

УДК 550.343.4

## СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОБЩЕГО СЕЙСМИЧЕСКОГО РАЙОНИРОВАНИЯ ТЕРРИТОРИИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ (КАРТЫ ОСР-97, ОСР-2012, ОСР-2014)

В.И. УЛОМОВ<sup>1</sup>, С.А. ПЕРЕТОКИН<sup>2</sup>, Н.С. МЕДВЕДЕВА<sup>1</sup>,  
К.Н. АКАТОВА<sup>1</sup>, Т.И. ДАНИЛОВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва, Россия

<sup>2</sup>Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН, г. Красноярск, Россия

**Аннотация.** Изложены новые результаты работ по совершенствованию общего сейсмического районирования (ОСР) территории Российской Федерации. Исследования по актуализации действующих по настоящее время нормативных карт ОСР-97 стимулированы государственной программой, направленной на повышение устойчивости систем жизнеобеспечения в сейсмических районах страны. С другой стороны, обновление карт требовалось и в соответствии с традицией их регулярного пересмотра каждые 10 лет, начиная с первой карты 1937 г. В 1991–1997 гг. впервые вместо одной детерминистской карты был создан комплект вероятностных карт ОСР-97, предназначенных для проектирования и строительства объектов разных категорий ответственности и сроков службы. В 2010–2014 гг. созданы две версии карт — ОСР-2012 и ОСР-2014, различающиеся разным подходом к моделированию сейсмического режима источников землетрясений. При создании опытного комплекта карт ОСР-2012 применялось экспоненциальное осреднение графиков повторяемости землетрясений во всем интервале рассматриваемых магнитуд. При подготовке карт ОСР-2014, как и карт ОСР-97, использовалось дискретное представление режима в форме гистограмм отдельно по магнитудам. Цель настоящей статьи — выявить наиболее важные аспекты в сейсмологической параметризации, влияющие на оценки сейсмической опасности. Прежде всего, это относится к учету динамики региональных и глобальных сейсмических процессов, поскольку в основу вероятностного анализа сейсмической опасности положена парадигма долговременной стационарности сейсмического режима. Выполнен сравнительный анализ информативности карт ОСР-97, ОСР-2012 и ОСР-2014. Осуществлено сопоставление полученных оценок сейсмической опасности с данными о макросейсмическом эффекте сильных и сильнейших землетрясений, в том числе произошедших в инструментальный период и известных по историческим и геологическим данным. Сделан вывод о том, что комплект карт ОСР-2014 может быть предложен взамен нормативных карт ОСР-97.

**Ключевые слова:** сейсмический режим, модели сейсмичности, оценка сейсмической опасности, общее сейсмическое районирование, Российская Федерация, карты сейсмического районирования ОСР-97, ОСР-2012 и ОСР-2014, сравнение карт.

### ВВЕДЕНИЕ

Настоящая статья является продолжением работ по совершенствованию общего сейсмического районирования (ОСР) территории Российской Федерации [Уломов, Шумилина, 1999; Уломов, 2012а, 2013; Уломов, Богданов, 2013; и др.]. Цель исследований — выявить наиболее важные аспекты в сейсмологической параметризации модели источников землетрясений, влияющие на оценку сейсмической опасности. Прежде всего, это относится к учету динамики региональных и глобальных сейсмических

процессов, поскольку в основу вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО), впервые выполненного при составлении карт ОСР-97, положена парадигма долговременной стационарности сейсмического режима [Гусев, Шумилина, 1995; Уломов, Шумилина, 1999]. Вместе с тем, как будет показано ниже, в природных условиях нередко наблюдаются пространственно-временные флуктуации сейсмичности как в региональном, так и в глобальном масштабе.

Исследования по актуализации действующих по настоящее время нормативных карт ОСР-97 были стимулированы федеральной целевой программой «Повышение устойчивости жилых домов, основных объектов и систем жизнеобеспечения в сейсмических районах Российской Федерации на 2009–2013 годы», утвержденной Постановлением Правительства РФ № 365 и продленной затем по 2018 г. Эта федеральная программа способствовала более тесному сотрудничеству академических и отраслевых институтов и организаций в деле совершенствования нормативно-правовых документов, направленных на обеспечение сейсмической безопасности в стране. В соответствии с техническим заданием директивных органов в Производственном и научно-исследовательском институте по инженерным изысканиям в строительстве (ОАО «ПНИИИС») был создан рабочий коллектив с участием сотрудников Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН и других академических и отраслевых институтов и организаций, имеющих опыт работы по районированию сейсмической опасности.

На первом этапе исследований была предложена новая технология актуализации карт ОСР-97, осуществленная в виде расширенного комплекта карт ОСР-97\* в составе разработанной в ОАО ПНИИИС Единой информационной системы «Сейсmobезопасность России» [Уломов, 2012a]. Одновременно, по инициативе участников исследований, была начата работа по созданию макетов новых карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2012, а затем ОСР-2014 с включением территории Крыма, характеризующейся высокой сейсмичностью. При этом комплект карт ОСР-2012, подобно ОСР-97\*, создавался в расширенном составе — 6 основных и ряд вспомогательных карт, а комплект карт ОСР-2014 состоял из трех карт, аналогичных принятым в ОСР-97 и вошедшим в СНиП II-7-81\* и в новый Свод правил СП 14.13330.2011.

После опубликования в 2013 г. макетов карт ОСР-2012 [Уломов, 2013; Уломов, Богданов, 2013] и широкого их обсуждения научной общественностью эти исследования были продолжены и завершились созданием макетов карт ОСР-2014, основанных на модифицированном программно-математическом обеспечении и обновленной базе исходных данных ОСР-2012 с добавлением территории Крыма.

Главным различием карт ОСР-2012 и ОСР-2014 является использование при их расчетах и построениях двух разных подходов к сейсмологической параметризации одной и той же исходной модели источников землетрясений. При ОСР-2012

моделирование сейсмичности осуществлялось наиболее распространенным методом построения экспоненциальных (логарифмически линейных) графиков повторяемости землетрясений для всего рассматриваемого интервала их магнитуд. В ОСР-2014 применялась комбинированная, экспоненциально-гистограммная (нелинейная) модель сейсмического режима, подобная модели, разработанной при создании нормативных карт ОСР-97.

В настоящей статье обсуждаются результаты построения макетов карт ОСР-2012 и ОСР-2014 общего сейсмического районирования территории Российской Федерации, созданных на основе применения разных подходов к моделированию сейсмического режима в одних и тех же регионах. Выполнен сравнительный анализ информативности карт ОСР-97, ОСР-2012 и ОСР-2014. Осуществлено сопоставление полученных оценок сейсмической опасности с данными о макросейсмическом эффекте сильных и сильнейших землетрясений, в том числе произошедших в инструментальный период и известных по историческим и геологическим данным. Сделан вывод о том, что комплект карт ОСР-2014 может быть предложен взамен нормативных карт ОСР-97.

#### О МОДЕЛИРОВАНИИ ИСТОЧНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

Методология ОСР-97 в настоящей статье описываться не будет, так как она широко известна (см. объяснительную записку к ОСР-97 [Уломов, Шумилина, 1999; Уломов, 2009] и публикации в мировой научной печати [Balassanian, Giardini, Ulomov et al., 1999; Giardini, 1999; Ulomov et al., 1999; Ulomov, 2002; и др.]). Достаточно полно описаны и впервые применены при создании карт ОСР-97 линеаментно-доменно-фокальная (ЛДФ) модель зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ) и концепция сейсмологической параметризации ее основных структурных элементов — сейсмолинеаментов (СЛ), сейсmodoменов (СД) и потенциальных очагов землетрясений (ПОЗ).

На рис. 1, ранее опубликованном в [Уломов, Шумилина, 1999], схематично представлена феноменологическая ЛДФ-модель зон ВОЗ. Возле каждого из структурных элементов ЛДФ-модели показаны условные графики повторяемости землетрясений в виде среднегодовых потоков  $V$  сейсмических событий во всем регионе ( $V_R$ ), характеризующимся долговременным средним сейсмическим режимом (повторяемостью землетрясений), и в составляющих его структурных элементах — линеаментах ( $V_l$ ), доменах ( $V_d$ ) и потенциальных очагах землетрясений ( $V_f$ ). Показаны

также интервалы магнитуд  $M$ , свойственные каждому типу основных структур ЛДФ-модели. (Здесь и далее магнитуда  $M$  соответствует магнитудам  $M_{II}$  и  $M_S$ , определяемым по поверхностным сейсмическим волнам, а в расчетах сейсмического эффекта используется также и моментная магнитуда  $M_w$ .)

Как видно на рис. 1 и нередко наблюдается в природе, крупные землетрясения с магнитудами  $M_S > 6.0$ , относящиеся к линейным структурам, происходят гораздо чаще, чем это следовало бы из классического закона Гутенберга–Рихтера. Как показали исследования [Уломов, 1974], реалистичность этого явления и связанная с ним нелинейная конфигурация графиков повторяемости землетрясений обусловлены разными стадиями и степенью дробления геологической среды, подверженной геодинамическим воздействиям. Такая среда приобретает фрактальное разломно-блоковое строение не сразу, а лишь по мере своего разрушения. Тектонически молодая геологическая среда, подобно процессам формирования очаговой области отдельных землетрясений [Уломов, Уломова, 1971], характеризуется более частым возникновением крупных сейсмических событий. И только в процессе ее разрушения графики, характеризующие повторяемость землетрясений, приобретают прямолинейную форму, а на конечной стадии превращаются в классический «гутенберговский» график с загибом вниз его правой части [Уломов, 1974].

К подобным представлениям о нелинейности графиков повторяемости землетрясений позже пришли и другие исследователи [Schwartz, Coppe-smith, 1984; Wu et al., 1995; Гусев, Шумилина, 1995; Grandori et al., 2008]. Графики в форме комбинирования экспоненциального и гистограммного типов описания сейсмического режима получили название «гибридных», а крупные землетрясения на слабоактивных территориях — «характеристических». Примером таких сейсмических событий, возникающих на самых ранних стадиях разрушения консолидированной геологической среды, являются три крупнейшие Нью-Мадридские землетрясения с магнитудами  $\sim 8$ , произошедшие в течение двух месяцев 1811–1812 гг. в центральной части США, а также три 9–10-балльных Газлийских землетрясения с магнитудами 7.0, 7.3 и 7.2, возникшие в 1976 и 1984 гг. в 5-балльной зоне Бухарской обл. Узбекистана, в центре молодой Туранской плиты [Уломов, 1972, 1974, 1986]. Можно привести подобные примеры и для других слабоактивных платформенных регионов. Можно также предположить, что абсолютно не исключены аналогичные крупные сейсмические события и на Скифской плите, расположенной на юге Европейской части России и являющейся продолжением Туранской плиты [Уломов и др., 2007а].

## ФЛУКТУАЦИИ СЕЙСМИЧЕСКОГО РЕЖИМА И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ОЦЕНКУ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

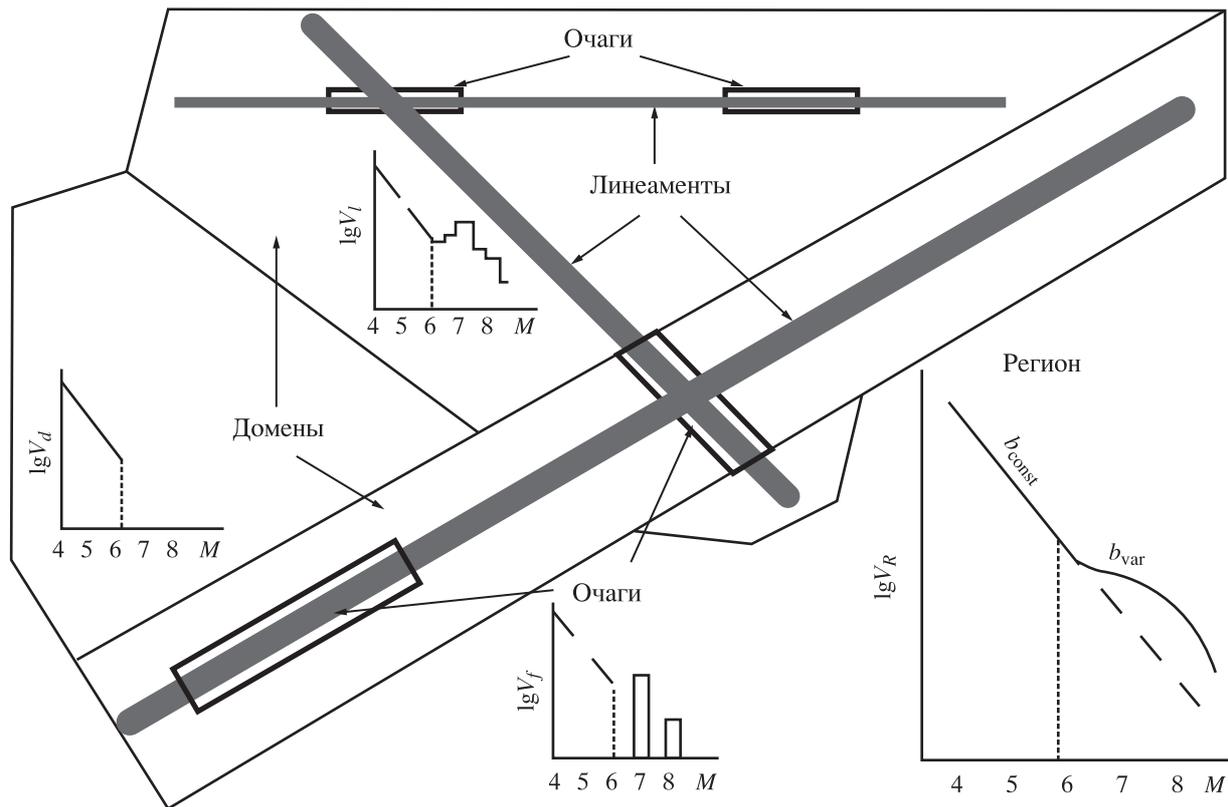
О глобальных изменениях сейсмического режима

На рис. 2 в качестве примера изменений во времени сейсмического режима Земли приведены результаты сейсмологических наблюдений, опубликованные в [Уломов, 2007а, 2010]. Изучалась последовательность возникновения за 40-летний период (1965–2005 гг.) крупных землетрясений, дифференцированных по интервалам магнитуд  $M_S = 7.0 \pm 0.2$ ,  $7.5 \pm 0.2$ ,  $8.0 \pm 0.2$  и  $8.5 \pm 0.2$ , без пропусков перекрывающим энергетический диапазон от  $M_S = 6.8$  до  $M_S = 8.8$ . Общее число событий превысило 600.

Кумулятивные графики на рис. 2 характеризуют скорость накопления во времени сейсмических событий в рассматриваемых интервалах магнитуд. Отрезки прямых линий аппроксимируют точечные данные о землетрясениях. Угол наклона аппроксимирующих прямых характеризует скорость накопления сейсмических событий соответствующих магнитуд. Чем выше прямая, тем выше скорость, т.е. тем чаще возникают сейсмические события. Увеличение крутизны прямой отражает уменьшение частоты возникновения землетрясений. Если бы землетрясения возникали ритмично, т.е. с одинаковой частотой в каждой из последовательностей, то абсолютно все моменты времени их возникновения, в том числе и в течение всего рассматриваемого 40-летнего периода, располагались бы строго на прямых линиях. В реальности же отклонения в сейсмическом режиме обусловлены нелинейным развитием глобальных геодинамических процессов, влияющим на напряженно-деформированное состояние геологической среды.

Анализ конфигурации кумулятивных графиков позволяет изучать особенности развития глобальных сейсмогеодинамических процессов во времени. Прежде всего, это относится к существенному замедлению возникновения абсолютно всех мелкофокусных землетрясений с  $h < 70$  км в течение примерно 11-летнего промежутка времени — от середины 1982 г. до середины 1993 г., ограниченного на рис. 2 горизонтальным пунктиром.

Как показывают расчеты, в интервале 1982.5–1993.5 гг. землетрясения с  $M = 7.0 \pm 0.2$  и  $M = 7.5 \pm 0.2$  возникали в 3–4 раза, а с  $M = 8.0 \pm 0.2$  — в 10 и более раз реже по сравнению с предыдущими и последующими 11-летними интервалами [Уломов, 2007а]. Крупные сейсмические события ( $M = 8.5 \pm 0.2$  и более), вообще отсутствовавшие с 2001 по 2005 г., стали происходить



**Рис. 1.** Концепция линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели зон возникновения очагов землетрясений (по [Уломов, Шумилина, 1999])

Основные структурные элементы ЛДФ-модели:  $R$  — регион,  $l$  — линеаменты,  $d$  — домены,  $f$  — потенциальные очаги и свойственные им графики повторяемости землетрясений (среднегодовая плотность  $V$  потоков сейсмических событий) разных магнитуд  $M$

затем практически ежегодно. В числе этих событий катастрофические землетрясения у берегов Суматры 26.12.2004 г. с  $M = 8.8$  и 28.03.2005 г. с  $M = 8.5$ . До этого таким же значительным было землетрясение с  $M = 8.5$  на Аляске в 1964 г., после которого фактически и начался рассматриваемый нами 40-летний интервал времени. Последовательность продолжилась двумя землетрясениями с  $M = 8.3$  (15.11.2006 г.) и с  $M = 8.2$  (13.01.2007 г.) в центральной части Курильской дуги и возникновением здесь же 24.05.2013 г. «экзотического» Охотоморского землетрясения с  $M = 8.3$ , случившегося на очень большой (около 600 км) глубине и ощущавшегося практически на всей территории России, в том числе и в Москве [Рогожин и др., 2013; Жигалин и др., 2014; Татевосян и др., 2014].

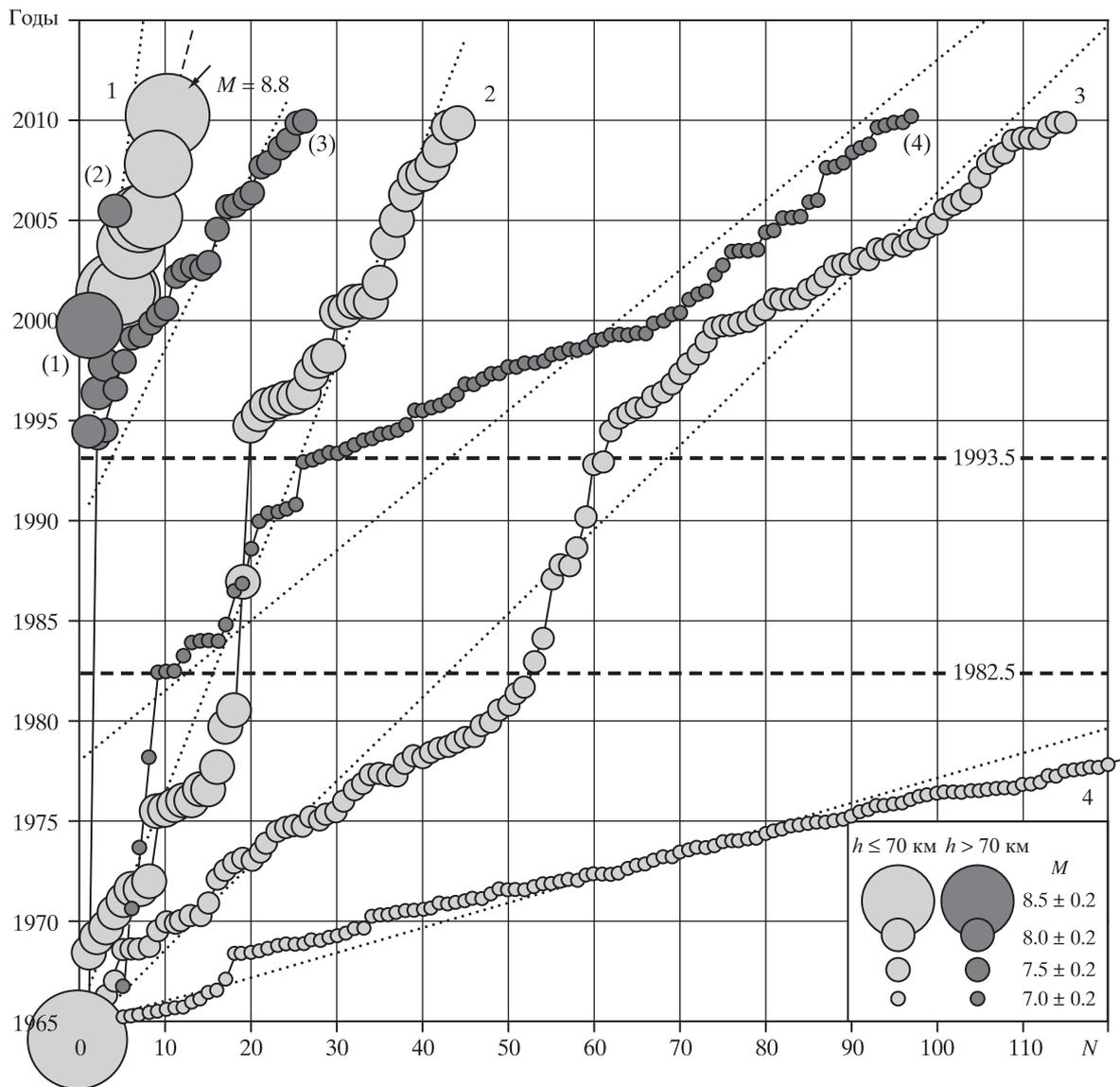
Интересно, что всем этим сейсмическим процессам предшествовало самое крупное из известных на земном шаре Чилийское землетрясение с  $M_w = 9.5$ , произошедшее 21.05.1960 г. [Уломов, 2010]. Другим не менее важным обстоятельством явилось то, что глубокофокусная активность крупных землетрясений возникла практически

сразу же после всеобщего сейсмического затишья в 1982.5–1993.5 гг.

Природа наблюдаемого явления планетарных изменений сейсмического режима может быть объяснена с позиций глобальной геодинамики литосферных плит [Уломов, 2010]. Процессы накопления и разрядки геодинамических напряжений сменяют друг друга и находят свое отражение не только в глобальном, но и в региональном масштабе. Все изменения сейсмического режима непременно должны учитываться при сейсмологической параметризации источников землетрясений и в исследованиях по оценке сейсмической опасности.

#### Сейсмологическая параметризация источников землетрясений

Ниже на примере юга Сибири выполнен анализ сейсмического режима и его влияния на оценку сейсмической опасности в этом регионе, характеризующемся высокой и хорошо изученной сейсмичностью.



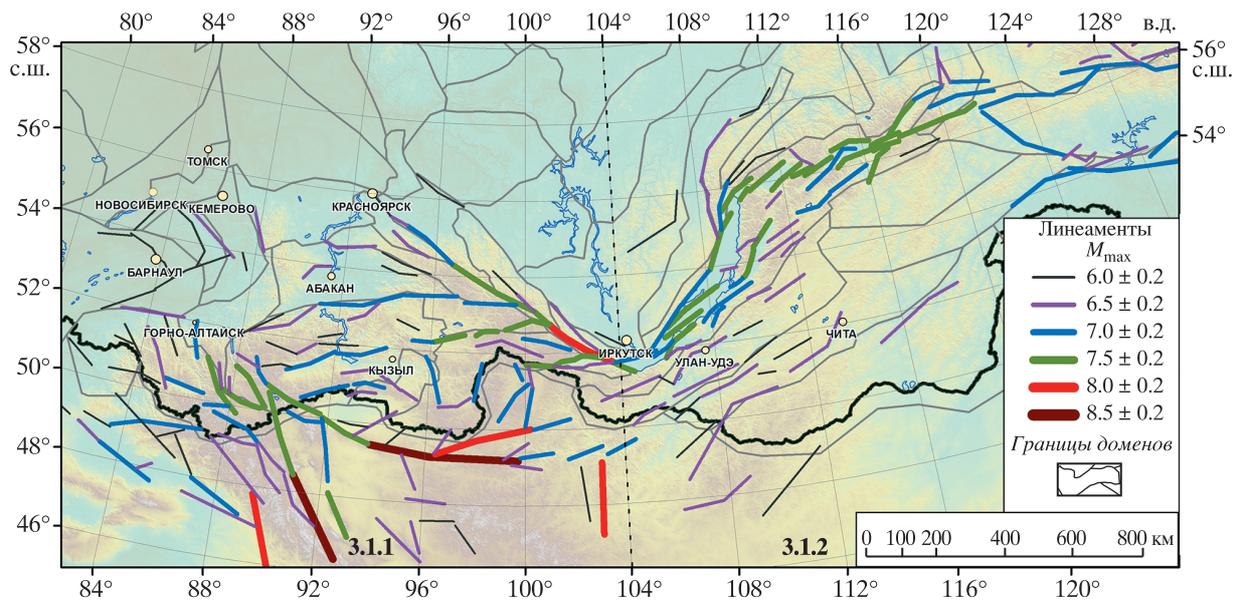
**Рис. 2.** Планетарные изменения сейсмического режима крупных землетрясений с  $M_S \geq 7.0$  во всем интервале глубин Земли  
 $N$  — порядковые номера землетрясений в общей последовательности;  $h$  — глубина гипоцентра, км.  
 Остальные пояснения см. в тексте

На рис. 3 приведен фрагмент ЛДФ-модели зон ВОЗ для Алтае-Саянского (3.1.1) и Байкальского (3.1.2) регионов, принятой за основу при расчетах и построениях карт ОСР-2012 и ОСР-2014. Сейсотектоническая модель линеamentной составляющей зон ВОЗ для всей страны, разработанная под руководством профессора В.Г. Трифонова, и ее геодинамическая доменная основа, созданная под руководством профессора Г.С. Гусева, приведены в постановочной статье [Уломов, 2012а] и в ряде публикаций В.Г. Трифонова и Г.С. Гусева. Картирование сейсмолинеamentов с учетом затухания сейсмического эффекта от них с расстоянием осуществлено также для 300-кило-

метровой «буферной» зоны за пределами государственной границы России. Домены, имея пониженный сейсмический потенциал ( $M_S \leq 5.7$ ) и локальное проявление сейсмического эффекта, покрывают сплошь всю рассматриваемую территорию юга Сибири и страны в целом.

На рис. 4, 5, а также в табл. 1 представлены результаты расчетов и построений графиков повторяемости землетрясений для регионов 3.1.1 и 3.1.2.

Как отмечалось выше, в основу вероятностного анализа сейсмической опасности (ВАСО) положен постулат продолжительной стационарности во времени сейсмического режима. То есть



**Рис. 3.** Модель зон возникновения очагов землетрясений на юге Сибири  
Пунктиром показана условная граница между Алтае-Саянским (3.1.1) и Байкальским (3.1.2) регионами

в идеальном случае графики накопления (последовательности) сейсмических событий фиксированного интервала магнитуд (см. выше) должны представлять собой прямые линии. Любые изломы или искривления таких линий свидетельствуют либо о природных изменениях сейсмического режима, либо о неоднородной представительности используемого каталога землетрясений. Так, в большинстве каталогов для землетрясений малых магнитуд на территории России наблюдается искривление графиков накопления в 1990-е годы (в некоторых регионах ситуация не изменилась и по сей день). Не исключено, что во многих случаях это связано с известными социально-экономическими изменениями в стране в этот период, обусловившими сокращение региональных сетей сейсмических станций и снижение представительного уровня регистрации слабых землетрясений. Для умеренных же и сильных землетрясений, фиксация которых осуществляется в меньшей зависимости от инструментального мониторинга, такие факты практически исключены или предельно сведены к минимуму. Прежде всего, это относится к сильным и катастрофическим историческим землетрясениям, когда инструментальных наблюдений вообще не существовало (обычно рассматривается период до 1900 г.).

Основываясь на этих соображениях, на графиках накопления (см. рис. 4, 5) нами выбирались максимальные по продолжительности интервалы времени, в течение которых графики имели преимущественно прямолинейный вид и обеспе-

чивали максимальную скорость накопления сведений о сейсмических событиях, т.е. наблюдался минимальный период повторяемости землетрясений, обуславливающий более высокие оценки сейсмической опасности. Простейшее же осреднение всей совокупности графиков, независимо от изменения их конфигурации, непременно приводит к занижению оценок сейсмической опасности.

Результаты расчетов по выделенным на рис. 4 и 5 участкам графиков накопления сейсмических событий представлены на рис. 6 в виде дискретных наблюдаемых значений, непосредственно положенных в основу параметризации модели источников землетрясений при построении карт ОСР-2014. Эти же точечные величины, осредненные методом максимального правдоподобия (ММП), показаны в форме экспонент, от которых на интервале магнитуд, свойственных сейсмолинеаментам, отклоняются вверх все точечные значения, указывая на более высокую частоту возникновения таких сейсмических событий. Для доменных структур, как видно на рис. 6, все точечные значения совпадают с экспонентами. В методологии ОСР-97, примененной также и при ОСР-2014, все отклонения от экспоненты признаются значимыми и, как было показано на рис. 1, рассматриваются в форме гистограмм для линейных структур и в форме экспонент — для доменной составляющей ЛДФ-модели зон ВОЗ, образуя «гибридную» модель сейсмического режима.

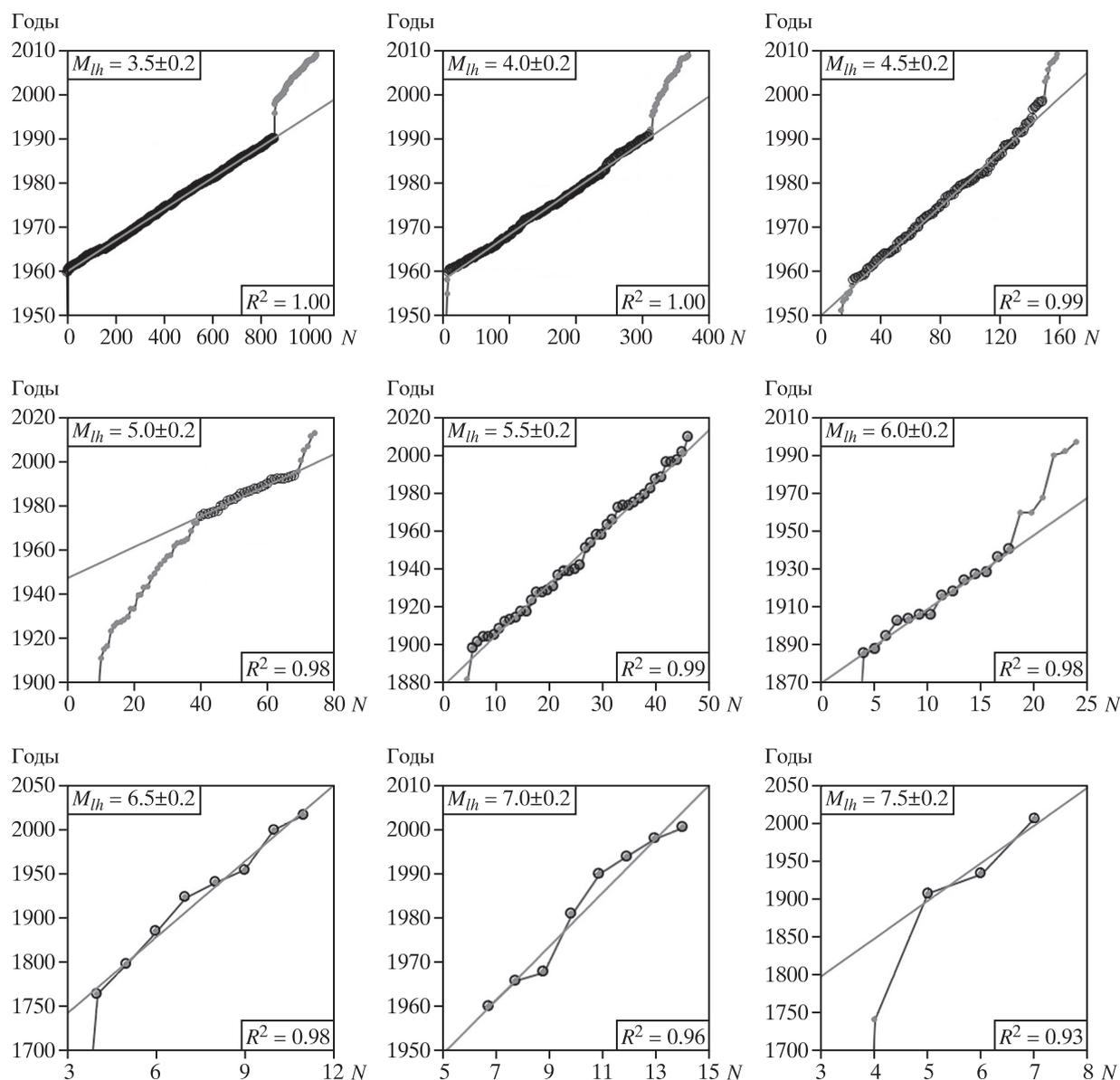
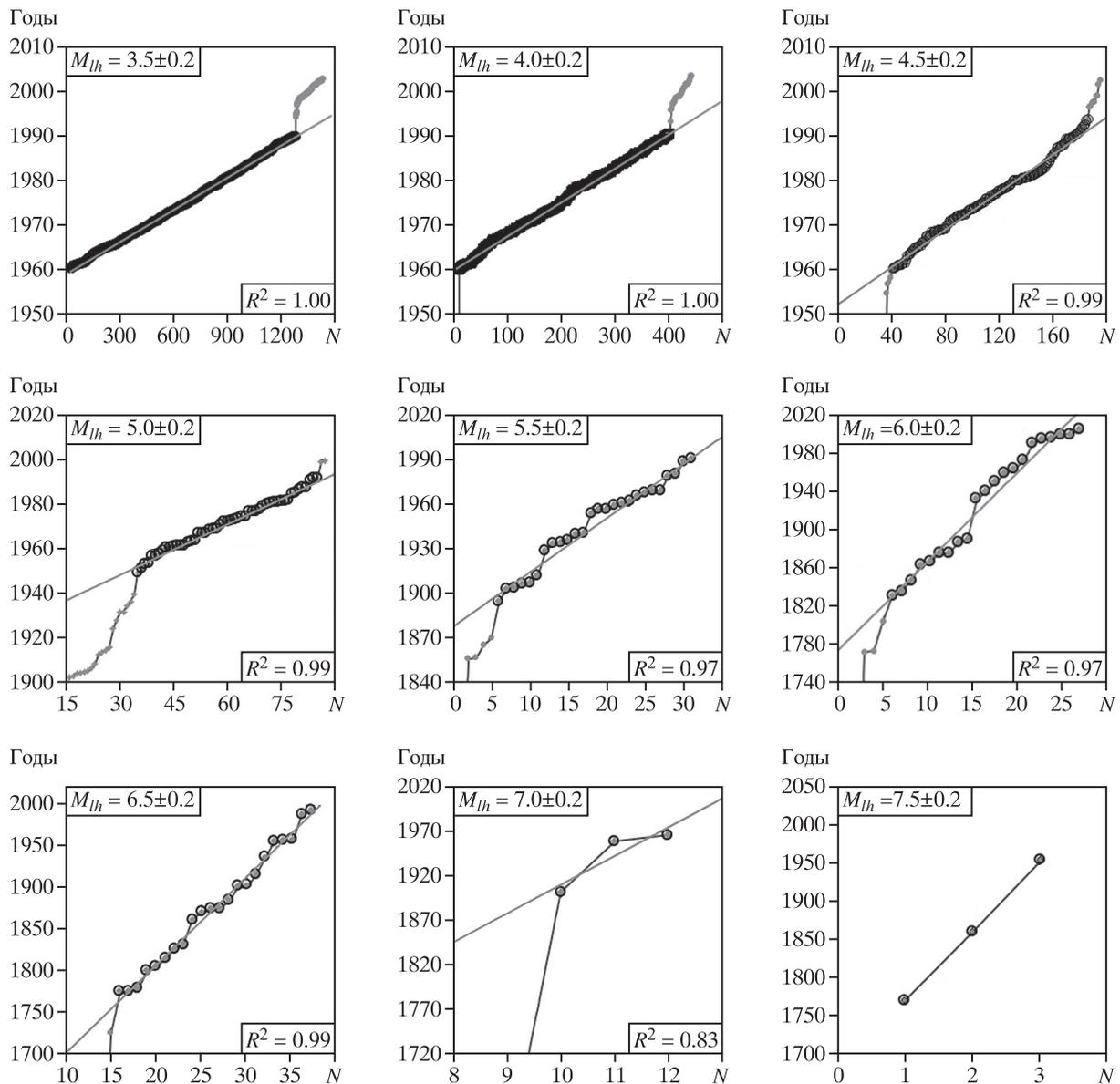


Рис. 4. Сейсмический режим региона 3.1.1 юга Сибири.  
Графики накопления сейсмических событий разных магнитуд

Таблица 1. Периоды  $T$  (лет) повторяемости землетрясений разных магнитуд  $M_S$  в регионах 3.1.1 и 3.1.2 юга Сибири

Регион	$M_S$								
	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5
Регион 3.1.1	0.035	0.099	0.325	0.774	2.700	5.789	21.800	29.000	49.000
Регион 3.1.2	0.023	0.075	0.228	0.857	3.167	9.389	10.950	32.000	94.000



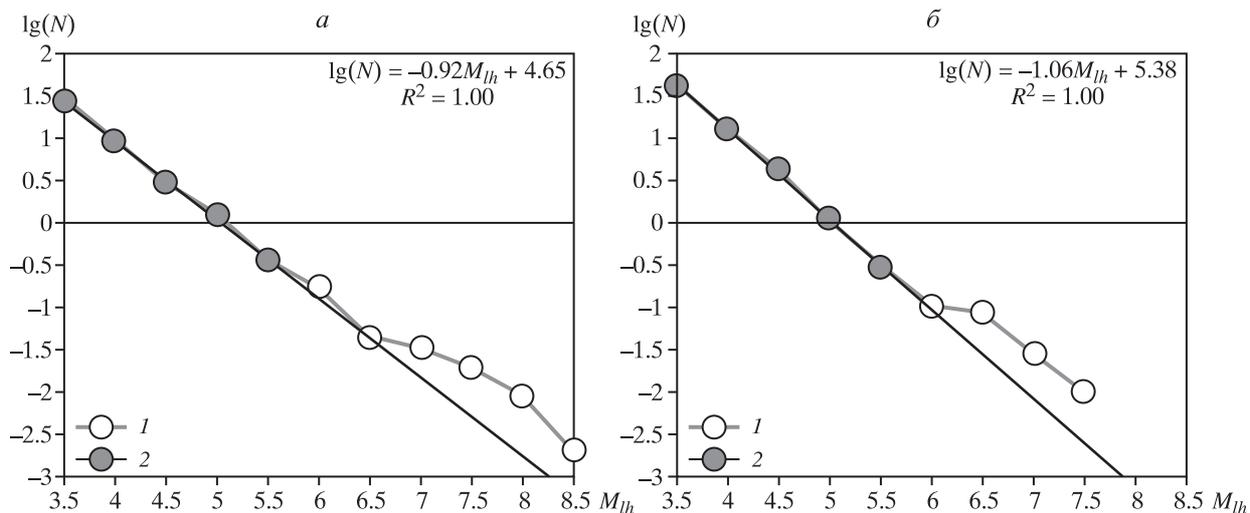
**Рис. 5.** Сейсмический режим региона 3.1.2 юга Сибири. Графики накопления сейсмических событий разных магнитуд

Как отмечалось выше, для построения карт ОСР-2012 использовались прямолинейные (экспоненциальные) графики повторяемости землетрясений, построенные методом ММП по тому же каталогу, содержащему сведения обо всех известных сейсмических событиях с древнейших времен по настоящее время, включая инструментальные, исторические, палеосейсмические и другие геолого-геофизические данные.

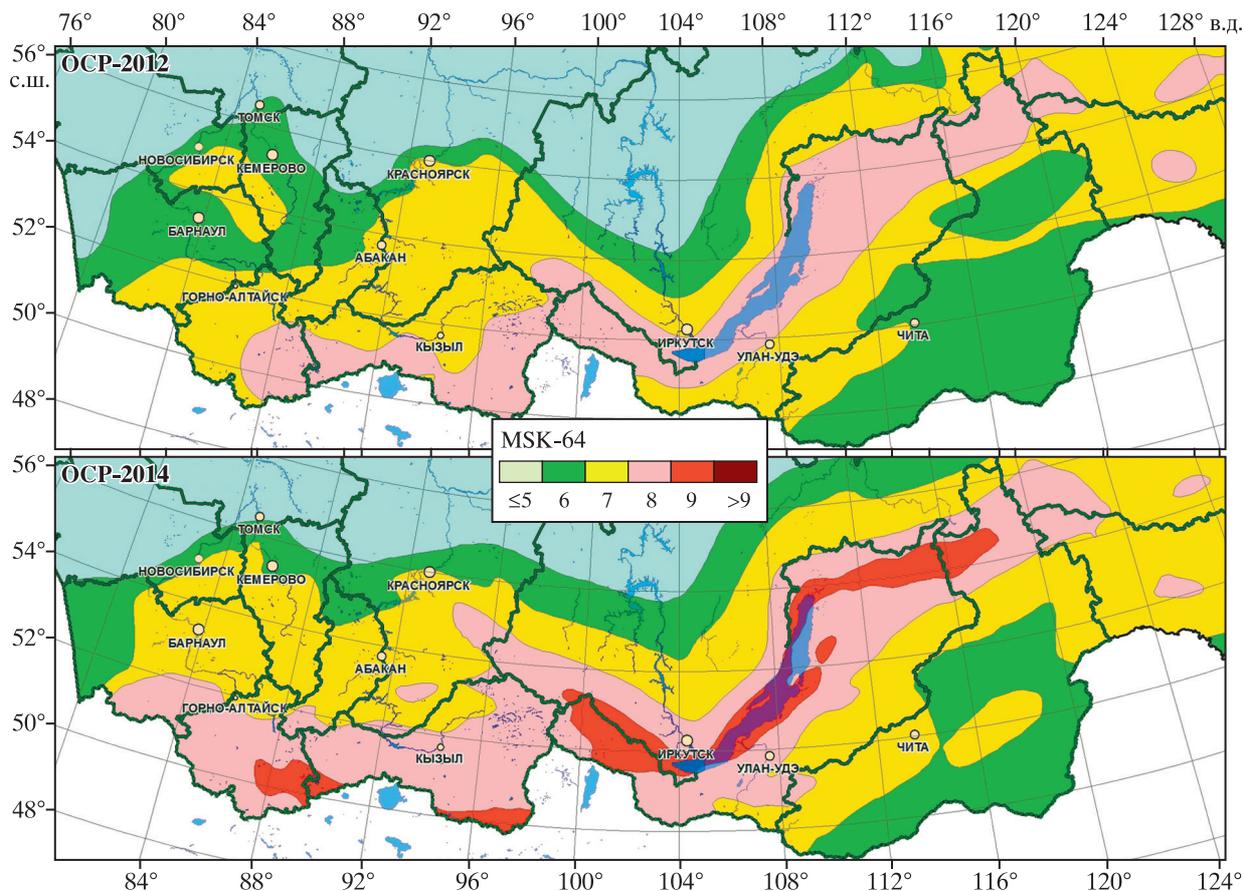
Аналогичные расчеты и построения выполнены для всех регионов территории страны. Далее будет показано, что использование прямолинейных графиков приводит к некоторому занижению оценок сейсмической опасности в зонах преобладания линейно-амонтированных структур.

### СОПОСТАВЛЕНИЕ МАКЕТОВ КАРТ ОСР-2012 И ОСР-2014

На рис. 7–9 на примере двух регионов юга Сибири выполнено сопоставление результатов ОСР-2012 и ОСР-2014, выполненных для одних и тех же периодов повторяемости сейсмических воздействий (500, 1000 и 5000 лет), но разными (линейным и нелинейным) методами сейсмологической параметризации одной и той же ЛДФ-модели зон ВОЗ (см. рис. 3). На всех картах сейсмический эффект представлен в баллах шкалы MSK-64 и отнесен к средним грунтовым условиям (грунты 2-й категории по СНиП II-7-81\*).



**Рис. 6.** Графики повторяемости землетрясений в регионах 3.1.1 (а) и 3.1.2 (б) юга Сибири, построенные по одному каталогу землетрясений, но представленные разными способами — в виде экспонент (прямые линии) и отдельно по магнитудам (точечные данные)  
1, 2 — значения магнитуд  $M_{lh}$ , относящихся к линияментам (1) и к доменам (2)



**Рис. 7.** Сопоставление фрагментов карт ОСП-2012 и ОСП-2014 юга Сибири для периода повторяемости  $T = 500$  лет

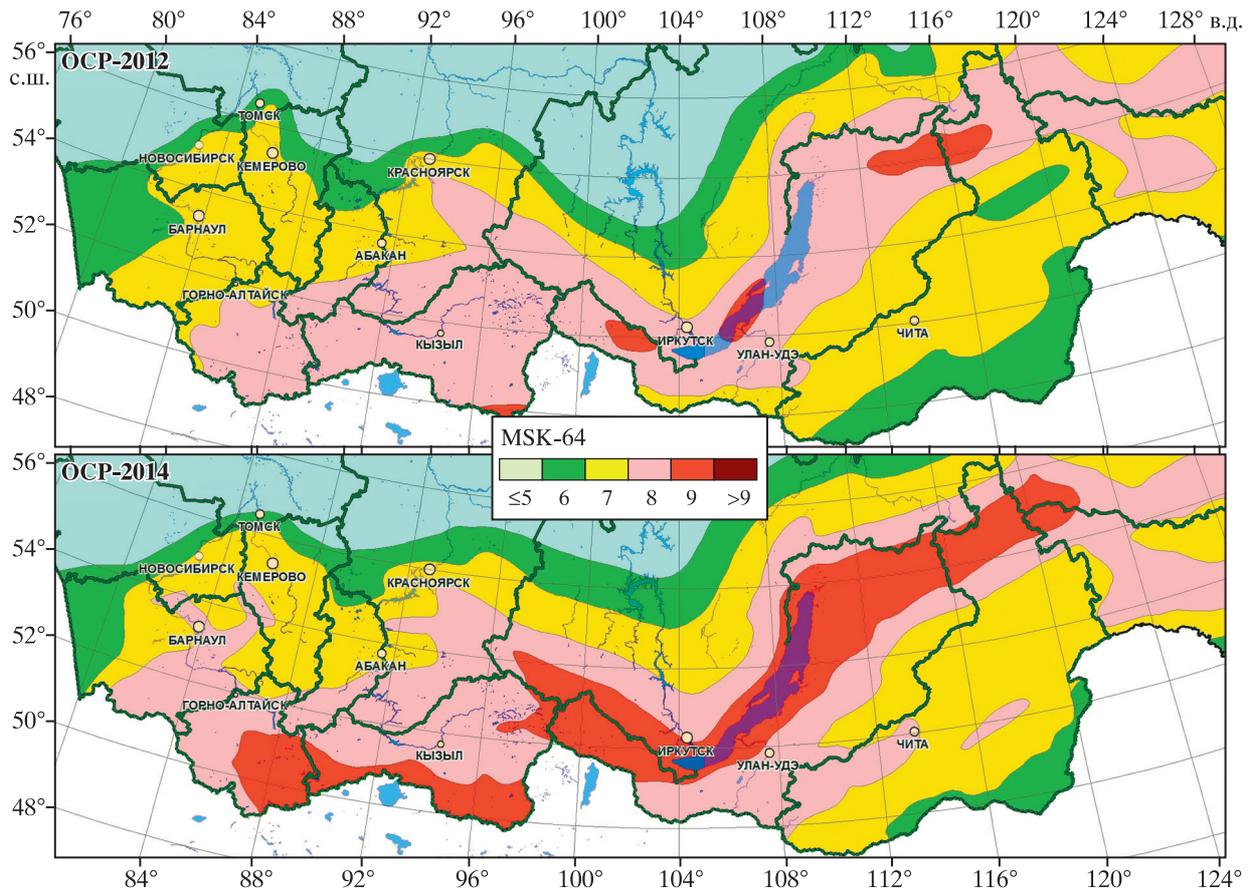


Рис. 8. Сопоставление фрагментов карт ОСР-2012 и ОСР-2014 юга Сибири для периода повторяемости  $T = 1000$  лет

С целью контроля реалистичности карт ОСР-2014 на рис. 10 выполнено сопоставление полученных оценок сейсмической опасности с данными о макросейсмическом эффекте сильных землетрясений, известных как по инструментальным, так и по историческим и геологическим данным. Эти сведения заимствованы из каталога [Новый..., 1977] и представлены на рис. 10 местоположением и максимальными из приведенных в этом каталоге оценками интенсивности сильных землетрясений.

Из приведенных на рис. 10 данных видно, что никаких особых расхождений между наблюдаемыми и расчетными оценками сейсмического эффекта не отмечено даже для карт с  $T = 500$  лет, характеризующихся относительно высокой вероятностью (10%) возможного превышения указанной на них балльности в течение 50-летних интервалов времени. На двух других картах ( $T = 1000$  и  $T = 5000$  лет), учитывающих более редкие сейсмические события, противоречия также практически отсутствуют.

Важно заметить, что максимальный макросейсмический эффект, оцененный в [Новый..., 1977], и интенсивность расчетных сейсмических воздей-

ствий, прогнозируемых в ОСР-2014, выполнены в разное время и разными методами. В каталоге [Новый..., 1977] использовалась широко известная формула Н.В. Шебалина, а в ОСР-2014 применялась нелинейная зависимость сейсмического эффекта от магнитуды землетрясения и гипоцентрального расстояния, разработанная А.А. Гусевым для ОСР-97 и учитывающая явление насыщения эффекта в эпицентральной области [Гусев, Шумилина, 1999].

На рис. 11–13 приведены макеты карт ОСР-2014 в относительно мелком масштабе. Оригиналы этих карт, широко распространенные в 2014 г. для обсуждения научной общественностью, выполнены в масштабе 1 : 8 000 000, подобно картам ОСР-97.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоговые карты ОСР-2014 созданы по той же методологии, что и карты ОСР-97, но с учетом уточненных и дополненных исходных данных о сейсмичности и сейсмотектонике всей территории Российской Федерации, включая Крым. Другое отличие новых карт — в их более де-

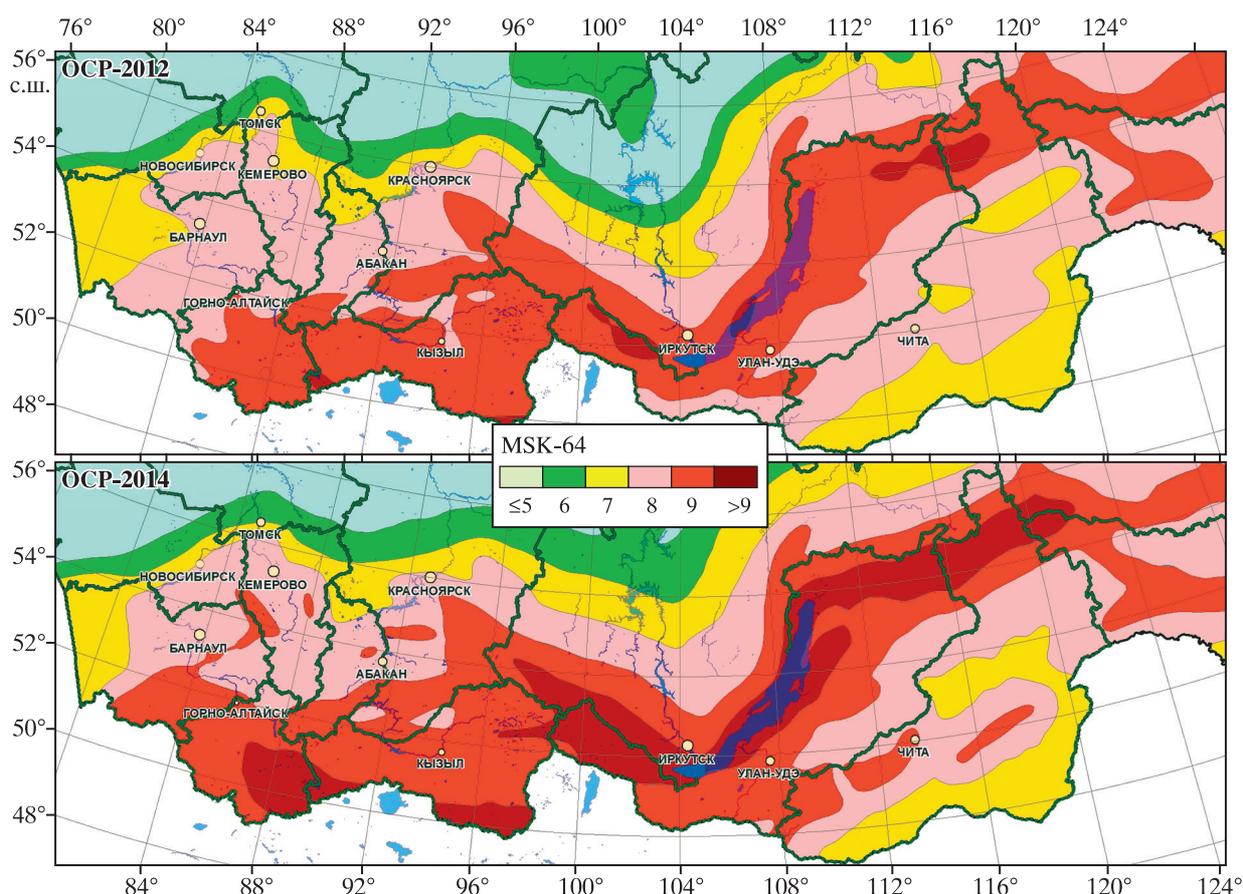


Рис. 9. Сопоставление фрагментов карт ОСР-2012 и ОСР-2014 юга Сибири для периода повторяемости  $T = 5000$  лет

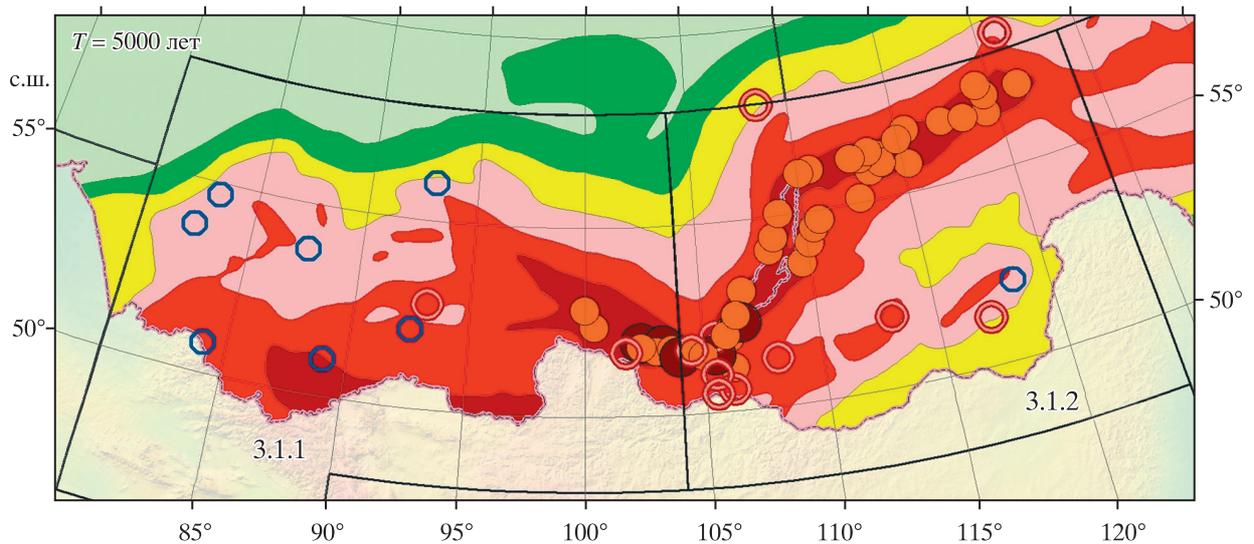
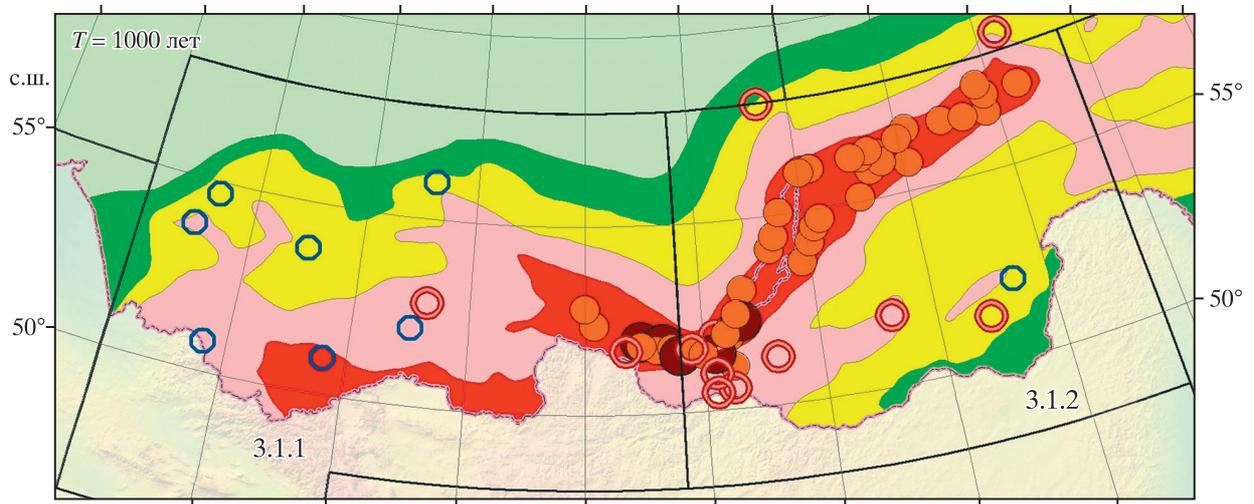
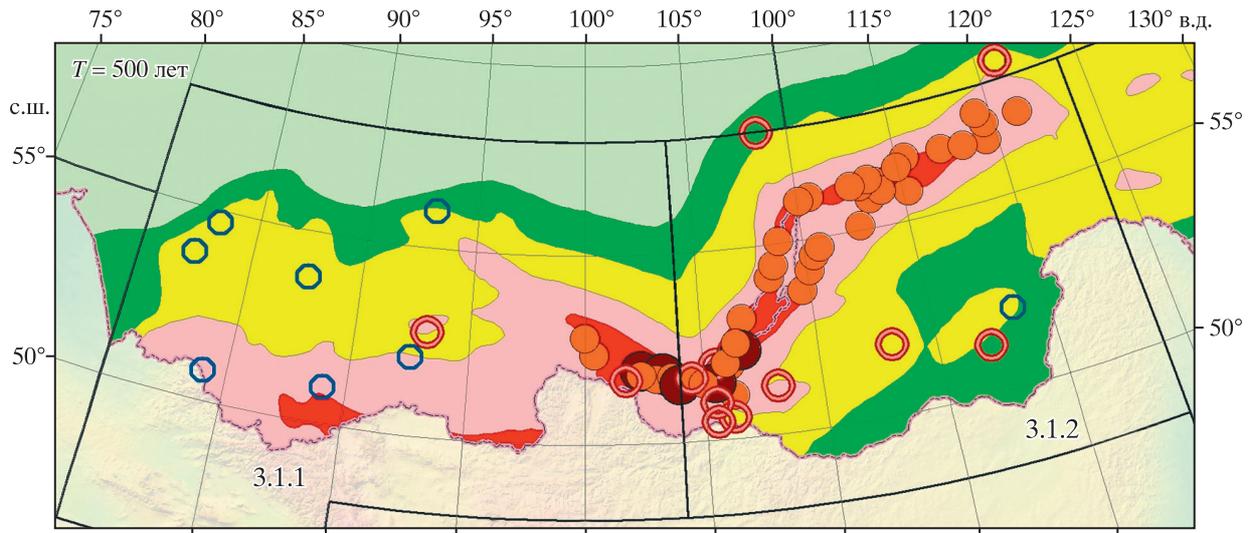
тальных расчетах и построениях [Уломов, 2012а, 2013]. В частности, в ОСР-2014 для расчета сейсмического эффекта использовалась более густая и более приемлемая для сферической земной поверхности треугольная опросная сетка со стороной 15 км вместо более грубой прямоугольной сетки со стороной 25 км. Кроме этого, границы зон балльности на картах ОСР-2014 не подвергались чрезмерному сглаживанию, как это было принято в ОСР-97. Признавались информативными даже небольшие «островки» балльности, поскольку каждый из них мог оказаться местоположением потенциального очага землетрясения, совпадающего с активными разломными зонами и сейсмолинеаментами. Вместе с тем, как видно из приведенных на рис. 14 данных, площади с прогнозируемой сейсмической интенсивностью  $I = 7$  баллов и более на картах ОСР-2014 и на нормативных картах ОСР-97 практически не различаются. Несколько изменилась конфигурация границ зон балльности. Уменьшение площади зон с  $I = 6$  баллов, проявившееся на карте ОСР-2014-С, обусловлено полностью обновленной и более корректной по сравнению с ОСР-97 доменной структурой АДФ-модели зон ВОЗ

(см. [Гусев и др., 2012; Уломов, 2012а]).

Следует заметить, что при сравнении площадей сейсмических зон на картах ОСР-2014 и ОСР-97 в последние была добавлена и территория Крыма, сейсмическое районирование которой осуществлялось нашими украинскими коллегами по методологии ОСР-97 и практически не изменилось на действующих по настоящее время нормативных картах Украины ОСР-2004 [Пустовитенко и др., 1999, 2006]. В табл. 2 приведены численные значения соотношения площадей зон различной сейсмической интенсивности на картах ОСР-97 и ОСР-2014.

В табл. 3 сопоставлены оценки сейсмического эффекта  $I$  (в баллах шкалы MSK-64) на картах ОСР-2014 (А, В, С) и ОСР-97 (А, В, С) по Алтае-Саянскому (3.1.1) и Байкальскому (3.1.2) регионам для 2 650 населенных пунктов.

Как видно, в большинстве случаев (более 61%) на каждой из карт ОСР-2014 наблюдается полное совпадение оценок сейсмической опасности по сравнению с аналогичными картами ОСР-97. Различия в оценках интенсивностью в 1 балл в ту или другую сторону занимают второе место по числу событий и составляют в среднем по трем картам



**Таблица 2.** Соотношение площадей сейсмических зон на картах ОСР-97 (А, В, С) и ОСР-2014 (А, В, С) (% по отношению ко всей площади России)

Балл	ОСР-97			ОСР-2014		
	А	В	С	А	В	С
≤ 5	57.9	53.1	40.3	58.8	53.8	45.5
6	14.8	12.8	12.3	13.1	11.1	8.9
7	17.8	18.6	13.3	20.1	19.7	13.0
8	7.2	10.1	19.3	6.0	11.3	18.3
9	2.1	4.9	9.8	1.8	3.7	11.0
> 9	0.2	0.5	5.0	0.2	0.4	3.3

**Таблица 3.** Сопоставление оценок сейсмического эффекта *I* на картах ОСР-2014 (А, В, С) и ОСР-97 (А, В, С) в 2650 населенных пунктах

Разница оценок ОСР-2014 относительно ОСР-97	<i>I</i> , баллы	<i>N</i>			%		
		А	В	С	А	В	С
Превышение	+2	23	1	3	0.87	0.04	0.11
Превышение	+1	861	728	507	32.49	27.47	19.14
Без изменений	0	1625	1642	1638	61.32	61.96	61.81
Понижение	-1	141	279	502	5.32	10.53	18.94

*N* — количество пунктов, для которых вычислялись случаи (в %) совпадения, превышения или понижения величин оценок *I* (разности в баллах) на сравниваемых картах.

←**Рис. 10.** Сопоставление местоположения на картах ОСР-2014 эпицентров сильных землетрясений по данным [Новый..., 1977], произошедших в регионах 3.1.1 и 3.1.2 юга Сибири (см. рис. 3) в исторический (доинструментальный) период — с древнейших времен по 1900 г., с указанием верхнего уровня их сейсмического эффекта в баллах шкалы MSK-64 для средних грунтовых условий (грунты 2-й категории по СНиП II-7-81\*)

от 26.4% для превышений и около 11.6% для понижений оценок балльности. Количество расхождений в 2 балла относится лишь к повышениям и составляет всего лишь 0.34%. Аномальным выглядит повышение балльности на 2 балла для 23 пунктов по карте ОСР-2014-А. Это связано с выявлением новых сейсмолинементов с магнитудами 7 и 7.5, что отразилось на карте расширением 8-балльной зоны. На карте ОСР-97 эти населенные пункты находились в 6-балльной зоне.

Основной причиной указанных расхождений в оценках сейсмической опасности является уточнение на картах ОСР-2014 конфигурации границ между зонами балльности и выделение небольших зон («островков»), которые при ОСР-97 сглаживались, сливаясь с основными зонами [Уломов, Шумилина, 1999]. Дело в том, что при картирова-

нии сейсмических воздействий в целочисленных, а не в дробных баллах, как неоднократно предлагалось в [Уломов, 2008, 2012а; и др.], даже незначительное перемещение на картах таких границ приводит к разнице в оценках величиной в целый балл.

Необходимо также заметить, что при вероятностных оценках сейсмической опасности и целом ряде имеющих место неопределенностей расхождения в 1 балл в ту и другую стороны вполне допустимы и приемлемы при общем (обзорном) сейсмическом районировании обширной территории, когда основной базой исходных данных являются фондовые материалы, а интенсивность сейсмических воздействий относится к одним и тем же грунтам (грунты категории 2 по СНиП II-7-81\* и СП 14.13330.2011). Что же касается

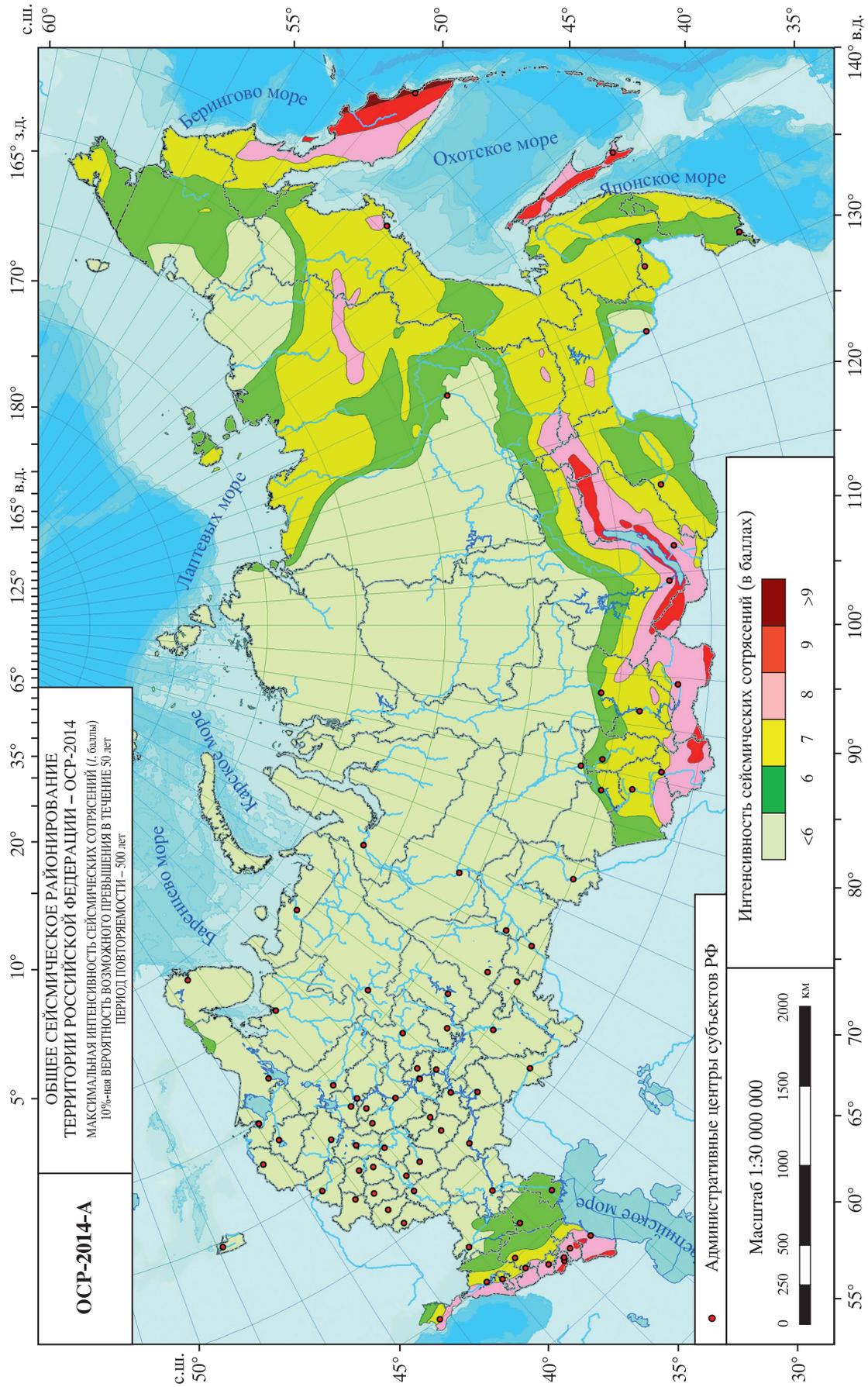


Рис. 11. Карта ОСР-2014-А территории Российской Федерации для периода повторяемости сейсмических воздействий  $T = 500$  лет

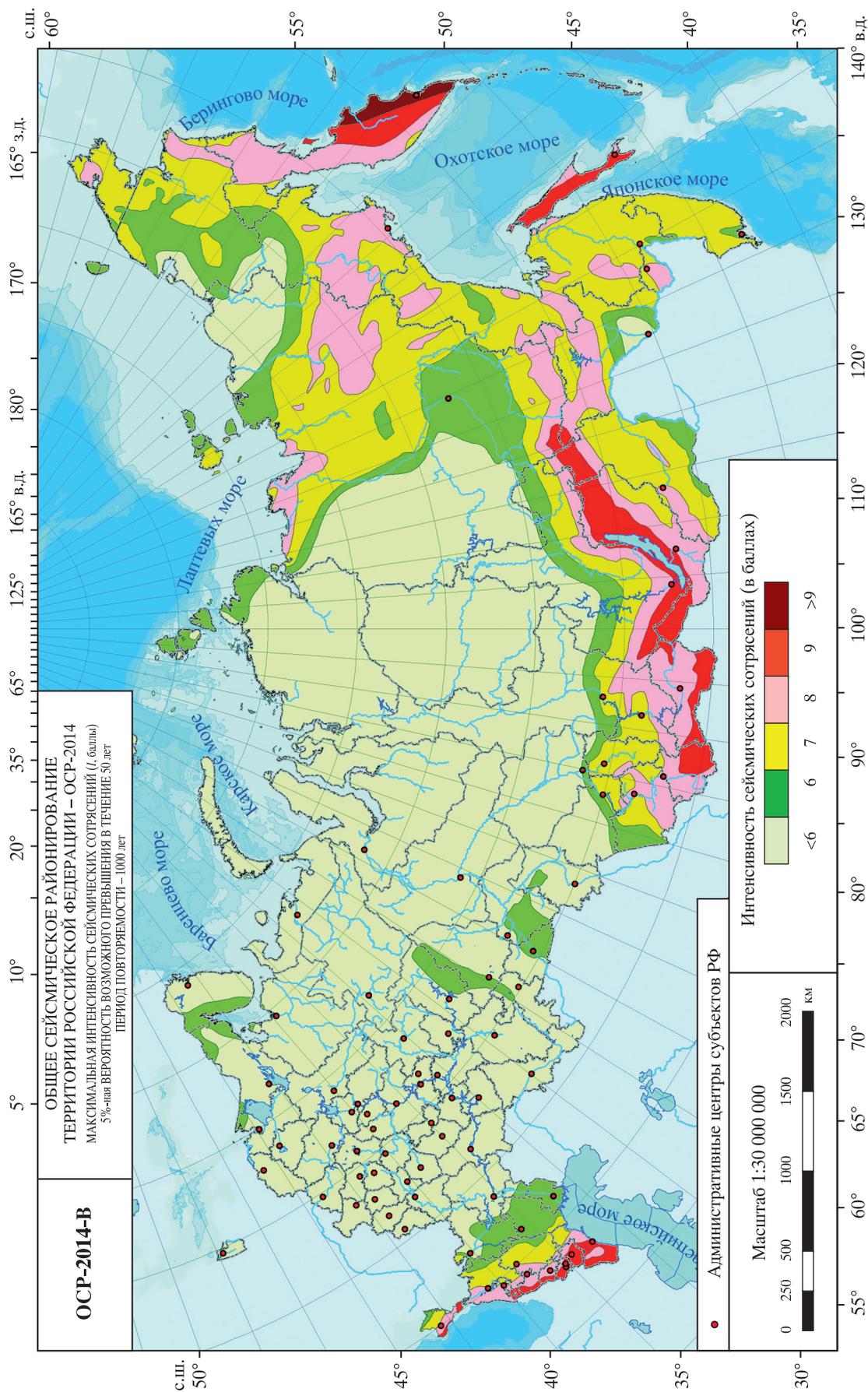


Рис. 12. Карта ОСР-2014-В территории Российской Федерации для периода повторяемости сейсмических воздействий  $T = 1000$  лет

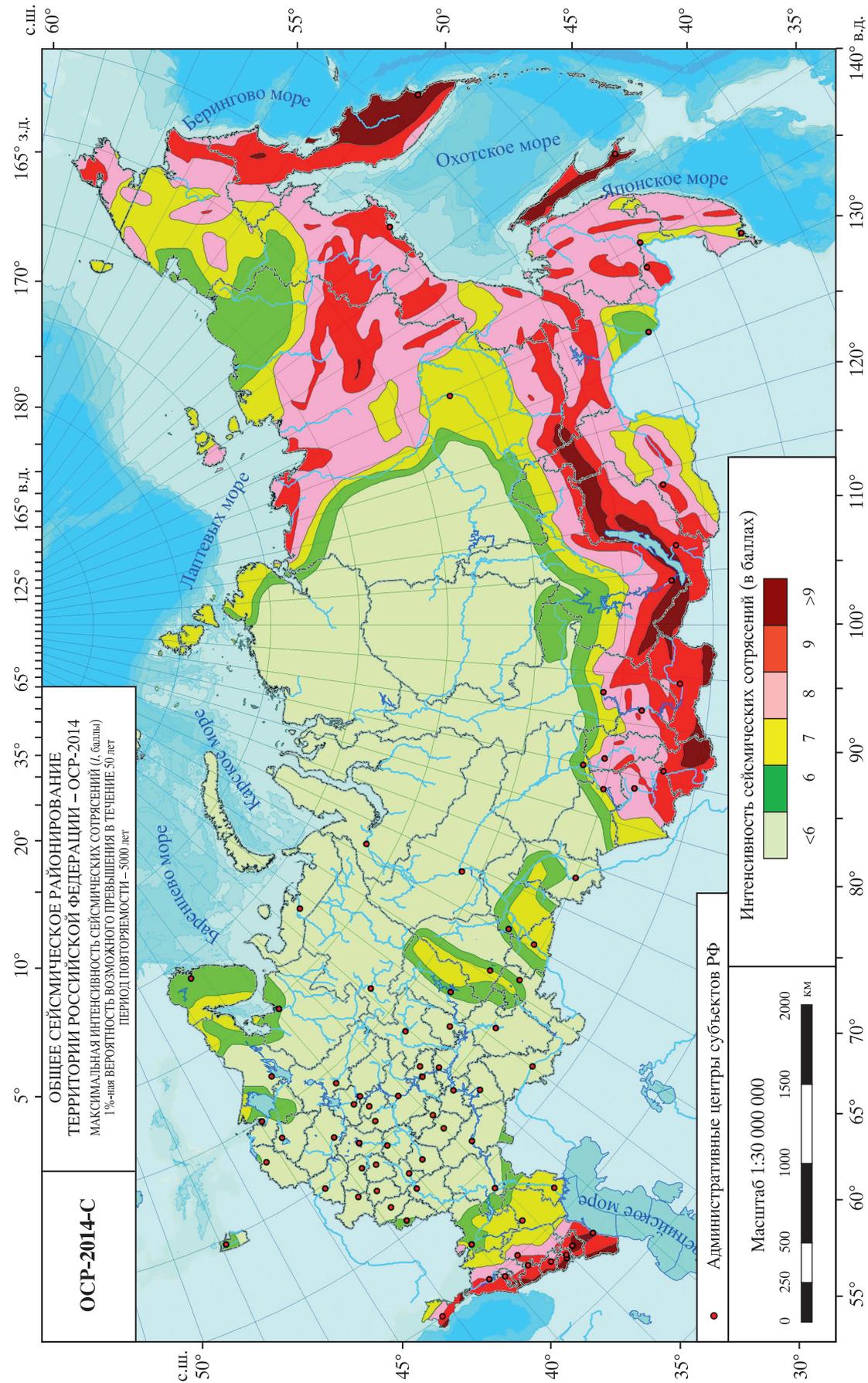


Рис. 13. Карта ОСР-2014-С территории Российской Федерации для периода повторяемости сейсмических воздействий  $T = 5000$  лет

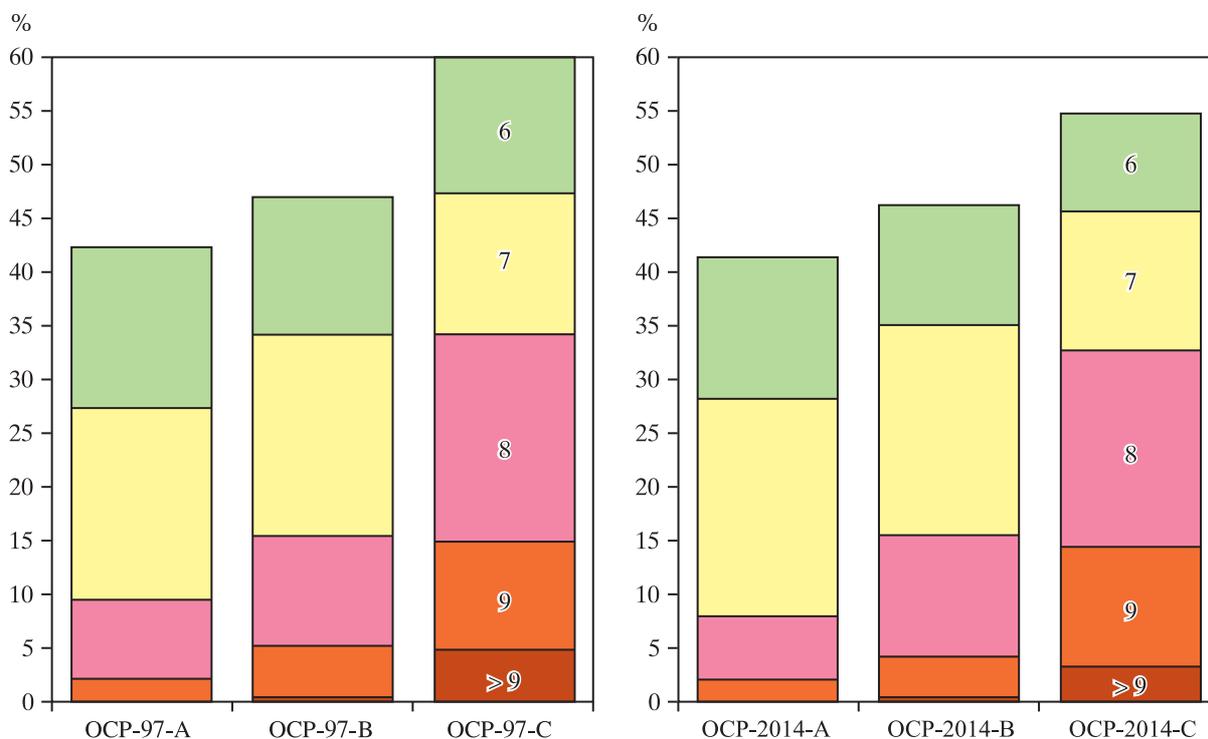
расхождений на 2 балла и более, то в таких районах требуются детальные полевые исследования с целью выявления менее крупных сейсмогенерирующих структур и учета влияния на сейсмический эффект местных грунтовых условий.

В заключение следует еще раз напомнить, что вероятностные оценки сейсмической опасности методом ВАСО с самого начала постулируют возможные (и неизбежные) превышения оценок сейсмической опасности, указываемых на картах ОСР. Более того, превышение значений балльности в том или ином пункте на карте ОСР-2014-А совершенно не означает, что это произойдет и на других картах комплекта, в которых учитываются редкие и очень редкие сейсмические события. В этом отношении следует признать своевременным и прогрессивным введение в актуализированные нормативные строительные документы двух уровней учета оценок сейсмических воздействий от проектных (ПЗ) и максимальных расчетных (МРЗ) землетрясений, использующих для одних и тех же строительных объектов не какую-либо одну, а две карты ОСР, отражающие разный уровень сейсмической опасности и снижающие тем самым степень сейсмического риска.

Таким образом, в результате выполненных аналитических исследований взамен нормативных

карт ОСР-97 может быть предложен комплект карт ОСР-2014. После одобрения и принятия карт ОСР-2014 (А, В, С) будет построена и карта ОСР-2014-Д для периода  $T = 10\,000$  лет повторяемости сейсмических воздействий в соответствии с требованиями нормативов атомной отрасли.

В основу карт ОСР-97 положены алгоритмы и программно-математическое обеспечение (ПМО), разработанные под руководством А.А. Гусева [Уломов, Шумилина, 1999]. Позже С.А. Перетокин несколько модифицировал это ПМО для ОСР-2012 и ОСР-2014 [Уломов, 2007б, 2013; Уломов, Перетокин, 2010]. Его центральное звено — принципиально новый подход А.А. Гусева к оценке сильных движений грунта, обусловленных некогерентным излучением очагов землетрясений [Гусев, Петухин, 1995]. В более поздних работах [Гусев 2013; Гусев и др., 2014] обосновывается расчетная схема для широкополосной кинематической модели очага, который создавал бы излучение с ожидаемыми из наблюдений амплитудами и спектрами. Эта схема может быть основой моделирования очагов сценарных землетрясений. Ее опробование, по мнению А.А. Гусева, оказалось успешным и позволяет рассчитывать на внедрение в практику работ по оценке сейсмической опасности. Пока же наиболее совершенной



**Рис. 14.** Сопоставление размеров площадей различной балльности на картах ОСР-2014 и на нормативных картах ОСР-97 для территории Российской Федерации, включая Крым  
Пояснения см. в тексте

и оправдавшей себя остается методология, примененная при создании карт ОСР-2014.

Для строительной практики целесообразно создать на основе ОСР-2014 карты в терминах ускорений путем пересчета балльности в расчетные максимальные значения ускорений колебаний, отнеся их к скальным грунтам, как это было сделано в [Giardini, 1999] и предлагается в [Гусев, 2011а,б]. В соответствии с новой шкалой сейсмической интенсивности [Аптикаев, Эртелева, 2011а,б] на итоговых картах ОСР-2014 следует показать границы между зонами балльности с шагом 0.5 балла и учесть такие данные в списке населенных пунктов, прилагаемом к нормативным документам, как это сделано в [Уломов, 2012б].

### БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарны научным сотрудникам Института земной коры Сибирского отделения РАН за уточнение сеймотектонической модели источников землетрясений на территории Иркутской области и сопредельных регионов. Большой вклад в эти исследования внесли Л.П. Имаева, В.С. Имаев, О.П. Смекалин и А.В. Чипизубов.

За активное участие в рецензировании и редакторской работе по картам ОСР-2014 авторы признательны А.А. Строму (ОАО «Институт Гидропроект», г. Москва).

### ЛИТЕРАТУРА

- Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Проект новой Российской сейсмической шкалы. Часть 1 // Инженерные изыскания. 2011а. № 10. С. 62–71.
- Аптикаев Ф.Ф., Эртелева О.О. Проект новой Российской сейсмической шкалы. Часть 2 // Инженерные изыскания. 2011б. № 11. С. 86–92.
- Гусев А.А., Петухин А.Г. Расчетная схема для прогнозирования параметров колебаний грунта при землетрясениях // Вулканология и сейсмология. 1995. № 4/5. С. 182–192.
- Гусев А.А. О принципах картирования сеймоопасных регионов Российской Федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений (Часть 1) // Инженерные изыскания. 2011а. № 10. С. 20–29.
- Гусев А.А. О принципах картирования сеймоопасных регионов Российской Федерации и нормирования сейсмических нагрузок в терминах сейсмических ускорений (Часть 2). // Инженерные изыскания. 2011б. № 11. С. 66–77.
- Гусев А.А. Стохастическое моделирование протяженного очага землетрясения для характеристики сейсмической опасности. 1. Обоснование и общая структура алгоритма // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013а. Т. 40, № 1. С. 5–18.
- Гусев А.А. Стохастическое моделирование протяженного очага землетрясения для применения при оценке сейсмической опасности. 2. Описание расчетных процедур // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013б. Т. 40, № 3. С. 23–53.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Некоторые вопросы методики общего сейсмического районирования // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Отв. ред. В.И. Уломов. Вып. 2-3. М.: ОИФЗ РАН, 1995. С. 289–300.
- Гусев А.А., Шумилина Л.С. Моделирование связи балл–магнитуда–расстояние на основе представления о некогерентном протяженном очаге // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4/5. С. 29–40.
- Гусев Г.С., Имаева Л.П., Акатова К.Н. Зонирование геодинамической активности неотектонических структур для целей общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-2012 // Тр. VII Общерос. конф. «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», г. Москва, 15–16 декабря 2011 г. М., 2012. С. 207–208.
- Гусев А.А., Павлов В.М., Гусева Е.М. Стохастическое моделирование протяженного очага землетрясения для характеристики сейсмической опасности. 3. Способ анализа неопределенности и практическое опробование процедуры // Вопросы инженерной сейсмологии. 2014. Т. 41, № 1. С. 39–56.
- Жигалин А.Д., Завьялов А.Д., Миндель И.Г., Никонов А.А., Попова О.Г., Рогожин Е.А., Рузайкин А.И., Севостьянов В.В. Феномен Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. в Москве // Вестн. РАН. 2014. Т. 84, № 7. С. 601–609.
- Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР с древнейших времен до 1975 г. / Ред. Н.В. Кондорская, Н.В. Шебалин. М.: Наука, 1977. 535 с.
- Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Борисенко Л.С., Поречнова Е.И. Общее сейсмическое районирование территории Крыма (ОСР-98) // Геофиз. журн. 1999. № 6. С. 3–15.
- Пустовитенко Б.Г., Кульчицкий В.Е., Пустовитенко А.А. Новые карты общего сейсмического районирования территории Украины. Особенности модели долговременной сейсмической опасности // Геофиз. журн. 2006. № 3, Т. 28. С. 54–77.
- Рогожин Е.А., Завьялов А.Д., Зайцева Н.В. Макросейсмические проявления Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. на территории г. Москвы // Вопросы инженерной сейсмологии. 2013. Т. 40, № 3. С. 64–77.

- Татевосян Р.Э., Косарев Г.А., Быкова В.В., Мацневский С.А., Уломов И.В., Аптекман Ж.Я., Вакрчук Р.Н. Глубокофокусное землетрясение с  $M_w = 8.3$ , ощущавшееся на расстоянии 6 500 км // *Физика Земли*. 2014. № 3. С. 154–162.
- Уломов В.И. Глубинная структура земной коры сейсмоактивной территории Западного Узбекистана // *Сейсмичность Западного Узбекистана* / Ред. Ю.В. Ризниченко. Ташкент: ФАН, 1972. С. 6–18.
- Уломов В.И. Динамика земной коры Средней Азии и прогноз землетрясений. Ташкент: ФАН, 1974. 218 с.
- Уломов В.И. Сейсмогеодинамика области перехода от орогена Тянь-Шаня к Туранской плите и долгосрочный прогноз Газлийских землетрясений // *Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг.* Ташкент: ФАН, 1986. С. 7–18.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // *Дока. РАН*. 2007а. Т. 414, № 3. С. 398–401.
- Уломов В.И. О программно-математическом обеспечении построения карт вероятностного сейсмического районирования по методологии ОСР-97 // *Геофизические исследования*. 2007б. Вып. 7. С. 29–52.
- Уломов В.И. О технологии актуализации карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2008. № 5. С. 14–20.
- Уломов В.И. Об инженерно-сейсмологических изысканиях в строительстве // *Инженерные изыскания*. 2009. № 9. С. 28–39.
- Уломов В.И. К вопросу о планетарной сейсмической активизации // *ГеоРиск*. 2010. № 3. С. 4–9.
- Уломов В.И. Актуализация нормативного сейсмического районирования в составе Единой информационной системы «Сейсмотбезопасность России» // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2012а. Т. 39, № 1. С. 5–38.
- Уломов В.И. К вопросу о дифференцированной оценке сейсмической опасности на территории Российской Федерации // *Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений*. 2012б. С. 40–48.
- Уломов В.И. Общее сейсмическое районирование территории Российской Федерации — ОСР-2012 // *Вопросы инженерной сейсмологии*. 2013. Т. 40, № 4. С. 5–20.
- Уломов В.И., Богданов М.И. Новый комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации (ОСР-2012) // *Инженерные изыскания*. 2013. № 8. С. 8–17.
- Уломов В.И., Перетокин С.А. Об актуализации нормативных карт сейсмического районирования территории Российской Федерации // *Инженерные изыскания*. 2010. № 1. С. 44–53.
- Уломов В.И., Уломова Н.В. Формирование гипоцентральной области и сейсмический режим повторных толчков // *Ташкентское землетрясение 26 апреля 1996 г.* Ташкент: ФАН, 1971. С. 122–138.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации — ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснительная записка и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
- 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.
- Balassanian S., Giardini D., Ulomov V., Ashirov T., Chelidze T., Gassanov A., Kondorskaya N., Molchan G., Pustovitenko B., Trifonov V., Erdik M., Ghafory-Ashtiany M., Grunthal G., Mayer-Rosa D., Schenk V., Stucchi M. Seismic hazard assessment for the Caucasus test area // *Ann. Geofis.* 1999. V. 42. P. 1139–1151.
- Giardini D. (ed). The global seismic hazard assessment program 1992–1999 // *Ann. Geofis.* 1999. V. 42, No. 6. 248 p.
- Grandori G., Guagenti E., Petrini L. Statistical grounds for favoring the characteristic magnitude model. A case study // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 2008. V. 98, No. 5. P. 2161–2169.
- Schwartz D., Coppersmith K. Fault behavior and characteristic earthquake: Examples from the Wasatch and San Andreas fault zones // *J. Geophys. Res.* 1984. V. 89. P. 5681–5698.
- Ulomov V.I. and the Working Group of the GSHAP Region 7. Seismic hazard of Northern Eurasia // *Ann. Geofis.* 1999. V. 42. P. 1023–1038.
- Ulomov V.I. Seismic zoning // *Encyclopedia of life support systems (EOLSS): Earth and Atmospheric Sciences*. Oxford OX1 1ST, UK: UNESCO Eolss Publishers Co. Ltd., 2002. V. I. 1.8. Natural Disasters. P. 181–207.
- Wu S.-C., Cornell C.A., Winter Stein S.T. A Hybrid recurrence model and its implication on seismic hazard results // *Bull. Seismol. Soc. Amer.* 1995. V. 85. P. 1–16.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**УЛОМОВ Валентин Иванович** — доктор физико-математических наук, профессор геофизики, главный научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-15-64. E-mail: ulomov@ifz.ru

**ПЕРЕТОКИН Сергей Анатольевич** — кандидат технических наук, заведующий лабораторией, Специальное конструкторско-технологическое бюро «Наука» Красноярского научного центра СО РАН. 660049, г. Красноярск, просп. Мира, д. 53. Тел.: +7 (391) 227-29-12. E-mail: saperetokin@yandex.ru

**МЕДВЕДЕВА Нина Сергеевна** — старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-15-64. E-mail: medv@ifz.ru

**АКАТОВА Ксения Николаевна** — старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-34-97. E-mail: akatova@ifz.ru

**ДАНИЛОВА Татьяна Ивановна** — кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН. 123995, ГСП-5, г. Москва, Д-242, ул. Большая Грузинская, д. 10, стр. 1. Тел.: +7 (499) 254-15-64. E-mail: dana-geo@yandex.ru

## SEISMOLOGICAL ASPECTS OF GENERAL SEISMIC ZONING FOR THE TERRITORY OF THE RUSSIAN FEDERATION TERRITORY (MAPS OSR-97, OSR-2012, OSR-2014)

V.I. ULOMOV<sup>1</sup>, S.A. PERETOKIN<sup>2</sup>, N.S. MEDVEDEVA<sup>1</sup>, K.N. AKATOVA<sup>1</sup>, T.I. DANILOVA<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Special Design Bureau «Science» of the Krasnoyarsk Scientific Center of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Krasnoyarsk, Russia

**Abstract.** The article continues works aimed at improving general seismic zoning (GSZ) for the Russian Federation territory. The studies on updating the current regulatory maps OSR-97 were stimulated by the State Program aimed at enhancing the sustainability of life-support systems in the seismic regions of the country. On the other hand, the update of the OSR-97 maps was also required in accordance with the tradition of their regular review every 10 years, starting in 1937. In 1991–1997 for the first time, the set of probabilistic maps of the OSR-97 was compiled instead of a single deterministic map. The set was created for design and construction of buildings with different categories of liability and service life. In the 2010–2014 years two versions of the new maps (OSR-2012 and OSR-2014) based on different approaches to modeling of seismic regime of earthquake sources were developed. The approaches are as follows: 1) exponential averaging of earthquake frequency — magnitude relationship throughout the range of magnitude and 2) discrete time presentation in the form of histograms separately for different magnitudes. The first type of charts was used to create maps OSR-2012, the second one — maps OSR-97 and OSR-2014. The purpose of this article is to demonstrate the most important aspects of seismological parameterization affecting seismic hazard assessments. First of all, this relates to the dynamics of regional and global integration of seismic processes because the probabilistic seismic hazard analysis is based on the paradigm of stationarity of long-term seismic regime. A comparative analysis of information content of the maps OSR-97, OSR-2012 and OSR-2014 is performed. The seismic hazard assessments obtained were compared with the data on seismic effects of strong and the strongest earthquakes, including paleoseismogeological reconstructions, historical seismic events, and the earthquakes of instrumental period of seismic observations. We concluded that the set of maps OSR-2014 can replace the normative maps OSR-97.

**Keywords:** seismic regime, seismicity models, seismic hazard assessment, general seismic zoning, Russian Federation, seismic zoning maps, OSR-97, OSR-2012, OSR-2014, comparison.