УЛОМОВ В.И.
Главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва , д. ф.-м. н., valentin.ulomov@mail.ru

ПЕРЕТОКИН С.А.
Зав. отделом «Геодинамических и экологических рисков» Специального конструкторско-технологического бюро «НАУКА» Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (СКТБ «НАУКА» КНЦ СО РАН). к. т. н.

ULOMOV V.I.
The chief scientist of the Institute of Physics of the Earth RAS, Moscow

PERETOKIN S.A.
Director of Geodynamic and Ecological Risks of Special design technology bureau SCIENCE of the Krasnoyarsk scientific centre of the Siberian department of the Russian Academy of Sciences PhD in Technical Sciences

ОБ АКТУАЛИЗАЦИИ НОРМАТИВНЫХ КАРТ СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ON ACTUALIZATION OF THE NORMATIVE SEISMIC ZONING MAPS OF RUSSIA

Ключевые слова: актуализация, сейсмическое районирование, сейсмическая опасность, сейсмические воздействия.

Аннотация: в статье обсуждаются вопросы актуализации баз данных и нормативных карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации ОСР-97. Сообщается также о планах создания вероятностных карт следующего поколения — ОСР-2012.

Key words: actualization, seismic zoning, seismic hazard, seismic loads.

Abstract: the article discusses the questions of actualization of the databases and standard maps of the general seismic zoning of Russia «OCP-97». It also reports about the plans of creating the probabilistic maps of the next generation — «OCP-2012».

Введение

Комплекту современных карт ОСР-97, созданных в 1991–1997 годах в Институте физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), исполнилось 12 лет [7, 9, 10]. В качестве официальных нормативных документов они используются уже более 10 лет.

Согласно сложившейся в нашей стране традиции карты ОСР регулярно обновляются (в среднем каждые 10–12 лет) по мере накопления новых сведений о землетрясениях и совершенствования методов оценки сейсмической опасности. Они фрагментарно изменялись практически после каждого сильного землетрясения, происходившего в сейсмических зонах, показанных на этих картах как менее опасные.

Подлежат актуализации и карты ОСР-97, хотя они и выдержали все «сейсмические испытания», имевшие место после их создания. За истекшее время на территории Российской Федерации наряду с сотнями слабых произошло несколько десятков ощутимых и очень сильных землетрясений с магнитудой M = 5 и выше. Среди них были такие крупнейшие сейсмические события, как разрушительные землетрясения на Сахалине (M = 7,1, интенсивность в эпицентре I_o = 8–9 баллов, 2000 г.; M = 6,0, I_o = 8,9, 2007 г.), на Горном Алтае (M = 7,5, I_o = 9–10, 2003 г.), в Корякии (M = 7,7, I_o = 9–10, 2006 г.), на Курилах (M = 8,3, I_o = 10–11, 2006 г.; M = 8,2, I_o > 11, 2007 г.; M = 7,6 и 7,0, I_o > 9, 2009 г.). Благодаря выявлению закономерностей в миграции сейсмической активности нам удалось в работе [8] предсказать местоположение и интервал времени активизации потенциальной очаговой области на границе Чеченской Республики и Дагестана, где в октябре 2008 года произошло сильное землетрясение с M = 5,6. (Здесь и далее магнитуда M соответствует магнитуде MS, определенной по поверхностным сейсмическим волнам.)

Другим основанием для начавшихся в 2009 году сейсмологических, сейсмогеологических и инженерно-сейсмологических исследований на территории Российской Федерации, в том числе по актуализации баз данных и карт ОСР-97, явилась Федеральная целевая программа (ФЦП) «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009-2013 годы», утвержденная постановлением Правительства Российской Федерации от 23.04.2009 г. № 365 и дополнением к нему, изложенным в постановлении Правительства РФ от 30.07.2009 г. № 615. Эта программа, обновленная определенным образом, фактически заменила предыдущую ФЦП «Сейсмобезопасность территории России» (2002–2010 гг.), утвержденную постановлением Правительства Российской Федерации от 25.09.2001 г. № 690 и ликвидированную распоряжением Правительства Российской Федерации от 11.11.2006 г. № 1546-р в 2006 году по причине неэффективного ее исполнения. Здесь следует отметить, что необходимость разработки и той, и другой программы была вызвана обеспокоенностью общественности, руководства страны и субъектов Федерации высоким дефицитом сейсмостойкости для многих жилых домов, зданий и сооружений, расположенных в регионах страны, оценка сейсмической опасности в которых, согласно картам ОСР-97, оказалась более значительной, чем это представлялось прежде.

В соответствии с новой ФЦП Министерство регионального развития Российской Федерации (Минрегионразвития России), являющееся ее генеральным заказчиком, объявило конкурс на разработку ряда проектов (лоты № 1–8), направленных на решение основных задач, в том числе на снижение сейсмического риска и возможного ущерба при сильных землетрясениях. Среди них ключевым и имеющим самое непосредственное отношение к оценке сейсмической опасности и к общему сейсмическому районированию ОСР-97 явился лот № 6 — «Создание и обеспечение функционирования единой информационной системы (ЕИС) “Сейсмобезопасность России”, включающей региональные и тематические разделы, в которых уточняются исходная сейсмичность и сейсмический риск».

Авторы настоящей статьи и их коллеги, которые по большей части были исполнителями прошлых работ по ОСР-97, принимают активное участие в исследованиях по этому проекту, разрабатываемому в ОАО «ПНИИИС», выигравшем лот № 6.

Следует заметить, что ИФЗ РАН из-за упущения его администрации не принимал участия в конкурсе по этому лоту. Чтобы ликвидировать этот промах, нами в рамках проекта ЕИС «Сейсмобезопасность России» были предложены (и приняты ПНИИИСом) две следующие темы: (1) «Развитие методов и технологий общего сейсмического районирования (ОСР) территории Российской Федерации для уточнения исходной сейсмичности и сейсмической опасности»; (2) «Актуализация баз данных и карт ОСР-97 общего сейсмического районирования территории Российской Федерации и создание комплекта макетов карт сейсмического районирования следующего поколения — ОСР-2012».

Первую тему было запланировано целиком выполнять в лаборатории континентальной сейсмичности и прогноза сейсмической опасности ИФЗ РАН, а вторую — разрабатывать совместно со специалистами ПНИИИСа и нескольких академических институтов, принимавших участие в исследованиях по ОСР-97 в прошлом.

При этом особое внимание будет уделено оценке сейсмической опасности на недостаточно изученной, но плотно заселенной платформенной территории европейской части России, где действуют, строятся и проекти-

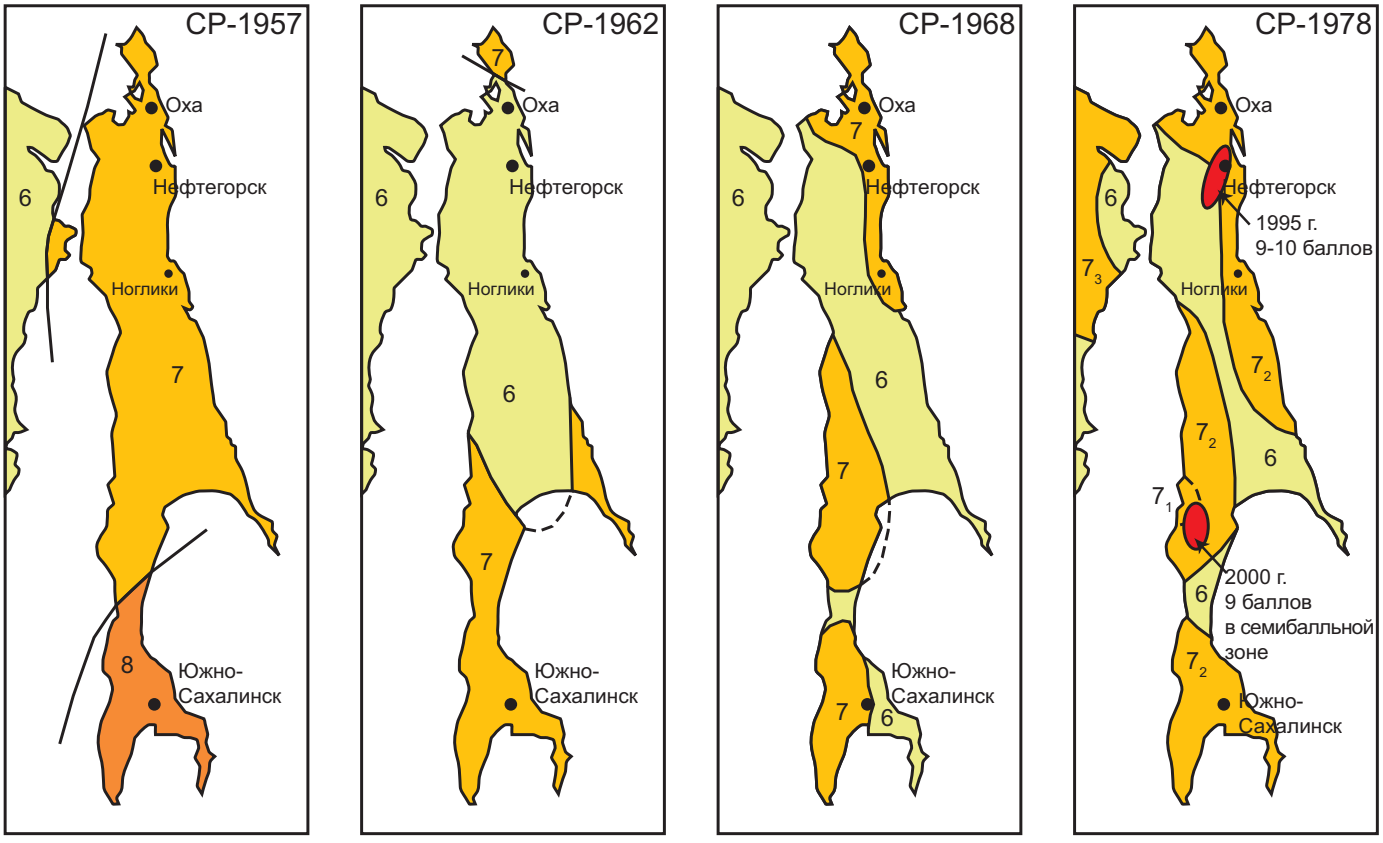

Рис. 1. Систематические изменения оценок сейсмической опасности на территории о. Сахалин. Цифрами в сейсмических зонах показана их балльность

руются такие особо ответственные строительные объекты, как атомные электростанции (АЭС) и высотные здания и сооружения.

Настоящая статья отражает содержание доклада ее авторов на V Общероссийской конференции «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», организованной Ассоциацией Инженерные изыскания в строительстве (АИИС) и состоявшейся в Москве 17–18 декабря 2009 года.

Неопределенности в оценках сейсмической опасности

Как известно, сложность сейсмического районирования состоит прежде всего в том, что оно принадлежит к категории прогнозов, базирующихся на неполной информации, на скудном и не всегда удачном опыте, на недостаточно четких методологических позициях. Поэтому практически каждая из составленных в прошлые годы карт сейсмического районирования территории бывшего СССР в той или иной мере оказывалась неадекватной реальным природным условиям, что наряду с некачественным строительством наносило народному хозяйству огромный материальный ущерб и влекло за собой многочисленные человеческие жертвы.

Самой неудачной оказалась карта ОСР-78 — последняя из созданных в советское время. Начиная со Спитак-Ленинаканской катастрофы 1988 года в Армении, число жертв в которой превысило 20 тысяч человек, почти ежегодно на территории бывшего СССР возникали разрушительные 8–9- и даже 9–10-балльные землетрясения в зонах, опасность которых, судя по этой карте, оказалась заниженной по меньшей мере на 2–3 балла 12-балльной шкалы MSK-64. К их числу относятся землетрясения: 1988 года в Армении (упомянутое выше); Зайсанское 1990 года в Казахстане; Рача-Джавское 1991 года в Грузии; Сусамырское 1992 года в Киргизии; Хаилинское 1991 года и Нефтегорское 1995 года в России. Последнее землетрясение привело к гибели 2 тысяч человек и полной ликвидации населенного пункта Нефтегорск на севере Сахалина. Это землетрясение было самым разрушительным из известных в прошлом на территории Российской Федерации.

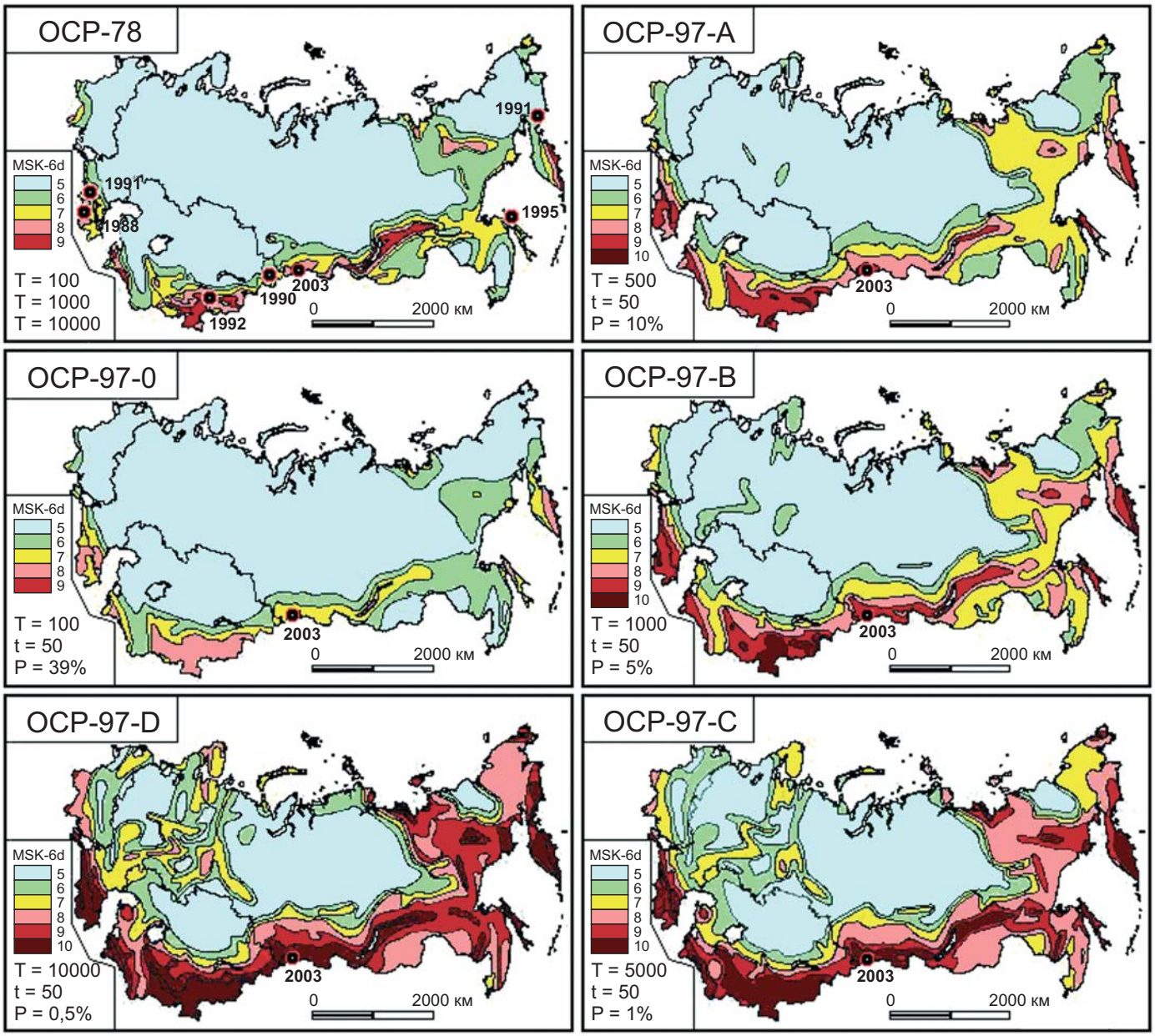

Рис. 2. Карты сейсмического районирования территории Северной Евразии (в границах бывшего СССР), созданные в 1978 г. и в 1997 г. На карте СР-78 показаны эпицентры сильных землетрясений, сейсмический эффект которых превышал на 2–3 балла номиналы этой карты (описание см. в тексте). Контуром выделена территория Российской Федерации

На рис. 1 в качестве примера показано, как замысловато изменялись площади и номиналы сейсмических зон на территории острова Сахалин при создании очередных карт сейсмического районирования в 1957, 1962, 1968 и 1978 годах. Из-за недостатка знаний и сведений о местной сейсмичности оценки сейсмической опасности то увеличивались, то снижались. В результате 9–10-балльное Нефтегорское землетрясение 1995 года произошло в 6–7-балльной зоне карты СР-78, а Углегорское 2000 года на 2 балла превысило сейсмический эффект, прогнозируемый той же картой. Только благодаря малой заселенности эпицентральной области в последнем случае обошлось без человеческих жертв, хотя сотни домов получили существенные повреждения. Вместе с тем это землетрясение подтвердило оценки сейсмической опасности, представленные на картах ОСР-97.

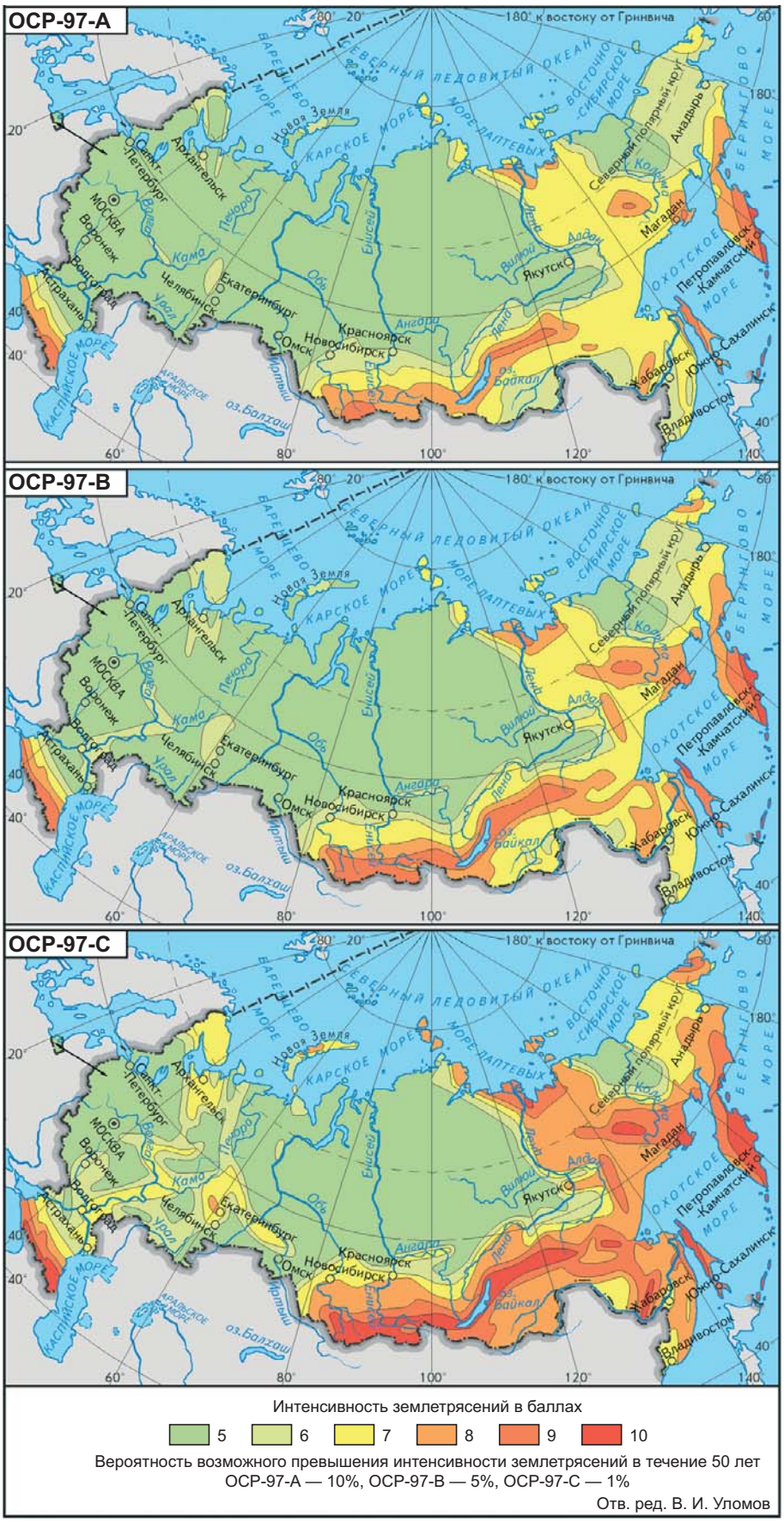

Рис. 3. Комплект нормативных карт ОСР-97 (А, В, С)

Как показали исследования, карта образца 1978 года (ОСР-78) на самом деле и не была «общей», поскольку составлялась фрагментарно в разных регионах и республиках, по разнотипной методике и на основе разрозненного сейсмологического и сейсмогеологического материала. Среди других недостатков карты ОСР-78 главным было отсутствие целостного описания используемой составителями этой карты общей методики и исходных данных.

Практически все предыдущие карты ОСР (1937, 1949, 1957, 1968, 1978 годов) были детерминистскими. Они не учитывали региональные особенности сейсмического режима и не позволяли сколько-нибудь правдоподобно судить о сейсмическом риске на сейсмоактивных территориях. Даже, казалось бы, более «продвинутая» карта 1978 года, на которой была сделана первая попытка ввести вероятностные характеристики повторяемости сейсмических воздействий, на самом деле не давала адекватных оценок сейсмической опасности. Индексы 1, 2 и 3 возле номиналов балльности, указанные на этой карте и якобы отражающие повторяемость сейсмических сотрясений один раз в 100, 1000 и 10000 лет, явились одной из причин низкой надежности ОСР-78 [1, 10].

В результате такой индексации реальный инженерный риск, определяемый картой ОСР-78, оказался не единым для всех сейсмоопасных районов страны [1]. При выполнении исследований по ОСР-97 нами было показано, что изображать на одной и той же карте оценки сейсмической опасности, характеризующиеся разной вероятностью возникновения, некорректно.

Концептуальные и методологические основы ОСР-97

Концепция, методология и технология создания карт ОСР-97 отразили смену парадигмы в сейсмическом районировании во всех отношениях. Карты ОСР-97 не только концептуально отличаются от всех карт, созданных в прежние годы, но и не имеют пока пре-

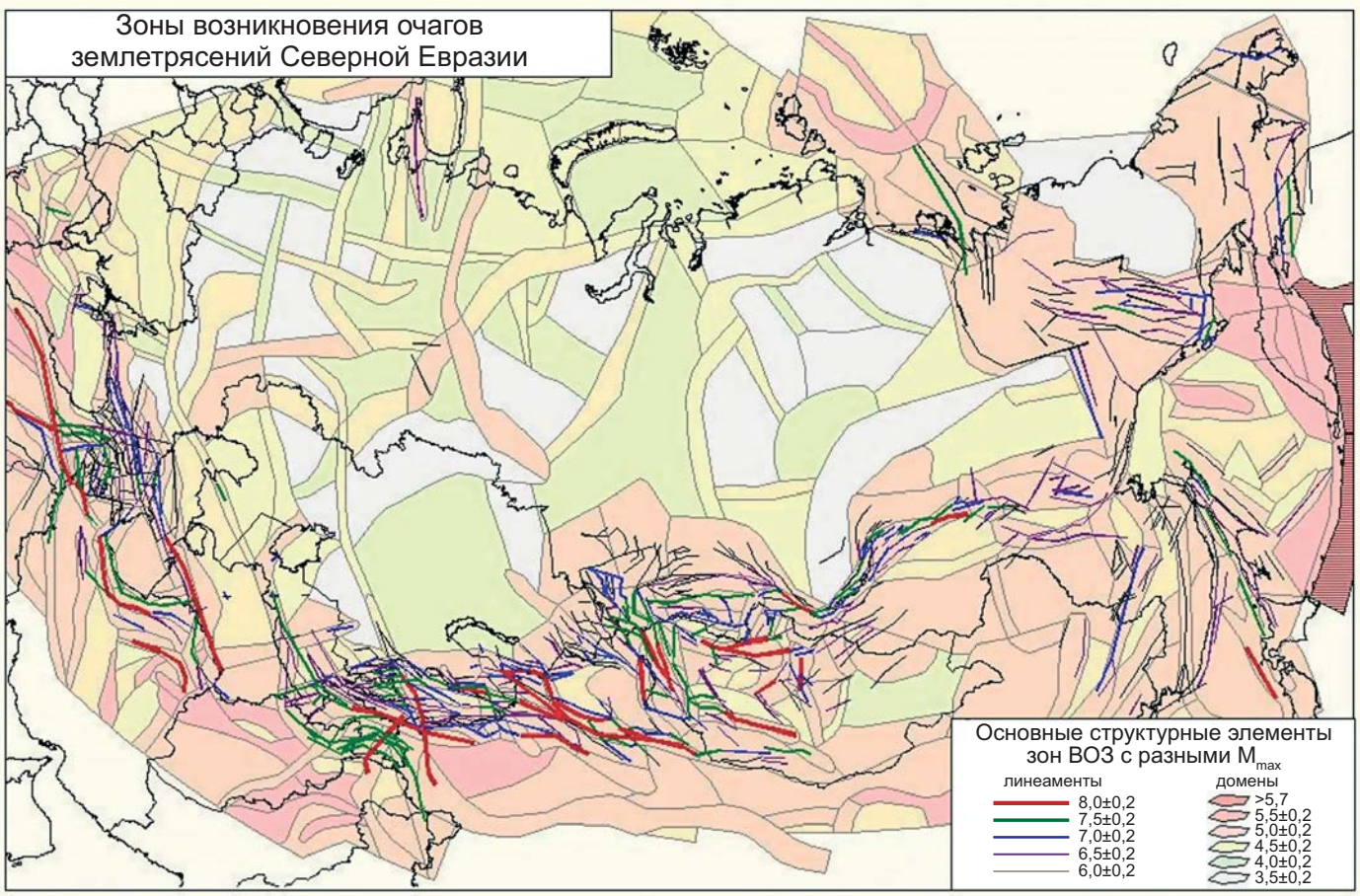

Рис. 4. Модель зон возникновения очагов землетрясений на территории Северной Евразии. Пояснения в тексте

цедента использования всего комплекта (а не одной карты) в мировой практике проектирования сейсмостойкого строительства. Благодаря конкретным вероятностным оценкам эти карты впервые позволили реалистично оценивать степень сейсмического риска на конкретных территориях и для конкретных объектов.

В 1991–1997 годах нами были созданы однородные сейсмологические и геолого-геофизические электронные базы данных и была применена целостная методология для всей обширной территории Северной Евразии. Во всех расчетах и построениях участвовали не точечные, как прежде, а протяженные очаги землетрясений и использовались новейшие представления о нелинейном проявлении сейсмогеодинамических процессов.

Условия неопределенностей, которые в природе всегда существуют, делают неправомочным детерминистский подход к сейсмическому районированию. Оно может быть осуществлено лишь на вероятностной основе. Иными словами, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму. Это и было заложено в новых картах ОСР-97, вошедших в 2000 году в СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах» и позволивших оценивать степень сейсмической опасности для строительных объектов разных сроков службы и категорий ответственности на трех уровнях, отражающих расчетную интенсивность сейсмических сотрясений, ожидаемых на данной географической площадке с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени.

Как видно из рис. 3, при одной и той же исходной модели зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) (рис. 4), использованной при ОСР-97 и характеризующейся конкретными долговременными средними параметрами сейсмического режима, изменение длины периодов повторяемости сейсмических воздействий приводит к изменению не только номиналов, но и конфигурации зон сейсмической интенсивности. Природа такого явления объясняется последовательным проявлением в сейсмическом эффекте активности сейсмогенерирующих структур (СГС), характеризующихся даже очень редким возникновением в них крупных сейсмических событий. Это обстоятельство прежде практически не учитывалось, и изображение на одной карте различной вероятности возникновения сейсмического эффекта приводило к искажению оценок сейсмической опасности [1, 10].

С учетом особенностей затухания сейсмического эффекта при удалении от очагов землетрясений были выполнены расчеты и построены карты для периодов повторяемости сейсмических воздействий (в среднем 1 раз за 100, 250, 500 1000, 2500, 5000 и 10 000 лет). Рис. 2 иллюстрирует некоторые из них, рассчитанные для разных периодов повторяемости сейсмических воздействий (1 раз за 100 лет — карта ОСР-97-0; за 500 лет — ОСР-97-А; за 1000 лет — ОСР-97-В; за 5000 лет — ОСР-97-С; за 10 000 лет — ОСР-97-D), что соответствует разной степени вероятности возможного превышения сейсмической интенсивности в течение 50-летних интервалов времени (риск соответствует 39; 10; 5; 1 и 0,5% соответственно). От карты с периодом повторяемости 100 лет пришлось отказаться по причине очень высокого риска. Остальные карты нашли свое применение.

На рис. 3 приведены нормативные карты ОСР-97 для территории Российской Федерации, официально утвержденные 23 марта 1998 года вице-президентом Российской академии наук академиком Н.П. Лаверовым. Они выдержали общественное обсуждение и были отмечены Государственной премией 2002 года Российской Федерации по науке и технике.

Согласно СНиП II-7-81*, карта ОСР-97-А рекомендуется для использования при массовом промышленном и гражданском строительстве. Карты ОСР-97-В и ОСР-97-С предназначены для проектирования и строительства объектов повышенной ответственности и особо ответственных сооружений, эксплуатация которых необходима при землетрясениях или при ликвидации их последствий (систем энерго- и водоснабжения, пожарных депо, сооружений связи, больниц и других строительных объектов, отказы которых могут привести к тяжелым социальным, экономическим и экологическим потерям). Карта ОСР-97-D, предназначенная для безопасного размещения таких чрезвычайно ответственных объектов, как атомные станции, вошла в соответствующие нормативные документы атомной отрасли.

Сейсмический эффект, указанный на каждой из карт комплекта ОСР-97, отнесен к средним грунтовым условиям (грунтам II категории по сейсмическим свойствам согласно СНиП II-7-81*) и может быть уточнен в результате исследований по сейсмическому микрорайонированию (СМР).

О создании модели зон возникновения очагов землетрясений

В основу исследований по сейсмогеодинамике и сейсмическому районированию Северной Евразии, охватывающей территорию России и сопредельных регионов, положены представления о структурно-динамическом и энергетическом единстве геофизической среды и развивающихся в ней сейсмогеодинамических процессов. Это единство ярко выражено в глобальном, региональном и локальном масштабах, в иерархической упорядоченности сейсмоактивных структур и в направленности их геодинамического развития [3, 12].

В 1991–1997 годах в ИФЗ РАН нами впервые была создана унифицированная электронная база сейсмологических и других геолого-геофизических данных, отображенная в единой географической информационной системе (ГИС). Впервые была разработана единая, внутренне согласованная модель зон возникновения очагов землетрясений для всей территории Северной Евразии (рис. 4).

Благодаря компьютерному моделированию и ГИС-технологиям, позволившим «активизировать» модель источников землетрясений, стало возможным составлять карты прогнозной сейсмичности на любой разумный интервал времени и изучать сейсмический эффект, создаваемый на земной поверхности виртуальными очагами [9, 10].

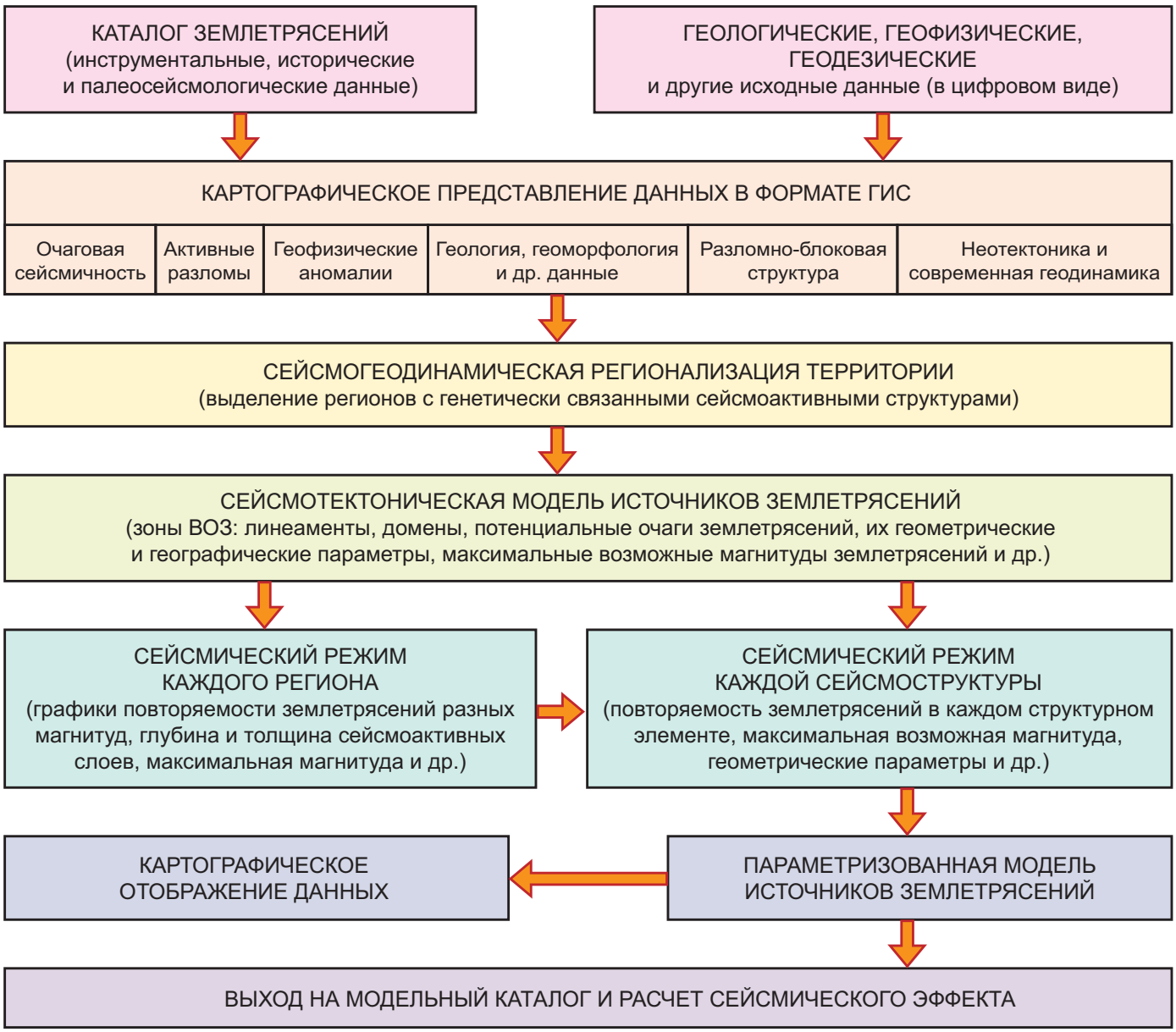

Рис. 5. Последовательность операций при создании модели зон ВОЗ

В основу создания модели зон ВОЗ и сейсмического районирования Северной Евразии была положена линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель источников землетрясений (см. рис. 4 и 7). В соответствии с принятой концепцией в ЛДФ-модели рассматриваются четыре масштабных уровня очаговых зон — крупный генетически единый регион с интегральной характеристикой его сейсмического режима и три его основных структурных сейсмогенерирующих элемента: (1) линеаменты, в генерализованном виде представляющие собой оси трехмерных сейсмоактивных разломных или сдвиговых структур, отражающие структурированную сейсмичность и являющиеся основным каркасом ЛДФ-модели; (2) домены, сплошь покрывающие всю исследуемую территорию, охватывающие квазиоднородные в геодинамическом отношении объемы геологической среды и характеризующиеся рассеянной сейсмичностью; (3) потенциальные очаги землетрясений, указывающие на наиболее опасные участки (фокусы) линеаментных структур.

Картирование сейсмической опасности осуществляется в две стадии компьютерного моделирования. Сначала конструируется и параметризуется ЛДФ-модель зон ВОЗ (рис. 5 и 6), затем после ее компьютерной активизации рассчитывается по регулярной сетке сейсмический эффект на земной поверхности с заданным периодом повторяемости, определяющим вероятность возникновения сейсмических воздействий и возможного их превышения. Рис. 7 иллюстрирует объемное изображение модели зон ВОЗ и картирование сейсмического эффекта.

Линеаменты, домены и потенциальные очаги, как и сами землетрясения, классифицируются по величине максимальной магнитуды ($M_{max} \pm 0{,}2$ единицы M) с шагом 0,5. Минимальное значение магнитуды землетрясений вдоль линеаментов зон ВОЗ в ОСР-97 принято равным 6,0 ± 0,2, поскольку при генерализованном районировании, каковым является общее сейсмическое районирование, очаги с меньшей магнитудой выделяются менее надежно. В случае же детального сейсмического районирования (ДСР) нижний порог магнитуд для линеаментов может быть понижен.

Поскольку реальные очаги не располагаются строго вдоль осей линеаментов, а отклоняются определенным образом по обе стороны от них, при моделировании виртуальной сейсмичности используются функции статистического распределения. Чем меньше магнитуда землетрясений, тем дальше от оси линеамента могут отклоняться их очаги. И наоборот, очаги крупных землетрясений тяготеют к осям сейсмолинеаментов. Такое рассеяние очагов обусловлено размером областей динамического влияния линеаментных структур на прилегающую геологическую среду, ее фрактальным строением и явлениями бифуркаций в системе активных разломов.

За максимальную магнитуду землетрясений внутри доменов принята M = 5,5 ± 0,2. В случае ДСР эта величина может быть понижена и соответствующим образом структурирована вдоль сейсмолинеаментов меньшего ранга (магнитуды) [2, 4].

Одним из главных достоинств ЛДФ-модели зон ВОЗ, разработанной для ОСР-97, является то, что впервые в отечественной практике общего сейсмического районирования для всей обширной территории Северной Евразии по единой методике создана внутренне согласованная модель источников землетрясений, положенная в основу всех последующих компьютерных расчетов сейсмической опасности.

О программно-математическом обеспечении ОСР

В настоящее время для всех расчетов и построений используется программно-математическое обеспечение (ПМО) «ВОСТОК®», актуализированное нами на основе ПМО PRB, разработанного ранее для ОСР-97 [9, 10]. Название ПМО «ВОСТОК®» соответствует аббревиатуре EAST®, образованной от словосочетания Earthquake Adequate Sources Technology («Технология адекватных очагов землетрясений»), и отражает одно из главных достижений методологии ОСР-97, заключающееся в использовании во всех расчетах и построениях не точечных, а протяженных очагов землетрясений.

ПМО «ВОСТОК®» представляет собой удобный пользовательский интерфейс для задания, редактирования и параметризации зон возникновения очагов землетрясений, расчета повторяемости сейсмического эффекта и

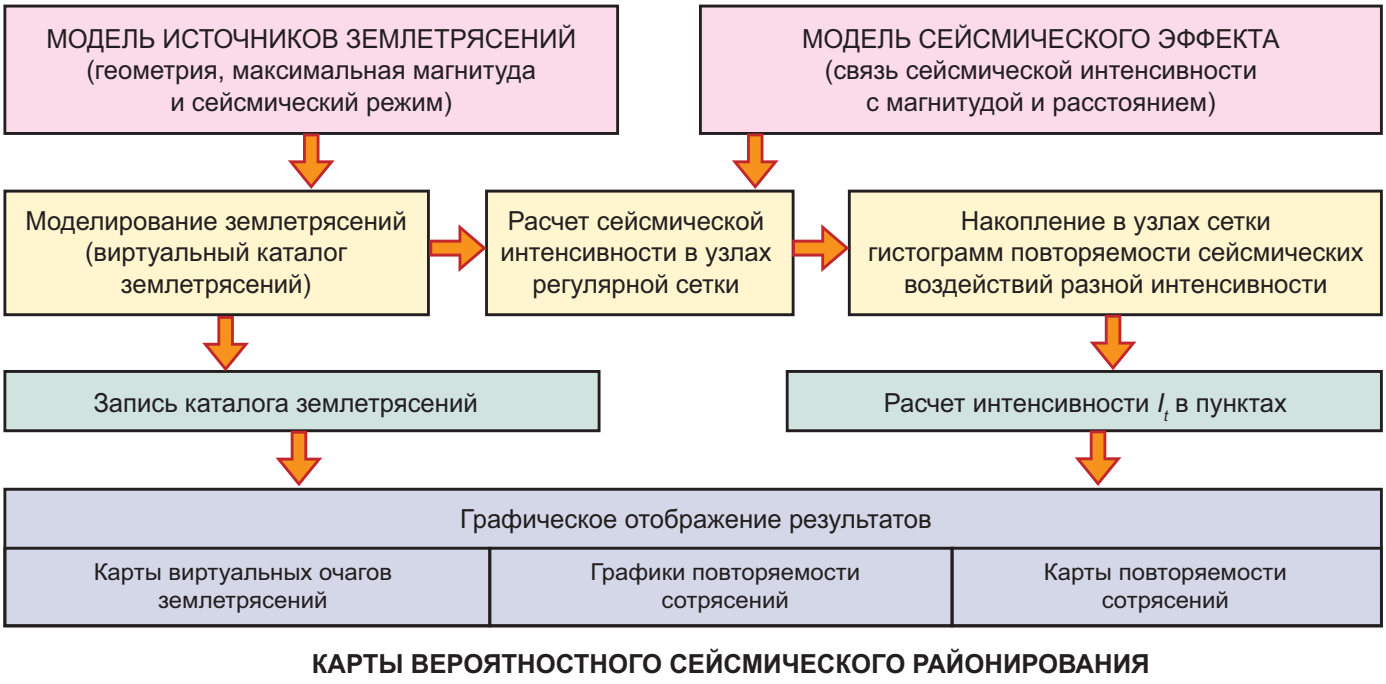

Рис. 6. Расчет сейсмической опасности и сейсмическое районирование

оценки сейсмической опасности, для построения карт вероятностного сейсмического районирования, для визуализации картографических и других входных, промежуточных и выходных данных.

ПМО «ВОСТОК®» строго соответствует методологии ОСР-97, поддерживается операционной системой Windows и включает в себя следующие основные действия (рис. 8).

- Выбор региона исследований, унификация каталога землетрясений, определение параметров сейсмического режима и создание других баз данных (БД) для формирования расчетной линеаментно-доменно-фокальной модели (ЛДФ-модели) зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) и параметризации ее основных структурных элементов — сейсмолинеаментов, доменов и потенциальных очагов (фокусов) землетрясений.
- Идентификация и внесение в БД географических координат концов и изломов линейных зон, отражающих структурированную сейсмичность (линеаментов и потенциальных очагов), изломов контуров зон рассеянной сейсмичности (доменов). Их соответствующая сейсмологическая параметризация, в том числе нормированная на единицу длины для линеаментов и на единицу площади для доменов.
- Визуализация карт региональной сейсмичности (протяженных и реалистично ориентированных очагов крупных землетрясений в легенде ОСР-97), основных структурных элементов зон ВОЗ (линеаментов, доменов, потенциальных очагов), активных разломов и др.
- Визуализация графиков накопления сейсмических событий разных магнитуд для определения энергетической представительности событий и для долгосрочного прогноза очередных землетрясений.
- Создание на основе параметризованной модели зон ВОЗ модельного каталога, интерактивное формирование регулярной (прямоугольной или треугольной) сетки и вычисление в ее узлах повторяемости прогнозируемых сейсмических воздействий, создаваемых виртуальной сейсмичностью основных структурных элементов зон ВОЗ (линеаментов, доменов и потенциальных очагов землетрясений).
- Многомерная графическая и табличная визуализация результатов всех промежуточных и окончательных расчетов повторяемости сейсмических сотрясений в узлах регулярной сетки, разброса их величин, а также карт виртуальной сейсмичности, периодов повторяемости сотрясений различной интенсивности, карт сейсмического районирования для заданных периодов повторяемости сейсмических воздействий и т.д. (рис. 9).

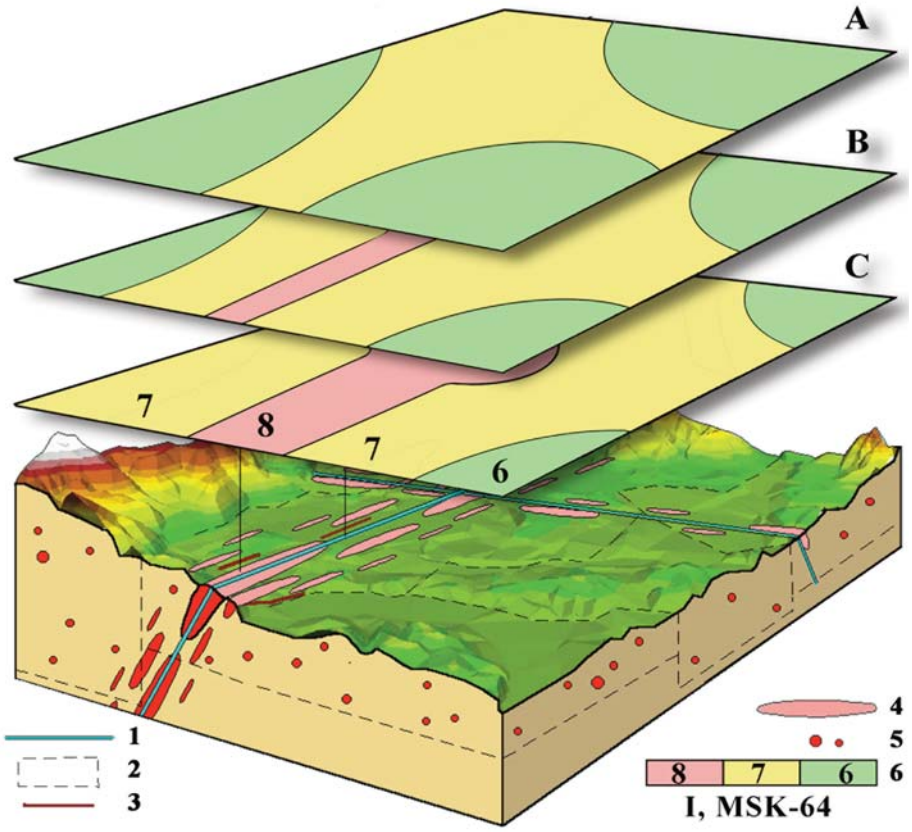

Рис. 7. Иллюстрация объемной ЛДФ-модели зон ВОЗ и расчета сейсмических воздействий с различной их повторяемостью: 1 — следы осевых плоскостей линеаментных сейсмогенерирующих структур (СГС); 2 — контуры объемных доменов с рассеянной сейсмичностью; 3 — активные разломы, фрагментарно отражающие простирание сейсмолинеаментов; 4 — очаги крупных землетрясений вдоль осей сейсмолинеаментов; 5 — очаги слабых землетрясений в доменах; 6 — модель сейсмического эффекта (баллы шкалы MSK-64), создаваемого на земной поверхности за различные интервалы времени — 500 (карта А), 1000 (карта В) и 5000 лет (карта С)

Концепция общего сейсмического районирования нового поколения

Новая отечественная методология, разработанная для ОСР-97 и получившая признание на государственном и международном уровнях [11–14], единая база данных (БД) и другие новации, положительно отличающие эту целостную методологию от всех предыдущих приемов и способов составления прежних карт сейсмического районирования, а также применение не одной детерминистской, как прежде, а комплекта вероятностных карт сейсмического районирования должны быть в целом сохранены и развиты с целью уточнения сейсмической опасности при создании карт следующего поколения (предположительно ОСР-2012).

На рис. 10 приведена блок-диаграмма технологии уточнения ОСР территории Российской Федерации. Уточнена также и некоторая терминология [5, 7].

Уточнение общего сейсмического районирования (УОСР) — это актуализированные и более детальные по сравнению с ОСР-97 исследования сейсмоактивных территорий, результатом которых должно стать уточнение сейсмической опасности (УСО), основанное на уточнении модели исходной сейсмичности (УИС) и модели затухания интенсивности (УЗИ) при удалении от источника землетрясения. При этом должны быть сохранены те же нормативные требования, которые были заложены в вероятностные оценки карт ОСР-97 (вероятности возникновения и возможного превышения номиналов карт в течение 50-летних интервалов времени, равные 10; 5; 1 и 0,5%).

Уточнение исходной сейсмичности (УИС) — это уточнение разломно-блоковой модели зон возникновения очагов землетрясений (зон ВОЗ) на основе более детальных исследований (УИС не относится непосредственно к

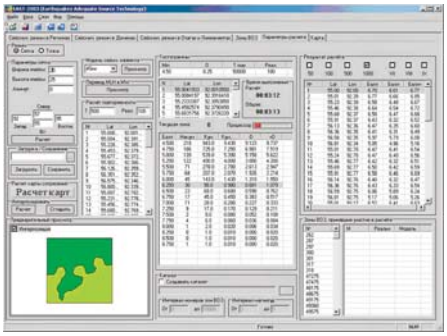

Рис. 8. Иллюстрация одного из окон ПМО «ВОСТОК»

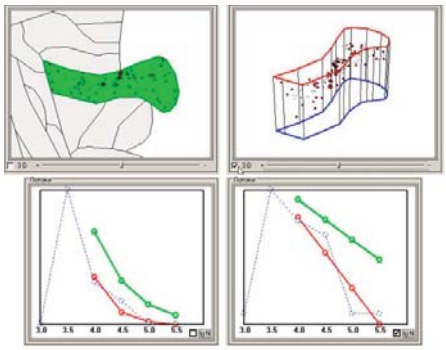

Рис. 9. Иллюстрация работы с отдельным доменом (вверху) и с графиками повторяемости землетрясений в нем

оценке балльности, как это понималось прежде).

Уточнение сейсмической опасности (УСО) — это уточнение интенсивности максимальных сейсмических воздействий как для отдельных пунктов (УСО-1 вместо бывшего понятия УИС), так и для ограниченных территорий (УСО-2, аналог ДСР в вероятностном представлении) на основе уточнения модели исходной сейсмичности (УИС) и модели затухания сейсмической интенсивности с расстоянием (УЗИ).

При уточнении сейсмической опасности (УСО), независимо от того, рассматривается ли отдельная площадка (УСО-1) или территория (УСО-2), к исследованиям по УИС и УЗИ должна привлекаться достаточно большая площадь вокруг рассматриваемого объекта, зависящая от магнитуды максимального возможного землетрясения и эффективного затухания сейсмической интенсивности.

На основе всего комплекса актуализированных данных должна уточняться модель (или несколько вариантов моделей) зон ВОЗ, представленных в виде сейсмолинеаментов (достаточно уверенно выявленных сейсмогенерирующих структур — СГС) и доменов (блоков геологической среды со сходными по тектонике и геодинамике характеристиками).

Основным фактором для УЗИ должно быть уточнение по обновленным эмпирическим данным уравнения I (M, h, r), характеризующего затухание в исследуемом регионе сейсмической интенсивности I в зависимости от магнитуды землетрясения M, глубины очага h (км) и эпицентрального расстояния r (км). При этом нужно иметь в виду, что современные уравнения затухания существенно отличаются от простейших формул, применявшихся в прошлом и не учитывавших эффекты, обусловленные геологической средой [10].

Одним из новшеств в актуализации карт ОСР-97 и в создании карт следующего поколения может стать региональное сейсмическое зонирование (РСЗ) в полубалльном представлении ожидаемого сейсмического эффекта [3–5]. На рис. 11 в качестве примера градации через 0,5 балла приведен фрагмент карт ОСР-97 для юга Красноярского края. В данном случае расчет этой карты был осуществлен на основе той же самой ЛДФ-модели зон ВОЗ, что и ОСР-97, без каких-либо ее изменений и уточнений. Вместе с тем даже в этом варианте видны ее преимущества благодаря детализации сейсмических зон.

Карты РСЗ в градации через 0,5 балла, в случае их официального признания, существенно сократят число «совпадений балльности» на картах ОСР-97, поскольку площади перекрытия зон при РСЗ значительно уменьшатся по сравнению с зонами в целочисленной градации макросейсмической интенсивности. Соответственно повысится и экономическая эффективность карт при их использовании в проектировании и в сейсмостойком строительстве.

Как уже отмечалось, уточнение модели зон ВОЗ в более крупном масштабе (1:500 000 и крупнее) по сравнению с ОСР-97 (с исходным масштабом 1:2 500 000) можно осуществлять путем проведения исследований по детальному сейсмическому районированию (ДСР). Основой же всех последующих работ по ДСР и СМР непременно должны быть вероятностные карты ОСР и методология их составления (ЛДФ-модель зон ВОЗ и т.п.). Карты ДСР и СМР также должны быть вероятностными и должны в обязательном порядке отражать повторяемость сейсмических воздействий в принятые нормативные интервалы времени (500, 1000, 5000 и 10 000 лет).

Рис. 10. Схема уточнения сейсмической опасности и карт ОСР

Заключение

Как показал анализ оценки сейсмической опасности на территории Российской Федерации, представленной комплектом карт общего сейсмического районирования территории Северной Евразии ОСР-97, концепция и методические принципы составления таких карт должны непременно сохраниться в процессе планируемой актуализации. И концепция, и методология их составления, как уже упоминалось, были высоко оценены в свое время международной (GSHAP, 1999 г.) и отечественной (Госпремия 2002 г.) научной сейсмологической общественностью.

Как показано выше, по своему содержанию эти исследования базируются на представлениях о структурно-динамическом единстве геологической сре-

ды и протекающих в ней сейсмогеодинамических процессов, а по форме — на вероятностном представлении оценок сейсмической опасности.

Вместе с тем актуализация ОСР-97 и разработка карт ОСР-2012 предусматривает не только пополнение базы исходных данных (каталогов землетрясений, разломной тектоники, геофизики и др.), но и усовершенствование методологических подходов и гармонизацию терминологии. Так, уточнение общего сейсмического районирования (УОСР) должно базироваться на уточнении исходной сейсмичности (УИС) и затухания сейсмической интенсивности (УЗИ).

Требует совершенствования и программно-математическое обеспечение (ПМО) всех расчетов сейсмической опасности, с тем чтобы не только детализировать все итоговые результаты, но и позволить создавать принципиально другие представления о сейсмической опасности.

Наряду с вышесказанным, согласно программе исследований по созданию единой информационной системы (ЕИС) «Сейсмобезопасность России», планируется выполнение следующих разработок.

- Создание комплекта цифровых тематических карт, представленных в векторной форме в масштабе 1:2 500 000 и необходимых для решения комплекса задач сейсмического районирования:
  - макетов карт общего сейсмического районирования (ОСР-2012), характеризующих сейсмическую опасность на четырех уровнях риска (10; 5; 1 и 0,5%) возможного превышения сейсмического эффекта, указанного на картах территории всей страны (в масштабах 1:8 000 000 или 1:5 000 000) и основных регионов (европейской части России, Сибири, Дальнего Востока в масштабе 1:2 500 000);
  - макета карты очаговой сейсмичности территории страны (в специализированной легенде);
  - макетов карт общего сейсмического районирования территории страны и регионов в пиковых ускорениях (в долях g — ускорений силы тяжести) колебаний в средних грунтовых условиях для четырех уровней риска (10; 5; 1 и 0,5%);
  - макетов карт общего сейсмического зонирования территории страны и регионов в полубалльном представлении для четырех уровней риска (10; 5; 1 и 0,5%);
  - макетов карт периодов повторяемости сейсмических воздействий интенсивностью 6, 7, 8 и 9 баллов по шкале MSK-64 на территории страны и в основных регионах (в более крупном масштабе).
- Составление списка городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмических зонах, с указанием для них прогнозируемого сейсмического эффекта в баллах и ускорениях по каждой из карт комплекта ОСР-2012.
- Составление списка городов и населенных пунктов с указанием для них расчетных периодов повторяемости прогнозируемого сейсмического эффекта в 6, 7, 8 и 9 баллов на основе актуализированных данных ОСР-2012.

В информационной системе «Сейсмобезопасность России» при этом полностью должны сохраниться базы данных и карты ОСР-97 с целью сравнения с ними вновь полученных результатов актуализации.

Предусматривается также создание свода правил (СП) для ОСР и предложений по гармонизации ДСР и СМР.

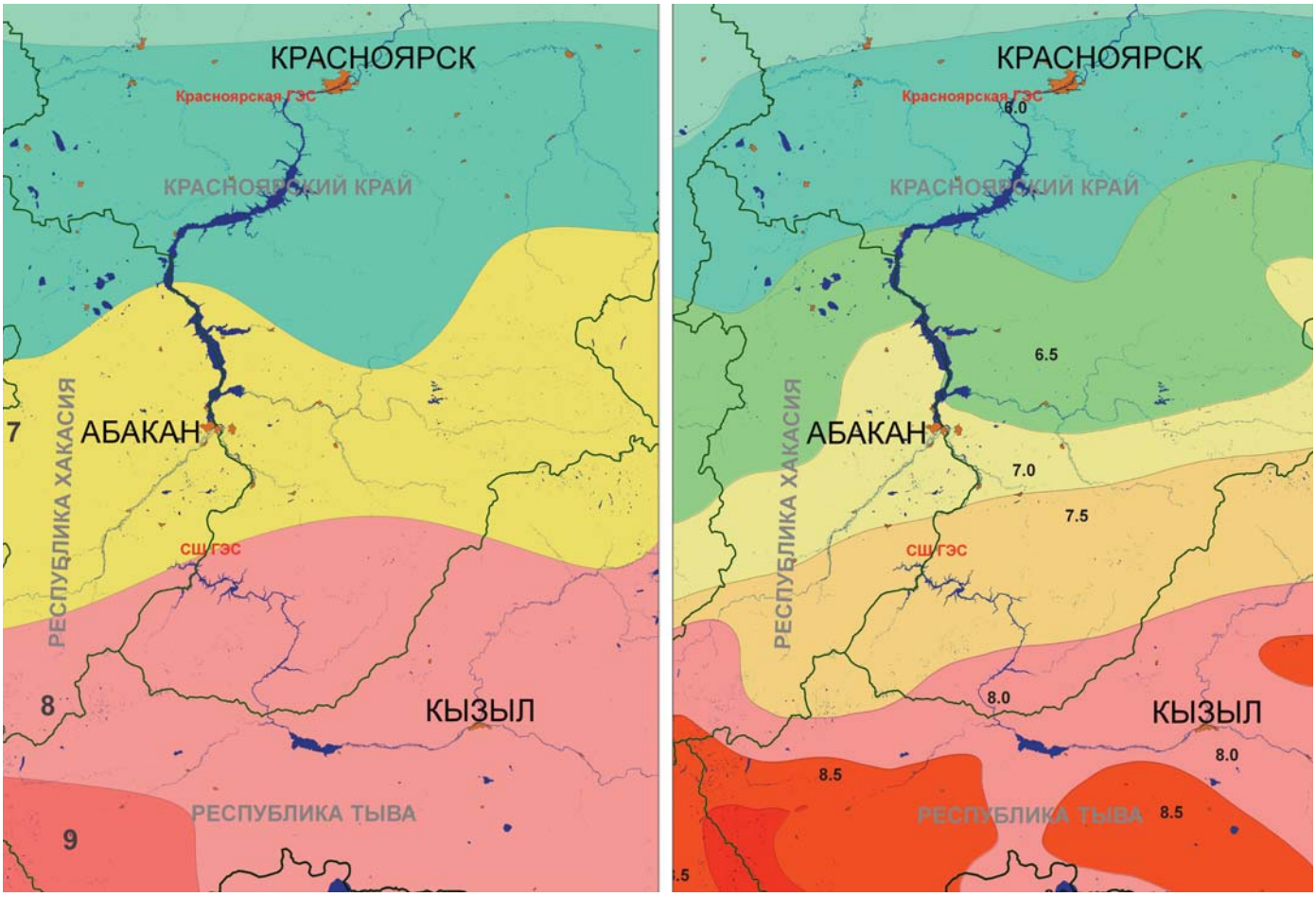

Рис. 11. Фрагмент карты ОСР-97-А (слева) и регионального сейсмического зонирования (РСЗ) юга Красноярского края в градации через 0,5 балла