с появившимися техническими регламентами и новыми идеями.

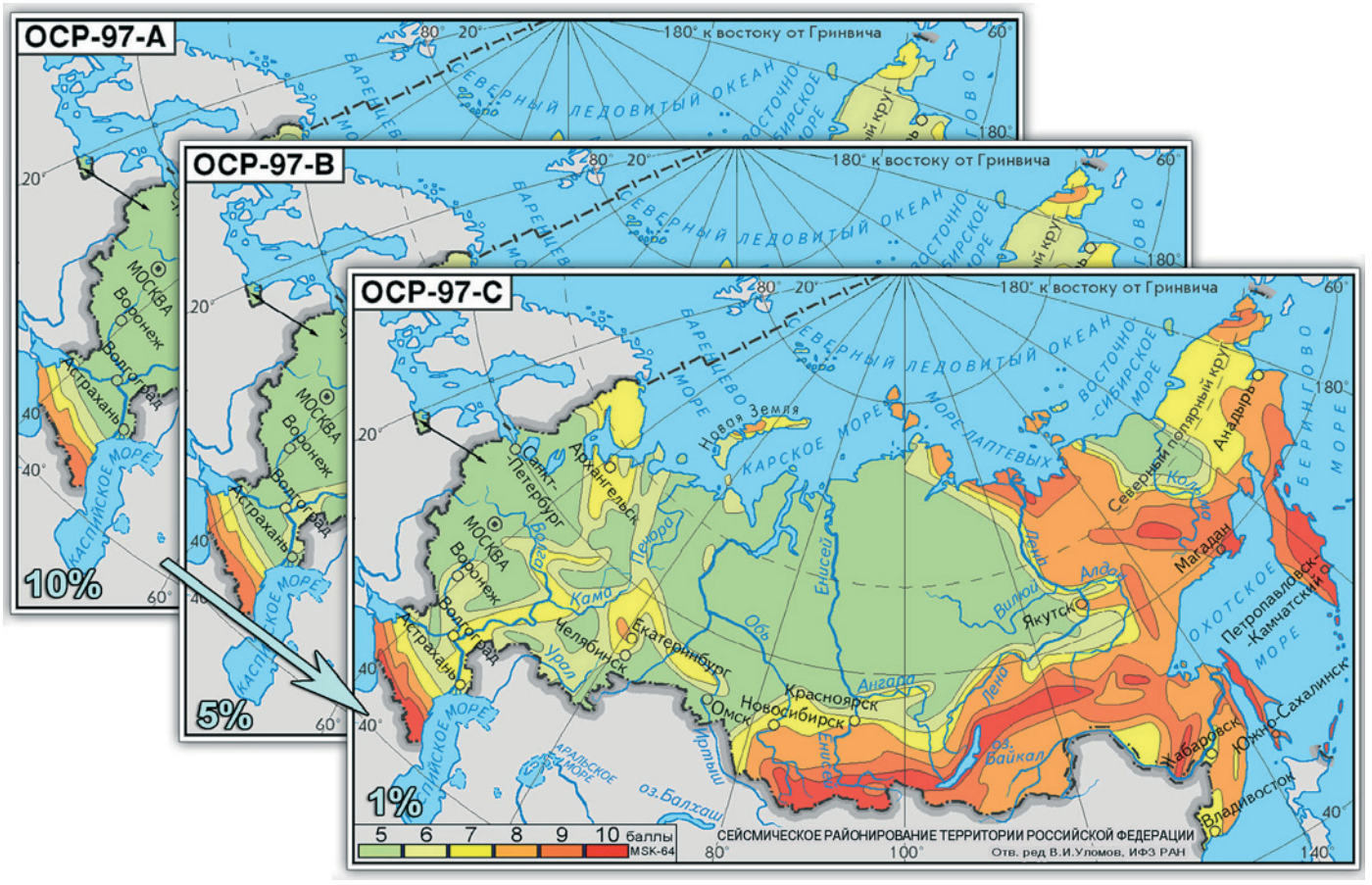

Рис. 2. Нормативные карты ОСР-97 общего сейсмического районирования территории Российской Федерации. Отв. редактор В.И. Уломов

Моделирование источников землетрясений

Методология ОСР-97 (рис. 3) базируется на региональном подходе к созданию двух взаимосвязанных сейсмогеодинамических моделей – модели очаговых зон (МОЗ) и модели сейсмического эффекта (МСЭ). Концепция ОСР-97 отражает структурно-динамическое единство природной среды и вероятностный характер развивающихся в ней сейсмических процессов. Как показано на рис. 3, модели МОЗ и МСЭ формируются на основе трех блоков базы исходных данных – современной геодинамики, региональной сейсмичности и сильных движений грунта. С их помощью осуществляется расчет повторяемости сейсмических сотрясений и составляются вероятностные карты сейсмического районирования [Гусев, Шумилина, 1995; Уломов, Шумилина, 1999а, б].

В основу модели зон ВОЗ положена линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель (рис. 4), которая определенным образом параметризуется и в дальнейшем участвует в компьютерном моделировании реальной сейсмичности. В соответствии с принятой концепцией в ЛДФ-модели рассматриваются четыре масштабных уровня источников землетрясений– крупный регион с интегральной характеристикой сейсмического режима и три основных его

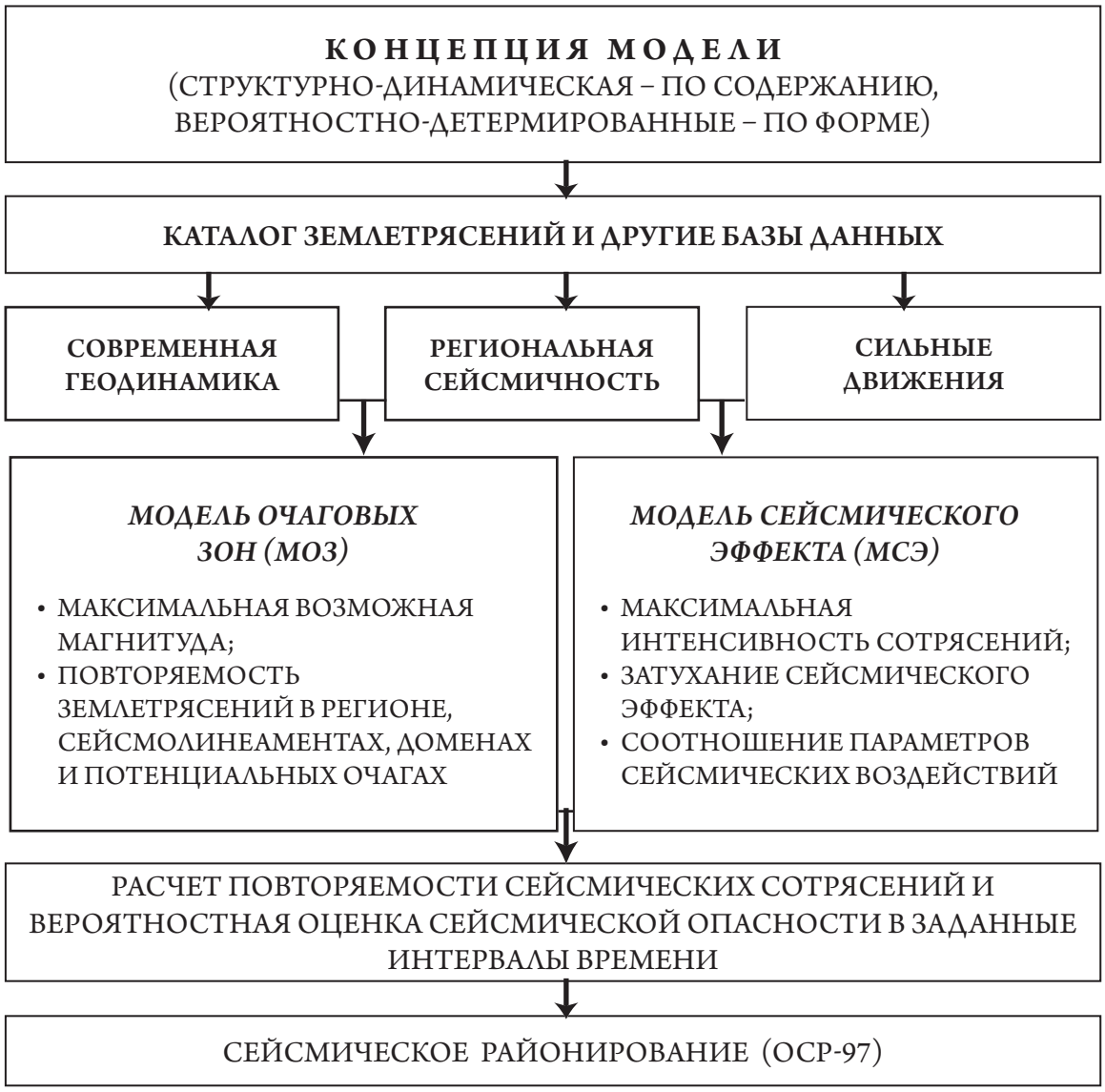

Рис. 3. Методология ОСР-97 идентификации зон возникновения очагов землетрясений и сейсмического районирования

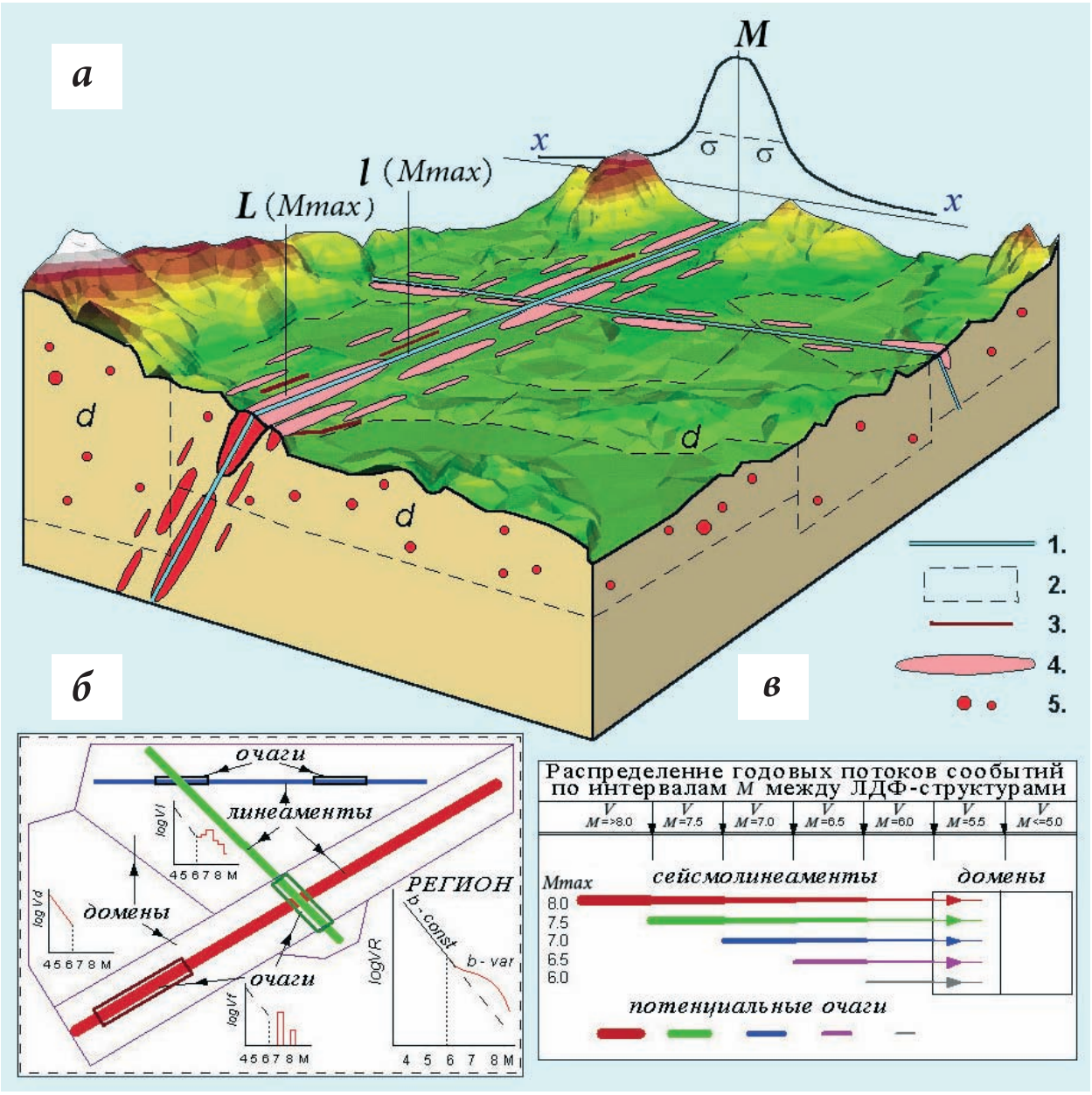

Рис. 4. Объемная линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель (*а*) зон возникновении очагов землетрясений (зоны ВОЗ); основные структурные элементы региона (линеаменты, домены, потенциальные очаги) и свойственные им графики повторяемости землетрясений (*б*) и распределение среднегодовых потоков сейсмических событий (*V*) разных магнитуд вдоль линеаментов, внутри доменов и в потенциальных очагах соответствующих M_{max} (*в*)

1 — оси сейсмолинеаментов $l(M_{max})$; *2* — условные контуры сейсмических доменов; *3* – следы активных разломов; *4* – очаги крупных землетрясений $L(M_{max})$ с M_{max}≥7.0±0.2; *5* – очаги землетрясений с M_{max}≤6.5±0.2; *D* – расстояние от оси линеамента; *M* – магнитуда, *d* – домены; σ – стандартное отклонение

структурных элемента: 1) сейсмолинеаменты (СЛ), в генерализованном виде представляющие оси трехмерных сейсмоактивных разломных или сдвиговых структур. СЛ отражают структурированную сейсмичность и являются основным каркасом ЛДФ-модели; 2) сейсмодомены (СД), охватывающие квазиоднородные в геодинамическом отношении объемы геологической среды и характеризующиеся рассеянной («диффузной») сейсмичностью; 3) потенциальные очаги землетрясений, указывающие на наиболее опасные участки (фокусы) сейсмоге-

нерирующих структур (местоположение и наибольшая опасность виртуальных очагов может выявляться путем деагрегационного анализа сейсмической опасности).

Линеаменты, домены и потенциальные очаги, как и сами землетрясения, классифицируются по величине максимальной магнитуды (M_{max}) с шагом 0.5 и в интервале ±0.2 ед. M (здесь и далее магнитуда M соответствует M_s, определенной по поверхностным сейсмическим волнам). Минимальное значение магнитуды землетрясений вдоль линеаментов в ОСР-97 принято M=6.0 (точнее, M=5.8 с учетом ±0.2), поскольку при генерализованном районировании, каким является ОСР, очаги с меньшей магнитудой выделяются недостаточно надежно. В случае же детального сейсмического районирования (ДСР) нижний порог магнитуд для линеаментов может быть понижен.

Поскольку реальные очаги не располагаются строго вдоль осей СЛ, а отклоняются определенным образом по обе стороны от них, при моделировании виртуальной сейсмичности используются функции статистического распределения, аналогичные изображенной на заднем плане рис. 4. Чем меньше магнитуда землетрясений, тем дальше от оси СЛ могут отклоняться их очаги. Такое рассеяние очагов обусловлено размером областей динамического влияния линеаментных структур на прилегающую геологическую среду и ее фрактальным строением.

Очаги землетрясений с M=5.5 (точнее, M=5.7 и менее) принадлежат доменам. Их верхний порог также может быть понижен при детализации карт ОСР, а сами очаги, «рассеянные» в доменах, сгруппируются в соответствующие кластеры линеаментов меньших рангов, как это показано на рис. 5 [Уломов, 2009а]. В этих построениях использовались приведенные в табл. 1 расчетные величины возможных отклонений очагов землетрясений от осей соответствующих линеаментов для ОСР, дополненные значениями для меньших магнитуд.

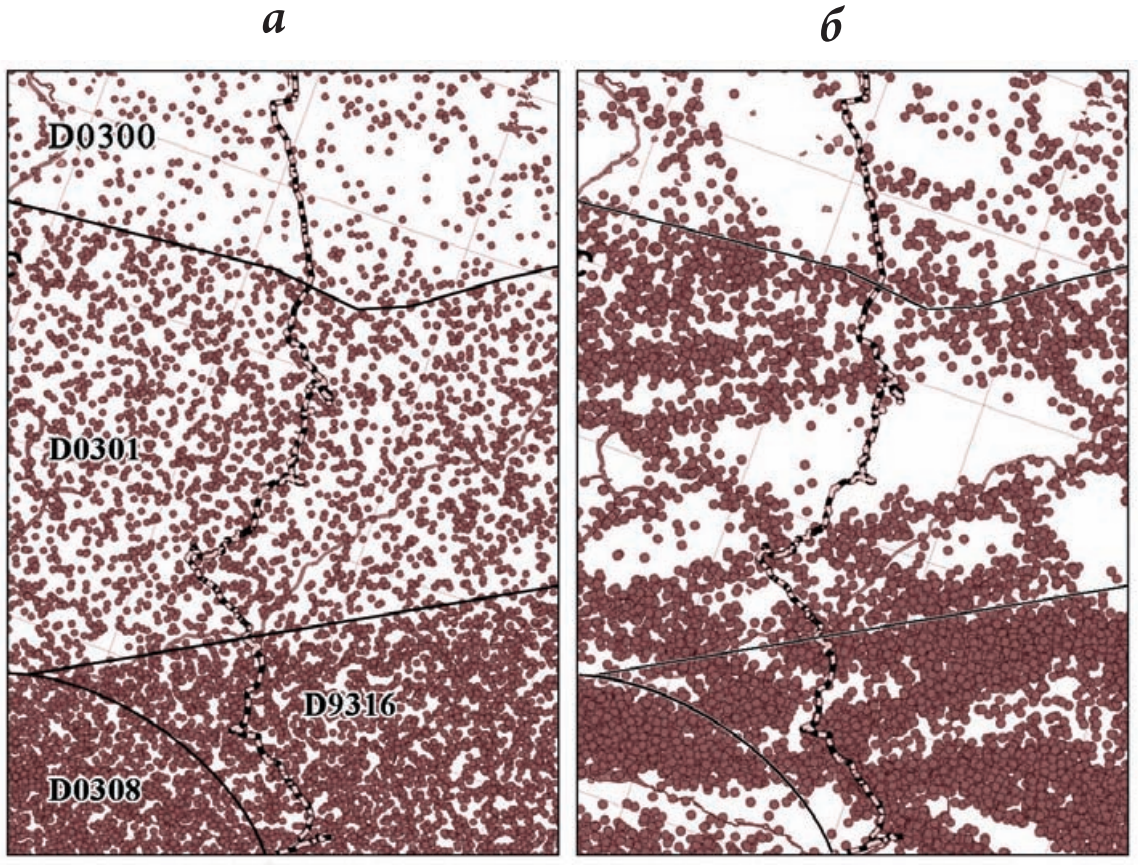

Рис. 5. Преобразование рассеянного распределения эпицентров землетрясений в пределах доменов *D* (*а*) в структурированную сейсмичность вдоль линеаментов меньших рангов (*б*). Среднегодовая плотность оттока сейсмических событий на прежних площадях доменов сохраняется

Таблица 1. Отклонение σ_M смещения очага относительно осей линеаментов

M_{max}	Величина σ_M (км) для линеаментов с магнитудой $M = M_{max} - n$					
	n = 0.0	n = 0.5	n = 1.0	n = 1.5	n = 2.0	n = 2.5
8.5	12	17	25	35	51	73
8.0	10	15	21	30	43	62
7.5	9	12	18	25	35.5	50
7.0	7	10	15.2	21	30	42
6.5	6	8.4	12.9	18	24.5	
6.0	5	7	11	15		
5.5	4.2	5.8	9.3			
5.0	3.5	4.9				
4.5	3					

Определение параметров сейсмического режима основных структурных элементов ЛДФ-модели зон ВОЗ являются самым сложным и наиболее ответственным звеном в исследованиях по сейсмическому районированию, поскольку от этого зависит надежность всех последующих построений. Подробное описание технологии параметризации приведено в объяснительной записке к картам ОСР-97 [Уломов, Шумилина, 1999а] и в ряде других публикаций автора. Здесь же на рис. 4 иллюстрируется распределение числа землетрясений разных магнитуд (см. рис. 4, *б*) и соответствующих потоков сейсмических событий (см. рис. 4, *в*) всего региона между его основными структурными элементами (линеаментами, доменами и потенциальными очагами).

Основой сейсмологической параметризации является региональный подход, обусловленный глобальной упорядоченностью сейсмоактивных регионов [Уломов, 1993; 1997]. Региональный метод имеет значительные преимущества, по сравнению с другими приемами оценки максимальной возможной магнитуды (M_{max}) и определения сейсмического режима сейсмогенерирующих структур. Во-первых, регион указанных выше преимущественных размеров (порядка 3000 км) имеет физически обоснованную сущность и отражает явление своеобразного сейсмогеоценоза совокупности всех его структурных элементов. Во-вторых, большая, по сравнению с отдельными структурами (разломами), площадь региона позволяет получить достаточно полный каталог землетрясений разных магнитуд и, следовательно, более надежные сведения о сейсмическом режиме региона и его структурных элементов, между которыми в соответствии с их рангом (размеры и M_{max}) и распределяется интегральный поток сейсмических событий.

Вероятностный анализ сейсмической опасности

В решении практически всех задач прогноза сейсмической опасности применены вероятностные и вероятностно-детерминированные характеристики, учитывающие как случайные, так и закономерные факторы сейсмогенеза, а также разного рода неопределенности исходных и выходных данных, которые делают неправомочным детерминистский подход к сейсмическому районированию. В настоящее время наиболее правдиво оно может быть осуществлено лишь на вероятностной основе. Иными словами, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму и сделать приемлемым для тех или иных строительных объектов. Это и заложено в картах ОСР-97 и их актуализированных версиях ОСР-

97*, что позволяет оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных категорий ответственности и сроков службы.

Методология вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), получившая широкое распространение в мировой сейсмологической практике и положенная в основу ОСР-97, сохранилась и по сей день, поскольку другой, более продуктивной замены ей пока не найдено.

На картах ОСР-97 результаты ВАСО представлены расчетной сейсмической интенсивностью I со средней повторяемостью один раз за T лет. Вероятность P возникновения и возможного превышения этой интенсивности в течение t лет (т.е. произойдет хотя бы одно такое событие) вычисляется по формуле

$$P = 1 - \exp(-t / T).$$

Так, при T = 500 лет и t = 50 лет P составит≈ 10% (точное значение 9.52%); при T = 1000 лет и t = 50 лет $P \approx 5\%$ (точнее, 4.88); и т.д.

Карты ОСР-97А, ОСР-97В и ОСР-97С отражают вероятности 10% (карта А), 5% (В) и 1% (С) возможного превышения (или соответственно 90, 95 и 99% непревышения) расчетной сейсмической интенсивности в течение 50-летних интервалов времени, что соответствует повторяемости сейсмического эффекта на земной поверхности в среднем один раз за 500, 1000 и 5000 лет (точнее, за 475, 975 и 4975 лет). Для чрезвычайно ответственных сооружений (атомные станции и другие объекты ядерно-радиационного комплекса) была создана карта ОСР-97D, учитывающая сейсмический эффект даже от очень редких землетрясений, которые возникают на исследуемой площади в среднем один раз за T = 10 000 лет (P = 0.5%).

Создание актуализированного комплекта карт ОСР-97*

Принципы актуализации ОСР-97

На рис. 6 показана технология актуализации карт общего сейсмического районирования, которая, по существу, следует порядку, заложенному в методологию создания карт ОСР-97 (см. рис. 3).

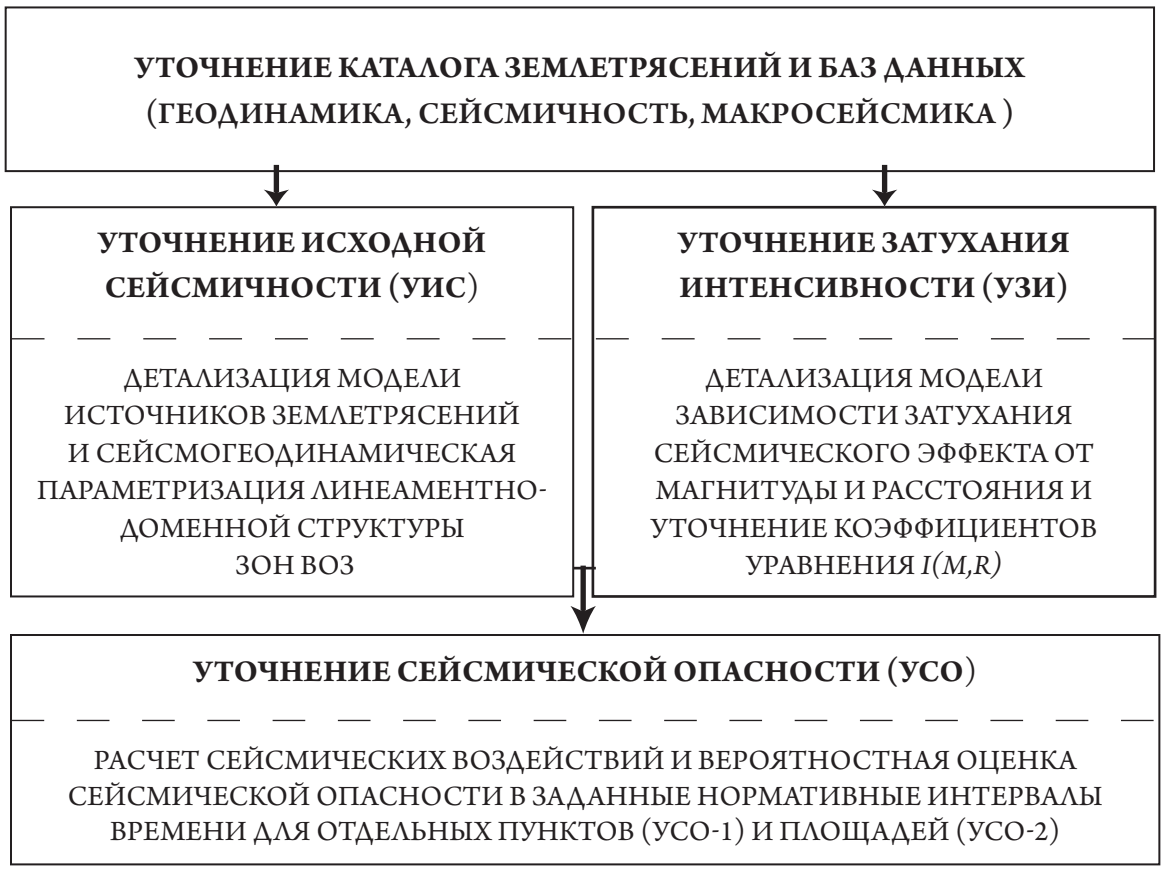

Рис. 6. Технология уточнения общего сейсмического районирования (УОСР)

Следует обратить внимание, что и здесь пришлось заняться вопросами терминологии, связанными с восстановлением искаженного ранее понятия «сейсмичность». Так, аббревиатура УИС («уточнение сейсмичности»), получившая распространение среди изыскателей и строителей, обрела теперь свое истинное значение– уточнение модели сейсмичности, т.е. модели очаговых зон (зон ВОЗ). С введением в мировую практику понятия «сейсмическая опасность» автором в 2004 г. была предложена аббревиатура УСО – «уточнение сейсмической опасности», а УИС стала использоваться по своему прямому назначению.

Уточнение общего сейсмического районирования (УОСР) – это более детальные, выполненные в более крупном (1:500 000 и крупнее) по сравнению с ОСР-97 (исходный масштаб 1:2 500 000) масштабе исследования сейсмоактивных территорий, результатом которых должно стать УСО, основанное на уточнении модели исходной сейсмичности (УИС) и модели затухания интенсивности (УЗИ) с удалением от источника землетрясения.

При этом должны быть сохранены те же нормативные периоды повторяемости *T*, которые заложены в вероятностные оценки карт ОСР-97 и добавлены в актуализированную версию ОСР-97* (см. ниже).

Таким образом, УИС имеет целью не только уточнение сейсмичности, но и уточнение ЛДФ-модели зон ВОЗ, обусловливающей прогноз сейсмического режима. УСО применяется для оценки сейсмической опасности как в отдельных пунктах (обозначается УСО-1 вместо бывшего УИС), так и для ограниченных территорий (УСО-2, аналог ДСР в вероятностном представлении).

При этом независимо от того, рассматривается отдельная площадка (УСО-1) или обширная территория (УСО-2), к исследованиям по УИС и УЗИ должна привлекаться достаточно большая площадь вокруг рассматриваемого объекта, величина которой зависит от магнитуды максимального возможного землетрясения и эффективного затухания сейсмической интенсивности с расстоянием.

Как уже отмечалось, основой для всех работ по ДСР (т.е. УСО-1 и УСО-2) и СМР непременно должны быть вероятностные карты ОСР и методология их составления (ЛДФ-модель зон ВОЗ, нормативные периоды повторяемости и т.п.).

Актуализация каталога землетрясений

Каталоги землетрясений продолжают оставаться основой всех исследований по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации, в том числе и в связи с актуализацией нормативных карт ОСР-97 и подготовкой к созданию карт ОСР-2012 следующего поколения [Уломов, Перетокин, 2010а, б: Данилова, Медведева, 2011; Никонов, Шварев, 2011; Никонов и др., 2011].

На рис. 7 показана хронология создания официальных каталогов землетрясений на территории Российской империи, бывш. СССР и современной Российской Федерации. Первым капитальным трудом в этом отношении был «Каталог землетрясений Российской империи», опубликованный И.В. Мушкетовым и А.П. Орловым в 1893 г. К моменту создания карт ОСР-97 наиболее фундаментальным и широко известным стал «Новый каталог сильных землетрясений с древнейших времен до 1975 г.», составленный под редакцией Н.В. Кондорской и Н.В. Шебалина [Новый каталог..., 1977]. Продолжением и модификацией этого каталога в 1991–1995 гг. явился Унифицированный каталог землетрясений (УКЗ) Северной Евразии (ред. Н.В. Кондорская и В.И. Уломов), предназначенный для сейсмического районирования ОСР-97. Нужно заметить, что такой наиболее полный каталог для ОСР-97 применялся впервые, поскольку предыдущее (самое неудачное) районирование ОСР-78 завершилось прежде, чем появился Новый каталог.

Одновременно в 1991–1995 гг. под руководством автора был создан Специализированный каталог землетрясений (СКЗ), предназначенный непосредственно для сейсмологической параметризации ЛДФ-модели зон ВОЗ и изучения миграции сейсмической активизации [Уломов, 1993; Данилова, Медведева, 2011]. Основное отличие СКЗ от УКЗ состоит в исключении из него повторных толчков и других групповых землетрясений с целью статистического изучения сейсмического режима, а также в представлении магнитуд землетрясений с шагом 0.5 и округлении их в интервалах ±0.2 ед. M_s. При этом в СКЗ впервые вошла информация о размерах и ориентации очагов крупных землетрясений с M_s=7.0±0.2 и более, введенная автором в обращение в середине 1970-х годов [Уломов, 1974]. Геометрически каталог СКЗ представляется в базе данных ОСР-97 двояким образом – в виде

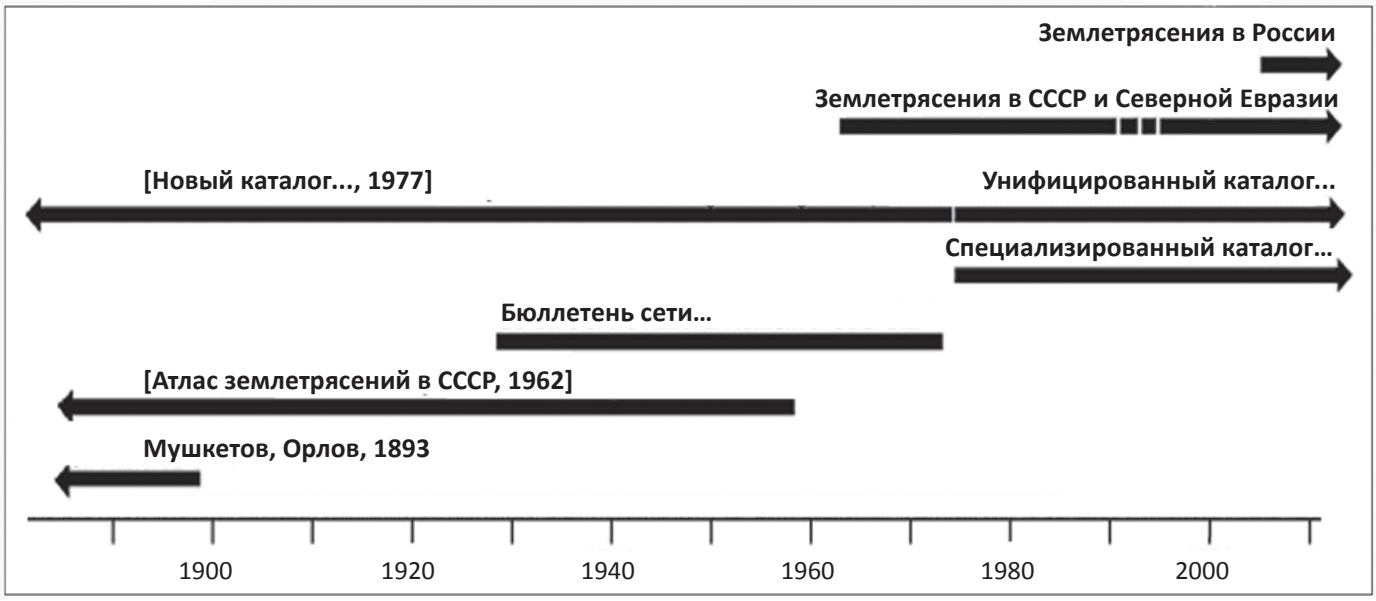

Рис. 7. Хронология каталогизации землетрясений на территории Северной Евразии

Ежегодники:

Бюллетень сети... – Бюллетень сети опорных сейсмических станций СССР (с 1924 г., с 1962 г. – Сейсмологический бюллетень...);

Землетрясения в СССР (с 1964 г.);

Землетрясения Северной Евразии;

Землетрясения в России (с 2002 г.);

Унифицированный каталог... – Унифицированный каталог землетрясений Северной Евразии (см. [Уломов, 1993]);

Специализированный каталог... – Специализированный землетрясений Северной Евразии (см. [Ulomov et al., 1996])

точек с произвольным картографическим отображением в ГИС магнитуд и других физических параметров очагов землетрясений и в форме полигонов (эллипсов и кружков), наиболее реалистично отражающих их природные особенности – размеры и ориентацию в пространстве.

В период 1992–1999 гг. отечественные каталоги гармонизировалась с европейскими стандартами благодаря участию ИФЗ РАН в крупной международной программе глобальной оценки сейсмической опасности (Global Seismic Hazard Assessment Program – GSHAP), разрабатываемой под эгидой ЮНЕСКО/ООН [Ulomov, 1999].

Унифицированный и специализированный каталоги землетрясений Северной Евразии включают в себя основные параметры всех известных землетрясений с M_s => 4.5 начиная с древнейших времен по настоящее время, а с 1960 г. каталоги пополняются сведениями о землетрясениях с M_s => 3.3, являющимися представительными практически для всей исследуемой территории Северной Евразии. В настоящее время при участии Геофизической службы РАН каталоги УКЗ и СКЗ в ИФЗ РАН регулярно пополняются новыми сведениями о происходящих землетрясениях. Исторические, археологические и палеосейсмологические сведения о землетрясениях доинструментального периода курирует А.А. Никонов [Никонов, Медведева, 2011; Никонов, Шварев, 2011]. Общее руководство этой работой начиная с 1991 г. осуществляет автор.

Уточнение каталогов УКЗ и СКЗ при создании их актуализированной версии – ОСР-97* – в большей мере коснулись Восточно-Европейской части территории России. Так, из рабочего каталога было исключено «Тамбовское землетрясение» (M=4.8) 30 декабря 1954 г., оказавшееся техногенным, но длительное время фигурировавшее во всех официальных изданиях каталогов как тектоническое.

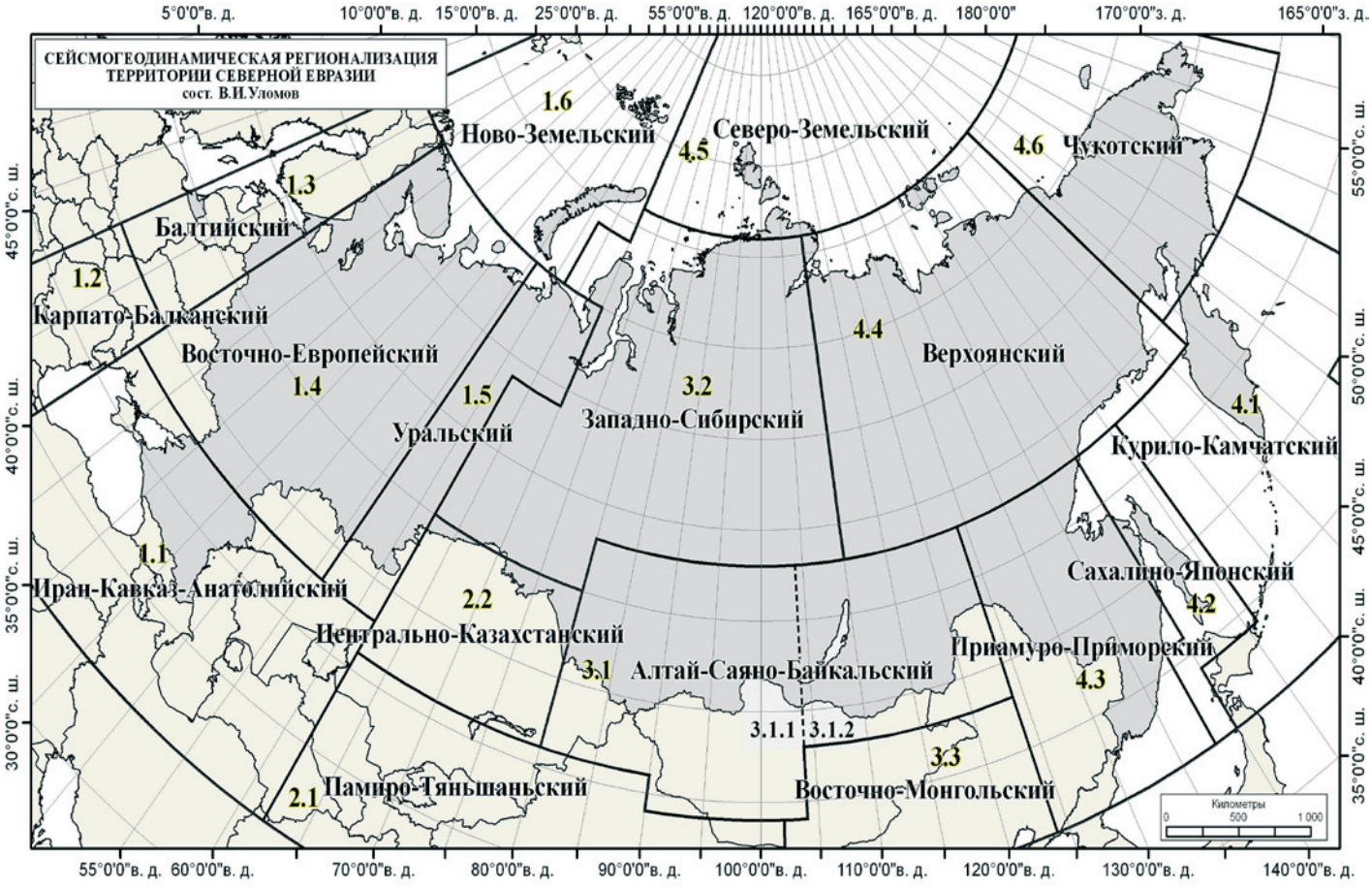

Рис. 8. Сейсмогеодинамическая регионализация территории Северной Евразии. Сост. В.И. Уломов

Уточнения сейсмического режима регионов

С геологической точки зрения, территория Северной Евразии включает в себя четыре крупные платформы разного возраста с относительно низкой и рассеянной (диффузной) сейсмичностью (Восточно-Европейская, Туранская, Западно-Сибирская и Сибирская) и ряд орогенических регионов с чрезвычайно высокой сейсмической активностью (Иран-Кавказ-Анатолийский, Центрально-Азиатский, Алтай-Саяно-Байкальский, Курило-Камчатский и др.). Сейсмическую регионализацию, использованную при ОСР-97 и при ее современной актуализации ОСР-97*, иллюстрирует рис. 8. Графики среднегодовой повторяемости землетрясений разных магнитуд в этих регионах, составленные на основе дополненного по 2010 г. каталога СКЗ, представлены на рис. 9. По оси абсцисс отложены значения магнитуд в интервалах ±0.2 с шагом в 0.5 ед. ΔM. Ось ординат соответствует среднему ежегодному количеству N_M землетрясений с $M \geq 4.0$ в основных сейсмоактивных регионах России. При сейсмологической параметризации актуализированной модели зон ВОЗ Алтай-Саян-Байкальский регион был подразделен по меридиану 104° в.д. на два субрегиона. Видно, что выше всех расположен график для Курило-Камчатского региона (4.1, см. рис. 8), на втором месте – Иран-Кавказ-Анатолийский регион (1.1, см. рис. 8). Наименьшей активностью характеризуются субрегионы Европейской части России.

Уточнение модели источников землетрясений

В процессе работ по уточнению комплекта карт ОСР-97 и созданию их актуализированной версии ОСР-97* наибольшее внимание было уделено Европейской части Российской Федерации, характеризующейся высокой плотностью населения и расположением здесь многочисленных объектов атомной отрасли. В частности, как было ска-

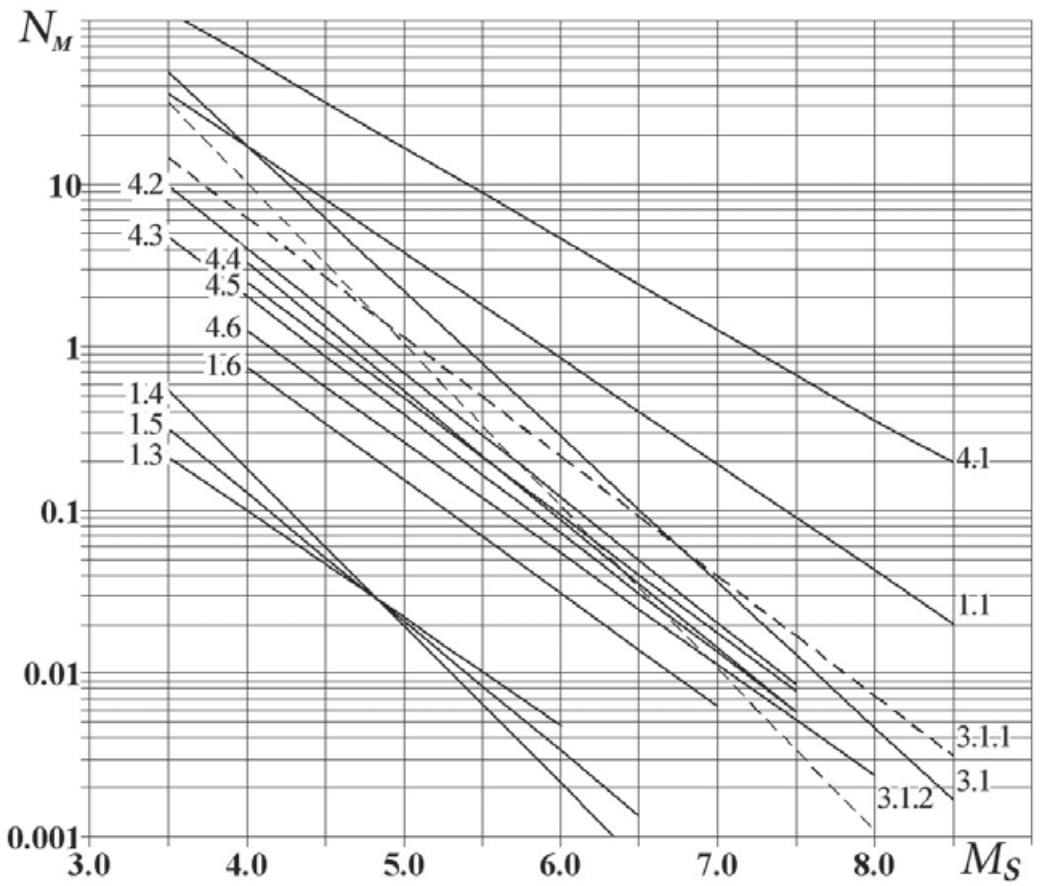

Рис. 9. Графики среднегодовой повторяемости N_M землетрясений разных магнитуд M_s в регионах и субрегионах на территории России. Цифры – кодовые номера регионов (см. рис. 8)

зано выше, из прежнего каталога землетрясений исключено сейсмическое событие 30.12.1954 г. с M=4.8, оказавшееся техногенным (взрыв ВВ). Это, в свою очередь, получило отражение и в ЛДФ-модели зон ВОЗ. В частности, претерпел небольшую редакцию сейсмодомен, к которому относится Воронежский кристаллический массив (ВКМ). Прежде, в ЛСР-97, этот домен оценивался максимальным возможным землетрясением с M_{max}=5.0, теперь же его потенциалу присвоена магнитуда M_{max}=4.5, что была обусловлено местным землетрясением в этом домене с магнитудой M=3.8 (Никольское землетрясение 2000 г.), округленной в СКЗ до M=4.0, к которой добавлено 0.5 ед. M согласно существующему положению в мировой технологии оценок сейсмической опасности.

Определенная редакция коснулась и двух сейсмолинеаментов на Среднем Урале, которые были несколько повернуты до совпадения с вновь выявленными активными разломами, но сохранили прежнюю величину M_{max}=6.0 и сейсмический режим. Был укорочен на один (юго-восточный) сегмент сейсмолинеамент в Кандалакшском заливе, сохранивший свои параметры M_{max}=6.5. В Корякии был несколько смещен в западном направлении параллельно самому себе сейсмолинеамент с M_{max}=7.5. По сравнению с прежними уточнены границы Уральского региона, добавлены два домена с адекватной их параметризацией в западной части Калининградской обл., которая по техническим причинам вообще была упущена на картах ОСР-97, помещенных в СНиП II-7-81* в 2000 г. [Уломов и др., 2008].

Актуализированная модель зон ВОЗ ОСР-97* приведена на рис. 10 и наряду с другой информацией помещена на сайте портала ЕИС «Сейсмобезопасность России» (см. ниже). С учетом дополненного каталога землетрясений и внесенных в модель зон ВОЗ корректив был заново пересмотрен сейсмический режим всех регионов (см. рис. 9), получивший отражение в параметризации ЛДФ-модели зон ВОЗ для ОСР-97*.

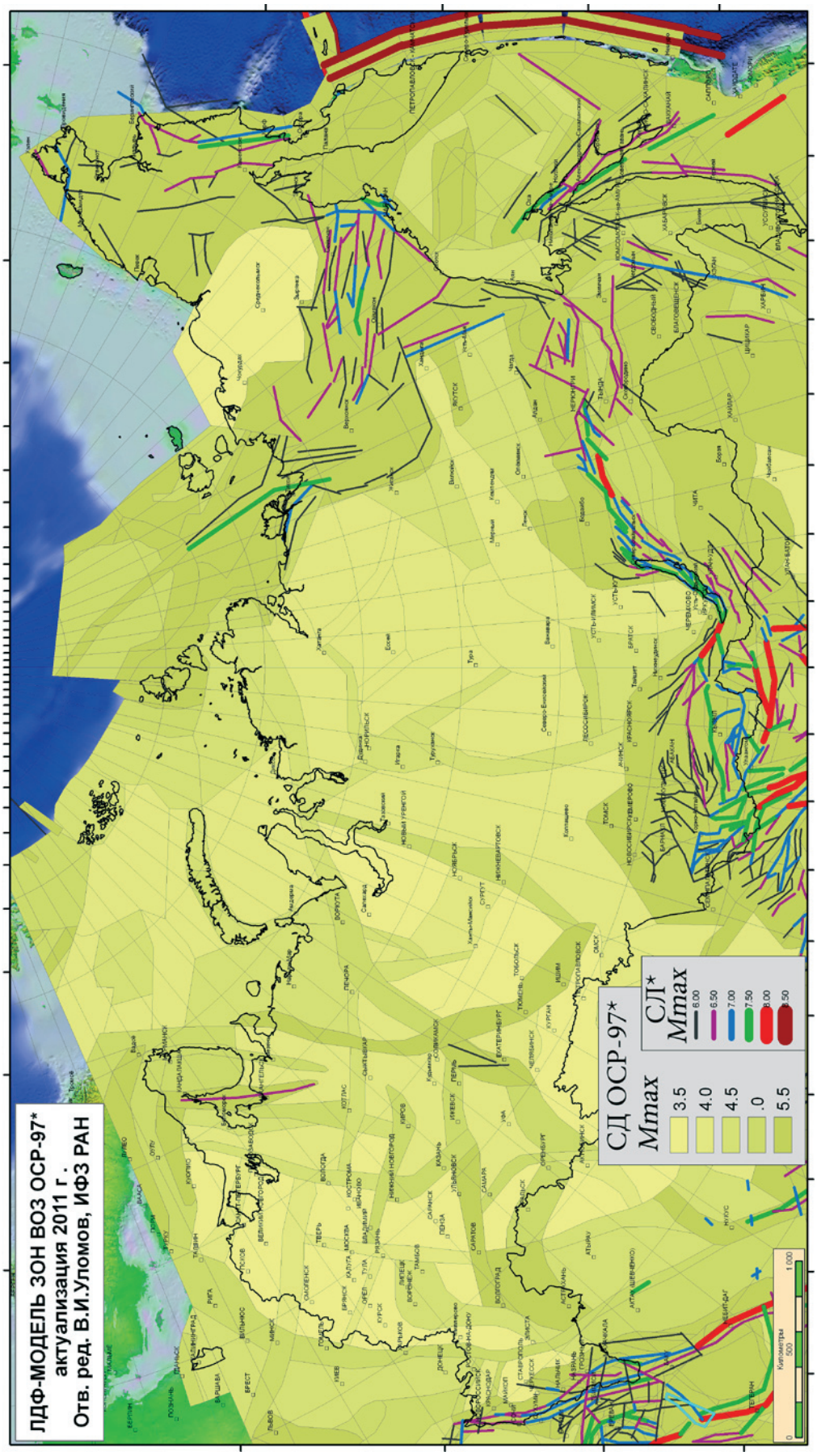

Рис. 10. Актуализированная модель зон ВОЗ для ОСР-97*. Актуализация 2011 г. Отв. редактор В.И. Уломов
СД – сейсмодомены; СЛ – сейсмолинеаменты разных магнитуд M_{max}

Таблица 2. Вероятность (P) 90%-го не превышения сейсмической опасности в течение t лет для карт с периодом повторяемости *T*

Показатель	Вероятность 90%-ного непревышения за t лет, %					
t, лет	10	50	100	250	500	1000
*T**, лет	95	475	975	2475	4975	9975
T, лет	100	500	1000	2500	5000	10 000

Расширение вероятностных оценок сейсмической опасности

При создании актуализированного комплекта ОСР-97* был расширен набор вероятностных карт путем добавления к действующим картам еще двух, рассчитанных для периодов повторяемости 100 и 2500 лет. Это было обусловлено рядом обстоятельств, в том числе затруднением адекватно оценивать сейсмические воздействия для некоторых категорий строительных объектов, а также предположением, что вместо карт периодов повторяемости сотрясений в среднем один раз за 500, 1000 и 5000 лет для проектирования гражданского и промышленного строительства будут использоваться карты, созданные для периодов *T* 100, 500 и 2500 лет, которые могут относиться к трем категориям строительных объектов (пониженный, нормальный, повышенный) согласно терминологии нового федерального закона «Технический регламент безопасности зданий и сооружений» и Градостроительного кодекса Российской Федерации. Такие периоды не противоречат и международным рекомендациям. Однако можно отметить, что в последнее время, например в США, появилась тенденция повышения оценки степени сейсмической опасности путем перехода от карт с 500-летней повторяемостью к периоду *T*=2000 лет.

В табл. 2 для всего расширенного набора карт ОСР-97* приведены значения вероятности *P*=90% непревышения сейсмической опасности в течение разных временных интервалов *t*. Здесь *T** – расчетные периоды повторяемости сейсмического эффекта, обеспечивающие величину *P*=90% непревышения; *T* – более привычные для восприятия их округленные значения.

Дифференцированная оценка сейсмической опасности

В нашей стране традиционно, начиная с 1937 г., т.е. с момента создания в Сейсмологическом институте АН СССР (ныне ИФЗ РАН) первой в мире нормативной карты сейсмического районирования территории страны, оценка сейсмической интенсивности сводится к использованию макросейсмического эффекта, выраженного в целочисленных (округленных) баллах шкал сейсмической интенсивности (ГОСТ 6249-52, MSK-64), охватывающих при сильных землетрясениях чрезмерно большой динамический диапазон сейсмических воздействий. Это нередко приводило (и продолжает приводить) к неоправданному завышению или занижению оценок прогнозируемого сейсмического эффекта, что сказывается на качестве и стоимости сейсмостойкого строительства.

После смены парадигмы в ОСР-97 и создания вместо одной целого комплекта динамически изменяющихся во времени карт проявился ряд скрытых до этого технических ситуаций, «осложнивших» строителям их точку зрения на обеспечение сейсмостойкости зданий и сооружений. Например, обнаружилось, что из-за больших интервалов в градации макросейсмической шкалы с шагом в 1 балл участки одних и тех же территорий и расположенные на них населенные пункты нередко имели как бы одну и ту же балльность на двух, а иногда и на всех картах комплекта ОСР-97. Причины таких «совпадений» поясняет рис. 11, где над объемной моделью зон ВОЗ приведены условные карты ОСР (A, B, C, D), рассчитанные на разные периоды повторяемости сейсмических сотрясений интенсивностью 6, 7 и 8 баллов. Сверху указаны сочетания сейсмического эффекта для одних и тех же условных населенных пунктов на картах A, B и C. Как видно, такими сочетаниями в данном примере оказались величины 6–7–7, 6–7–8 и 6–6–6 баллов.

Следует заметить, что такого в прежней практике сейсмического районирования не происходило и не могло происходить, поскольку использовалась лишь одна карта, а для учета сейсмической опасности при проектировании строительных объектов той или иной степени ответственности составители СНиП вводили так называемые коэффициенты сейсмичности. Теперь, когда вместо

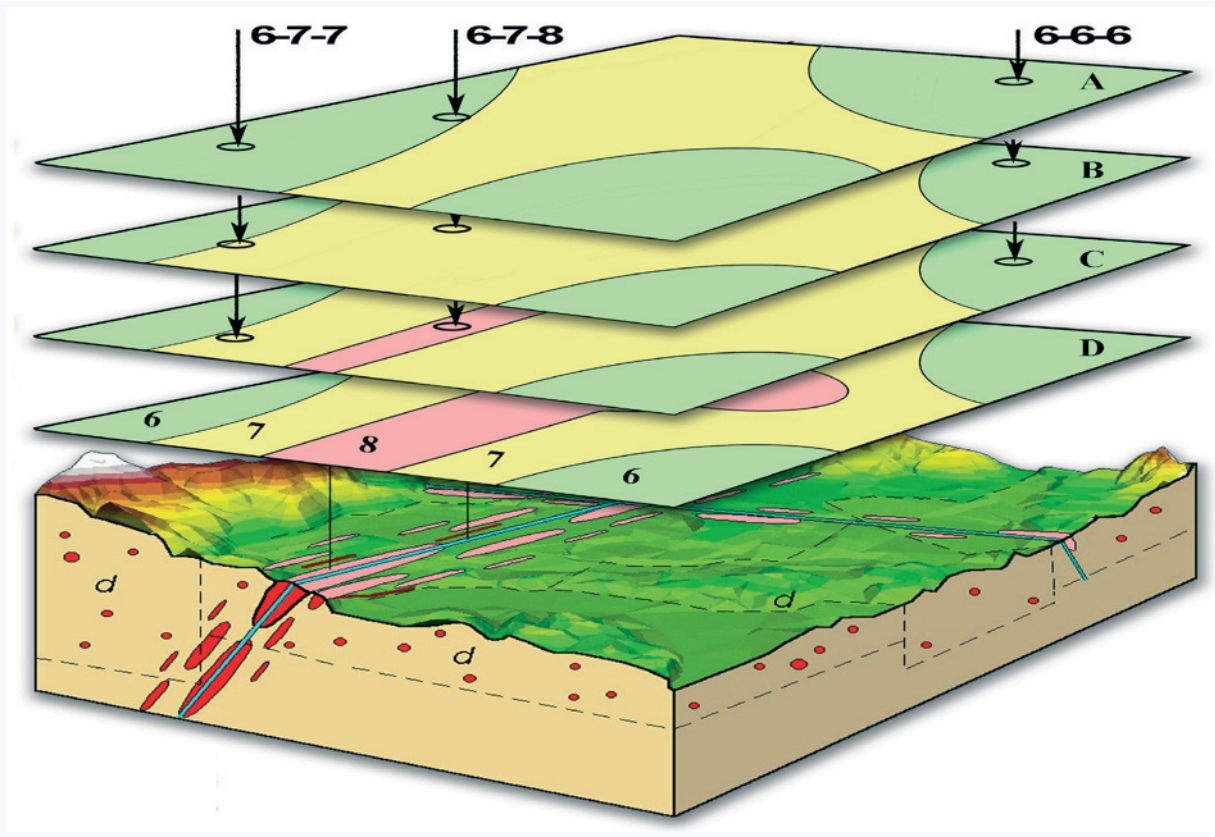

Рис. 11. Причины «совпадения» балльности в одних и тех же пунктах на картах, составленных на основе одной и той же модели источников землетрясений, но для разных периодов повторяемости сотрясений. Пояснения см. в тексте

одной детерминистской карты имеется набор вероятностных карт ОСР-97, которые уже сами по себе предназначены для обеспечения безопасности объектов разных категорий ответственности и сроков службы, необходимость применения каких-либо иных коэффициентов отпала. Однако и здесь разработчики актуализированных СНиП нашли для себя выход, оперируя видоизмененными «коэффициентами сейсмичности». Чтобы избежать «одинаковых» оценок сейсмической опасности на двух и более картах для одного и того же пункта в проект актуализированной редакции СНиП II-7-81* (СНиП-2010) помещена таблица специальных коэффициентов, оценивающих сейсмические воздействия в зависимости от сочетаний расчетной сейсмической интенсивности на картах А, В, и С [Айзенберг, 2011].

Вместе с тем очевидно, что к таким «совпадениям» балльности на картах ОСР-97 приводит использование целочисленных баллов и обусловленные этим достаточно большие площади зон якобы равной сейсмической интенсивности. Если же выражать сейсмическую интенсивность на картах ОСР не в целочисленных баллах, а в полубаллах (т.е. с шагом 0.5 балла), то таких «совпадений» будет значительно меньше, а при построении карт с градацией в 0.1 балла они вообще могут исчезнуть. Кстати, переход даже к полубалльной градации, которую вполне правомерно принимать за нормативную, был бы эффективен и в экономическом отношении. Карты с шагом 0.1 балла можно рассматривать как справочный материал при выполнении исследований по СМР и изучении тонкой структуры макросейсмического поля. На картах же с непрерывным (плавным) представлением макросейсмического эффекта никаких совпадений вообще не будет.

Что касается допустимых (приемлемых) рисков превышения расчетной величины сейсмических воздействий, то актуализированный набор карт ОСР-97* приближен к международным стандартам (Eurocode-8 и др.).

Расширение комплекта электронных карт ОСР-97*

С учетом перечисленных выше и других нововведений создан набор ОСР-97* из 34 электронных карт (электронных слоев). Все они размещены в интернет-портале ЕИС «Сейсмобезопасность России». На рис. 12 символически показаны карты ОСР-78, ОСР-97, выраженные в целочисленных баллах, а также карты ОСР-97*, представленные для всех перечисленных периодов повторяемости не только в целых, но и в дробных баллах с шагом 0.5 и 0.1 балла. В комплект ОСР-97* вошли и четыре карты периодов повторяемости сотрясений интенсивностью 6, 7, 8 и 9 баллов. На рис. 13 в качестве примера приведена одна из карт ОСР-97*, составленная для периода *T*=2500 с шагом 0.5 балла.

Другим, не менее важным новшеством ОСР-97* является построение карт сейсмических воздействий, представленных в пиковых ускорениях сотрясений грунта (рис. 14, 15). Вместе с тем отмечено, что из-за отсутствия в России действенной службы инструментальной регистрации движений грунта при сильных землетрясениях применение процедур ВАСО в терминах амплитуд ускорений не может дать достаточно надежных результатов. Однако признано возможным, с определенными допущениями, вычислять и картировать амплитудные оценки сейсмических воздействий на основе их пересчета из оценок, выраженных в дробных баллах, как это и было сделано нами ранее при участии ИФЗ РАН в международном проекте GSHAP [Ulomov, 1999]. При этом обсуждается предложения А.А. Гусева [Гусев, 2011] составлять карты ОСР в терминах максимальных ускорений для скального грунта, а не только для грунта второй категории, как это традиционно выполняется в нашей стране.

В настоящее время общепризнано, что шкала MSK-64 значительно занижает оценки сейсмической опасности и подлежит возможной замене на шкалу ШИЗ-2010, проект которой составлен под руководством Ф.Ф. Аптикаева и предложен в 2010 г. [Аптикаев, 2005; Шкала…, 2011; Aptikaev, Erteleva, 2005]. В связи с этим в составе ОСР-97* созданы два типа представленных в ускорениях карт: с использованием шкалы MSK-64 и шкалы ШИЗ-2010.

Рис. 12. Иллюстрация набора карт, представленных в электронной форме в ЕИС «Сейсмобезопасность России». Пояснения см. в тексте

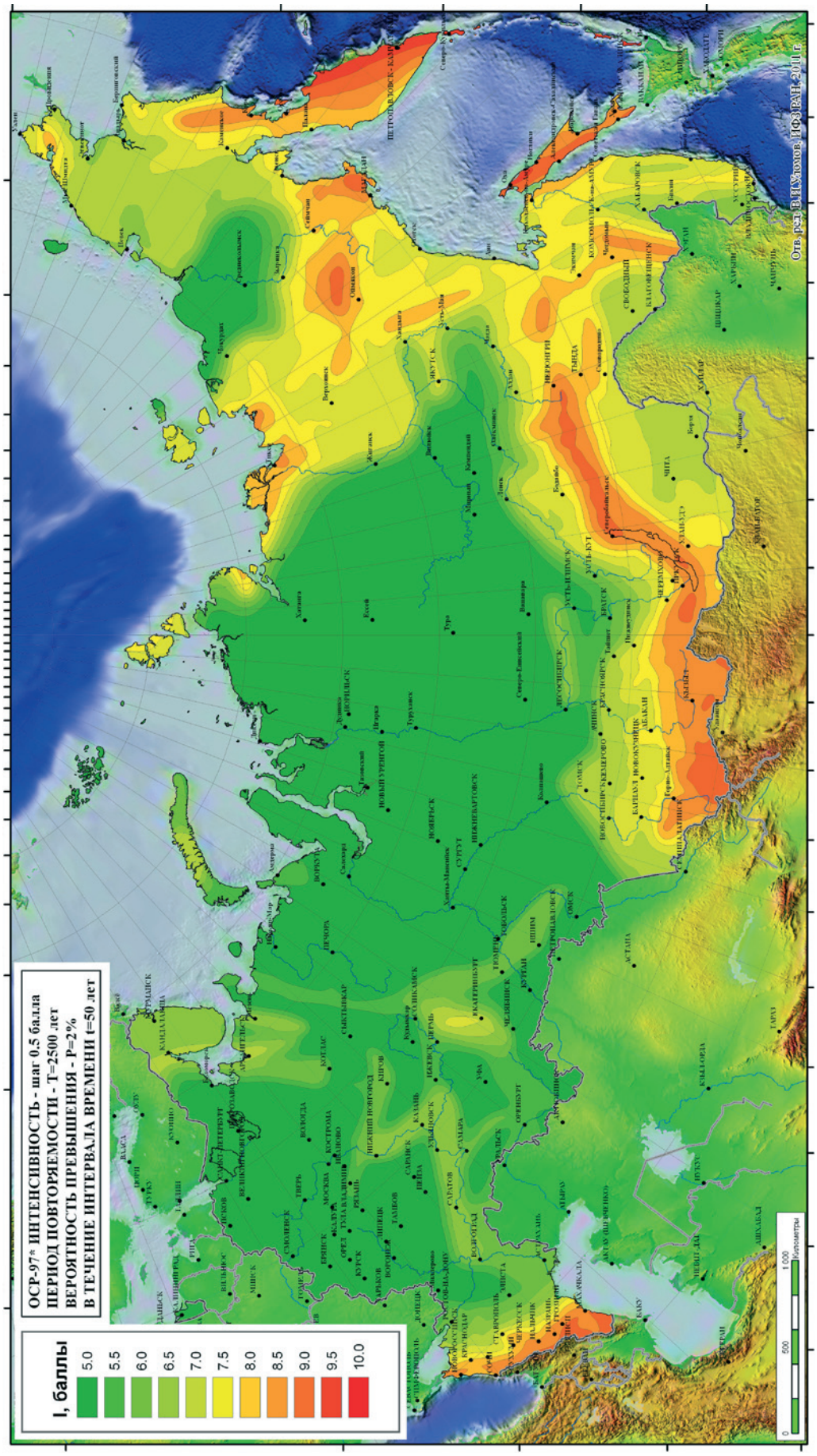

Рис. 13. Пример актуализированной карты ОСР-97* территории Российской Федерации для периода повторяемости сейсмической интенсивности T = 2500 лет с шагом 0.5 баллов

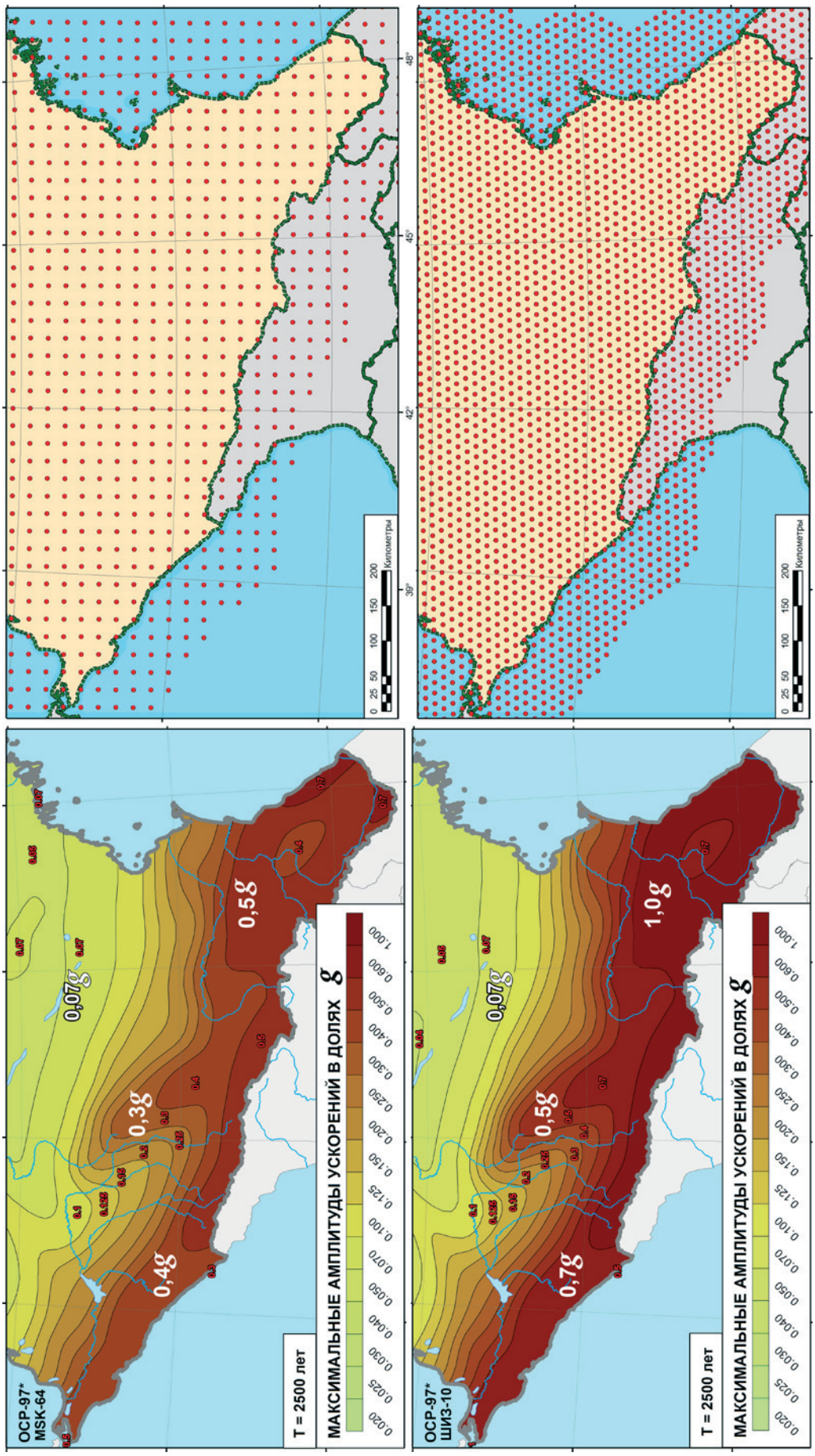

Рис. 14. Фрагменты карт ОСР-97* Северного Кавказа с периодами повторяемости сейсмических воздействий *T* = 2500 лет, представленных в пиковых ускорениях, вычисленных по шкале MSK-64 (*а*) и по проекту шкалы ШИЗ-2010 (*б*), и фрагменты регулярных сеток, по которым выполнены расчеты сотрясаемости территории Северного Кавказа для карт ОСР-97 (*в*) и ОСР-97* (*г*)

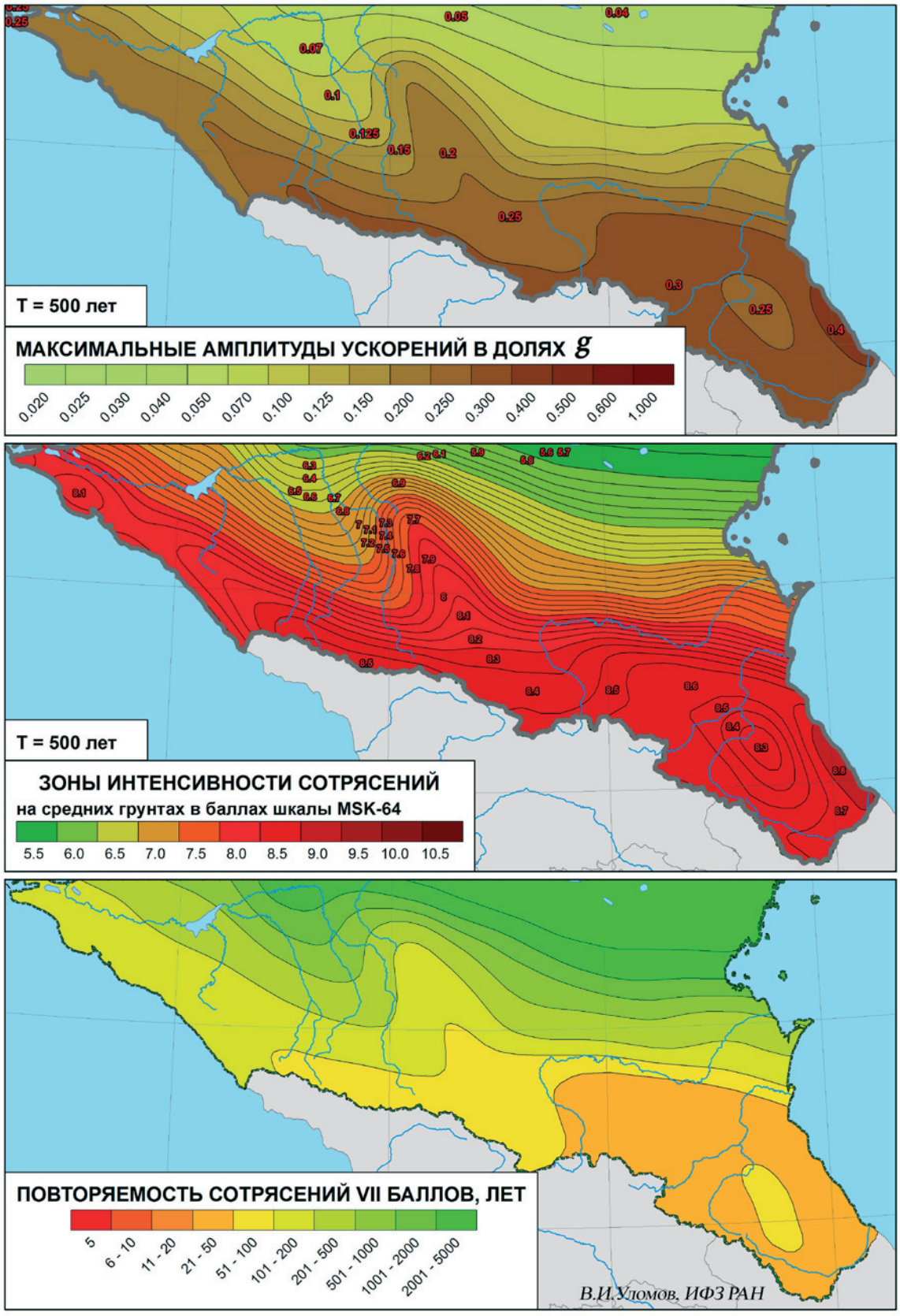

Рис. 15. Фрагменты трех типов карт ОСР-97* территории Северного Кавказа, представленных в долях ускорения силы тяжести g (*а*), полубаллах сейсмической интенсивности (*б*) и периодах повторяемости сотрясений интенсивностью 7 баллов (*в*). Сост. В.И. Уломов

О сейсмическом районировании следующего поколения

Макеты карт источников землетрясений для ОСР-2012

При создании комплекта карт ОСР-2012, как уже было отмечено выше, сохраняются методология ОСР-97 для идентификации и сейсмогеодинамической параметризации ЛДФ-модели зон ВОЗ и вероятностный подход к оценке сейсмической опасности.

Для создания карт следующего поколения были разработаны две версии моделей зон ВОЗ. Версия 1 (рис. 16), за исключением платформенных территорий, полностью повторила доменную составляющую, разработанную в 1992–1995 гг. В.Г. Трифоновым и Н.В. Шебалиным для карт ОСР-97 и использованную затем в мировой карте GSHAP [Ulomov, 1999]. Доменная структура Европейской части страны и Западной Сибири была рекомендована В.Г. Трифоновым к пересмотру в связи с его отказом от прежних построений активных разломов на этих территориях. Поэтому геометрия и содержание прежних доменов были заменены зонами, предложенными, но не завершенными (в силу кончины) В.И. Макаровым.

Версия 2 [Гусев и др., 2011] изображена на рис. 17. В результате обсуждений на заседаниях рабочей группы (РГ) по созданию карт ОСР-2012 эта модель зонирования геодинамически активных зон была признана фундаментальной и наиболее приемлемой. Она базировалась на многолетних исследованиях геодинамических обстановок формирования неотектонических объектов и на составленной и опубликованной в 2001 г. Г.С. Гусевым с соавторами карте «Схема тектонического районирования России» масштаба 1:5 000 000. Для задач ОСР это структурное районирование было использовано в качестве основы. Само же зонирование геодинамической активности неотектонических структур на территории Российской Федерации разработано путем выделения десяти классов неотектонической активности, геолого-геофизическое обоснование выделения которых базируется на широко известных принципах классификации и понятийной базе геодинамического анализа.

На рис. 18 для сравнения приведены фрагменты обеих версий моделей зон ВОЗ Европейской части России. Следует отметить, что авторы модели 1 располагали полным каталогом землетрясений Северной Евразии и использовали его для корректировки и параметризации выделяемых доменов. Важно также подчеркнуть, что составители модели 2 не имели доступа к специализированному каталогу землетрясений, что способствовало большей объективности геодинамических построений. Однако при последующем исследовании по сопоставлению параметров геодинамической активности (классов) по модели 2 и сейсмичности территории страны получена достаточно убедительная корреляция, представленная на рис. 19 в виде средневзвешенной зависимости между максимальными магнитудами M_{max} и M^*_{max} землетрясений, произошедших ранее в каждой из зон разного класса K геодинамической активности.

Сейсмические линеаменты, приведенные на макетах каждой из моделей зон ВОЗ (см. рис. 17, 18) и в основном заимствованные из базы данных ОСР-97, претерпели некоторые уточнения. Работой по их идентификации и параметризации в настоящее время, как и прежде при ОСР-97, руководит автор. Исследования в этом направлении продолжается при участии специалистов из регионов (Европейская часть России – В.И. Уломов, А.А. Никонов, В.Г. Трифонов; Дальний Восток – А.А. Гусев, А.И. Кожурин, В.Н. Смирнов; Сибирь– Л.П. Имаева, В.С. Имаев, А.В. Чипизубов). В конце статьи приведен полный состав рабочей группы по созданию карт ОСР-2012.

С целью наиболее полного и эффективного обсуждения научной общественностью обе модели, а также базы исходных данных и другие материалы размещены в Интернете на портале ЕИС «Сейсмобезопасность России» (рис. 20–23) (http://seismorus.ru/).

В числе многих функциональных возможностей ЕИС обеспечивает эффективные двухсторонние коммуникации и каналы обратной связи. В ней созданы и другие информационные базы векторных и растровых пространственных данных, которые включают информацию о территории Российской Федерации, ее сейсмической регионализации, размещении станций мониторинга землетрясений и другие важные сведения.

Портал ЕИС предусматривает представление тематической информации по семи направлениям, каждому из которых соответствует определенная веб-страница: Главная; Землетрясения; Сейсмоопасность; Сейсмориски; Строительство; Нормативы; Информация. Система управления порталом позволяет поддерживать ЕИС в актуальном состоянии, обеспечивает возможность внесения изменений в его структуру и правку администратором портала информационных ресурсов.

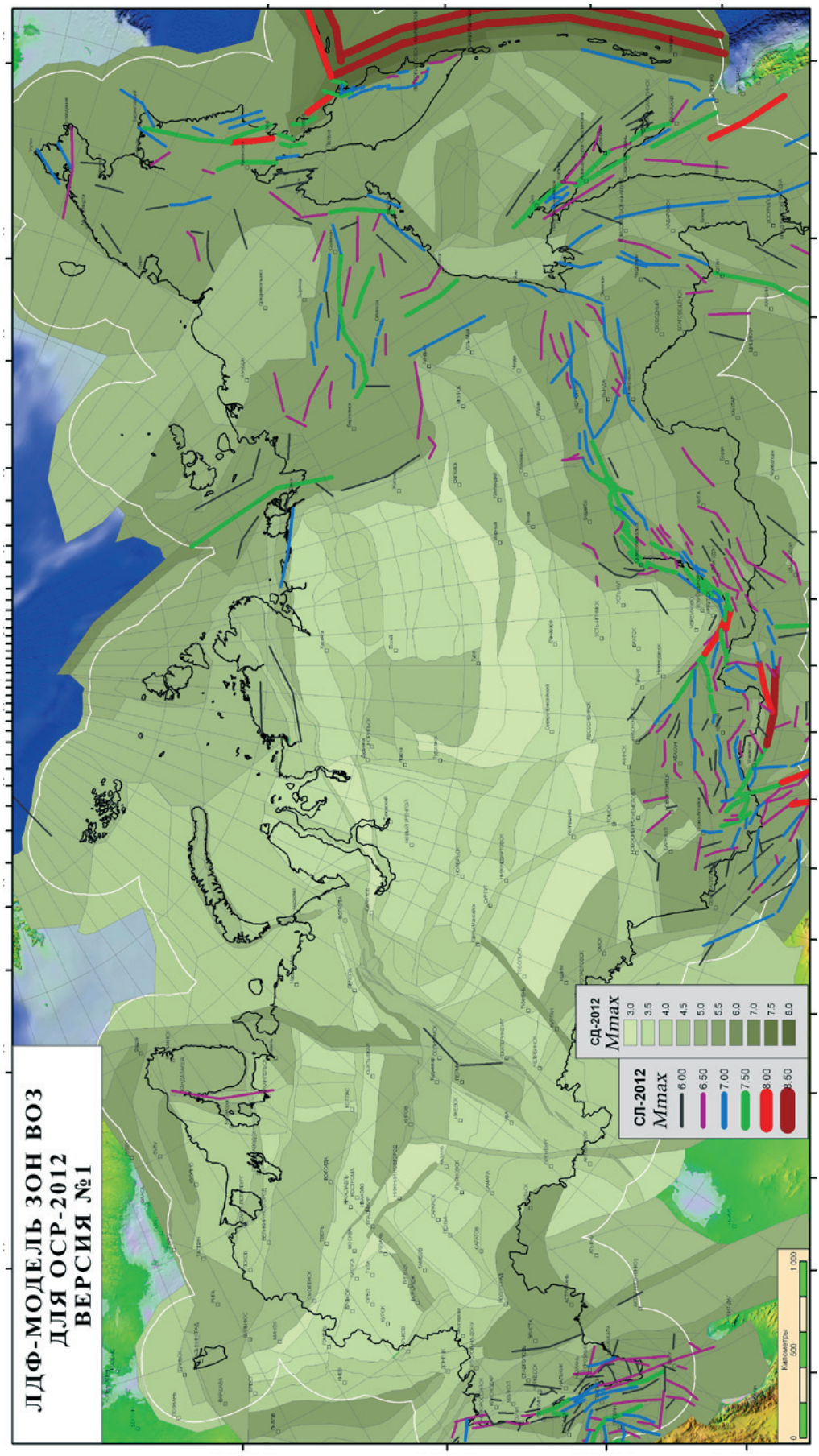

Рис. 16. Версия 1 модели зон ВОЗ для карт ОСР-2012
Сейсмоактивные зоны, геометрически соответствующие доменам (авторы В.Г. Трифонов, Н.В. Шебалин), параметризованы по максимальной магнитуде землетрясений, известных в их пределах на 1995 г. Информация о нанесенных поверх доменов линеаментах (ред. В.И. Уломов) не использовалась. Светлым контуром ограничена территория изучения активной разломной тектоники

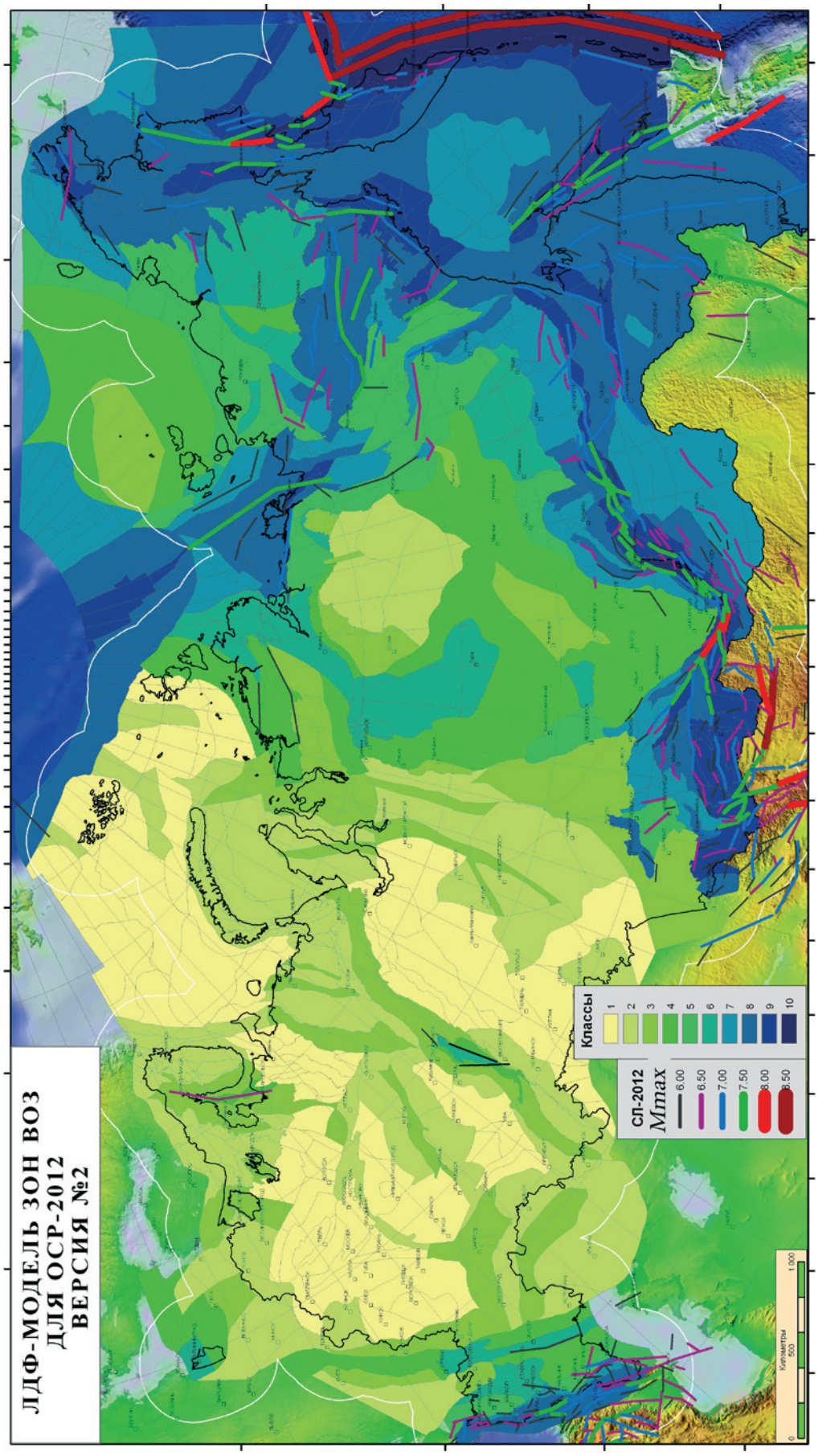

Рис. 17. Версия 2 модели зон ВОЗ для карт ОСР-2012
Зоны, геометрически соответствующие доменам, параметризованы по классам их геодинамической активности (авторы Г.С. Гусев, Л.П. Имаева). Информация о произошедших землетрясениях и приведенных сейсмолинеаментах не использовалась

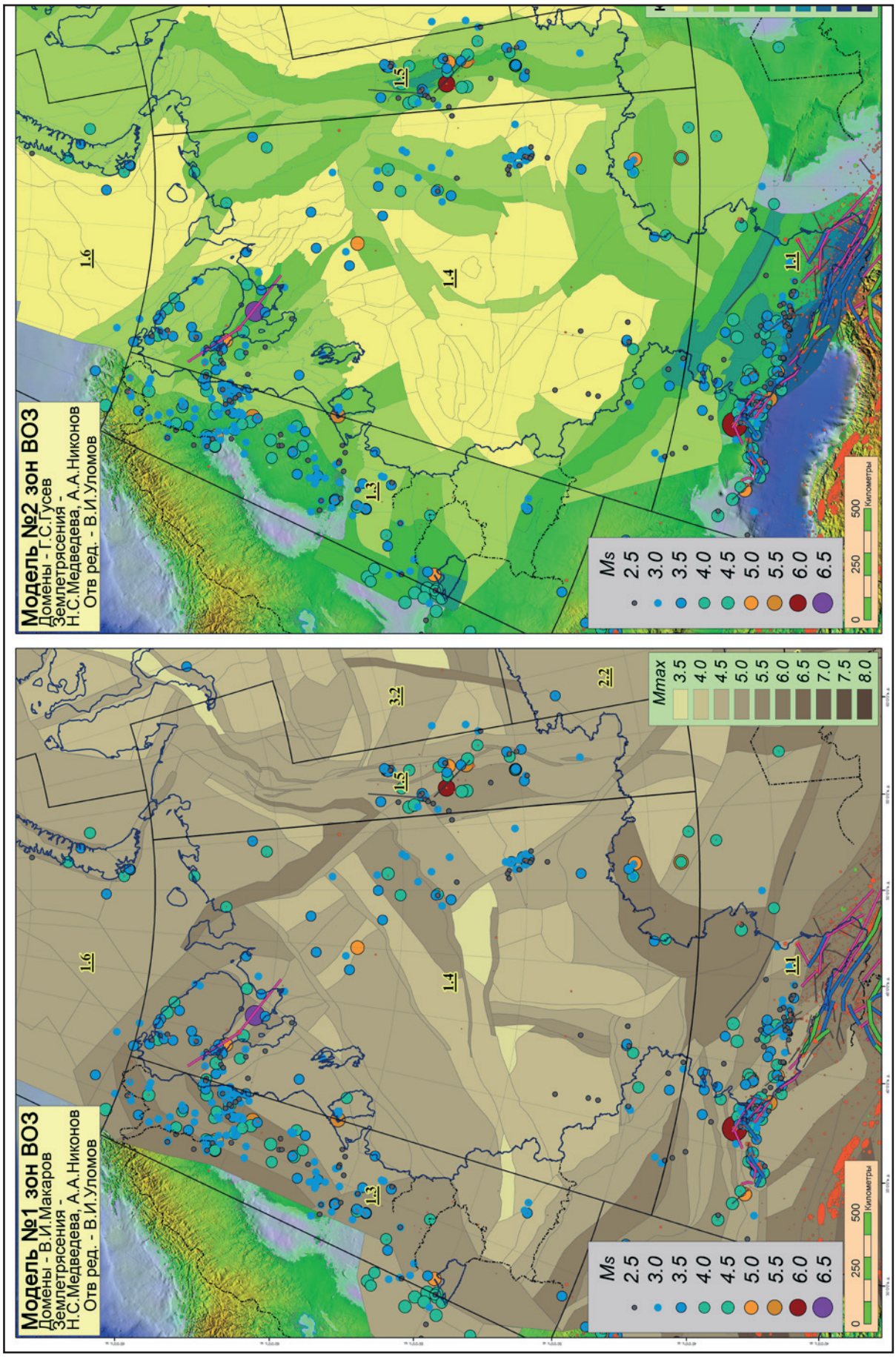

Рис. 18. Фрагменты моделей 1 (*а*) и 2 (*б*) зон ВОЗ Европейской части России с проявлениями местной сейсмичности. Авторы: домены – В.И. Макаров (*а*) и Г.С. Гусев (*б*), землетрясения – Н.С. Медведева, А.А. Никонов; отв. редактор В.И. Уломов
Эпицентры известных землетрясений в зависимости от магнитуды показаны в виде кружков разного цвета

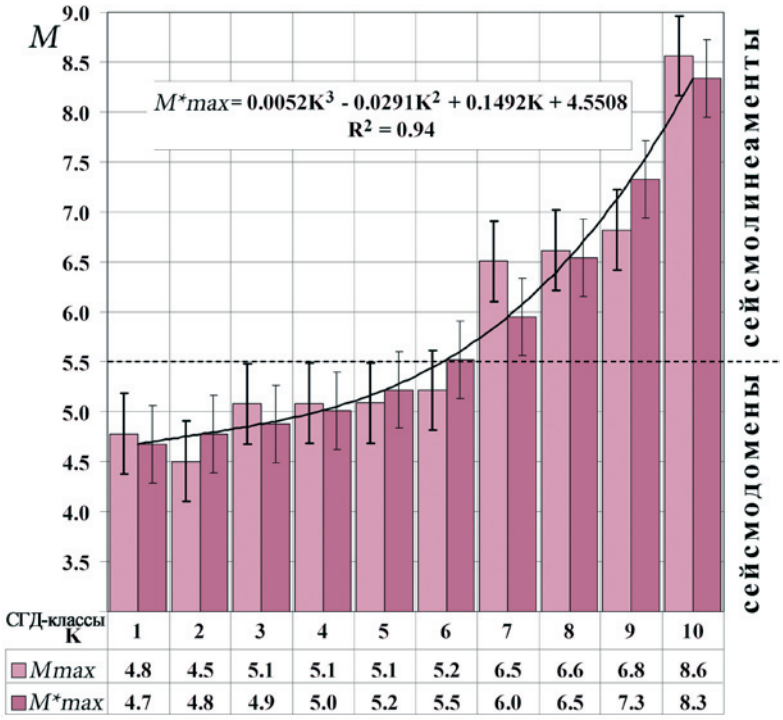

Рис. 19. Вероятная связь между классами (*K*) зон в модели 2 и максимальными магнитудами (M_{max}) землетрясений, известных в их пределах

В наблюденной гистограмме показан разброс максимальных значений. В соответствии с ЛДФ-моделью зон ВОЗ в ОСР часть гистограмм, расположенная выше горизонтальной пунктирной линии, характеризует магнитуды линеаментов, расположенных в пределах таких зон

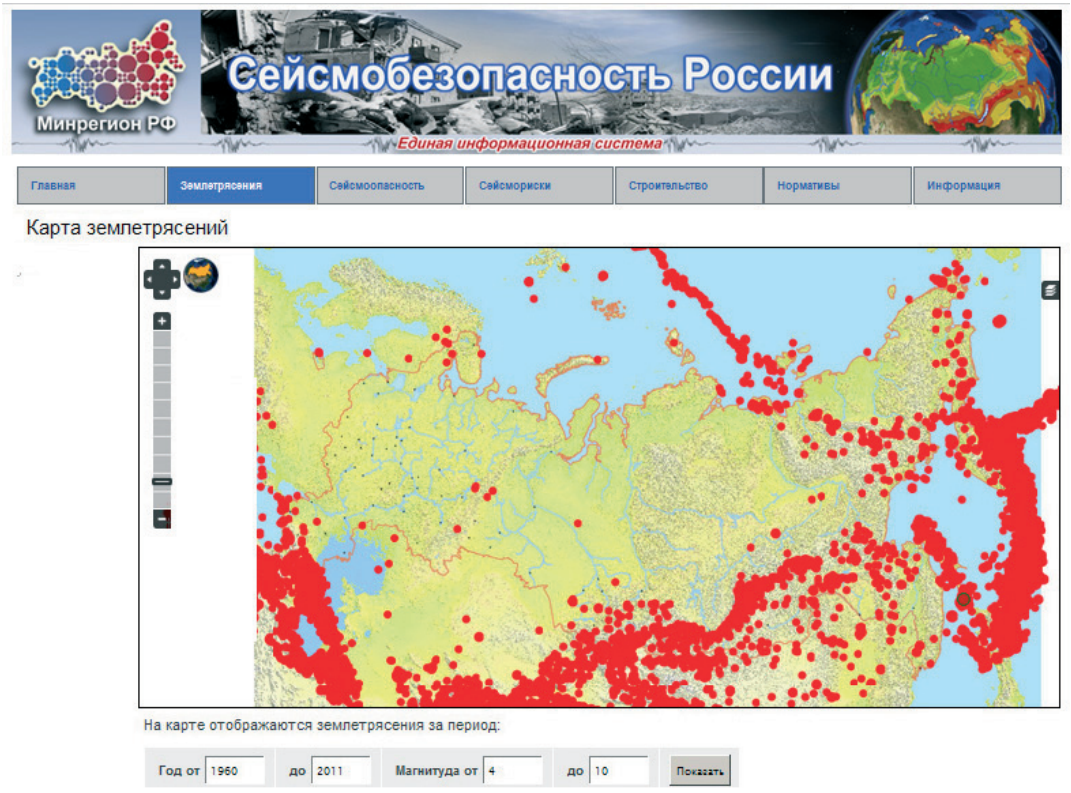

Рис. 20. Одна из основных веб-страниц ЕИС «Сейсмобезопасность России», позволяющая работать с каталогом землетрясений Северной Евразии

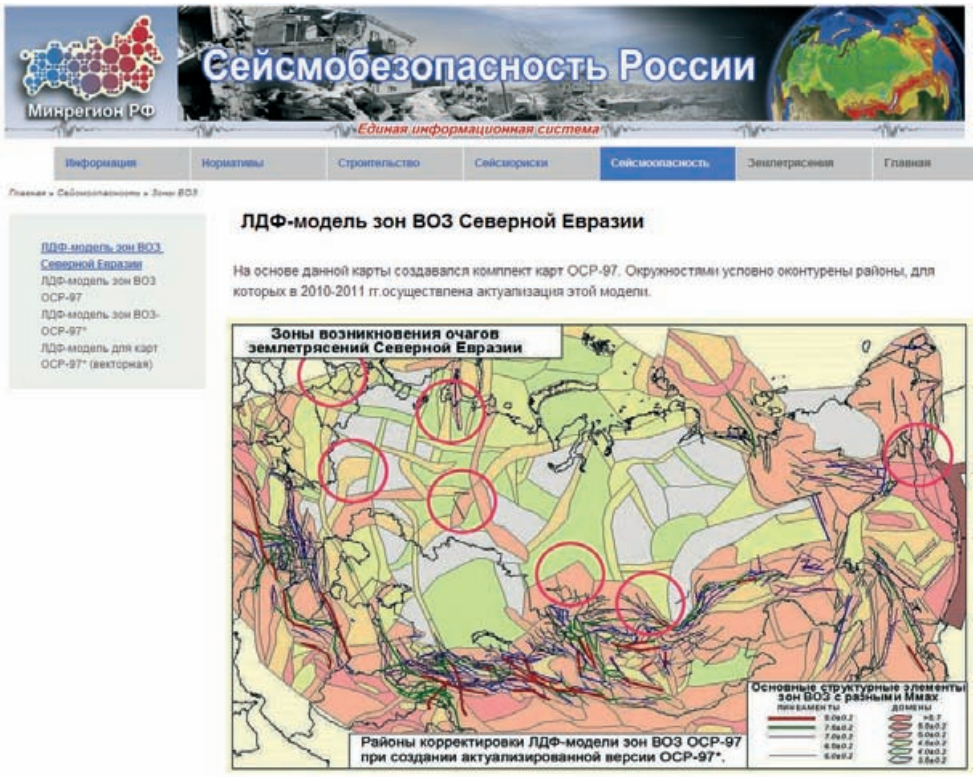

Рис. 21. Веб-страница ЕИС, представляющая модель зон ВОЗ ОСР-97 с указанием мест, подвергшихся актуализации в версии ОСР-97*

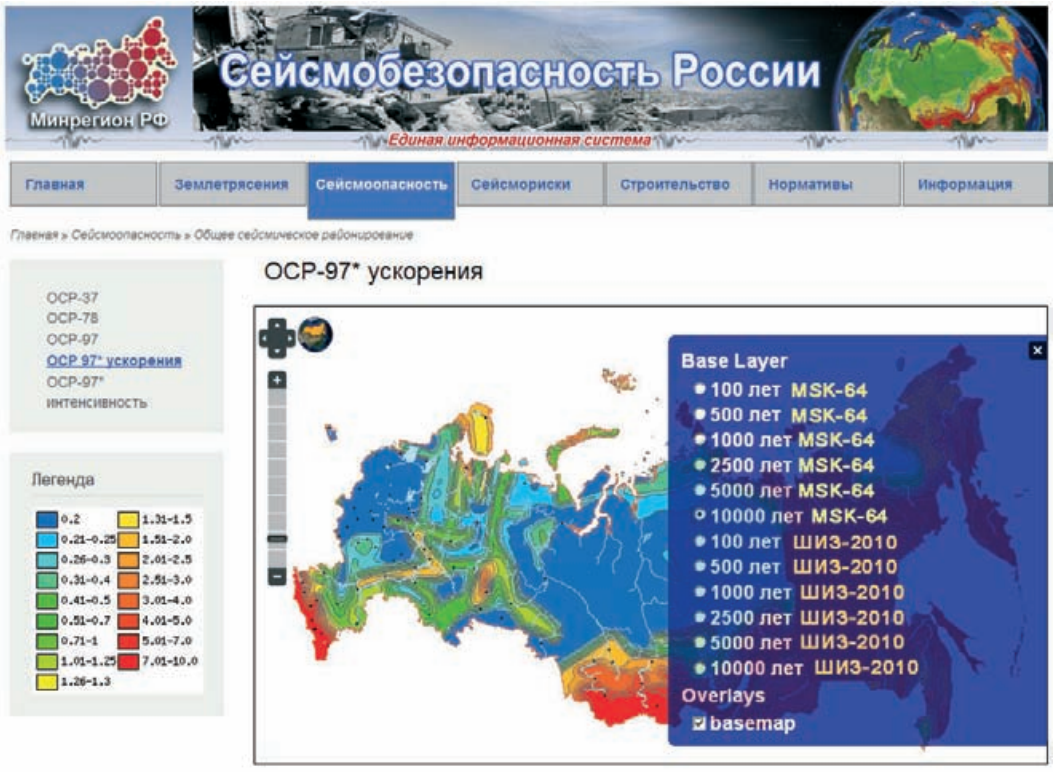

Рис. 22. Веб-страница ЕИС, позволяющая выбирать карты ОСР-97*, представленные в пиковых ускорениях для двух шкал и шести периодов повторяемости

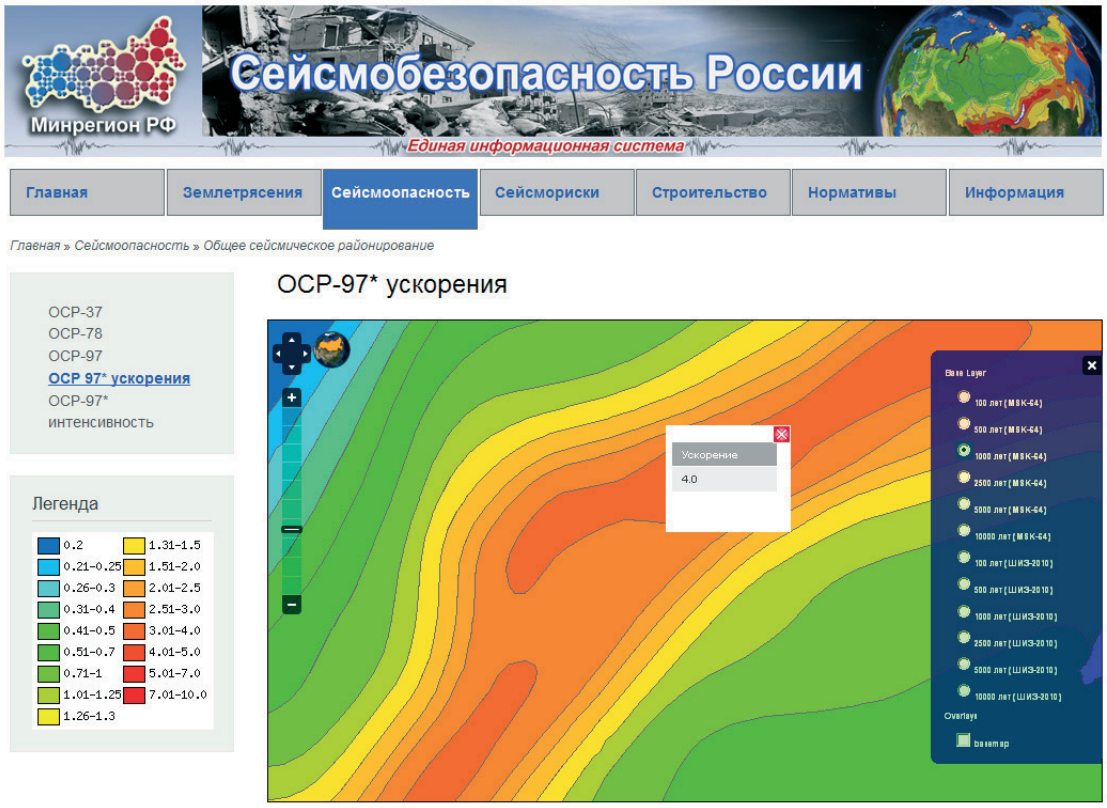

Рис. 23. Пример работы с увеличенным фрагментом карты Байкальского региона

Для обеспечения безопасности предусмотрено разграничение доступа как к порталу в целом, так и к различным его разделам и функциям.

Портал ЕИС предусматривает также организацию форумов для обсуждения, в частности, результатов исследований по ДСР и СМР, которые нередко относятся исполнителями к категории «приватных», или «конфиденциальных», и из-за отсутствия официального статуса оказываются неподконтрольными, что может быть чревато пагубными последствиями.

Обсуждение результатов

Необходимость существенного обновления модели прогнозируемых сейсмических воздействий и построения новых карт сейсмического районирования для адекватного практического использования их в строительных нормах уже давно стало очевидным.

Новые подходы к созданию актуализированного комплекта карт ОСР-97* и будущих карт ОСР-2012 были обсуждены и одобрены на целом ряде рабочих совещаний с участием руководителей и ответственных исполнителей по совершенствованию нормативных документов в строительной отрасли. Так, недавно на Восточно-Сибирской региональной научно-практической конференции по вопросам сейсмобезопасности в строительстве, которая состоялась 13–14 декабря 2011 г. в г. Иркутске, в числе других важных решений были следующие:

- 1. Одобрить концепцию и методологию исследований по актуализации общего сейсмического районирования территории России, возглавляемых Российской академией наук, и созданию широкого набора вероятностных карт ОСР следующего поколения, характеризующих разную степень сейсмической опасности, на которых, наряду с традиционными представлениями интенсивности сейсмических воздействий в баллах, будут показаны ожидаемые величины максимальных ускорений колебаний грунта.
- 2. С целью гармонизации исследований по ОСР, ДСР и СМР признать важным использование стандартизованного вероятностного анализа сейсмической опасности

(ВАСО) и представление интенсивности сейсмических воздействий не только в целочисленных, но и в дробных долях балла, что необходимо не только для СМР, учитывающего влияние на сейсмический эффект реальных грунтовых условий, но и для представления сейсмических воздействий в терминах ускорений колебаний грунта.

- 3. Считать совершенно необходимой координацию и совместную работу по данному направлению организаций и специалистов сейсмологического и инженерного направлений.
- 4. При разработке новой редакции карт общего сейсмического районирования ОСР-2012 необходимо рассмотреть проект этих карт с привлечением широкого круга специалистов в области сейсмологии и строительного проектирования. Научно обоснованные расчетные параметры сейсмических воздействий, основанные на имеющихся для территории Российской Федерации региональных данных, должны быть представлены специализированными организациями, в том числе ИФЗ РАН, ИЗК СО РАН, Геофизической службой РАН, Геофизической службой СО РАН, Институтом геоэкологии РАН, ПНИИИС при участии ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко.

Рабочее совещание по согласованию исследований по сейсмическому районированию и сейсмостойкому строительству состоялось 20 декабря 2011 г. в ЦНИИСКе под руководством Л.С. Бариновой – председателя Межотраслевого совета по техническому регулированию и стандартизации в строительном комплексе России. На этом совещании автором было доложено об исследованиях по актуализации ОСР и о необходимости заблаговременного представления согласованного технического задания (ТЗ) на разработку будущих карт ОСР-2012, о чем впервые нами было заявлено в декабре 2009 г. на заседании Экспертной комиссии по сейсмостойкому строительству Минрегиона России.

Этот же вопрос был вновь поднят на первом в 2012 г. совместном совещании рабочих групп по ОСР и СНиП (круглый стол по теме «Актуальные проблемы развития методов задания расчетных сейсмических воздействий в нормативных документах»), состоявшемся 19 января в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, где был заслушан обстоятельный доклад члена РГ ОСР-2012 А.А. Гусева (Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский). Ниже приведен перечень основных задач, сформулированных по нашей просьбе А.А. Гусевым [Гусев, 2011а, б] с целью принятия в кратчайшие сроки соответствующих решений. В конце каждого пункта отмечено, какие предметные области нормирования он затрагивает (ОСР, СМР, СНиП либо ИС – инженерная сейсмология в целом):

- 1) признать назревшей модернизацию руководящих документов по нормативным сейсмическим нагрузкам по следующим группам направлений: ОСР-СНиП и СНиП – СМР с учетом достижений инженерной сейсмологии за последние десятилетия;
- 2) сохранить нормативную связь балл–ускорение только для скальных грунтов. Ревизовать коэффициенты принятой в СНиП связи балл–ускорение, увеличив значение ускорения *A* ориентировочно в 1.5-1.7 раза (*A*=0.30–0.35 при 8 баллах), и отказаться от предположения о жесткой связи балла и ускорения для нескальных грунтов (ИС, СНиП);
- 3) ревизовать принятое в СНиП соотношение связи литологии и максимальных ускорений колебаний грунта. Принятая в настоящее время связь предполагает удвоение ускорения при снижении в 4 раза средней скорости поперечных волн в грунте. Такая связь приемлема для максимальных скоростей, но должна быть радикально пересмотрена для ускорений. Например, при выборе варианта учета нелинейности по схеме Еврокод-8, вместо принятого сегодня для грунтов категорий 1, 2, 3 набора коэффициентов 1; 2; 4 следует использовать коэффициенты, равные ориентировочно 1; 1.2; 1.15 (ИС, СМР, СНиП);
- 4) отказаться от использования в качестве основного амплитудного параметра колебаний значения максимального ускорения на среднем грунте (категория 2) и впредь использовать в этих целях максимальное ускорение на скальном грунте (категория 1) (ИС, ОСР, СМР, СНиП);
- 5) отказаться от нормировки безразмерных спектров реакции на значение максимального ускорения на данном грунте. Следуя принципам Еврокод-8, перейти к нормировке спектров реакции на значение максимального

ускорения на скальном грунте (категория 1), в связи с чем признать устаревшим термин «коэффициент динамичности» и использовать вместо него термин «нормированный спектр реакции» (СНиП, СМР);

- 6) отказаться от характеристики грунтов через частотно-независимый параметр «приращение балльности» и перейти к принципу спектральной характеристики грунтов. Коэффициент, учитывающий эффект грунтовой толщи (грунтовый коэффициент) должен приниматься зависящим от периода колебаний (собственной частоты) сооружения (СМР, СНиП);
- 7) отказаться от неявного использования гипотезы линейного поведения нескальных грунтов при больших баллах. Признать важную роль нелинейного поведения нескальных грунтов для более реалистичной оценки сейсмических нагрузок на сооружения. Считать вполне допустимым описание эффекта грунтовой толщи как эквивалентной линейной системы через эквивалентные (эффективные) коэффициенты или передаточные функции. Такие коэффициенты (или функции) следует принимать существенно зависящими от амплитуды колебаний на коренных породах (условном скальном грунте). В простейшем варианте, следуя логике Еврокод-8, можно принять только два варианта передаточных функций – для малых амплитуд и для амплитуд 0.3–0.4 g (СМР, СНиП);
- 8) признать необходимость принятия решения о выборе общего подхода к учету нелинейности поведения грунта в строительных нормах для массового строительства. Могут просматриваться следующие варианты: а) отказ от учета нелинейности; б) учет нелинейных эффектов «в среднем» для определенного уровня ускорений (подход Еврокод-8); в) явный учет зависимости нелинейных эффектов от амплитуды (подход норм США) (ИС, СНиП, СМР);
- 9) отказаться от принципа использования целочисленных баллов и целых категорий грунта, перейти к более дробной классификации грунтов и нагрузок. Простейший вариант: ввести уровни нормативного балла с шагом 0.5 (6; 6.5; 7; 7.5 и т.д.) и пять категорий грунта – 1; 1.5; 2; 2.5; 3 (СНиП, ОСР);
- 10) отметить некорректность проведения модернизации важнейших аспектов норм раздельно по направлениям СНиП, ОСР, СМР. Необходим комплексный подход к актуализации руководящих документов по нормативным сейсмическим нагрузкам в массовом строительстве совместно по группе проблем СНиП-ОСР и группе проблем СНиП-СМР;
- 11) отметить острую необходимость создания сети приборов для постоянной регистрации сильных движений грунта на территории России, без чего невозможны ни аккуратная оценка сейсмических нагрузок по материалам местных землетрясений, ни даже грамотное заимствование материалов зарубежных исследований.

Заключение

В результате комплексных фундаментальных и прикладных исследований по совершенствованию методов и технологий прогноза сейсмической опасности актуализирован комплект карт ОСР-97 общего сейсмического районирования территории Российской Федерации разработана концепция создания новых карт ОСР-2012 следующего поколения, исследована проблема представления карт в терминах ускорений колебаний грунта, а не только в традиционных баллах сейсмической интенсивности. Отмечено, что применение процедур вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) в терминах ускорений в условиях малой изученности движений грунта на территории России не может дать достаточно надежных результатов. Вместо этого предложено использовать амплитудные оценки на основе пересчета из оценок ВАСО, выраженных в дробных баллах, и составлять карты ОСР в терминах максимальных ускорений для скального грунта.

Актуализированная версия ОСР-97 получила наименование ОСР-97*. Нововведения в ней следующие:

- 1) выполнены исследования по дальнейшей унификации каталога землетрясений на территории России и в сопредельных регионах Северной Евразии и его пополнению за период с древнейших времен по 2010 г.;
- 2) изучен сейсмический режим основных сейсмоактивных регионов России, необходимый для количественной параметриза-

ции сейсмогенерирующих структур (сейсмолинеаментов, доменов и потенциальных очагов крупных землетрясений);

- 3) актуализирована ЛДФ-модель зон ВОЗ ОСР-97, в которую на основе уточнения каталога землетрясений и выявления неизвестных ранее активных разломов внесены определенные уточнения;
- 4) расширен комплект карт ОСР-97*. В соответствии с новым Градостроительным кодексом Российской Федерации и международными рекомендациями в него дополнительно включены карты с периодами повторяемости сейсмических воздействий *T*=100 лет и *T*=2500 лет;
- 5) создан широкий набор электронных векторных карт (слоев) с дифференцированными оценками сейсмической интенсивности, представленными расчетными значениями с шагом 0.5 и 0.1 балла для всех принятых периодов повторяемости сейсмических воздействий – 100, 500, 1000, 2500, 5000 и 10 000 лет;
- 6) с целью более детального сейсмического картирования все расчеты сейсмических воздействий выполнены не по прямоугольной сетке со стороной 25 км, как в ОСР-97, а по более приемлемой для сферической поверхности регулярной треугольной сетке со стороной 15 км;
- 7) составлены карты ОСР-97* в пиковых ускорениях для всех принятых периодов повторяемости сейсмических воздействий – 100, 500, 1000, 2500, 5000 и 10 000 лет. При этом карты ускорений рассчитаны как по шкале MSK-64, так и в соответствии с рекомендациями проекта новой шкалы интенсивности землетрясений ШИЗ-2010;
- 8) все новые материалы по актуализации ОСР-97* и созданию макетов карт зон ВОЗ для сейсмического районирования следующего поколения (ОСР-2012) вошли в состав Единой информационной системы «Сейсмобезопасность России» и доступны в Интернете для практического использования;
- 9) разработан проект Свода правил для выполнения исследований по ОСР и даны рекомендации по развитию современных методов задания в нормативных документах расчетных сейсмических нагрузок.

Благодарности

Во всем цикле выполненных исследований в составе специально созданной Рабочей группы (РГ) ОСР-2012 принимали участие представители региональных профильных институтов и организаций.

Автор выражает искреннюю благодарность своим ближайшим соратникам – д.ф.-м.н. А.А. Гусеву, д.г.-м.н. Г.С. Гусеву, д.г.-м.н. А.А. Никонову, д.г.-м.н. В.Г. Трифонову, к.г.-м.н. Л.П. Имаевой, к.г.-м.н. Т.И. Даниловой, Н.С. Медведевой, К.Н. Акатовой, к.т.н. С.А. Перетокину и к.г.-м.н. С.В. Швареву, а также всем членам рабочей группы ОСР-2012 за плодотворное сотрудничество. Ниже приведен состав Рабочей группы ОСР-2012 и организации – участницы исследований.

Ответственные исполнители: В.И. Уломов[1], В.Г. Трифонов[2], К.Н. Акатова[1], Д.М. Бачманов[2], А.А. Гусев[3], Г.С. Гусев[4], Т.И. Данилова[1], В.С. Имаев[5], А.И. Кожурин[2], В.И. Макаров[6], Н.С. Медведева[1], А.А. Никонов[1], С.А. Перетокин[7], С.А. Шварев[1].

Соисполнители, эксперты: В.А. Бормотов[8], И.П. Габсатарова[9], А.Н. Гуляев[10], В.С. Дружинин[10], В.Ю. Забродин[8], Л.П. Имаева[5], В.А. Килипко[4], Ю.Ф. Коновалов[11], С.Л. Костюченко[12], О.Н. Круткина[13], С.Н. Никитин[14], В.А. Огаджанов[15], В.М. Павлов[16], Л.А. Сим[1], В.Н. Смирнов[17], В.В. Снежко[13], И.Н. Тихонов[18], Г.В. Шилина[19].

Организации:

[1]Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Москва); [2]Геологический институт РАН (Москва); [3]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН (Петропавловск-Камчатский); [4]Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (Москва); [5]Институт земной коры СО РАН (Иркутск); [6]Институт геоэкологии РАН; [7]СКТБ Красноярского научного центра «НАУКА» СО РАН (Красноярск); [8]Институт тектоники и геофизики ДВО РАН (Хабаровск); [9] Геофизическая служба РАН (Обнинск); [10]Институт геофизики УрО РАН (Екатеринбург); [11]ООО «Энергопроекттехнология» (Москва); [12]ФГУП ЦВНИИ «ГЕОФИЗИКА» (Москва); [13]ФГУП ВСЕГЕИ (Санкт-Петербург); [14]Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Москва); ГОУ НПП «СЕЙСМОЦЕНТР» (Екатеринбург); [15]ОАО «Атомэнергопроект» (Москва); [16]Камчатский филиал Геофизической службы РАН (Петропавловск-Камчатский); [17]Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН (Магадан); [18]Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН (Южно-Сахалинск); [19]ОАО ПНИИИС (Уральское отделение) (Екатеринбург).

Литература

Айзенберг Я.М. Нормативная база сейсмостойкого строительства: К вопросу актуализации СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования» // Строительный эксперт. № 19–20 (311). 2010. С. 19–21.

Аптикаев Ф.Ф. Инструментальная шкала сейсмической интенсивности // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2005. № 5. С. 33–37.

Атлас землетрясений в СССР: Результаты наблюдений сети сейсмических станций СССР в 1911–1957 гг. М.: Наука, 1962.

Гусев А.А. О принципах картирования сейсмоопасных регионов Российской Федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений. Ч. 1 // Инженерные изыскания. 2011а. № 10. С. 20–29.

Гусев А.А. О принципах картирования сейсмоопасных регионов Российской Федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений. Ч. 2 // Инженерные изыскания. 2011б. № 11. С. 66–77.

Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Отв. ред. В.И. Уломов. М.: ОИФЗ РАН, 1995. Вып. 2–3. С. 289–300.

Гусев Г.С., Имаева Л.П., Акатова К.Н. Зонирование геодинамической активности неотектонических структур для целей общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2012 // Труды VII Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации, г. Москва, 15–16 декабря 2011 г. М., 2011. С. 207–208.

Данилова Т.И., Медведева Н.С. К оценке эффективности нормативных карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97 // Там же. С. 217–220.

Мушкетов И.В., Орлов А.П. Каталог землетрясений Российской империи. СПб., 1893. 582 с.

Никонов А.А., Медведева Н.С., Шварев С.В. Актуализация каталога землетрясений Европейской части России в рамках подготовки комплекта карт ОСР-12 // Там же. С. 221–222.

Никонов А.А., Шварев С.В. Землетрясения доисторического периода в системе совершенствования оценок сейсмической опасности/безопасности (Восточно-Европейская платформа и ее обрамление) // Там же. С. 223–226.

Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. М.: Наука, 1977. 535 с.

Ризниченко Ю.В. От активности очагов землетрясений к сотрясаемости земной поверхности // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1965. № 11. С. 1–12.

Ризниченко Ю.В. Расчет сотрясаемости точек земной поверхности от землетрясений в окружающей области // Изв. АН СССР. Физика Земли. 1966. № 5. С. 16–32.

Сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-97: Карта на 4-х л. // Гл. ред. В.Н. Страхов и В.И. Уломов. М.: НПП «Текарт», 2000.

Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН, 1974. 218 с.

Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и некоторые аспекты сейсмического районирования и долгосрочного прогноза землетрясений // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. М.: ИФЗ РАН, 1993. Вып. 1. С. 24–44.

Уломов В.И. Глобальная упорядоченность сейсмогеодинамических структур и прогноз сейсмической опасности // Глобальные изменения природной среды и климата. М.: Миннауки; РАН, 1997. С. 125–158.

Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации // Физика Земли. 1998. № 9. С. 20–38.

Уломов В.И. Сейсмичность // Большая Российская энциклопедия. В 30 т. М., 2004. Т. Россия. С. 34–39.

Уломов В.И. Сейсмичность // Национальный атлас России. М., 2007. Т. 2. Природа. Экология. С. 56–57.

Уломов В.И. Оценка сейсмической опасности и актуализация инженерных решений // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008а. № 3. С. 16–21.

Уломов В.И. О технологии актуализации карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2008б. № 5. С. 14–20.

Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // Инженерные изыскания. 2009а. № 9. С. 28–39.

Уломов В.И. Макросейсмический режим и дифференцированная оценка сейсмических воздействий // ГеоРиск. 2009б. С. 16–19.

Уломов В.И. Актуализация общего сейсмического районирования территории Российской Федерации и создание нормативных карт следующего поколения – ОСР-2012 // Труды IX Российской национальной конференции по сейсмостойкому строительству и сейсмическому районированию, г. Сочи, 6–9 сентября 2011 г. Сочи, 2011. С. 232–235.

Уломов В.И., Никитин С.Н. Технический регламент проведения работ по общему сейсмическому районированию территории Российской Федерации: Свод правил ОСР // Инженерные изыскания. 2010. № 6. С. 62–87.

Уломов В.И., Перетокин С.А. Об актуализации нормативных карт сейсмического районирования территории Российской Федерации // Инженерные изыскания. 2010а. №1. С. 44–53.

Уломов В.И., Перетокин С.А. О развитии методов общего сейсмического районирования территории Российской Федерации для создания карт ОСР-2012 // Проблемы сейсмичности и современной геодинамики Дальнего Востока и Восточной Сибири: доклады научного симпозиума / Под. ред. В.Г. Быкова, А.Н. Диденко. Хабаровск, 2010б. С. 177–181.

Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. М. 1:8 000 000: Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999а. 57 с.

Уломов В.И., Шумилина Л.С. Проблемы сейсмического районирования территории России. М.: ВНИИНТПИ Госстроя России, 1999б. 56 с.

Уломов В.И., Шумилина Л.С. Сейсмическое районирование // Природные опасности России. М.: КРУК, 2000. Т. 2. Сейсмические опасности. С. 66–96.

Уломов В.И., Акатова К.Н., Медведева Н.С. К оценке сейсмической опасности в Калининградской области // Физика Земли. 2008. № 9. С. 3–19.

Уломов В.И., Данилова Т.И., Медведева Н.С., Полякова Т.П., Шумилина Л.С. К оценке сейсмической опасности на Северном Кавказе // Физика Земли. 2007. № 7. С. 31–45.

Шкала интенсивности землетрясений: Проект новой Российской сейсмической шкалы // Инженерные изыскания. 2011. № 10. С. 62–71.

Aptikaev F.F., Erteleva O.O. Quantification of earthquake action on structures // 1st Workshop "Quantification of earthquake action on structures" (NATO Project NR.NRCLG 981619/2005). Romania, Bukcharest, 18–21 October, 2005. P. 7–26.

Ulomov V.I. Seismic hazard of Northern Eurasia // Ann. Geofis. 1999. V. 42. P. 1023–1038.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

УЛОМОВ Валентин Иванович – доктор физико-математических наук, профессор геофизики, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10. E-mail: Ulomov@ifz.ru

Updating normative seismic zononing in the integrated information system "Seismic safety of Russia"

V.I. Ulomov

Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

Abstract. The article deals with updating databases and the general seismic zoning maps of the Russian territory — GSZ-97. Developing of the new maps GSZ-2012 is considered. Recommendations on updating the building codes are made. The article reports on the developing the integrated information system «Seismic safety of Russia» that involves operating of the specialized interactive maps of seismic hazard forecast.

Key words: seismic zoning, seismic hazard, seismic loads, building code, macroseismic regime.