Когда и в каком месте произойдет землетрясение, предсказать, к сожалению, пока невозможно. Можно говорить лишь о его вероятности. Однако не все проектировщики и даже некоторые сейсмологи это понимают и пренебрежительно относятся к оценкам сейсмического риска. В результате многие территории застроены без учета сейсмичности, что в случае землетрясения может привести к катастрофическим социальным и экономическим последствиям. Так, карта сейсмического районирования образца 1978 г., действовавшая до 2000 г., то есть до внедрения в строительную практику новых карт ОСР-97, существенно занижала оценку степени сейсмической опасности территории Приморья, где практически все строительство осуществлялось без применения антисейсмических мероприятий. В настоящее время ОАО «ПНИИИС» ведет разработку краевой целевой программы «Сейсмобезопасность территории Приморского края» в рамках Федеральной целевой программы (ФЦП) «Повышение устойчивости основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмоопасных районах Российской Федерации» на 2009–2017 гг.

ВАЛЕНТИН УЛОМОВ
Главный научный сотрудник Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН

К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ ТЕРРИТОРИИ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

Настоящая статья направлена на поддержку разработки краевой целевой программы «Сейсмобезопасность территории Приморского края» в рамках Федеральной целевой программы «Повышение устойчивости основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмоопасных районах Российской Федерации» на 2009–2017 гг., утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 15 августа 2008 г. № 1197-р.

Государственным заказчиком-координатором ФЦП является Министерство регионального развития РФ, государственными заказчиками — МВД России, Министерство обороны РФ, МЧС России и ФСБ России.

Разработку данной программы для Администрации Приморского края ведет ОАО «Производственный и научно-исследовательский институт по инженерным изысканиям в строительстве» (ОАО «ПНИИИС») с участием ФГУП «НТЦ по сейсмостойкому строительству и инженерной защите от стихийных действий» Министерства регионального развития РФ, Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта Российской академии наук (ИФЗ РАН), ГОУНПП «Уралсейсмоцентр».

Основу мероприятий ФЦП, касающихся оценки сейсмического риска и развития системы нормативно-правовых актов, составят фундаментальные и прикладные исследования, направ-

ленные на совершенствование научно-методических основ сейсмического районирования территории Российской Федерации, проведение работ по актуализации карт общего сейсмического районирования, по детальному сейсмическому районированию регионов и микрорайонированию территорий поселений и городских округов.

На первом этапе (2009–2010 гг.) предполагается подготовить соответствующие нормативные и методические документы, выполнить необходимые мероприятия по сейсмическому районированию, осуществить обследование и паспортизацию зданий и сооружений, проанализировать деятельность сети сейсмических станций и расширить ее, принять решения о целесообразности сейсмоусиления конкретных объектов, определить объем необходимых средств на указанные работы и т.п.

Как известно, карты ОСР-97 показали более высокую, чем это предполагалось прежде, сейсмическую опасность многих регионов страны, в том числе и Приморья, где в соответствии с картой ОСР-78 никаких антисейсмических мероприятий практически не осуществлялось и до сих пор строительные объекты в сейсмическом отношении испытывают немалый дефицит прочности.

В 2001 г. Правительство Российской Федерации, оценив серьезность ситуации, утвердило Федеральную целевую программу «Сейсмобезопасность территории России», рассчитанную на 2002–2010 гг. Однако эта программа, практически не начавшись, была прекращена постановлением правительства из-за плохой организации работ и неполноценности получаемых результатов.

В сложившейся обстановке благодаря обеспокоенности ученых, общественности и властей была предложена указанная выше ФЦП (2009–2017 гг.), от профессиональной реализации которой теперь будет зависеть адекватное решение проблемы сейсмической безопасности страны.

Приморский край должен занять в новой ФЦП важное место, поскольку этот сейсмоактивный регион России напрямую связан и с другим важным проектом — развитием Приморского края как административно-делового, финансового, туристического, образовательного и культурного центра России и стран Азиатско-Тихоокеанского региона. Здесь запланировано строительство нефтеперерабатывающего и нефтехимического заводов, крупных нефте- и газопроводов, атомной электростанции, создание дальневосточного морского транспортного кластера и многое другое. К 2010 г. почти вдвое планируется увеличить инвестиции в основной капитал региональных предприятий.

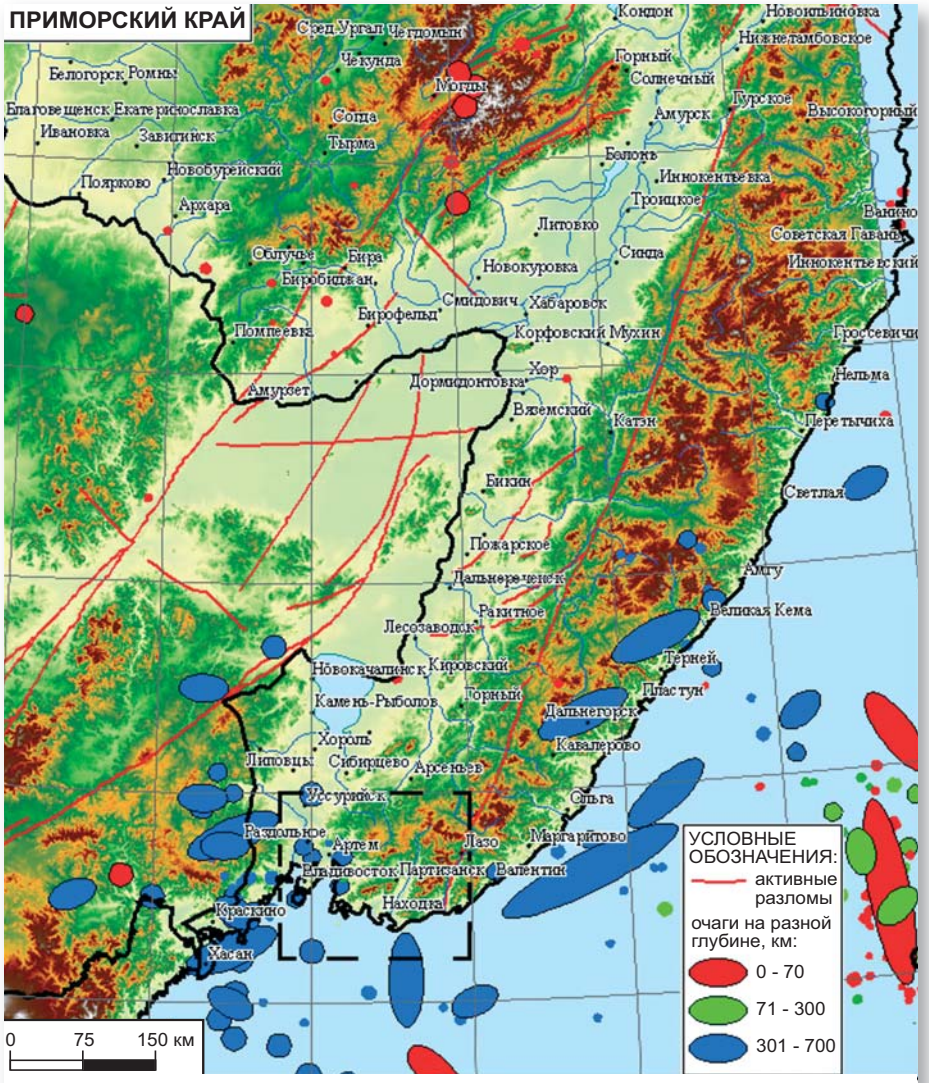

Рис. 1. Сейсмоактивные разломы и сейсмичность Приморского края и сопредельной территории. Показаны очаги землетрясений с магнитудой *M* = 3,5–4,0 и выше

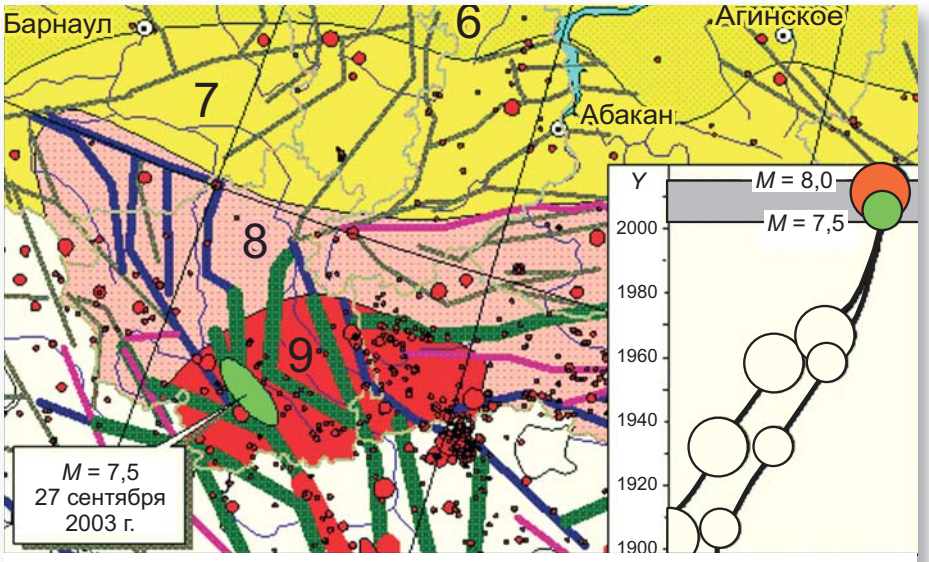

Рис. 2. Линеаментная модель источников крупных (*M* > 6) землетрясений и долгосрочный прогноз Горно-Алтайского землетрясения

Таблица. Связь сейсмической интенсивности с величиной ускорений

I MSK, баллы	A, см/с/с	I MSK, баллы	A, см/с/с
5	25	8,5	280
5,5	35	9	400
6	50	9,5	560
6,5	70	10	800
7	100	10,5	1130
7,5	140	11	1600
8	200	11,5	>1600

Сейсмическая обстановка в регионе

Территория Приморского края в сейсмологическом отношении изучена недостаточно из-за отсутствия здесь полноценных сейсмометрических наблюдений. Наряду с внутрикоровыми землетрясениями в юго-западной части Курило-Камчатской зоны субдукции ощущаются также глубокофокусные землетрясения. Землетрясения в акватории нередко сопровождаются цунами.

На рис. 1 показаны проекции на земную поверхность всех известных в настоящее время сейсмических очагов Приморья и сопредельных территорий. Очаги землетрясений разных магнитуд изображены в их естественной ориентации и в реальных размерах в масштабе данной карты. Наиболее крупные эллипсы соответствуют землетрясениям с магнитудой $M = 8{,}0 \pm 0{,}2$, средние — $M = 7{,}5 \pm 0{,}2$, малые — $M = 7{,}0 \pm 0{,}2$. Очаги землетрясений с магнитудой $M = 6{,}5 \pm 0{,}2$ и менее изображены условно уменьшающимися кружками с шагом 0,5 единицы магнитуды. Землетрясения с $M = 3{,}5$ и менее абсолютно не представительны (то есть пропущены) в этом регионе из-за отсутствия местной сети сейсмических станций. Разным цветом окрашены очаги, залегающие на разных интервалах глубины от земной поверхности. Красный цвет соответствует интервалу 0–70 км, зеленый — 71–300 км, синий — более 300 км. Линиями красного цвета показаны активные разломы земной коры и всей литосферы. Пунктирным прямоугольником оконтурен район, для которого более всего требуются детальные сейсмологические исследования и определение степени сейсмической опасности.

Как показывают геологические исследования, территории Приморского края в прошлом была свойственна высокая тектоническая активность, сопровождавшаяся значительными горизонтальными и вертикальными движениями и деформациями земной коры и всей литосферы. Здесь выявлено свыше десятка крупных и большое число мелких тектонических разломов. Основным структурным элементом, определяющим геологическое и тектоническое строение Приморского края, является Центральный Сихотэ-Алиньский разлом, пересекающий территорию Приморья и Хабаровского края с юго-запада на северо-восток почти по прямой линии. Он хорошо выражен в рельефе и прослеживается на космических фотоснимках на протяжении свыше 1000 км. Основные, левосторонние, смещения по нему произошли в позднем мелу, а их суммарная амплитуда по разным оценкам достигает 200 км. Значительные горизонтальные и вертикальные подвижки обнаружены также по ряду других разломов Приморского края.

Вместе с тем информация о современной геодинамической активности Приморья крайне скудна и недостаточно надежна.

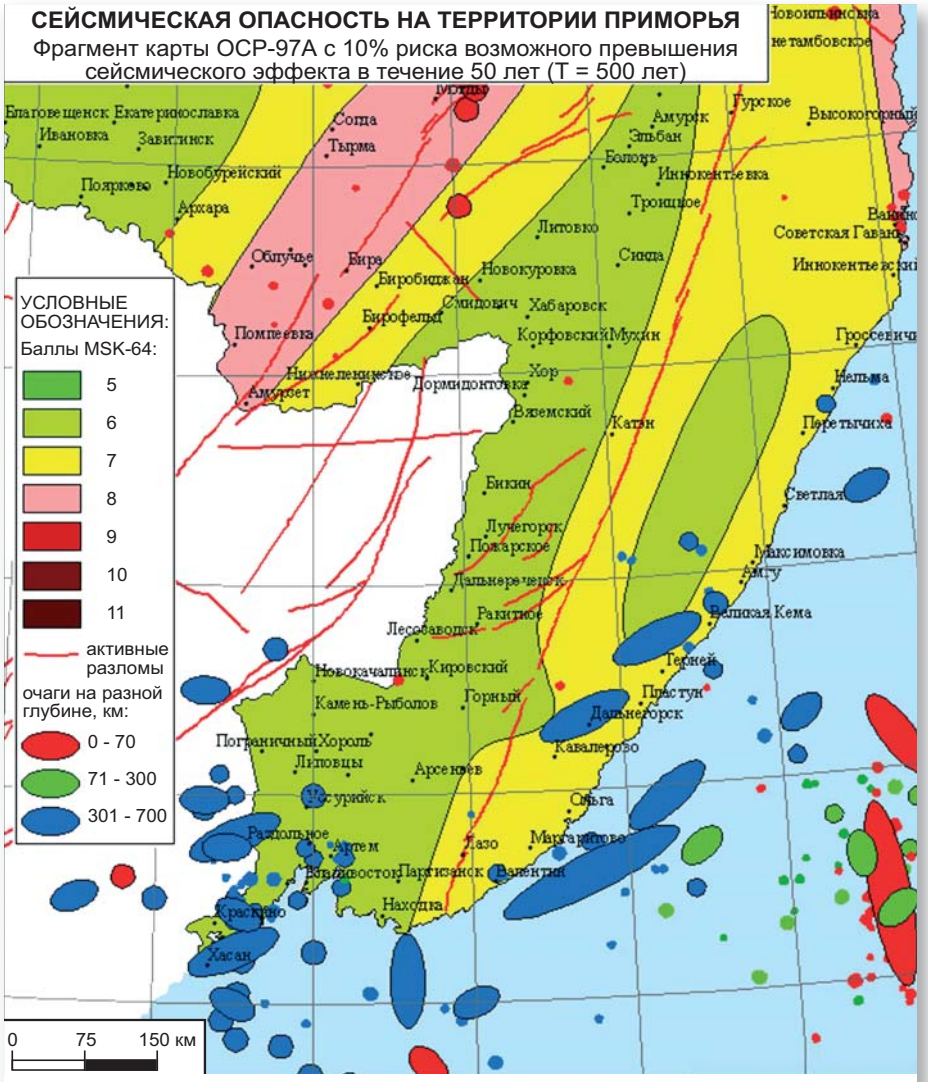

Рис. 3. Фрагмент карты ОСР-97А Приморского края и сопредельной территории

Вероятностный подход к оценке сейсмической опасности и сейсмического риска

Условия неопределенностей, которые в природе всегда существуют, делают неправомочным детерминистский подход к оценке сейсмической опасности. Современное сейсмическое районирование может быть осуществлено лишь на вероятностной основе. Иными словами, риск всегда будет иметь место, но его необходимо свести к минимуму и сделать приемлемым в социально-экономическом отношении.

Такой подход заложен в новых картах ОСР-97 (отв. ред. В.И. Уломов), позволяющих оценивать степень сейсмической опасности для объектов разных категорий ответственности и сроков службы на трех уровнях, отражающих расчетную интенсивность сейсмических воздействий, ожидаемых на данной географической площадке с заданной вероятностью в течение определенных интервалов времени.

В результате этих исследований и построений впервые в сейсмологической и строительной практике была создана не одна, а комплект вероятностных карт общего сейсмического районирования территории России — ОСР-97 (A, B, C, D).

Все карты ОСР-97 стали нормативными. Первые три из них вошли в 2000 г. в состав действующих строительных норм и правил (СНиП II-7-81* «Строительство в сейсмических районах») и предназначены для рационального землепользования сейсмостойкого строительства гражданских и промышленных зданий и сооружений. Карта ОСР-97D используется при проектировании и размещении атомных станций и других чрезвычайно опасных объектов в сейсмоактивных районах.

В мелком масштабе карты ОСР-97 помещены в приложении к СНиП II-7-81*, где также приведен список населенных пунктов с указанием максимального возможного сейсмического эффекта в каждом из них по каждой из трех карт (A, B, C).

В достаточно крупном масштабе (1:8 000 000), в настенном варианте, карты ОСР-97 были опубликованы в 2000 г. и вместе с объяснительной запиской по официальному запросу могут быть получены в ИФЗ РАН, а также у государственных заказчиков Федеральной целевой программы 2009–2017 гг.

Карта ОСР-97А Северной Евразии вошла составной частью в мировую Карту глобальной сейсмической опасности, опубликованную в 1999 г. в США под эгидой ООН (Global Seismic Hazard Map).

Карты ОСР-97 и другие материалы к ним опубликованы в целом ряде официальных изданий: в Большой Российской энциклопедии (том «Россия», 2004 г.); в Атласе природных и техногенных опасностей и рисков чрезвычайных ситуаций в Российской Федерации (МЧС России, РАН, 2005 г.); в Национальном атласе России (том 2: Природа. Экология, 2007 г.) и в других публикациях, в том числе в Интернете. Ряд статей автора посвящен вопросам технологии актуализации карт и инженерных решений.

Реалистичность действующих карт ОСР-97 подтвердили крупнейшие 9–10-балльные землетрясения в Корякии в 2006 г. и в Горном Алтае в 2003 г. Они произошли именно там, где им и было «предписано» этими картами. В качестве одного из примеров на рис. 2 приведены фрагменты линеаментной модели зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ) и карты ОСР-97А, где указано местоположение очага Горно-Алтайского землетрясения 2005 г. (эллипс), совпавшего с сейсмолинеаментом такого же ранга (M = 7,5) и с 9-балльной зоной этой карты. Судя по другим картам комплекта ОСР-97, здесь возможны и более сильные землетрясения. Справа на рис. 2 показана предшествующая Горно-Алтайскому землетрясению последовательность сейсмических событий с M = 7,5 и M = 8,0 в этом регионе. Как видно, возникновение этого землетрясения (зеленый кружок) совпало с предсказанным интервалом времени ожидания таких событий (заштрихованная полоса). Не исключено возникновение и более крупного землетрясения, с M = 8,0.

Следует отметить, что в указанной выше Федеральной целевой программе на 2009–2017 гг. вполне адекватно воспринимаются вероятностные аспекты карт ОСР-97 и предлагается осуществлять обеспечение сейсмобезопасности соответствующим приемлемым уровнем сейсмического риска.

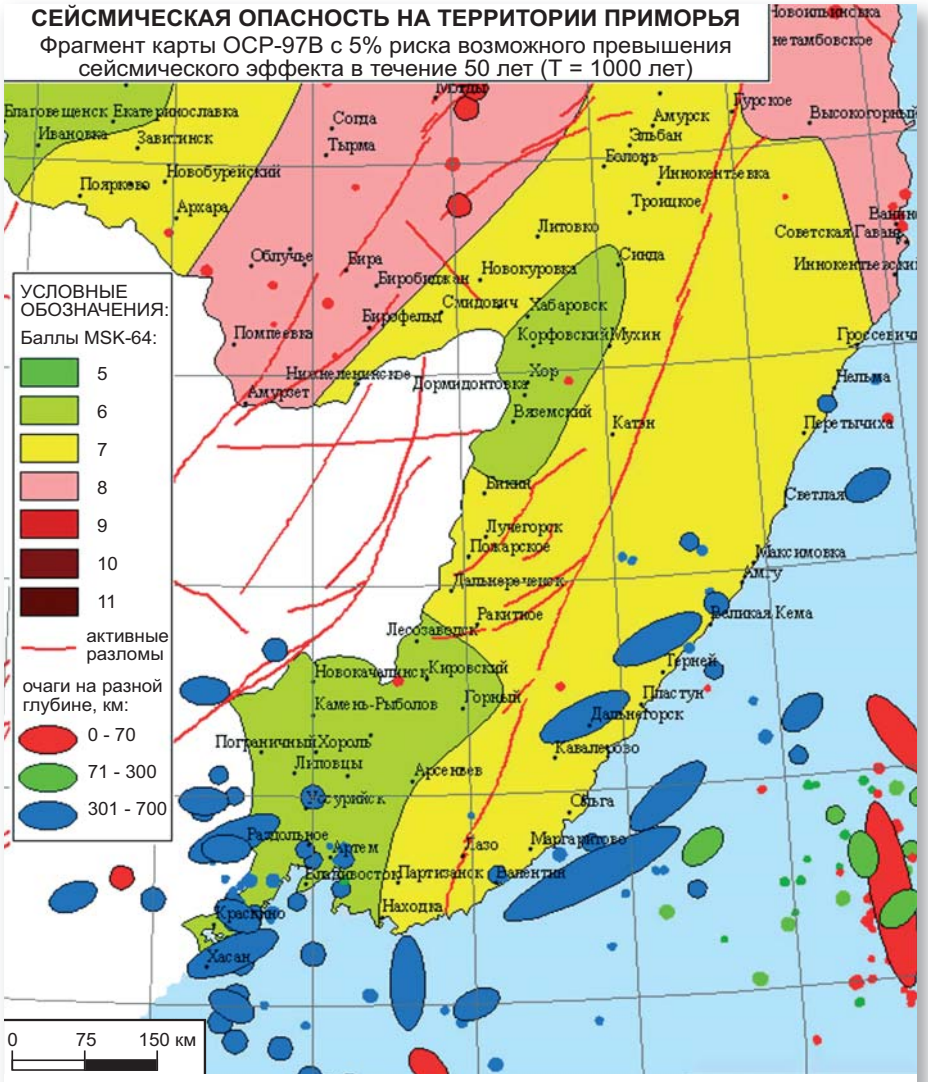

Рис. 4. Фрагмент карты ОСР-97В Приморского края и сопредельной территории

Об оценке сейсмической опасности территории Приморского края

Как уже было сказано, в отличие от предыдущих, «одиночных» по форме и детерминистских по содержанию, карт общего сейсмического районирования территории бывшего СССР, комплект ОСР-97 состоит из набора вероятностных карт, на которых выделены зоны разной ожидаемой максимальной сейсмической интенсивности в баллах макросейсмической шкалы MSK-64, отне-

сенной к средним по сейсмическим свойствам грунтовым условиям (грунты II категории, по СНиП II-7-81*). Согласно принятой концепции, в каждой из сейсмических зон, выделенных на каждой из карт комплекта ОСР-97, допускается превышение с той или иной вероятностью указанных на них значений сейсмической интенсивности. Так, карты ОСР-97 (A, B, C, D) характеризуют риски соответственно 10, 5, 1% и 0,5% возможного превышения в течение 50-летних интервалов времени величин сейсмической интенсивности, указанной в их зонах, что отражает повторяемость такого сейсмического эффекта в любом пункте зон в среднем один раз за 500, 1000, 5000 и 10 000 лет.

Здесь для правильного восприятия степени сейсмической опасности уместно еще раз подчеркнуть, что речь идет о столь, казалось бы, редкой повторяемости сейсмических воздействий, но не на всей площади соответствующей зоны, а в каждом ее пункте. В целом же в сейсмических зонах частота возникновения указанного на карте сейсмического эффекта многократно выше и зависит от размера этой площади. Образно говоря, за указанные сотни и тысячи лет каждая из соответствующих карт комплекта ОСР-97 полностью будет гипотетически закрашена в те или иные цвета произошедшими сотрясениями. Однако, когда и в каком месте случится тот или иной очередной сейсмический эффект, сказать пока невозможно. Поэтому можно говорить лишь о вероятности его возникновения. К сожалению, не все проектировщики (и даже некоторые сейсмологи) это понимают и пренебрежительно относятся к оценкам сейсмического риска.

Следует иметь в виду, что карты ОСР-97 также требуют актуализации. Как известно, все предыдущие карты общего сейсмического районирования территории страны обновлялись в среднем каждые 10 лет (карты 1937, 1949, 1957, 1968, 1978 гг.), по мере накопления новых данных о землетрясениях и совершенствования методов районирования. Кроме того, известно, что карты ОСР-97 не отражают реальный сейсмический эффект с требуемой для сейсмостойкого строительства точностью, поскольку указанные на них номиналы условно отнесены к средним грунтовым условиям (то есть как бы повсюду грунты с одинаковыми физико-механическими свойствами). Эта проблема решается выполнением работ по сейсмическому микрорайонированию (СМР). Вместе с тем без карт ОСР-97 не обойтись. Они базируются на анализе крупных сейсмогенерирующих структур земной коры и всей литосферы, охватывают единые в сейсмогеодинамическом отношении регионы, являются ориентиром для оценки сейсмической опасности на федеральном уровне и характеризуют так называемую исходную сейсмичность, необходимую для дальнейших расчетов.

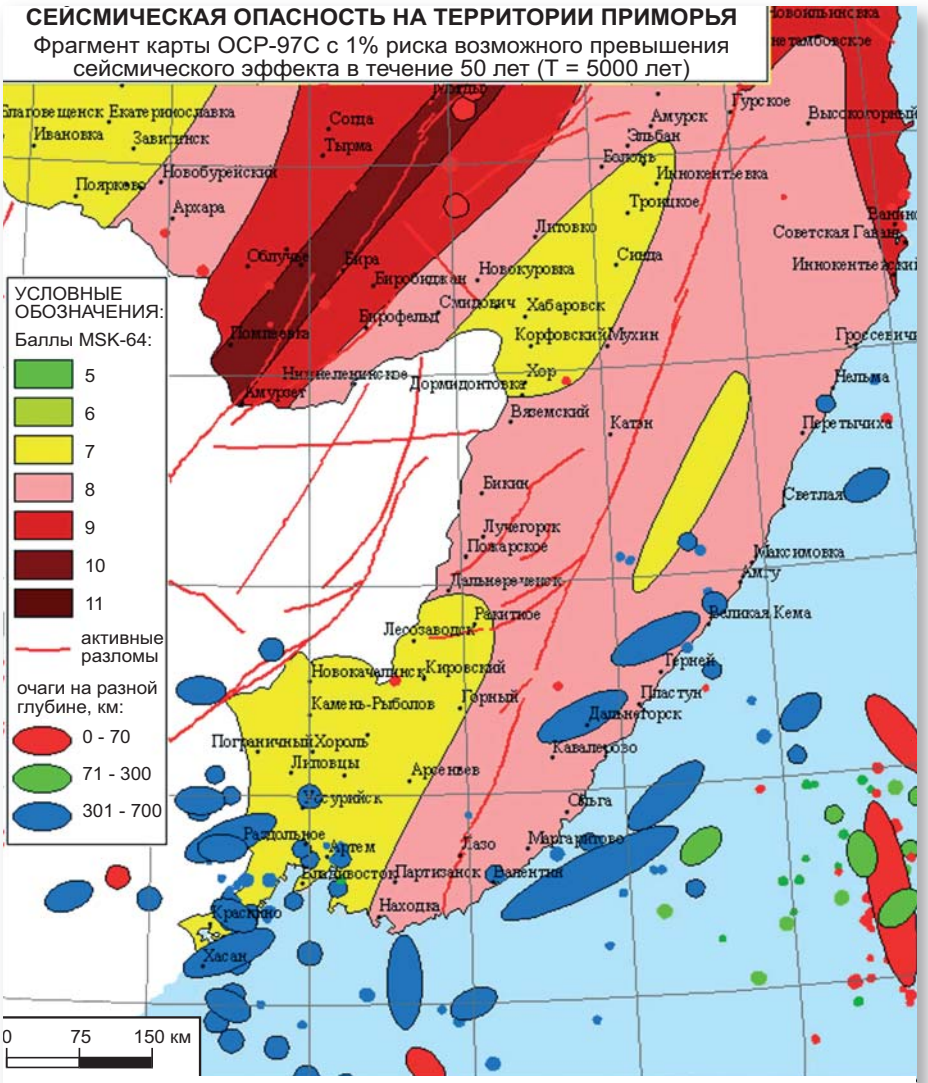

Рис. 5. Фрагмент карты ОСР-97С Приморского края и сопредельной территории

Более того, абсолютно во всех нормативных документах и научных публикациях по ОСР-97 всегда говорится о необходимости выполнения работ по детальному сейсмическому районированию, охватывающему геодинамически единые регионы, и муниципальному сейсмическому микрорайонированию, учитывающему местные грунтовые условия и их влияние на интенсивность сейсмических воздействий.

На рис. 3–6 приведены фрагменты всех карт ОСР-97 для Приморского края и сопредельной территории.

Согласно СНиП II-7-81*, карта ОСР-97А используется при массовом строительстве гражданских и промышленных зданий и сооружений, карты ОСР-97В и ОСР-97С — при строительстве объектов повышенной ответственности и особо ответственных объектов. Карта ОСР-97D, как уже отмечалось, предназначена для АЭС и других чрезвычайно опасных строительных объектов.

На рис. 3 приведен фрагмент карты ОСР-97А. Зоны различной максимальной сейсмической интенсивности в баллах шкалы MSK-64 показаны разным цветом в соответствии с принятой легендой. Эта карта характеризует 10%-ный риск возможного превышения указанной на ней сейсмической интенсивности в течение 50 лет. Как видно, значительную часть исследуемого района занимает 6-балльная зона. Зона с интенсивностью 7 баллов приурочена в основном к Центральному Сихотэ-Алиньскому разлому. Очаги землетрясений, расположенные на больших глубинах, не оказывают особого воздействия на территорию Приморья.

Западнее Приморского края расположена протяженная 8-балльная зона,

являющаяся северо-восточным продолжением крупной разломной системы Танлу, протягивающейся сюда с территории Китая.

На фрагментах карт ОСР-97, приведенных на следующих рисунках и соответствующих уменьшению сейсмического риска (5, 1% и 0,5% в течение 50 лет), каждая из сейсмических зон, иллюстрировавшихся картой ОСР-97А, не только повышает свои номиналы, но и изменяет конфигурацию своих границ, что до создания карт ОСР-97 никогда ранее не учитывалось.

Наблюдаемая трансформация карт происходит в связи с тем, что с увеличением периода ожидания того или иного сейсмического эффекта начинает более четко проявляться сейсмическая активность зон возникновения очагов землетрясений (сейсмолинеаментов и доменов, в терминологии ОСР-97), характеризующихся менее частой повторяемостью сейсмических событий.

Заключение

Актуальность разработки краевой целевой программы по обеспечению сейсмической безопасности инфраструктуры Приморского края очевидна. Как уже отмечено, прежняя карта сейсмического районирования образца 1978 г., действовавшая до 2000 г., то есть до внедрения в строительную практику новых карт ОСР-97, существенно занижала оценку степени сейсмической опасности территории Приморья, где практически все строительство осуществлялось без применения антисейсмических мероприятий.

Карты ОСР-97 и база исходных данных (каталог землетрясений и др.), положенная в основу их создания, особенно для Приморского края, также требуют актуализации. Необходимо выполнение работ по детальному сейсмическому районированию в более крупном по сравнению с исходным масштабе карт ОСР-97 (1:2 500 000) и микрорайонированию, учитывающему влияние местных грунтов на интенсивность сейсмических воздействий. Эти исследования должны сопровождаться созданием местной сети сейсмических станций, комплексом современных геофизических исследований. Вместе с тем все новые расчеты и построения непременно должны основываться на картах ОСР-97 и принятой при их создании методологии вероятностных оценок сейсмической опасности.

Общепризнано, что осуществлять составление карт сейсмического районирования целесообразно не в традиционных целочисленных значениях балльности, а в «полубаллах» и следует внедрить такой подход в нормативные документы. Это аргументировано целым рядом обстоятельств как в научном, так и в экономическом отношении. Во-первых, «полубалльное» представление результатов отвечает точности современных расчетов сейсмических воздействий и картирования сейсмической опасности, что уже давно подтверждается использованием в практике макросейсмики таких оценок сейсмического эффекта, как 6–7, 7–8 или 9–10 баллов и т.п. Во-вторых, «полубалльные» оценки сейсмического эффекта существенно уменьшают чрезмерно большую разницу в оценке величин сейсмических воздействий при шаге в один целый балл, особенно при больших значениях интенсивности, что будет способствовать снижению затрат на антисейсмические мероприятия. В-третьих, современные представления сейсмических воздействий в виде ускорений колебаний оснований сооружений уже давно беспрекословно принимаются сейсмологами и проектировщиками в числовых выражениях, не обязательно соответствующих целочисленным баллам. В-четвертых, сейсмическая интенсивность I (и в том числе по шкале MSK-64) обычно функционально связана с величиной ускорений, что широко используется на практике и положено в основу таблицы, в которую автором введены «полубалльные» медианные значения пиковых ускорений А, см/с/с.

Для объектов повышенной ответственности и особо ответственных сооружений, расположенных в зонах высокой сейсмичности, требуется выполнять еще более тонкие расчеты с использованием инструментальных записей ускорений колебаний оснований сооружений и привлечением к анализу синтезированных акселерограмм, в том числе учитывающих резонансные свойства грунтов и длительность сейсмических колебаний.

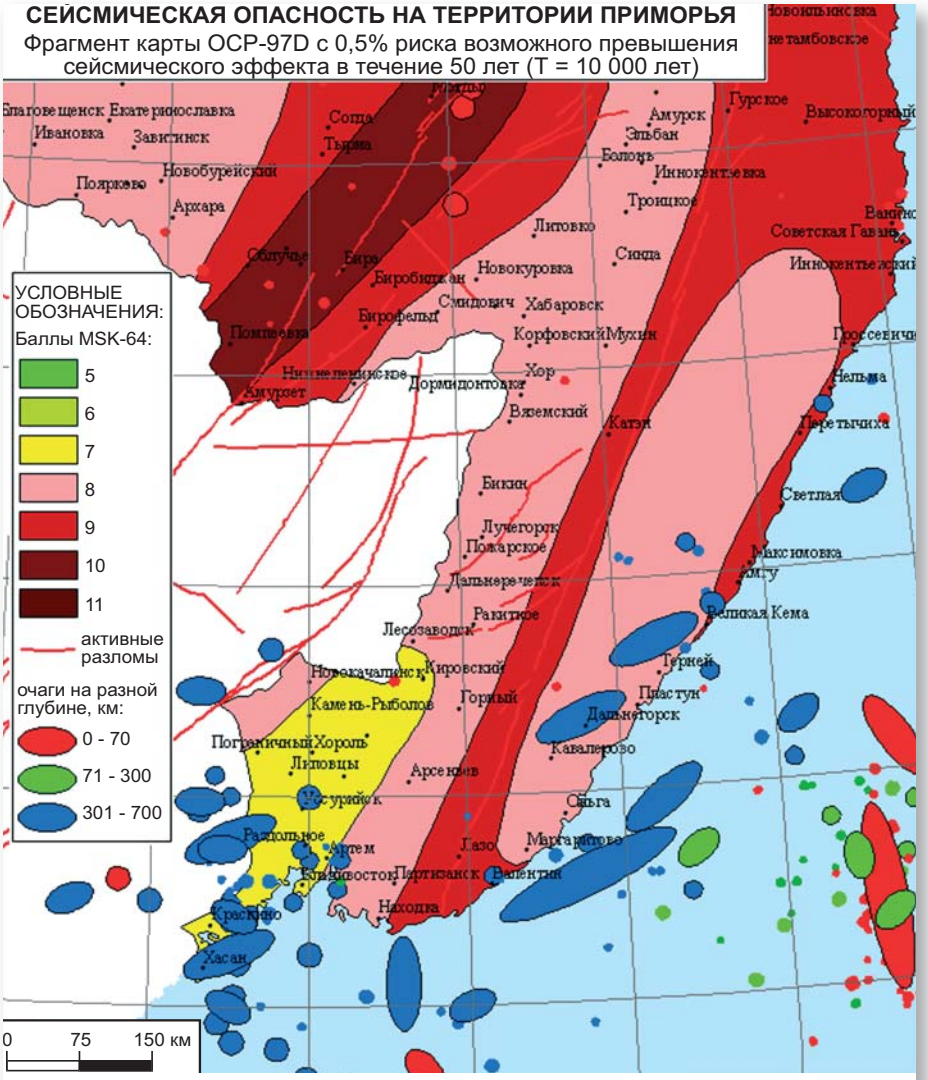

Рис. 6. Фрагмент карты ОСР-97D Приморского края и сопредельной территории