

К ОЦЕНКЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2008 г. В. И. Уломов, К. Н. Акатова, Н. С. Медведева

Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН, г. Москва,
e-mail: ulomov@ifz.ru

Поступила в редакцию 17.12.2007 г.

В статье обсуждаются вопросы сейсмического районирования территории Калининградской области, где в 2004 году произошла серия ощутимых землетрясений, наиболее сильным из которых оказалось событие с магнитудой $M_s = 4.3$, вызвавшее 6-балльные сотрясения в 5-балльной прибрежной зоне Самбийского полуострова. Показано, что повышенный сейсмический эффект обусловлен плохими грунтовыми условиями, длительными сейсмическими воздействиями, резонансными и другими факторами. С целью уточнения степени сейсмической опасности в Калининградской области обсуждается одна из версий усовершенствования модели источников землетрясений, на основе которой создавались нормативные карты сейсмического районирования – ОСР-97. Составлены новые версии фрагментов вероятностных карт ОСР-97 Калининградской области с различной степенью возможного превышения указанного на них сейсмического эффекта в течение 50 лет. Указано на необходимость дополнительных сейсмологических исследований в рассматриваемом районе.

PACS: 91.30.Px

1. ВВЕДЕНИЕ

Серия землетрясений, возникшая 21 сентября 2004 г. у северо-западного побережья Калининградской области в Гданьском заливе Балтийского моря, привлекла внимание не только широкой общественности, но и сейсмологов. Сотрясения, по меньшей мере, девяти из них были ощутимыми. Наиболее сильным был толчок в 13 ч 32 мин по Гринвичу, имевший магнитуду $M_s = 4.3$, определенную Геофизической службой РАН [Маловичко и др., 2007]. Ему предшествовало землетрясение с $M_s = 4.1$ в 11 ч 05 мин. Третий, менее сильный, толчок с магнитудой $M_s < 4.0$ произошел в 13 ч 36 мин. Обобщенные координаты эпицентров этих землетрясений согласно данным многих сейсмологических служб – 54.9°N и 19.9°E . Глубина очага – не менее 20 км. Очаговая область приурочена к сейсмоактивной зоне, расположенной западнее Самбийского полуострова. По данным Гарвардского центра (США), моментная магнитуда главного землетрясения составила $M_w = 4.7$, а подвижка пород в очаге соответствовала левостороннему сдвигу.

Несмотря на умеренные по величине магнитуды, макросейсмические последствия этих сейсмических событий оказались впечатляющими. На территории Калининградской области возникли крупные деформации грунта – оползни, провалы и т.п., свойственные более значительным по магнитуде землетрясениям. Сотрясения земной поверхности при сильном толчке ощущались на обширной территории Калининградской области,

Прибалтийских государств, включая Литву, Эстонию, Латвию и Финляндию, на территории Беларуси и Польши, восточной Дании, а также в Санкт-Петербурге. Сейсмическая активизация проявилась целой серией и других менее ощутимых событий. При главном толчке 21 сентября на северо-западном побережье Калининградской области выделены два участка 6-балльных сотрясений. Один из них расположен западнее г. Калининграда, другой в северо-западной части Самбийского полуострова. Имеются и иные оценки наблюдаемого сейсмического эффекта. Исследования продолжаются, и их разноречивые пока результаты требуют всестороннего анализа.

Достаточно полный обзор публикаций по данной тематике приведен в статье [Ассиновская, Овсов, 2008]. Там же предложена сеймотектоническая модель, согласно которой очаговая область наиболее сильных толчков из серии Калининградских землетрясений приурочена к меридиональному разлому у западного берега Самбийского полуострова, в акватории Гданьского залива, в районе населенных пунктов Янтарный и Бакалино. С позиций макросейсмической шкалы EMS-98 этими авторами осуществлен пересмотр исходных материалов и составлена новая версия карт интенсивности сотрясений в северо-западной части Калининградской области.

Калининградские землетрясения произошли в 5-балльной зоне карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. В соответствии с концепцией, принятой

при создании комплекта карт ОСР-97, в каждой из сейсмических зон, в том числе и в 5-балльных, допускается превышение указанных номинальных значений сейсмической интенсивности с той или иной вероятностью [Уломов, Шумилина, 1999; Сейсмическое..., 2000]. Для Калининградской области риск возможного превышения интенсивности в 5 баллов оценивается нормативными картами ОСР-97 вероятностью менее 1% в течение 50-летних интервалов времени.

Главной причиной превышения наблюдаемого сейсмического эффекта над ожидаемым явились неблагоприятные грунтовые условия, отличающиеся в худшую сторону по сравнению со средними грунтами (грунты 2-й категории по СНиП II-7-81* "Строительство в сейсмических районах"), к которым отнесена сейсмическая интенсивность, указанная на картах ОСР-97. Получили повреждения и очень старые здания. Относительно незначительные, но продолжительные сейсмические колебания оказались "последней каплей" и для неустойчивых грунтов искусственной насыпи на участке железной дороги около г. Светлогорска. Из-за прошедших до землетрясений сильных дождей материал насыпи оказался предельно насыщенным влагой. Не случись этих землетрясений, такой провал мог бы произойти и от критических сотрясений, создаваемых проходящими поездами. В данном случае можно сказать, что Калининградская серия землетрясений как бы предотвратила железнодорожную катастрофу.

Разброс мнений даже у профессиональных сейсмологов оказался настолько широк, что одни называют Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. уникальным явлением, другие же полагают, что оно прогнозировалось не только по местоположению, но и по величине своей магнитуды. При этом обычно делается ссылка на работу [Рейснер, Иогансон, 1993]. На самом же деле, как это можно увидеть на схеме пространственного распределения оценок сейсмического потенциала (M_{\max}), приведенной в упомянутой публикации, не только Калининградская область, но и ее окружение в радиусе до 80 км представлены как вообще лишенные какой-либо сейсмичности. Ближайший к эпицентру произошедших землетрясений небольшой участок с $M_{\max} \leq 3.9$ по магнитуде значительно уступает наблюдаемой. Другая, меньшая по размеру, зона с $4.0 \leq M_{\max} \leq 4.9$ удалена от эпицентра почти на 300 км [Рейснер, Иогансон, 1993, стр. 192].

В этом отношении более реалистично выглядит модель геодинамического районирования Восточно-Европейской платформы, составленная А.Ф. Грачевым с соавторами в период работы над картами ОСР-97 [Грачев и др., 1996]. На этой прогнозной модели потенциальных очаговых зон вся Калининградская область расположена в круп-

ной зоне возможных землетрясений с $M_{\max} = 4.0$, а зона с $M_{\max} = 5.0$ удалена на расстояние свыше 160 км от реального эпицентра.

Другой крайностью в рассуждениях о сейсмической опасности является высказывание в работе [Никонов и др., 2005] о том, что "...существующие нормативные документы (в первую очередь карта ОСР-97) в Калининградской области не отвечают реальности и не могут дольше служить основой проектирования, строительства, проведения охранных мероприятий".

Поскольку наблюдается не только недопонимание, но и искажение принципов, заложенных в основу вероятностных оценок сейсмической опасности при создании комплекта карт ОСР-97, в следующем разделе вкратце изложены основы методологии составления и технологии использования этих нормативных карт.

Главной же целью настоящей статьи явилось уточнение сейсмической обстановки в районе Калининградской области с учетом новейших данных о слабой сейсмичности этого региона, сведений о которой до 2000 г. не существовало. Основой послужили каталоги землетрясений с магнитудой $M > 3$, которые стали публиковаться относительно недавно Европейским Средиземноморским сейсмологическим центром – EMSC (European Mediterranean Seismological Centre, Франция), а также каталоги сейсмических событий с $M > 2$ за 2000–2006 гг., по данным сейсмической службы REB (Reviewed Event Bulletin, Австрия), которая действует в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний – СТБТ (The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty) и публикует бюллетени с данными о природных и техногенных сейсмических источниках.

2. ПРИНЦИПЫ ВЕРОЯТНОСТНОЙ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ

Условия неопределенностей, которые в природе всегда существуют, делают наиболее эффективным вероятностный подход к сейсмическому районированию. И хотя риск в оценке сейсмической опасности всегда будет иметь место, он может быть количественно оценен, минимизирован и принят в качестве приемлемого в социальном и экономическом отношении. Поскольку большинство используемых физических параметров, характеризующих геодинамику, сейсмичность и сейсмические воздействия, в силу своих природных свойств, являются в значительной мере вероятностными, нами в 1991–1997 гг. была составлена не одна детерминистская карта (как прежде), а набор вероятностных карт ОСР-97, отражающих различную степень сейсмической опасности, возникающей в течение заданных интервалов времени. Впервые сейсмическим районированием бы-

ли охвачены равнинные территории и шельфы окраинных и внутренних морей. Вместо традиционных представлений о точечных сейсмических источниках рассматривались протяженные очаги землетрясений. Введены и другие новации, в том числе учитывались нелинейные проявления сейсмогеодинамических процессов и сейсмического эффекта.

Оценка сейсмической опасности и сейсмическое районирование Северной Евразии осуществлялось путем создания двух основополагающих и взаимосвязанных моделей: (1) – трехмерной модели очаговых зон землетрясений в толще земной коры и всей литосферы и (2) – модели сейсмического эффекта, создаваемого ею на земной поверхности. Каждая из моделей базируется на вероятностных оценках практически всех параметров, задействованных в расчетах и построениях, и характеризуется той или иной степенью неопределенности, дисперсией и возможными погрешностями (ошибки в определении местоположения очагов и магнитуд землетрясений, разброс оценок сейсмического эффекта и т.п.). Самым сложным и наиболее ответственным звеном в исследованиях по сейсмическому районированию является идентификация зон возникновения очагов землетрясений (зоны ВОЗ) и определение параметров их сейсмического режима, поскольку от этой модели зависит надежность всех последующих построений.

ЛДФ – модель источников землетрясений

В основу создания модели зон ВОЗ Северной Евразии положена линеаментно-доменно-фокальная модель (ЛДФ-модель), явившаяся дальнейшим развитием фрактальных представлений о геофизической среде и развивающихся в ней сейсмогеодинамических процессах [Уломов, 1998].

В соответствии с принятой концепцией, в ЛДФ-модели рассматриваются четыре масштабных уровня источников землетрясений – крупный генетически единый в сейсмогеодинамическом отношении *регион* с интегральной характеристикой его сейсмического режима и три основные структурные сейсмогенерирующие элементы региона: *линеаменты*, в генерализованном виде представляющие оси трехмерных сейсмоактивных разломных или сдвиговых структур и отражающие структурированную сейсмичность; *домены*, охватывающие квазиоднородные в геодинамическом отношении объемы геологической среды и характеризующиеся рассеянной сейсмичностью; *потенциальные очаги землетрясений*, указывающие на наиболее опасные участки (фокусы) сейсмогенных структур.

Параметризованная ЛДФ-модель, соответствующим образом характеризующая распределенные между основными структурными элементами (линеаментами, доменами и потенциальными

ми очагами) среднегодовые потоки сейсмических событий всего региона, и модель сейсмического эффекта, описывающая затухание сейсмической интенсивности с расстоянием, используются для компьютерного моделирования прогнозной (виртуальной) сейсмичности, а затем и в расчете сейсмической сотрясаемости и сейсмическом районировании [Уломов, Шумилина, 1999]. Разыгрывание искусственной сейсмичности осуществляется на основе модельного каталога землетрясений, составленного на очень протяженные интервалы времени, из которых затем выбирается нужный интервал в зависимости от приемлемого сейсмического риска.

Для общего сейсмического районирования, имеющего федеральное значение, каким является ОСР-97, принято, что достаточно крупные события с $M = 6.0 \pm 0.2$ и более принадлежат линеаментам и потенциальным очагам, а землетрясения с $M = 5.5 \pm 0.2$ и менее – доменам. При детальном сейсмическом районировании (ДСР) и сейсмическом микрорайонировании (СМР), которые имеют, соответственно, региональный (территориальный) и местный (муниципальный) статус, порог максимальной магнитуды может быть понижен благодаря детальности сейсмологических исследований. Здесь и далее, если это специально не оговорено, магнитуда M соответствует магнитуде M_s , определяемой по поверхностным волнам. В специализированном каталоге землетрясений, использовавшемся при создании карт ОСР-97, все типы магнитуд переведены в M_s [Кондорская, Уломов, 1995].

На рис. 1, в качестве наглядного примера ЛДФ-модели, использовавшейся при создании карт ОСР-97, приведен фрагмент зон ВОЗ Северной Евразии для достаточно хорошо изученного района Горного Алтая. Как видно, условная толщина отрезков, отражающая фрактальные свойства линеаментов, уменьшается с удалением от горных сооружений, расположенных на юге и характеризующихся наиболее крупными сейсмогенерирующими разломами. Соответственно, уменьшаются и магнитуды максимальных возможных вдоль них землетрясений. Севернее, на территории слабой сейсмичности, выделяются лишь домены. Сейсмологическая параметризация линеаментов осуществлялась путем распределения между ними всего среднегодового потока региональных сейсмических событий пропорционально протяженности каждого из этих структурных элементов и в соответствии с их рангом – максимальной магнитудой M_{\max} и всем набором меньших магнитуд с шагом 0.5 ± 0.2 единицы M . Домены параметризованы согласно обобщенным графикам повторяемости землетрясений с $M \leq 5.5$ в их пределах.

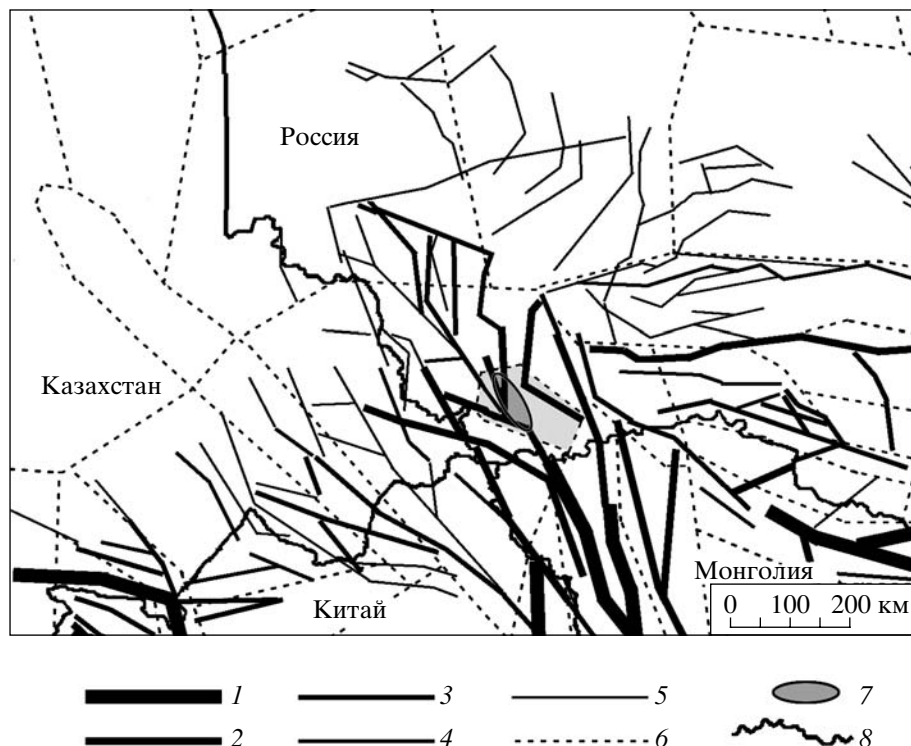


Рис. 1. Типовой пример ЛДФ-модели зон ВОЗ района Горного Алтая и смежной территории. Линементы разных магнитуд: 1 – $M = 8.0 \pm 0.2$; 2 – $M = 7.5 \pm 0.2$; 3 – $M = 7.0 \pm 0.2$; 4 – $M = 6.5 \pm 0.2$; 5 – $M = 6.0 \pm 0.2$; 6 – границы доменов; 7 – очаг землетрясения 27.09.2003 г. с $M = 7.3$; 8 – государственные границы. Здесь и далее магнитуда M соответствует магнитуде M_S , определенной по динамическим параметрам поверхностных сейсмических волн. Остальные пояснения в тексте.

Объективным подтверждением достаточно высокой надежности ЛДФ-модели зон ВОЗ и самих карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации может служить крупнейшее землетрясение с $M = 7.3$, произошедшее в Горном Алтае в 2003 г., т.е. спустя шесть лет после опубликования карт ОСР-97 (см. рис. 1). Его протяженный очаг прекрасно совпал с линеаментами с ожидаемой магнитудой $M_{\max} = 7.5 \pm 0.2$ и полностью разместился в пределах локального домена (домен D-0295 в базе данных ОСР-97), выделенного при создании ЛДФ-модели зон ВОЗ для ОСР-97 в качестве очаговой области потенциального землетрясения [Shebalin et al., 2000]. Домен D-0295, имеющий относительно небольшую площадь, по сравнению с другими структурными единицами этого типа, был оконтурен на основании высокой концентрации здесь активных разломов и дислокационных узлов. На рисунке он закрашен светло-серым цветом. По целому ряду признаков, описанных в упомянутой публикации, максимальная магнитуда ожидаемого в нем землетрясения была оценена как $M_{\max} = 7.2$, что оказалось очень близким к наблюдаемой магнитуде $M = 7.3$. Наряду с Горно-Алтайским землетрясением 2003 г., долгосрочный сейсмологический прогноз подтвердили и другие крупные сейсмиче-

ские события, возникшие после опубликования карт ОСР-97 (землетрясения в Корьякии, на Сахалине и Курилах).

Вероятностная оценка сейсмической опасности

Как уже отмечено, в качестве основы для оценки сейсмической опасности в методологии ОСР-97 принимается комплект карт со средней повторяемостью расчетной сейсмической интенсивности (балльности) I на данной площадке 1 раз за T лет (обозначается I_T). Вероятность P превышения интенсивности I_T в течение t лет (т.е. произойдет хотя бы одно такое событие) равна:

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

При $t \ll T$ вероятность $P = t/T$. Например, при $T = 500$ и $t = 50$ лет P составит $\sim 10\%$ (точное значение – 9.52%); при $T = 1000$ лет и $t = 50$ лет $P \sim 5\%$ (точнее – 4.88%) и т.д. Рассчитав набор карт I_T для разных T , т.е. с различной вероятностью превышения (или не превышения) расчетной сейсмической интенсивности в заданный интервал времени, можно оценить степень сейсмического риска. И наоборот, задавшись величиной допустимого сейсмического риска для рассматриваемого стро-

ительного объекта, можно выбрать необходимую карту расчетной интенсивности I_T .

Карта расчетной балльности I_T (карта сотрясаемости) рассчитывается по модельному каталогу землетрясений с использованием региональной зависимости балла от магнитуды и расстояния для протяженного сейсмического источника – очага землетрясения естественных размеров. Модельный каталог создается по долговременным характеристикам сейсмичности изучаемого региона.

Важным отличием методологии ОСР-97 от традиционных подходов является учет нелинейности графика $\lg N(M)$, характеризующего связь числа землетрясений N и их магнитуды M в области крупных сейсмических событий, вплоть до M_{\max} . При этом учитываются факторы возможно завышения уровня сейсмической активности (например, за счет вклада афтершоков больших землетрясений) и занижения (малый срок детальных наблюдений и ограниченность данных за слабо активные сейсмические периоды).

Для расчета сотрясаемости при выполнении работ по ОСР-97 вся исследуемая территория покрывалась (программно, в компьютере) прямоугольной сеткой с размером ячеек 25 км на 25 км. (В принципе шаг сетки может быть любым, в зависимости от оправданной детальности построений.) Каждый узел сетки опрашивает все возникающие в процессе компьютерного моделирования прогнозной сейсмичности виртуальные очаги и накапливает информацию о нормированном на год количестве N сейсмических сотрясений в виде гистограмм распределения сейсмической интенсивности I (баллы) или в пиковых ускорениях PGA ($\text{см}/\text{с}^2$) сейсмических колебаний грунта. При этом учитываются размеры и ориентация плоскостей виртуальных очагов землетрясений.

Задаваясь фиксированными интервалами времени (в случае ОСР-97 это – 500, 1000 и 5000 лет), составлены карты ОСР-97А, ОСР-97В и ОСР-97С сейсмической интенсивности с вероятностями $P = 10\%$, 5% и 1% допустимого превышения указанных на них номиналов в течение 50 лет. И наоборот, путем фиксации величины сейсмической интенсивности I (в случае ОСР-97 это – 6, 7, 8 и 9 баллов) созданы карты периодов T повторяемости заданного сейсмического эффекта [Сейсмическое..., 2000].

В 1991–1997 гг. была также составлена карта ОСР-97D, характеризующая 0.5%-ный риск возможного превышения указанной на ней сейсмической интенсивности в течение 50 лет и соответствующая повторяемости сейсмического эффекта в среднем один раз за 10 000 лет. Эта карта предназначена для оценки сейсмической опасности пунктов размещения атомных станций и других объектов ядерно-радиационного комплекса.

Разработанная нами методология и принцип составления новых карт сейсмического районирования получили международное признание, а карта ОСР-97А, представленная в пиковых ускорениях, вошла в 1999 г. составной частью в Мировую карту глобальной сейсмической опасности, опубликованную в США в рамках крупной Международной программы “Оценка глобальной сейсмической опасности” (GSNAP), выполненной в течение 1993–1998 гг. под эгидой ООН и Международной программы “Литосфера” [The Global..., 1999; International..., 2003]. Карты ОСР-97 опубликованы в ряде ведущих отечественных изданий.

Предназначение комплекта карт ОСР-97

Новая методология разработки и практического использования комплекта новых карт ОСР-97 одобрены решением расширенного заседания Ученого совета ИФЗ РАН (12 февраля 1998 г.), утверждены руководством РАН (23 марта 1998 г.) и Госстроя РФ (28 марта 1998 г.), постановлениями НТС Минстроя России (21 апреля 1998 г.), Бюро Отделения геологии, геофизики, геохимии и горных наук РАН (20 мая 1998 г.) и рекомендованы в качестве основы для нормативных документов. В 2000 г. карты ОСР-97 совместно с картами-врезками зон ВОЗ, сейсмичности и периодов повторяемости сотрясений различной интенсивности были опубликованы в настенном варианте в масштабе 1 : 8000000 [Сейсмическое..., 2000]. В том же году Госстроем России комплект карт ОСР-97 введен в состав Строительных норм и правил “Строительство в сейсмических районах” [СНиП..., 2000].

Основные положения СНиП II-7-81*, касающиеся ОСР-97, следует соблюдать при проектировании зданий и сооружений, возводимых на площадках сейсмичностью 7, 8 и 9 баллов (пункт 1.1 СНиП). Комплект карт ОСР-97 предусматривает осуществление антисейсмических мероприятий при строительстве объектов и отражает 10%- (карта А), 5%- (карта В), 1%-ную (карта С) вероятность возможного превышения (или 90%-, 95%- и 99%-ную вероятность непревышения) в течение 50 лет указанных на картах значений сейсмической интенсивности (пункт 1.3).

Указанная на картах сейсмическая интенсивность относится к участкам со средними по сейсмическим свойствам грунтами (грунты 2-й категории). Комплект карт ОСР-97 (А, В, С) позволяет оценивать на трех уровнях степень сейсмической опасности и предусматривает осуществление антисейсмических мероприятий при строительстве объектов трех категорий, учитывающих ответственность сооружений: карта А – массовое строительство; карты В и С – объекты повышенной ответственности и особо ответственные объекты. Определение сейсмичности площадки следу-

ет производить на основании сейсмического микрорайонирования (пункт 1.4).

Последняя фраза, предписывающая выполнение исследований по сейсмическому микрорайонированию (СМР), является ключевой, поскольку обязывает уточнять степень сейсмической опасности, указанной для средних грунтов на картах ОСР-97, учитывая реальные грунтовые условия под строительными объектами и их реакцию на сейсмические воздействия. К сожалению, СМР далеко не всегда делается, и это приводит к последствиям, подобным тем, которые наблюдались при Калининградских землетрясениях 2004 г.

В строительной практике, в ряде случаев, в отличие от обычной вероятностной схемы оценки сейсмической опасности, нередко применяются и детерминистические методы расчета ожидаемых сейсмических воздействий от так называемых сценарных землетрясений, независимо от того, когда они произойдут. При этом для расчета спектров реакции конкретных зданий и сооружений на сейсмические воздействия рассчитываются теоретические акселерограммы, учитывающие геолого-геофизические и динамические параметры потенциального сейсмического очага и среды, в которой распространяются сейсмические волны, а также влияние реальных грунтов и, в том числе, их резонансные свойства. Вместе с тем, и в этих случаях нередко следует преобразовывать детерминистические оценки в вероятностные, отвечающие нормативным требованиям карт ОСР-97 и СНиП П-6-81* [Уломов, 2005; 2006].

3. НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СЕЙСМИЧНОСТИ КАЛИНИНГРАДСКОГО РАЙОНА

Восточно-Европейская платформа (ВЕП), на северо-западе которой расположена Калининградская область, характеризуются относительно слабой сейсмичностью и редко возникающими здесь местными землетрясениями с магнитудой $M \leq 5.5$ и интенсивностью в эпицентре до $I_0 = 6-7$ баллов. Сейсмичность северо-западной части России обусловлена, главным образом, продолжающимися послеледниковыми изостатическими вертикальными движениями литосферы Фенноскандии. На территории Калининградской области ощущаются землетрясения Скандинавии (Норвегия, 1817 г.), а также наиболее крупные сейсмические события, возникающие на глубинах 100–200 км в Восточных Карпатах (Румыния, зона Вранча (1802, 1940, 1977 и др.). На Кольском полуострове и сопредельной с ним территории отмечены и более сильные землетрясения (Белое море, Кандалакша, 1626 г., $M = 6.3$). В Кенигсберге (нынешнем Калининграде), как и по всей Пруссии, ощущались землетрясения, произошедшие в Польше в 1803 г. и в Швеции – в 1904 г. Слабые сотрясения

интенсивностью до 5–6 баллов возможны практически повсеместно на территории ВЕП. Нередко сейсмическая активность индуцируется техногенным воздействием на литосферную оболочку Земли (добыча нефти, газа и других полезных ископаемых, закачка флюидов в разломы и т.п.).

Анализ каталогов слабых землетрясений в районе Калининградской области

Анализ сейсмологических бюллетеней Геофизической службы (ГС) РАН за 1980–2006 гг., Международного сейсмологического центра ISC (Великобритания) – за 1948–2003 гг. и сейсмологического бюллетеня REB (Австрия) за 2000–2007 г. показал, что ближайшими по времени к моменту возникновения и по расстоянию от эпицентральной области Калининградских землетрясений 21 сентября 2004 г. были 14 слабых сейсмических события, произошедшие с 18 февраля по 25 мая 2004 г., а также 3 события, возникшие в октябре, т.е. после серии Калининградских землетрясений. Ближайшее к очагу землетрясение с $M_b = 4.4$, по данным ГС РАН, возникло в Балтийском море 18 декабря 2002 г.

В последние годы достаточно подробная информация о сейсмичности рассматриваемой нами территории стала публиковаться в Интернете на сайте Европейского Средиземноморского сейсмологического центра EMSC (Франция). Фрагмент одной из таких карт приведен на рис. 2а. Обилие сейсмических событий в акватории Гданьского залива западнее Калининградской области вызывает сомнение относительно тектонической природы большинства из них. Особенно это относится к карте эпицентров, построенной нами по каталогу REB (Австрия), в котором явно преобладают записи взрывов, а не землетрясений, поскольку эта служба осуществляет сейсмический контроль за взрывами в рамках Договора о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (The Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty – СТВТ, 1996 г.).

На рис. 2б отчетливо видно упорядоченное линейное группирование эпицентров, оконтуренных нами двумя прямоугольниками. Обращает на себя внимание субмеридиональное расположение южной полосы эпицентров, не согласующееся с общим юго-восточным простиранием геологических структур. Здесь же приведены круговые теоретические изосейсты, рассчитанные нами для средних грунтов. При глубине гипоцентра около 15 км сейсмические сотрясения на территории области не должны были бы превышать 5 баллов. Однако, как уже отмечалось, из-за неблагоприятных грунтовых условий реальный сейсмический эффект почти на целый балл превысил расчетные значения. Определенную роль при этом сыграла и продолжительность сейсмических воздей-

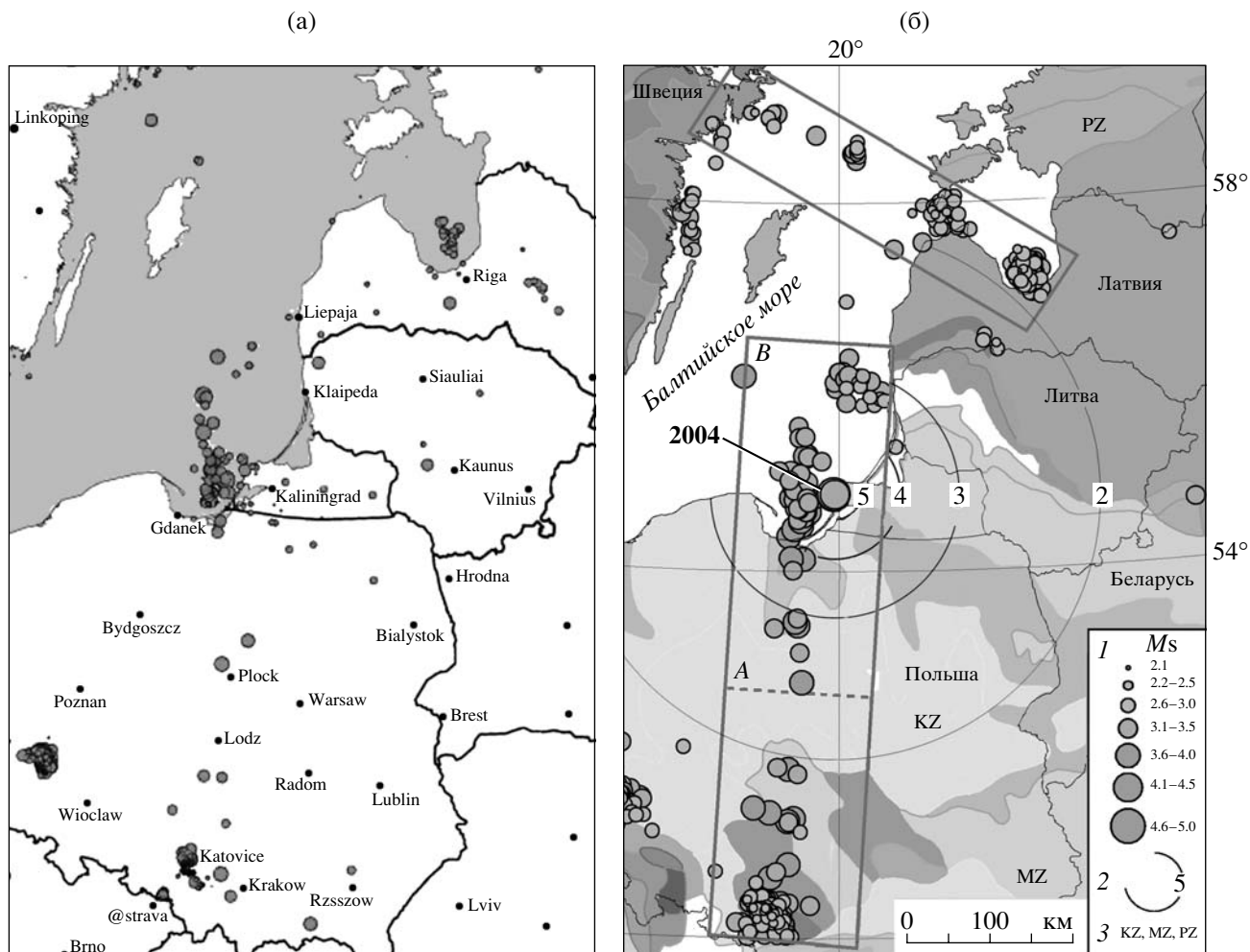


Рис. 2. Фрагмент карты Европейского Средиземноморского сейсмологического центра EMSC (European Mediterranean Seismological Centre, Франция) с эпицентрами землетрясений с магнитудой $M > 3$ (а) и геологическая карта (б) с эпицентрами сейсмических событий с $M > 2$, по данным каталога REB (Reviewed Event Bulletin) за 2000–2006 гг. (Австрия, Вена): 1 – эпицентры сейсмических событий разных магнитуд M_s ; 2 – теоретические изосейсты (в баллах MSK-64) Калининградского землетрясения в 13 час 32 мин 21 сентября 2004 г. (эпицентр указан стрелкой); 3 – возраст геологических структур.

ствий. Не менее девяти толчков оказались ощутимыми.

Все сейсмические события из каталога REB в интервале магнитуд $2.3 < M \leq 4.9$, расположенные в южной части Балтийского моря и на территории Польши (южная полоса), нами подвергнуты анализу с целью определения степени их возможного использования для оценки сейсмической опасности на территории Калининградской области. На рис. 3 приведена последовательность возникновения этих сейсмических событий во времени. Столь огромное их число за семилетний интервал времени не свойственно даже самым сейсмоактивным регионам, что указывает на техногенное происхождение большинства из них. В общей сложности каталог “южной полосы” насчитывает 276 событий, из которых по одному событию имеют магнитуды 4.9, 4.5, 3.9 и 3.8, и их

можно отнести к тектоническим. Остальные события, разного происхождения, распределились по интервалам 0.1 единицы M , как показано на рис. 4. События с $M < 3.0$ явно не представительны, а с $M = 3.0$ и более достаточно естественно убывают по экспоненте. Угол наклона их логарифмического графика повторяемости близок к $b = -0.8$.

Почасовое внутрисуточное распределение числа сейсмических событий в течение суток за период 2000–2007 гг. приведено на рис. 5, где видно, что преобладающее их количество четко приурочено к утренним часам рабочего дня. Они выделены прямоугольником и имеют, скорее всего, техногенное происхождение. Несомненно, что они наличествуют и среди оставшихся событий, не попавших в выделенный прямоугольник. Вместе с тем, как уже отмечалось, представляло интерес

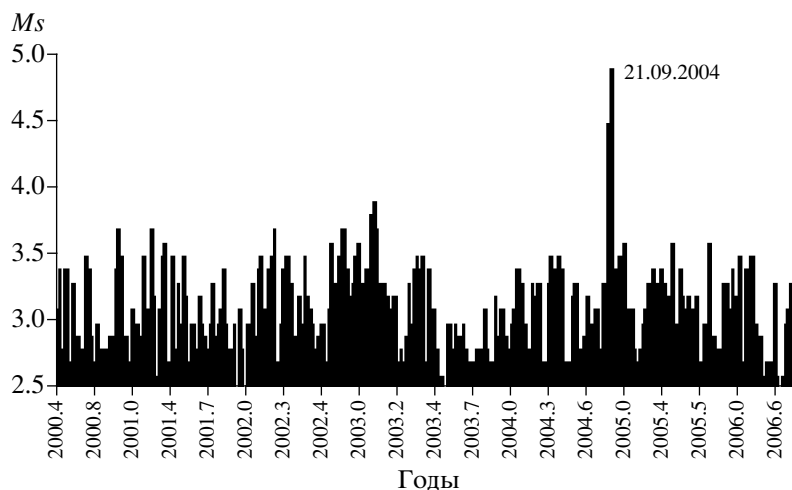


Рис. 3. Последовательность возникновения сейсмических событий в интервале магнитуд $2.3 < M \leq 4.9$ в период 2000–2006 гг. по каталогу REB (Австрия). Калининградские землетрясения помечены датой.

проследить за пространственно-временным развитием всего потока сейсмических событий.

Некоторые особенности развития сейсмогеодинамических процессов

На рис. 6 приведены графики накопления сейсмических событий с магнитудами $M = 3.0 \pm 0.2$ и $M = 3.5 \pm 0.2$ в пределах южной полосы (см. рис. 2б) по каталогу REB за период с 2000 г. до середины 2007 г. Прямые линии с достаточно высоким коэффициентом корреляции ($R^2 = 0.98$) аппроксимируют каждую из последовательностей. Обращают на себя внимание заметные отклонения в скорости потока событий от аппроксимирующих прямых. Прежде всего, это почти годовые затишья в их возникновении. Как видно, резкий спад в скорости появления событий с $M = 3.0 \pm 0.2$ возник в середине 2002 г. События с $M = 3.5 \pm 0.2$ с середины 2003 г. почти целый год вообще отсут-

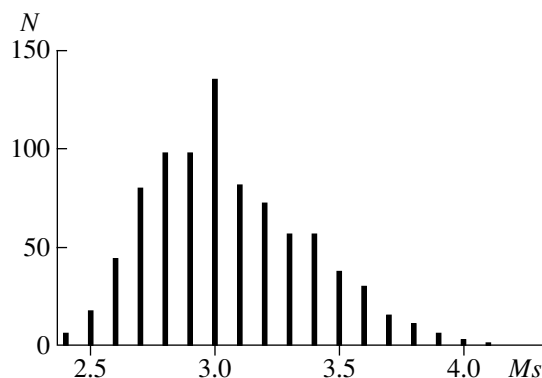


Рис. 4. Распределение числа сейсмических событий N “южной полосы” из каталога REB с шагом 0.1 единицы M_s .

ствовали. Обе аномалии в последовательности сейсмических событий предшествовали “вспышке” Калининградских землетрясений, время возникновения которых помечено на рис. 6 отрезком горизонтальной линии. Другой аномальный период существенного снижения скорости потока сейсмических событий возник в начале 2006 г. для $M = 3.0 \pm 0.2$ и весной 2006 г. – для событий с $M = 3.5 \pm 0.2$. Это затишье продолжает наблюдаться и по настоящее время, т.е. до конца 2007 г.

На рис. 7 представлен аналогичный график для 30 сейсмических событий в интервале магни-

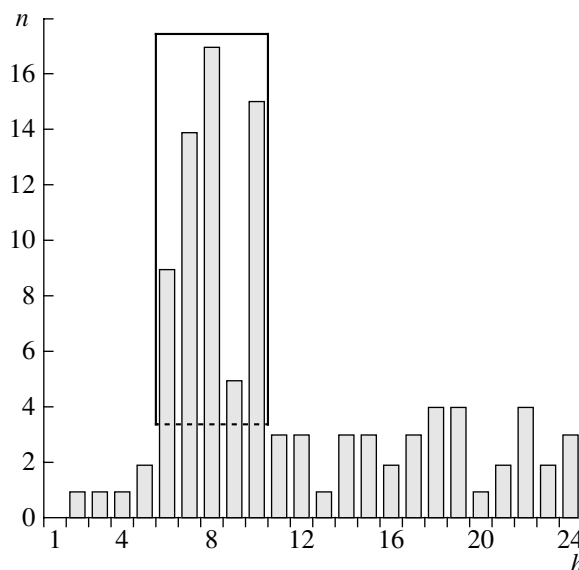


Рис. 5. Почасовое (h) внутрисуточное распределение числа (n) сейсмических событий в течение суток за период 2000–2007 гг. Прямоугольником оговорены события явно не тектонического происхождения.

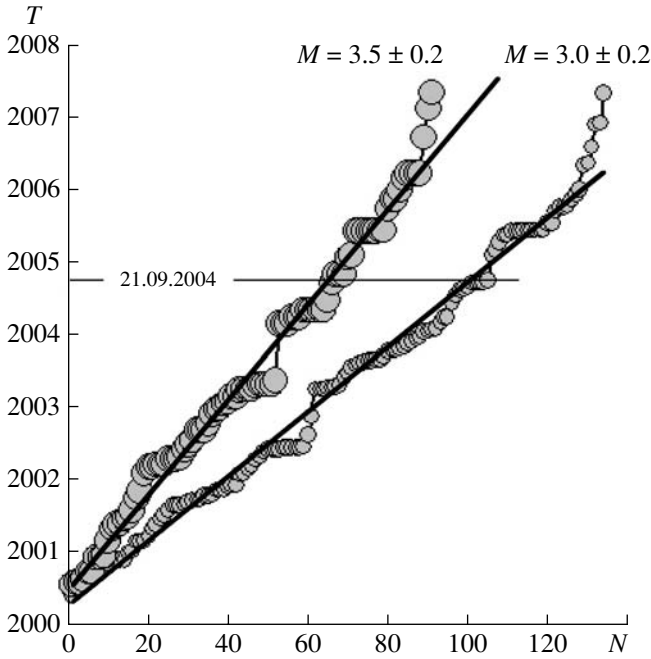


Рис. 6. Графики накопления сейсмических событий в пределах южной полосы (см. рис. 2б) по каталогу REB. N – порядковые номера в последовательности событий с магнитудами $M = 3.0 \pm 0.2$ и $M = 3.5 \pm 0.2$ в течение T лет. Датой 21.09.2004 г. помечено время возникновения наиболее сильного Калининградского землетрясения.

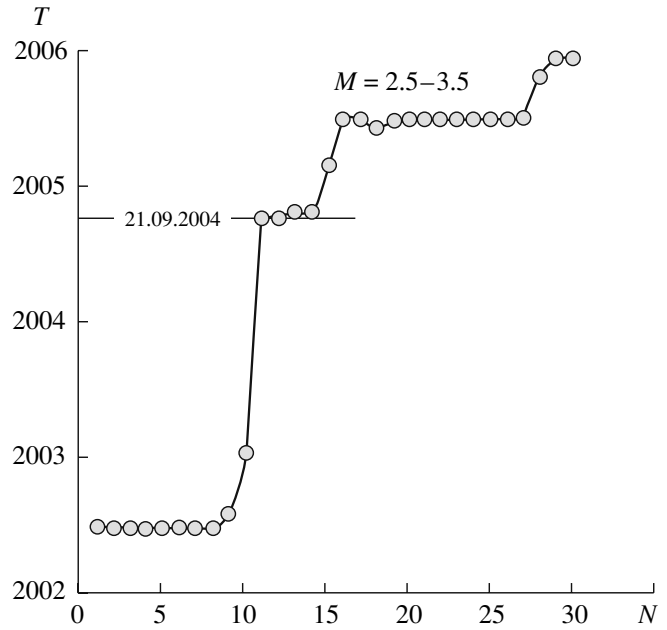


Рис. 7. График накопления сейсмических событий в интервале магнитуд $M = 2.5 - 3.5$ в пределах южной полосы (см. рис. 2б), частично очищенных от взрывных источников. Датой 21.09.2004 г. помечено время возникновения наиболее сильного Калининградского землетрясения.

туд $M = 2.5-3.5$, произошедших с середины 2002 г. до конца 2006 г. На этот раз из каталога были удалены предполагаемые техногенные события, приуроченные к утреннему времени (см. рис. 5). Так же, как и в предыдущем случае, резкое затишье началось в середине 2002 г. Однако длилось оно на этот раз почти 2.5 года, вплоть до серии Калининградских землетрясений, помеченной датой 21.09.2004 г., после которых такое же затишье продолжалось еще около полугода.

Выявляются также некоторые особенности в миграции сейсмических источников в пределах южной полосы. Рис. 8 иллюстрирует пространственно-временное распределение сейсмических событий, произошедших в пределах верхней части этой полосы, на участке АВ, ближайшем к Калининградской области. Вдоль оси абсцисс отложены расстояния, отсчитываемые от пунктирной линии на рис. 2б, а по оси ординат – время (годы) возникновения каждого из сейсмических событий.

Можно выделить три ветви миграции эпицентров вдоль участка АВ южной полосы. Основной является центральная ветвь, на которой расположен эпицентр главного Калининградского землетрясения 21.09.2004 г. Вдоль нее произошла основная масса событий. Эта ветвь характеризуется относительно невысокой скоростью миграции – около 8 км/год. Скорость групповой миграции по двум другим ветвям почти на порядок выше – 79 км/год и

73 км/год. Причем ветвление началось вблизи эпицентральной области Калининградского землетрясения за несколько лет до его возникновения и распространилось в разные стороны от нее – к юго-юго-западу и к северу-северо-востоку.

Нельзя исключить и возможное инициирование тектонических землетрясений на западе Ка-

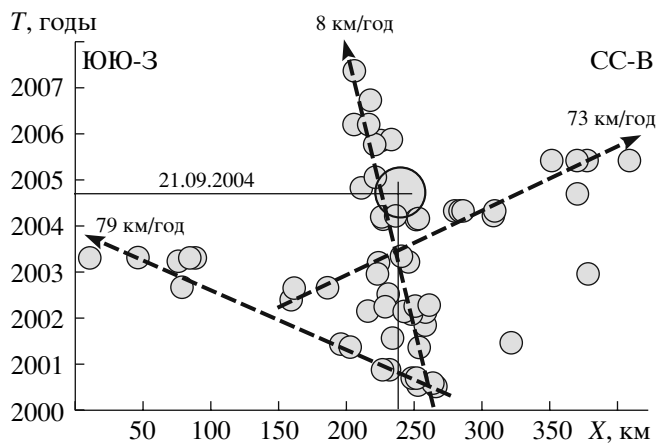


Рис. 8. Графики миграции сейсмических событий из каталога REB в пределах участка АВ южной полосы (рис. 2б) в период 2000–2007 гг. Пунктирные стрелки с цифрами указывают направление и скорость миграции.

лининградской области многочисленными техногенными воздействиями (взрывы, эксплуатация скважин и др.), на что обращает внимание в следующей статье и С.А. Ковачев при анализе сейсмографических материалов, полученных им на шельфе Гданьского залива [Ковачев, 2008].

Здесь уместно также упомянуть и еще об одном природном явлении, наблюдавшемся в течение нескольких лет до Калининградских землетрясений географами Калининградского государственного университета. В ряде районов области было зарегистрировано аномальное повышение температуры воды глубинного происхождения. Значительное повышение (до 50 градусов, по Цельсию) температуры подземной воды в колодцах в последний раз наблюдалось в конце декабря 2002 г. [Кривошеев, 2003]. Это происходило то в одном, то в другом районе области. Только за 2002 г. выявлено три случая появления горячей воды в глубоких колодцах, сопровождавшихся выделением пара. Сначала горячая вода была обнаружена в колодце поселка Лесное близ национального парка “Куршская коса”, а летом она появилась в колодце в районе Виштынецкого озера. Оба раза высокая температура воды в колодцах продержалась две недели, а затем буквально за один день упала и пришла в норму. Не исключено, что все эти аномальные явления и проявление сейсмичности в этот период имели одну и ту же глубинную геодинамическую природу.

В этой связи интересно напомнить, что явление изменения режима подземных вод в связи с землетрясениями замечено давно. В нашей стране первые сейсмогидродинамические исследования были проведены в 1901–1902 гг. на Кавказе Ф. Мольденгауэром, который систематически наблюдая за термоминеральным источником в Боржоми, установил зависимость между нарушениями регулярной периодичности источника и местными сейсмическими явлениями. Исследования природы Ташкентского землетрясения 1966 г. ($M = 5.2$) позволили нам возродить в отечественной сейсмологии методы сейсмогидродинамики [Уломов, Мавашев, 1967]. Связь деформирования земной коры в период, предшествующий этому землетрясению, была выявлена в результате анализа содержания инертного газа радона в термоминеральной воде Ташкентского артезианского бассейна. Радонный метод поиска предвестников землетрясения сразу же получил широкое распространение во многих странах мира. В результате обследования эпицентральных областей других землетрясений была обнаружена связь между изменениями температуры и напора термальной воды, предшествующих и сопровождавших землетрясения. Было показано, что эти и другие аномальные явления представляют полезную информацию о глубинных тектонических процессах. С другой стороны, сама вода может содействовать возникновению

землетрясений (так называемая индуцированная сейсмичность).

Геофизик В.В. Орленок, декан факультета географии и геоэкологии Калининградского государственного университета, и его коллеги полагают, что предвестниками “вскипания” колодцев могут быть местные и близкие землетрясения. Три обследованных за последнее время колодца оказались в зоне, расположенной над глубинными разломами, вблизи которых известны крупные месторождения нефти, а в воде пласта, содержащего нефть, на глубине около 2 тысяч метров отмечено повышение температуры до 80° при нормальных для такой глубины около 20°.

4. СЕЙСМИЧНОСТЬ И ОЦЕНКА СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ КАЛИНИНГРАДСКОГО РАЙОНА

Известно, что сейсмичность Фенноскандии теснейшим образом связана с постгляциологическими современными движениями земной коры и всей литосферы этого региона. При этом на общем фоне поднятия Фенноскандии ее периферийным частям свойственно опускание, изостатически выравнивающее выдавливание, возникшее в период оледенения. Так, территория Калининградской области расположена в пределах длительно развивающейся Польско-Литовской синеклизы, продолжающей до сих пор прогибаться со скоростью около 1 мм в год. Синеклиза характеризуется глубоким погружением кристаллического фундамента и достаточно мощным осадочным чехлом, компенсирующим этот прогиб. Новейшие тектонические движения, охватившие отдельные участки платформенного чехла, расчлененного на блоки, привели к некоторому поднятию их на общем фоне прогибания. К таким блокам относится и Самбийский полуостров, особенно его западная часть, омываемая Балтийским морем и проявившая себя сейсмичностью в 2004 г.

Рис. 9 иллюстрирует составленную нами карту сейсмогеодинамики Прибалтийского региона, характеризующую сейсмичность по данным Специализированного каталога землетрясений, использованного при создании карт ОСР-97 [Кондорская, Уломов, 1995] и дополненного до 2007 г. по данным Геофизической службы РАН. Здесь же изолиниями показаны современные вертикальные послеледниковые движения земной коры Фенноскандии, по данным [Екман, 1996]. Косой штриховкой покрыты полосы наибольшей плотности эпицентров сейсмических событий по каталогу РЕВ за 2000–2006 гг. (см. рис. 2б). Серыми тонами разной интенсивности изображен фрагмент карты ОСР-97С, самой “строгой” из комплекта нормативных карт и соответствующей повторяемости сейсмического эффекта в среднем один раз за 5000 лет и вероятности 1% возможного его пре-

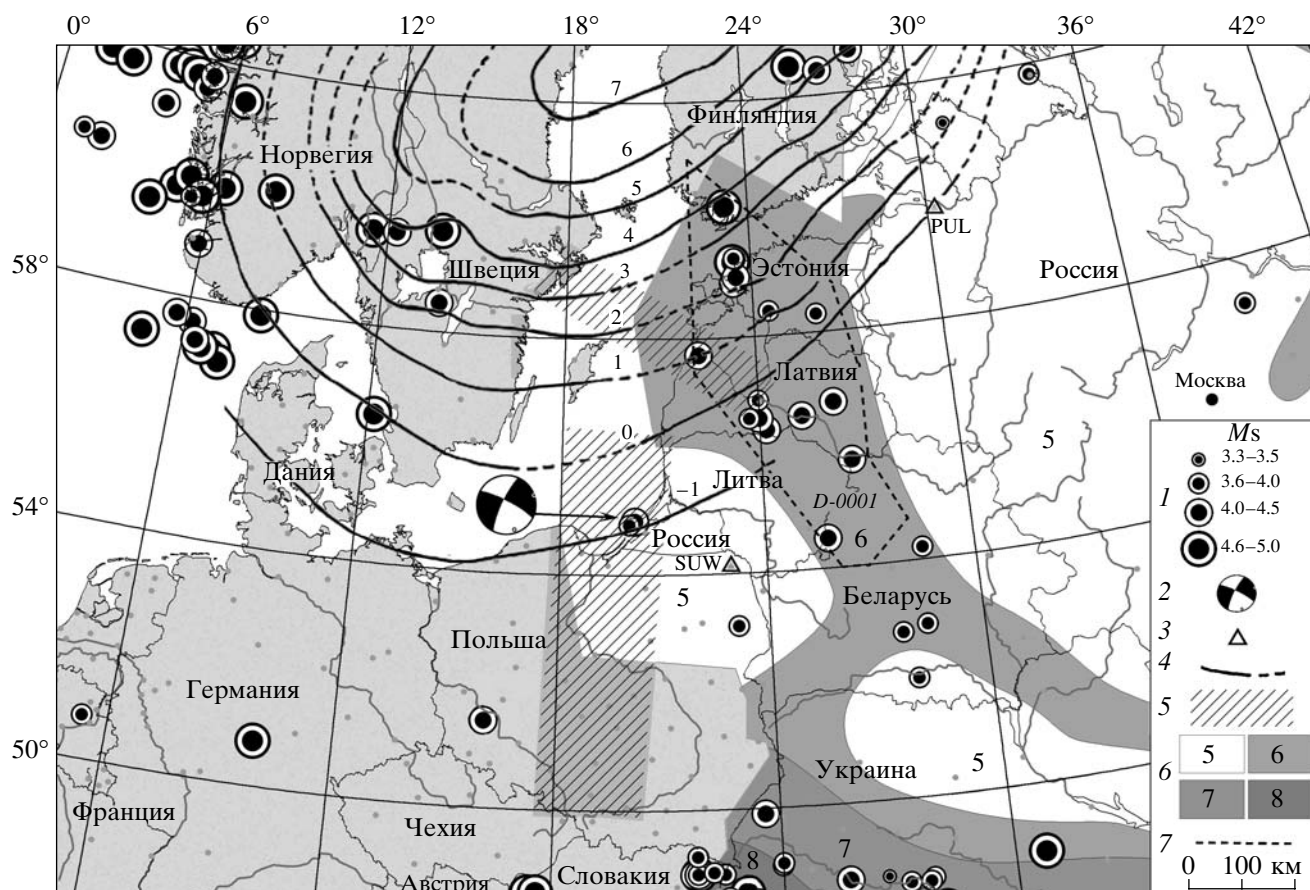


Рис. 9. Сейсмогеодинамика Прибалтийского региона: 1 – эпицентры землетрясений по Специализированному каталогу (SECNE) [Кондорская, Уломов, 1995], дополненному до 2007 г.; 2 – механизм очага землетрясения в 13 час 32 мин 21 сентября 2004 г.; 3 – сейсмические станции SUW и PUL, упоминающиеся в статье; 4 – изолинии скорости (мм/год) современных постгляциологических движений земной коры Фенноскандии, по данным [Ekman, 1996]; 5 – полосы упорядоченного квазилинейного расположения эпицентров по каталогу REB; 6 – зоны сейсмической интенсивности в баллах на карте ОСР-97С; 7 – контур домена D-0001 модели зон ВОЗ.

вышения в течение 50 лет. Многоугольник, оконтуренный пунктирной линией, иллюстрирует домен D-0001 – один из структурных элементов модели зон ВОЗ, охватывающий эпицентры землетрясений на северо-западе Восточно-Европейской платформы и использовавшийся при создании карт ОСР-97. В табл. 1 приведены основные параметры этих землетрясений.

Количественные параметры очагов Калининградских землетрясений

На рис. 9 стрелкой выделен эпицентр главного землетрясения, произошедшего в 13 час 32 мин 21 сентября 2004 г. в прибрежной зоне Калининградской области, и показан механизм его очага в стереографической проекции на нижнюю полушару, по данным Гарвардского центра (США). Подвижка пород в сейсмическом очаге произошла в условиях сжимающих напряжений, ориентированных в направлении SE – NW, и растягива-

ющих напряжений в направлении NE – SW. Обе nodальные плоскости имеют довольно крутое падение. Значение моментной магнитуды, по данным этого центра, соответствует Mw = 4.7.

Рис. 10 иллюстрирует инструментальные записи трех наиболее сильных Калининградских землетрясений, по данным сейсмической станции Пулковско (PUL, Россия), удаленной от эпицентра на расстояние 826 км. Как видно, в Пулковско ускорения колебаний грунта достигали 5 см/сек², что соответствует сейсмической интенсивности 2–3 балла, ощущавшейся в Санкт-Петербурге. Ближайшей к эпицентру сейсмостанцией, инструментально зарегистрировавшей это землетрясение, оказалась станция Сувалки (SUW, Польша), эпицентральное расстояние 234 км.

В табл. 2 приведены основные параметры трех землетрясений 21 сентября 2004 г., определенные службами ГС РАН и EMSC.

Таким образом, максимальная магнитуда наиболее сильного Калининградского землетрясе-

Таблица 1. Основные параметры землетрясений в домене D0001

Год	Месяц	День	Час	Глубина, км	M_s
1616	6	30	7	5	4.1
1670	2	1	22	8	3.9
1821	2	20	23	3	4.0
1821	2	21	4	13	4.5
1827	9	28	9	14	4.0
1857	5	18	11	10	4.5
1877	10	16	5	10	4.2
1896	9	20	15	5	3.5
1907	1	22	23	7	3.5
1908	12	28	22	10	4.5
1908	12	29	19	10	4.5
1908	12	30	2	10	4.5
1909	1	31	7	6	3.5
1910	5	21	3	10	4.0
1934	12	12	20	25	4.9
1976	10	25	8	10	4.7
1976	10	25	8	10	3.5
1976	11	8	10	10	3.5
1987	4	8	20	18	3.5

ния, произошедшего 21 сентября 2004 г. в 13 ч 32 мин, соответствует $M_s = 4.3$, а сейсмический эффект в эпицентре, находящемся в акватории, по-видимому, составляет $I_0 = 6-7$ баллов.

Модель сейсмических источников в районе Калининградской области

Как уже сказано выше, Калининградская область расположена в 5-балльной зоне сейсмичности на всех картах ОСР-97. Зона, характеризующаяся интенсивностью 6 баллов и проявляющаяся лишь на карте ОСР-97С, удалена на расстояние около 100 км к востоку от границ Калининградской области. В пределах этой зоны расположено

достаточно большое для платформенной территории число эпицентров землетрясений, объединенных при создании карт ОСР-97 в домен D0001, один из 458 доменов ЛДФ-модели зон ВОЗ Северной Евразии.

На рис. 11 изображены очертания границ квазиоднородных в сеймотектоническом отношении зон сейсмических источников (доменов), сейсмогеодинамические параметры которых использовались в расчетах сейсмической опасности на рассматриваемой территории при составлении карт ОСР-97, а также фрагмента мировой карты сейсмической опасности, опубликованной в 1999 г. в США [The Global..., 1999; Grünthal et al., 1999]. Последняя представлена в ускорениях колебаний грунта и оценивает ожидаемый сейсмический эффект величиной от 0 до 20 см/с² на всей обширной территории, охватывающей без какой-либо дифференциации сплошь всю Калининградскую область и сопредельные районы Прибалтийских стран. Эта оценка сейсмического эффекта соответствует интенсивности, значительно меньшей 5 баллов, по шкале MSK-64.

Как видно на рис. 11, при исследованиях по ОСР-97 ближайшими к Калининградской области были домены D0002, D0001 и D0015, максимальная магнитуда землетрясений и параметры сейсмического режима в которых стали определяющими при расчетах сейсмической опасности в этом регионе. Однако, из-за отсутствия в то время каких-либо сведений о проявлении местной сейсмичности в Калининградской области и на сопредельной территории, западная граница доменов для ОСР-97 была проведена по меридиану 22° в.д. [Shebalin et al., 2000]. Вместе с тем, несмотря на то что ближайший домен D0002 охватил лишь восточную часть Калининградской области, расчет сейсмического эффекта от него и от двух других доменов (D0001, D0015) был распространен на всю территорию области [Уломов, Шумилина, 1999] и, как уже сказано выше, составил 5 баллов с чрезвычайно низкой (менее 1%) вероятностью превышения этой величины в течение 50 лет.

Таблица 2. Основные параметры Калининградских землетрясений

Наименование служб	GMT ч. м. с.	Lat, N	Lon, E	H , км	M_s	mb	I_0
ГС РАН	11-05-05	54.84	20.13	21	4.1	4.9	4-5
	13-32-31	54.84	20.17	17	4.3	5.1	5-6
	13-36-24	54.87	19.99	1	3.0	-	3-3.5
EMSC	11-05-04	54.69	20.23	10	-	4.4	-
	13-32-29	54.77	19.94	10	-	5.0	-

Примечание: GMT – время по Гринвичу (часы, минуты, секунды), Lat – широта, Lon – долгота, H – глубина гипоцентра, M_s – магнитуда по поверхностной волне, mb – магнитуда по объемной волне, I_0 – интенсивность сотрясений в эпицентральной зоне в баллах [Маловичко и др., 2006; 2007; Сейсмологический..., 2005].

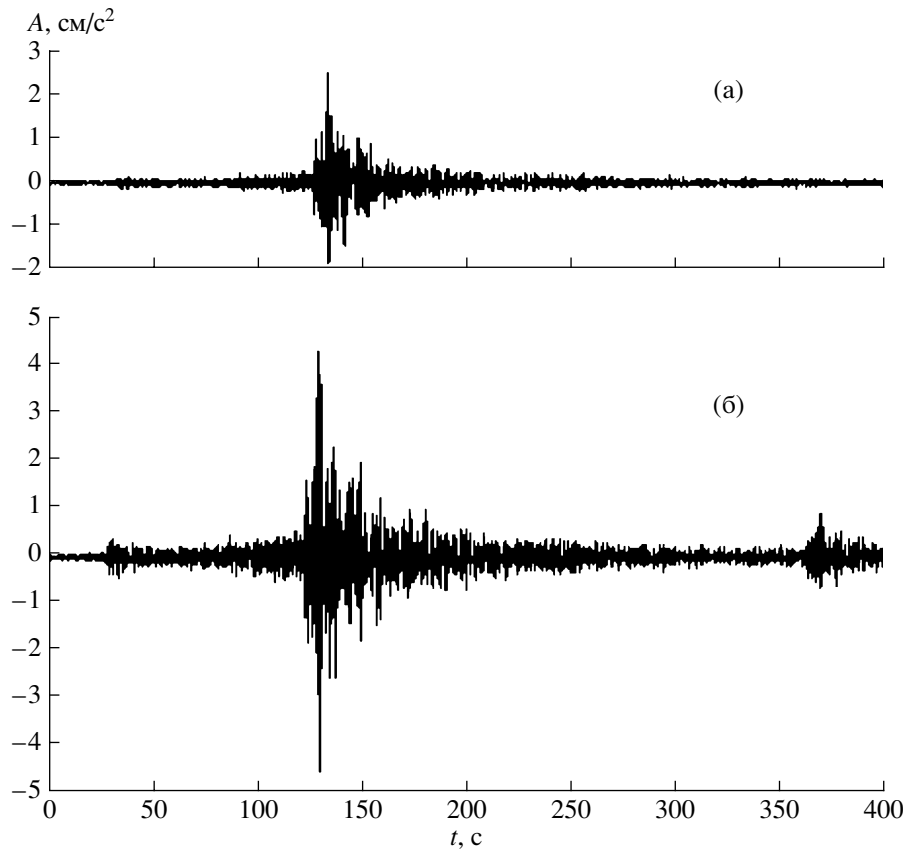


Рис. 10. Записи ускорений колебаний грунта, по данным сейсмостанции Пулково, во время трех толчков Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 г. – (а) в 11 ч 05 мин ($M_s = 4.1$); (б) в 13 час 32 мин ($M_s = 4.3$) и в 13 час 36 мин ($M_s < 4.0$).

После возникновения в 2004 г. Калининградского землетрясения с $M_s = 4.3$ и появления в печати каталогов REB и EMSC с информацией о слабых сейсмических событиях, нами был выполнен описанный выше всесторонний анализ сейсмической обстановки в этом регионе. В результате к основной ЛДФ-модели зон ВОЗ ОСР-97 нами добавлены два домена – D0459 и D0460, изображенные на рис. 11, и выполнен цикл расчетов и построений по сейсмическому районированию Калининградской области и сопредельной территории. Однако из-за низкой надежности упомянутых каталогов, в которых, как показано выше, явно преобладают не тектонические землетрясения, а техногенные события, нами за основу параметризации домена D0459, в пределах которого размещены эпицентры Калининградских землетрясений 2004 г., принят сейсмический режим самого активного в этой части Восточно-Европейской платформы домена D0001, расположенного восточнее (см. рис. 9). При этом за максимальную возможную магнитуду потенциально землетрясения в домене D0459 принята $M_s = 5.0$, более чем на 0.5 единиц превышающая маг-

нитуду самого сильного Калининградского землетрясения 2004 г.

В табл. 3 для соответствующих магнитуд M_s , свойственных рассматриваемым доменам, приведены величины среднегодовой скорости V потока сейсмических событий и периодов T (годы) повторяемости землетрясений в пределах домена D0459, вычисленные на основе графика повторяемости таких событий в домене D0001 с учетом соотношения площадей этих доменов. Размеры площадей каждого из доменов указаны в верхней

Таблица 3. Сейсмический режим в доменах D0001 и D0459

M_s	D0001 160 тыс. кв. км $\log N = 1.796 - 0.8M_s$		D0459 25 тыс. кв. км $\log N = 0.989 - 0.8M_s$	
	$V = 1/N$	$T = 1/V$	$V = 1/N$	$T = 1/V$
3.50	0.09901	10	0.01547	65
4.00	0.03942	25	0.00616	162
4.50	0.01569	64	0.00245	408
5.00	0.00625	160	0.00098	1024

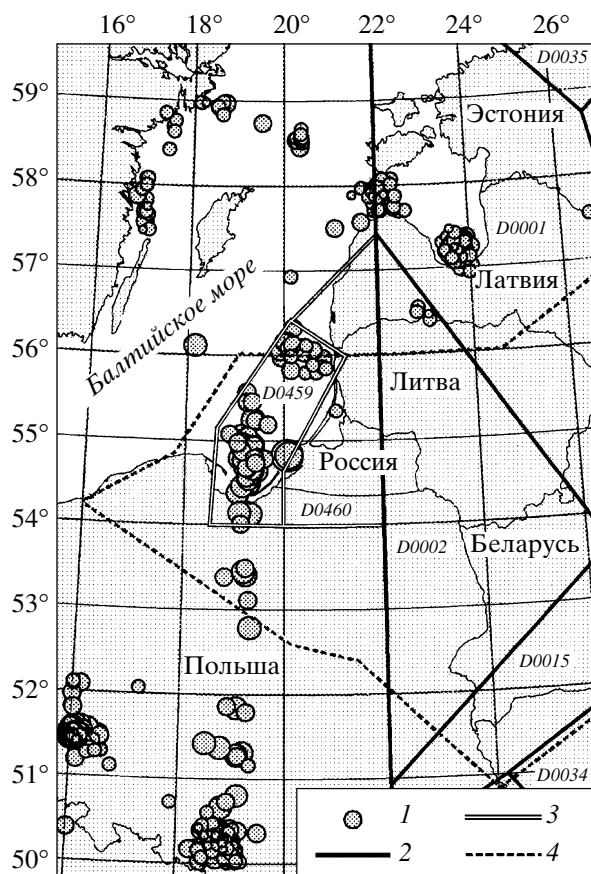


Рис. 11. Контуры сейсмических доменов в районе Калининградской области: 1 – эпицентры землетрясений по каталогу REB, 2 – границы доменов, использованных при OCP-97, 3 – границы доменов, добавленных для учета нового каталога землетрясений, появившегося в 2000 г., 4 – фрагмент границы зоны сейсмических источников, использовавшейся при картировании сейсмической опасности в Европейско-Средиземноморском регионе GSHAP [Grünthal et al., 1999].

части таблицы. Они обусловили уменьшение скорости потока сейсмических событий и увеличение периодов повторяемости землетрясений в домене D0459 в 6.4 раза. Здесь же для каждого из доменов приведены уравнения графиков повторяемости землетрясений, угол наклона которых $b = -0.8$ характерен для платформенной территории.

Аналогичным образом был параметризован и домен D0460, для которого с учетом размеров площадей приняты потоки сейсмических событий, свойственные соседнему с ним домену D0002.

Оценка сейсмической опасности в районе Калининградской области с учетом активизации в 2004 г.

На основе дополненной доменами D0459 и D0460 модели зон ВОЗ нами вновь (после 1997 г.) выполнены расчеты сейсмической опасности на территории Калининградской области. Следуя нор-

мативным требованиям OCP-97, результаты представлены на рис. 12 в виде карт OCP-97 (A, B, C) с присущими им вероятностными оценками (т.е. рисками) 10%, 5% и 1% возможного превышения указанной на картах сейсмической интенсивности в течение 50-летних интервалов времени. Отличием от типовых нормативных карт OCP-97, на которых границы, разделяющие зоны целочисленной балльности, проведены по изолиниям, содержащим значения 0.5 в своих номиналах, здесь показаны все изолинии через 0.2 балла.

Как видно, на карте OCP-97A практически вся территория Калининградской области расположена в зоне 3-балльной и более слабой сейсмичности, и лишь западнее изолинии, проходящей вблизи пунктов Светлогорск и Ладушкин, появляется 4-балльная зона. На карте OCP-97B в узкую 5-балльную зону попадают лишь прибрежные города – Янтарный, Приморск и др. Наконец, только на карте OCP-97C, в крайней западной части Калининградской области, расчетная сейсмическая интенсивность превысила 5.5 баллов, в связи с чем здесь появилась 6-балльная зона. Ее восточная граница проходит между следующими парами населенных пунктов – Светлогорск и Янтарный, Светлый и Приморск, Ладушкин и Мамоново. На этой же карте жирным пунктиром нанесена граница 6-балльного сейсмического эффекта при Калининградском землетрясении 2004 г., по данным работы [Ассиновская, Овсов, 2008]. Естественно, что она охватила меньшую площадь по сравнению с расчетной, поскольку вызвана землетрясением с $M_s = 4.3$, в то время как наши расчеты выполнены для максимальной возможной магнитуды $M_{\max} = 5.0$.

5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сейсмическая активизация во второй половине сентября и в октябре 2004 г. проявилась не только в Калининградской области, но также в западной части Финского залива, на территории Польши, Северной Германии, что указывает на масштабность региональных геодинамических процессов в этот период. Калининградское землетрясение с $M_s = 4.3$ оказалось наиболее сильным из этой серии сейсмических событий. Несмотря на умеренную величину магнитуды, ощутимые колебания охватили необычайно огромную площадь в Балтийском регионе, распространившись на территории соседних стран – Литвы, Беларуси, Латвии, Эстонии, Польши, достигли юго-западной Финляндии, южной Швеции и восточной Дании.

Небезынтересно отметить, что 2004 г. вообще оказалась чрезвычайно активной в отношении глобальных сейсмических проявлений. В декабре у берегов Суматры и Андаманских островов возникло одно из крупнейших землетрясений мира с $M = 9.0$. Примечательно, что сейсмические события с магнитудами $M = 8.5 \pm 0.2$ и более, вообще

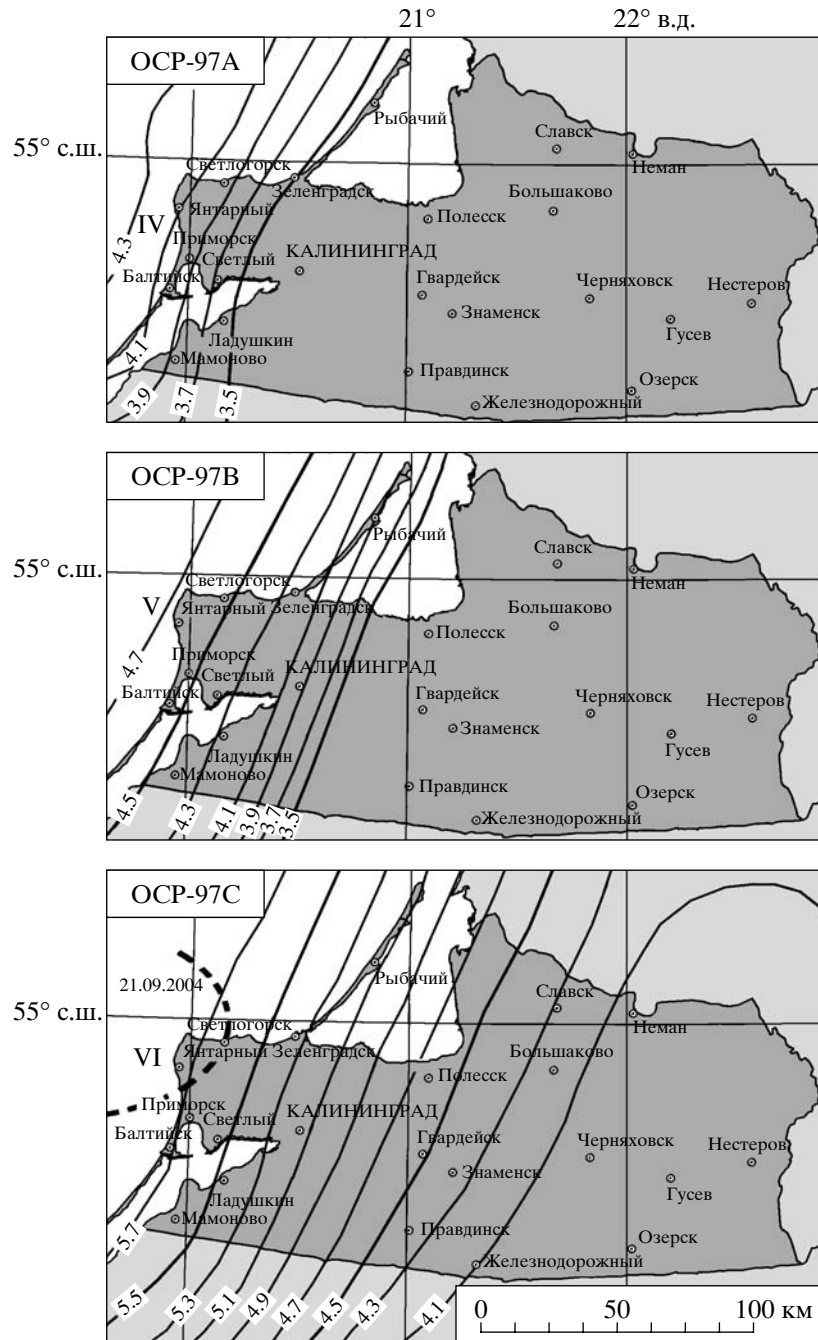


Рис. 12. Результаты расчета вероятного сейсмического эффекта на территории Калининградской области на основе учета параметров дополнительных доменов D0459 и D0460 модели зон ВОЗ. В отличие от типовых нормативных карт ОСР-97 здесь показаны все изолинии через 0.2 балла. Жирной пунктирной линией показана восточная граница 6-балльной территории по данным работы [Ассиновская, Овсов, 2008].

отсутствовавшие почти 40 лет, начиная с 2001 г. стали происходить на земном шаре практически ежегодно. Более того, исследования особенностей развития глобальных сейсмогеодинамических и гидрогеодинамических процессов позволили нам обнаружить определенный синхронизм в изменениях сейсмического режима Земли и уровня водной поверхности в Мировом океане [Уломов,

2007а; 2007б]. На территории Европы, в Восточных Карпатах (зона Вранча), 27 октября 2004 г. произошло самое крупное за последние 14 лет землетрясение с моментальной магнитудой $M_w = 5.9$ и очагом на глубине около 100 км, ощущавшееся на больших расстояниях от эпицентра.

Возвращаясь к теме оценки сейсмической опасности в Калининградской области, напомним

ним, что на всех официальных картах ОСР-97 (А, В, С) вся территория области отнесена к 5-балльной зоне. Эти оценки перекрывают все приведенные на рис. 12 величины, полученные расчетным путем с учетом произошедших в 2004 г. Калининградских землетрясений, за исключением крайней западной части области, которая до 2004 г. была практически “белым пятном”. Поэтому потенциальная сейсмичность Калининградской области для нормативных карт ОСР-97 оценивалась нами путем экстраполяции сейсмического эффекта, ожидаемого с востока, с территории Литвы, Латвии и Эстонии, характеризующейся достаточно большим числом эпицентров землетрясений с магнитудами $3.5 \leq M_s \leq 4.9$, объединенных нами доменом D0001 в модели зон ВОЗ ОСР-97 (см. табл. 1 и рис. 9).

Поскольку для оценки параметров сейсмического режима в домене D0459, в пределах которого расположены эпицентры Калининградских землетрясений 2004 г., оказалось нецелесообразным использовать каталоги EMSC и REB из-за отсутствия в них необходимой идентификации сейсмических событий, нами для параметризации домена D0459 за основу был взят домен D0001, ближайший к Калининградской области и самый сейсмоактивный в этом регионе. На его площади в 160 тыс. кв. км разместились 19 эпицентров землетрясений, по одному, примерно, на каждые 8 тыс. кв. км. На такую же площадь приходится и одно из трех Калининградских землетрясений в том же интервале магнитуд, поскольку площадь домена D0459 составляет около 25 тыс. кв. км.

Другим важным обстоятельством, о котором упоминалось выше, является то, что сейсмический эффект на менее плотных, обводненных и неустойчивых грунтах, относящихся к 3-й категории по сейсмическим свойствам, может на целый балл и более превышать номиналы, указанные на картах ОСР-97, отнесенных к средним грунтовым условиям (грунты 2-й категории, по СНиП II-7-81*).

Как показывает практика, причиной усиления сейсмического эффекта даже при умеренных магнитудах землетрясений и незначительных величинах ускорений колебаний грунта может оказаться повышенная продолжительность этих колебаний. Не исключено, что и в случае роя Калининградских землетрясений 2004 года подобным явлением можно объяснить распространение ощутимых колебаний на очень большую территорию. Например, при сильном землетрясении 3 марта 1977 г. с $M = 7.4$ в зоне Вранча, из-за продолжительных низкочастотных колебаний, ускорения которых в г. Москве, на расстоянии около 1400 км от эпицентра, не превышали 2 см/с^2 в диапазоне частот 0.3–1.0 Гц, что по шкале MSK-64 соответствует 1–2 баллам, реальный сейсмический эффект на территории города составлял 4 балла и более, а на верхних этажах – 6–7 баллов. Длитель-

ность сейсмических колебаний грунта в г. Москве, при Вранчском землетрясении 2004 г. составляла 200–300 с и на порядок превышала длительность очагового процесса (20–30 с) [Уломов, 2008].

6. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Землетрясение в Калининградской области 21 сентября 2004 г. в 13 ч 32 мин по своей магнитуде $M_s = 4.3$ не противоречит концепции ОСР-97, согласно которой слабые и умеренные сейсмические события с редкой повторяемостью возможны практически повсеместно. Следовательно, даже на платформенных территориях к 5-балльным зонам ОСР-97 следует относиться как к сейсмическим, хотя и не сейсмоопасным с практической точки зрения (антисейсмические мероприятия в строительстве применяются начиная с 7 балльной и более высокой сейсмичности).

Поскольку оценки ожидаемого сейсмического эффекта по картам ОСР-97 условно отнесены к средним грунтовым условиям, на территории всех населенных пунктов, и тем более на площадях строительства особо ответственных объектов, необходимы детальные исследования по инженерно-геологическому и сейсмическому микрорайонированию. Например, такие работы по уточнению сейсмической опасности выполняются при проектировании высотных зданий и сооружений на территории г. Москвы, которая так же, как и Калининградская область, расположена в 5-балльной зоне карт ОСР-97.

Следует также заметить, что оценки сейсмической опасности по самой “суровой” карте ОСР-97С, основанные на чрезвычайно редкой повторяемости сейсмических воздействий (в среднем один раз за 5000 лет), фактически близки к детерминистским оценкам, обычно получаемым расчетным путем по единичным сценарным землетрясениям, независимо от их повторяемости [Уломов, 2005; 2006]. Поэтому наблюдаемая 6-балльная изосейста на западе Калининградской области достаточно хорошо согласуется с расчетной, полученной нами по нормативным требованиям карты ОСР-97С. При этом охват расчетной 6-балльной зоной большей территории, по сравнению с наблюдаемой, обусловлен более высокой магнитудой $M_s = 5.0$, принятой нами в качестве максимальной для домена D0459, где такой величины землетрясений пока не наблюдалось.

Не исключено, что полученные нами новые вероятностные оценки сейсмической опасности оказались завышенными, и на данном этапе не могут приниматься за нормативные. Необходимы дальнейшие сейсмологические, сеймотектонические и сейсмогеодинамические исследования в этом недостаточно изученном в сейсмическом отношении регионе и выполнение работ по сейсмическому микрорайонированию населенных пунктов и промышленных центров на территории Калининградской

области. В районах интенсивных техногенных воздействий необходим геодинамический мониторинг.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Ирину Петровну Габсатарову (Геофизическая служба РАН) и Наталью Александровну Сергееву (Международный геофизический комитет РАН) за помощь в сборе исходных данных о сейсмических событиях, а также Игоря Валентиновича Уломова (Институт физики Земли РАН) за полезные технические консультации и советы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Асиновская Б.А., Овсов М.К. Сеймотектоническая позиция очага Калининградского землетрясения 21 сентября 2004 года // Физика Земли. 2008. № 9. С. 32–43.
- Гречев А.Ф., Магницкий В.А., Мухамедиев Ш.А., Юнга С.Л. К определению максимально возможных магнитуд землетрясений на Восточно-Европейской платформе // Физика Земли. 1996. № 7. С. 3–29.
- Ковачев С.А. Результаты сейсмологических наблюдений на западе Калининградской области на акватории Балтийского моря // Физика Земли. № 9. 2008. С. 20–31.
- Кривошеев С. Балтийские “гейзеры” // Итоги. 2003. № 1–2 (343–344).
- Маловичко А.А., Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Старовойт О.Е. Инструментальные сейсмологические наблюдения на Восточно-Европейской платформе // Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы / Под ред. Н.В. Шарова, А.А. Маловичко, Ю.К. Шукина. Кн. 1: Землетрясения. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН. 2007. С. 14–64.
- Никонов А.А., Антикаев Ф.Ф., Алешин А.С., Погребченко В.В., Эртелева О.О., Асиновская Б.А. Обследование последствий землетрясений 21 сентября 2004 года в Калининградской области. 2005. http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dggms/1-2005/serrep-3.pdf
- Рейснер Г.И., Иогансон Л.И. Сейсмический потенциал Западной России, других стран СНГ и Балтии. Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии / Под ред. В.И. Уломова. М.: ИФЗ РАН. 1993. Вып. 1. С. 186–195.
- Сейсмическое районирование территории Российской Федерации – ОСР-97. Карта на 4-х листах. ОИФЗ РАН / Главные редакторы Страхов В.Н., Уломов В.И. М.: НПП Текарт. 2000.
- СНиП II-7-81*. Строительство в сейсмических районах // Госстрой России. М.: ГУП ЦПП. 2000. 44 с. Прил. 2: 10 карт.
- Уломов В.И. Моделирование зон возникновения очагов землетрясений на основе решеточной регуляризации // Физика Земли. 1998. № 9. С. 20–38.
- Уломов В.И. Сейсмогеодинамика и сейсмическое районирование Северной Евразии // Вулканология и сейсмология. 1999. № 4–5. С. 6–22.
- Уломов В.И. О роли горизонтальных тектонических движений в сейсмогеодинамике и прогнозе сейсмической опасности // Физика Земли. 2004. № 9. С. 14–30.
- Уломов В.И. Вероятностно-детерминированная оценка сейсмических воздействий на основе карт ОСР-97 и сценарных землетрясений // Сейсмостойкое строительство. 2005. № 4. С. 60–69.
- Уломов В.И. Вероятностный анализ сейсмической опасности в практике строительства. Межведомственный научно-технический сборник научных трудов. Государственный НИИ строительных конструкций Министерства строительства Украины. Вып. 64. Киев. 2006. С. 44–51.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима Земли в период 1965–2005 гг. // Докл. РАН. 2007а. Т. 414. № 3. Геофизика. С. 398–401.
- Уломов В.И. О глобальных изменениях сейсмического режима и уровня водной поверхности Земли // Физика Земли. 2007б. № 9.
- Уломов В.И. О сейсмических воздействиях на высотные здания и сооружения г. Москвы // Научно-технический и производственный журнал “Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века”. 2008. № 2 (109). С. 62–65.
- Уломов В.И., Мавашев Б.З. О предвестнике сильного тектонического землетрясения // Докл. АН СССР. 1967. Т. 176. № 2. С. 35–37.
- 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. 1999. 57 с.
- Уломов В.И., Шумилина Л.С. Долгосрочный прогноз сейсмической опасности на территории Северной Евразии. Монография (коллектив авторов). “Катастрофические процессы и их влияние на природную среду” / Под редакцией Н.П. Лаверова. Т. 2. Сейсмичность. Глава 4. М.: Региональная общественная организация ученых по проблемам прикладной геофизики. 2002. С. 319–380.
- Ekman M. A consistent map of the postglacial uplift of Fennoscandia // Terra Nova. 1996. № 8. P. 158–165.
- Grünthal G. and the GSHAP Region 3 Working Group. Seismic hazard assessment for Central, North and Northwest Europe: GSHAP Region 3 // Annali Geofis. 1999. V. 42. P. 999–1011.
- International Geological Correlation Program, Project no. 382 SESAME. 2003.
- Shebalin N.V., Trifonov V.G., Ulomov V.I., Kozhurin A.I., Tatevossian R.E., Ioffe A.I. A Unified Seismotectonic Zonation of Northern Eurasia // Journal of Earthquake Prediction Research. SSB-Beijing, China. UIPE-Moscow, Russia. 2000. V. 8. № 1. P. 8–31.
- The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) 1992–1999. Summary Volume (edited by Giardini) // Annali Geofis. 1999. V. 42. P. 955–1230.
- Ulomov V. and the Working Group of the GSHAP Region 7. Seismic hazard of Northern Eurasia // Annali Geofis. 1999. V. 42. P. 1023–1038.
- Ulomov V.I. Regional seismicity and identification of the earthquake source occurrence zones for seismic zoning of Northern Eurasia // Journal of Earthquake Prediction Research. SSB-Beijing, China. UIPE-Moscow, Russia. 2000. V. 8. № 1. P. 79–91.