

## **СЕЙМОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ ОЧАГОВ КАЛИНИНГРАДСКИХ**

**ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ 21 сентября 2004 года с  $M_w=4.6$**

**и 4.8,  $I_0=6$  и 6–7 (запад России)**

**Е.А. Рогожин, А.Н. Овсюченко, С.С. Новиков, А.В. Мараханов**

*Институт физики Земли РАН, г. Москва, eurog@ifz.ru*

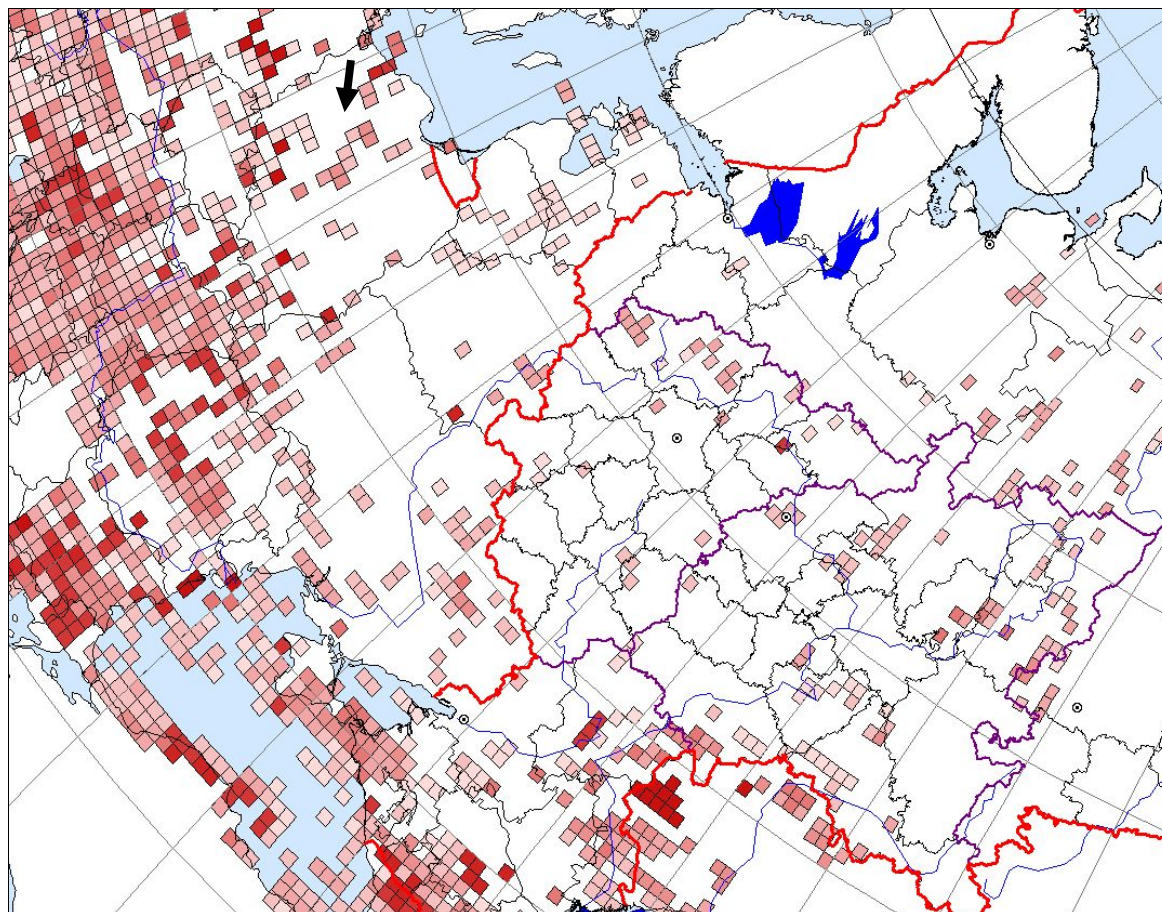
Район Калининградских землетрясений 2004 г. был ранее изучен на предмет оценки сейсмического потенциала в рамках более общей работы с применением внерегионального сеймотектонического метода для западной части России, а также стран Балтии. Неожиданно был установлен его довольно высокий сейсмический потенциал ( $M_{\max} \approx 6.0$ ). После Калининградских землетрясений 2004 г. в их эпицентральной зоне в 2007–2008 гг. были проведены сеймотектонические исследования, которые позволили выявить основные сейсмогенные структуры Самбийского полуострова. В настоящей статье на основании собранных материалов делается заключение о сеймотектонической позиции очагов этих землетрясений.

**Оценка сейсмического потенциала** на основе современных эндогенных режимов свидетельствует о том, что район Калининградских землетрясений 2004 г. относится к области развития возбужденного платформенного режима [1, 2], с зонами развития которого на Восточно-Европейской платформе связаны отдельные сейсмические проявления умеренной силы. В этой части России, а также стран Балтии «собственные» ощутимые землетрясения чрезвычайно редки. Предыдущее (Осмуссарское с  $M=4.5-4.7$ ) землетрясение, произошедшее в 1976 г., ощущалось в основном на территории Эстонии [3, 4]. До него землетрясения в этой части Прибалтики практически не регистрировались.

Проведенное исследование с применением прогнозного внерегионального сеймотектонического метода показало, что во многих областях Восточно-Европейской платформы выявляются сравнительно небольшие по площади районы, в пределах которых прогнозируемые значения  $M_{\max}$  достигают  $M=6.0$  и даже несколько выше. Такие районы, в частности, выделяются в северо-западной прибалтийской части этой платформы [1], в том числе и в районе возникновения Калининградского землетрясения 2004 г. (рис. 1). Таким образом, место и предельная магнитуда ожидаемых землетрясений были предсказаны этими авторами за 8 лет до Калининградских сейсмических толчков.

**Сеймотектоническая позиция** очагов Калининградских землетрясений выявляется достаточно сложно. Как показано в основной статье [5] наст. сб., посвященной описанию проявлений этих событий, разные сейсмологические агентства определили положение эпицентров главных толчков в существенно разных местах как на территории Самбийского п-ова, так и в прибрежной зоне Балтийского моря. Нет согласия и в локации макросейсмических эпицентров. Это создает трудности в выявлении тех геологических структур, с которыми были связаны очаги этих двух необычных землетрясений.

Решения механизмов очагов двух Калининградских землетрясений 21.09.2004 г., эпицентры которых локализованы в западной части Самбийского п-ова, полученные разными сейсмологическими центрами [5], подобны и свидетельствуют о том, что сейсмические события произошли в условиях, близких по величине сжимающих и растягивающих напряжений. Оси напряжений сжатия ориентированы в север–северо-западном направлении, оси напряжений растяжения – в восток–северо-восточном. Обе нодальные плоскости имеют довольно крутое падение, движение по обеим плоскостям представлено сдвигом (по плоскости северо-западного простирания – правосторонний сдвиг, по другой плоскости – левосторонний). Северо-западная и субмеридиональная ориентировка оси сжатия установлена в этом районе и по другим данным [6].



**Рис. 1.** Карта сейсмического потенциала  $M_{\max}$  Восточно-Европейской платформы и сопредельных территорий по результатам применения внерегионального сейсмотектонического метода, составленная Г.И. Рейснером и Л.И. Иогансон [1]

Ячейки со значениями  $M_{\max} > 7.0$ , 6.5–6.9, 6.0–6.4, 5.5–5.9, 5.0–5.4, 4.5–4.9, 3.5–4.4 закрашены темно-красным, красным, светло-красным, темно-розовым, розовым, бледно-розовым и белым цветом соответственно; размер ячейки –  $20' \times 30'$  градусной сетки; черной стрелкой показана прогнозная ячейка с  $M_{\max} = 5.5-5.9$ , с которой связаны очаги Калининградских землетрясений.

Для выявления зон, возможно, контролирующих сейсмические проявления на Самбийском п-ове и в восточной части Калининградской области, в 2007–2008 гг. были собраны полевые и литературные геолого-геофизические данные об активных разломах, проведено специализированное дешифрирование космических фотоснимков и карт цифрового рельефа. По этим материалам выделены разломы, выраженные на поверхности линеаменами широтной и диагональной ориентировок. По данным ряда работ [7, 8], в пределах Балтийской синеклизы выделяется ряд активных разрывных и блоковых структур, в том числе расположенный в районе возникновения Калининградского землетрясения 2004 г. одноименный выступ, а также Прегольский грабен субширотного простирания. Эти структуры разделены Прегольской зоной разломов также субширотного простирания. Она представлена несколькими кулисообразно подставляющимися или параллельно простирющимися взбросами (рис. 2), амплитуды вертикального смещения по которым составляли по поверхности фундамента не более 100–150 м. Тем не менее, ими рассекается весь каледонский структурный комплекс. В альпийском разрезе отложенный чехла, залегающем с крупным несогласием, эти нарушения выделяются в виде небольших разрывных смещений взбросовой и сбросовой кинематики.

Прегольская зона разломов широтного простирания представлена на поверхности земли отчетливо выраженной узкой линейной депрессией в рельефе. Ось депрессии, совпадающая с долиной р. Преголя, опущена относительно крыльев на 30–40 м. Разлом продолжается на запад в акваторию Балтийского моря.

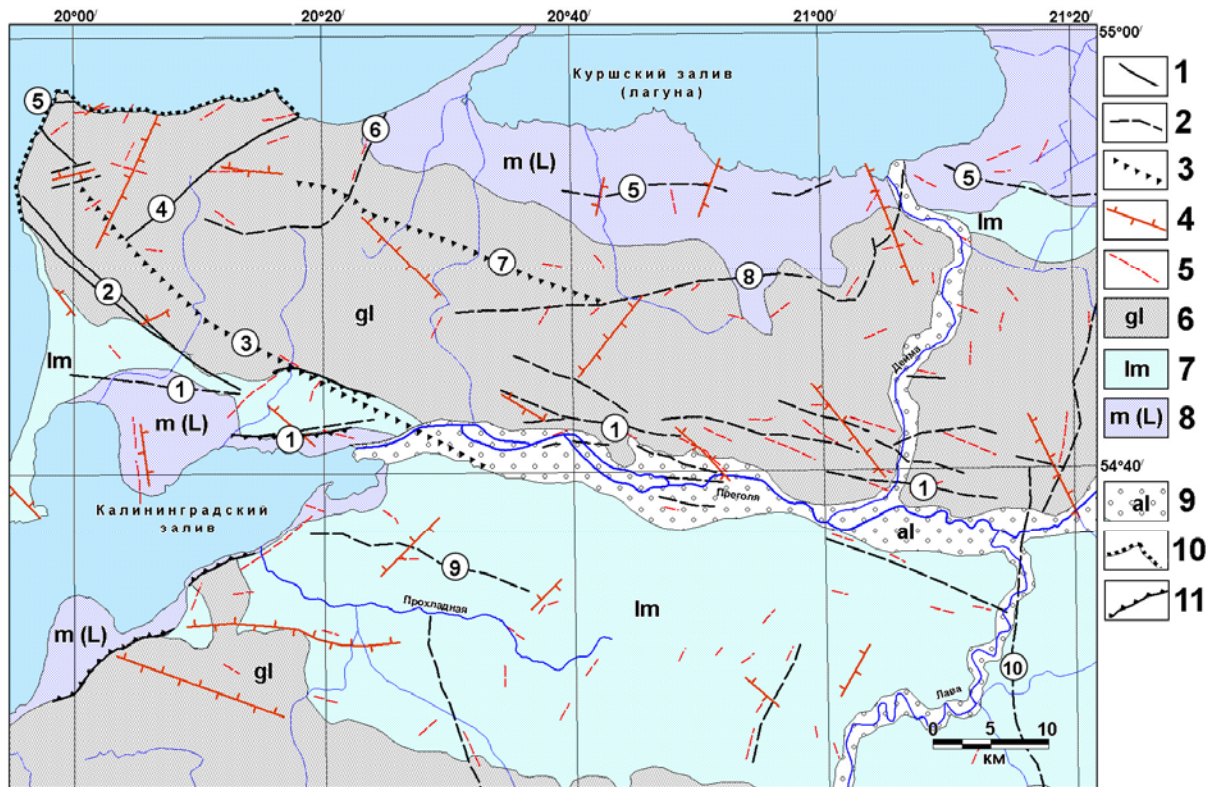


Рис. 2. Схема разломной тектоники и генетических типов рельефа района г. Калининград, составленная с использованием материалов [9, 10]

1 – разломы, установленные на поверхности; 2 – разломы, установленные в каледонском и герцинском структурных ярусах по данным сейсморазведки и бурения; 3 – флексурно-разрывные зоны, нарушающие отложения альпийского этажа; 4 – оси новейших антиклинальных поднятий; 5 – оси локальных поднятий (брахиантиклиналей), установленных в каледонском и герцинском структурных этажах; 6 – холмисто-грядовые и слабо всхолмленные равнины, сложенные основной и краевой моренами валдайского оледенения; 7 – озерно-аккумулятивные равнины Балтийского ледникового озера; 8 – аккумулятивная морская равнина среднеголоценового возраста (Литориновое море); 9 – пойма и надпойменные террасы крупных речных долин; 10 – активный абразионный уступ (клиф); 11 – отмершие среднеголоценовые клифы.

Названия разломных и флексурно-разрывных зон (номера в кружках): 1 – Прегольская разломная зона; 2 – Янтарненская разломная зона; 3 – Бакалинская флексурно-разрывная зона; 4 – Пионерский разлом; 5 – Светлогорско-Полесская разломная зона; 6 – Зеленоградский разлом; 7 – Мельниковская флексурно-разрывная зона; 8 – Гурьевский разлом; 9 – Нивенский разлом; 10 – Знаменская разломная зона.

В область локации инструментальных эпицентров попадают еще три протяженных зоны разломов, выявленных на поверхности методами дешифрирования материалов дистанционных зондирований и заверенных на местности во время полевых работ, это Янтарненская дизъюнктивная зона, представленная двумя ветвями, и Бакалинская флексурно-разрывная зона.

Юго-западная ветвь Янтарненской разломной зоны имеет простирание с юго-востока на северо-запад. Разлом выражен на поверхности земли заметным уступом в рельефе. Северо-восточное крыло является относительно приподнятым (на 60–80 м), по сравнению с юго-западным крылом. На северо-запад разлом прослеживается в акватории Балтийского моря.

Северо-восточная ветвь Янтарненской зоны разломов имеет то же самое простирание, что и юго-западная. Разлом выражен на поверхности земли отчетливо представленной узкой линейной депрессией в рельефе. Ось депрессии опущена относительно крыльев на 20–30 м. На северо-запад разлом прослеживается в акватории Балтийского моря, а на юго-востоке обе ветви объединяются, и зона разлома в целом причленяется к зоне Прегольского разлома.

Бакалинская флексурно-разрывная зона также имеет диагональное северо-западное простирание, что и Янтарненская зона разломов. Бакалинская зона выражена на поверхности земли четко наблюдающимся широким уступом в рельефе. Северо-восточное крыло является относительно опущенным (на 60–80 м), по сравнению с юго-западным. На северо-запад зона просле-

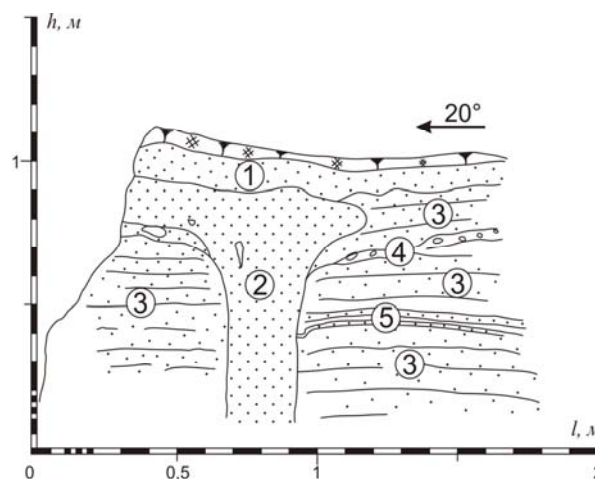
живается в акваторию Балтийского моря, а в юго-восточном направлении зона причленяется к системе нарушений Прегольского разлома в районе г. Калининград.

Янтарненский (юго-западный) разлом и Бакалинская флексурно-разрывная зона, имея сдвиговую кинематику, обрамляют с юго-запада и северо-востока невысокое поднятие Самбийского полуострова, выступающее в виде локальной области сжатия между двумя кулисообразно подставляющими друг друга разломами правосдвигового типа. По данным непрерывного сейсмического профилирования (НСП) в прилежащей акватории Балтийского моря оба эти разлома выражены в отложениях осадочного чехла в виде линейных зон северо-западной ориентировки [11].

Вдоль Бакалинской флексурно-разрывной зоны отмечается развитие эшелонированной системы молодых антиклинальных поднятий, вероятно, отражающих изгибную деформацию верхних, пластичных горизонтов разреза над сдвиговым разломом в более глубоких структурных этажах. Поднятия проявляют активность и в голоценовое время. Судя по ориентировке кулисообразно подставляющихся антиклиналей, кинематика смещений по Бакалинской флексурно-разрывной зоне – правый сдвиг.

Сдвиговые смещения вдоль Янтарненской и Бакалинской дизъюнктивных зон отмечаются и в деформациях дочетвертичных палеодолин. Кинематика этих смещений (правый сдвиг) наиболее уверенно устанавливается для Бакалинской зоны, вдоль которой отмечается правосторонний изгиб палеодолины с амплитудой около 1.9 км, возникший за среднеплиоцен-голоценовое время. В пользу такого характера смещений свидетельствуют и результаты структурных наблюдений за деформациями голоценовых отложений и форм рельефа. Менее уверенно кинематику смещений можно оценить для Янтарненской зоны, однако более вероятен правый сдвиг с амплитудой за среднеплиоцен-голоценовое время – 1.65 км. По результатам структурных наблюдений также уверенно устанавливается взбросовая компонента деформаций с поднятым северо-восточным крылом.

О проявлениях древней сейсмической активности этих тектонических зон говорят обнаруженные в процессе полевых исследований многочисленные следы импульсного, протрузионного внедрения песчаного материала в различные вмещающие осадки. Эти образования представлены прежде всего нептуническими дайками (рис. 3). По опыту изучения современных и исторических землетрясений на Среднем Западе США [12], на Алтае, в Корякии [13, 14] известно, что возникновение нептунических даек связано с явлением разжижения грунтов при сейсмических сотрясениях не ниже 7 баллов.



**Рис. 3.** Фото и зарисовка нептунической дайки в позднеплейстоценовых водно-ледниковых песках в районе пос. Логвино, Бакалинская флексурно-разрывная зона

1 – темно-коричневые супеси; 2 – желтые тонкозернистые пески; 3 – светло-серые тонкозернистые пески; 4 – гравийно-галечный прослой; 5 – бурые пески.

Дайки, обнаруженные в районе г. Калининград, приурочены к зонам влияния разрывных нарушений (рис. 4) и, как правило, сложены тонкозернистым песком с хорошей сортировкой и

следами турбулентного движения. Слои вмещающих рыхлых отложений часто деформированы и вблизи даек задраны вверх или опущены вниз. Эти признаки свидетельствуют о протрузионном внедрении разжиженного песка в вышележащие толщи под действием сжимающего импульса от прохождения упругой сейсмической волны, т.е. о сейсмогенном происхождении даек. Однако верхний возрастной предел образования этих структур, вероятно, ограничивается началом голоцена и связан с окончанием гляциоизостатической активизации.

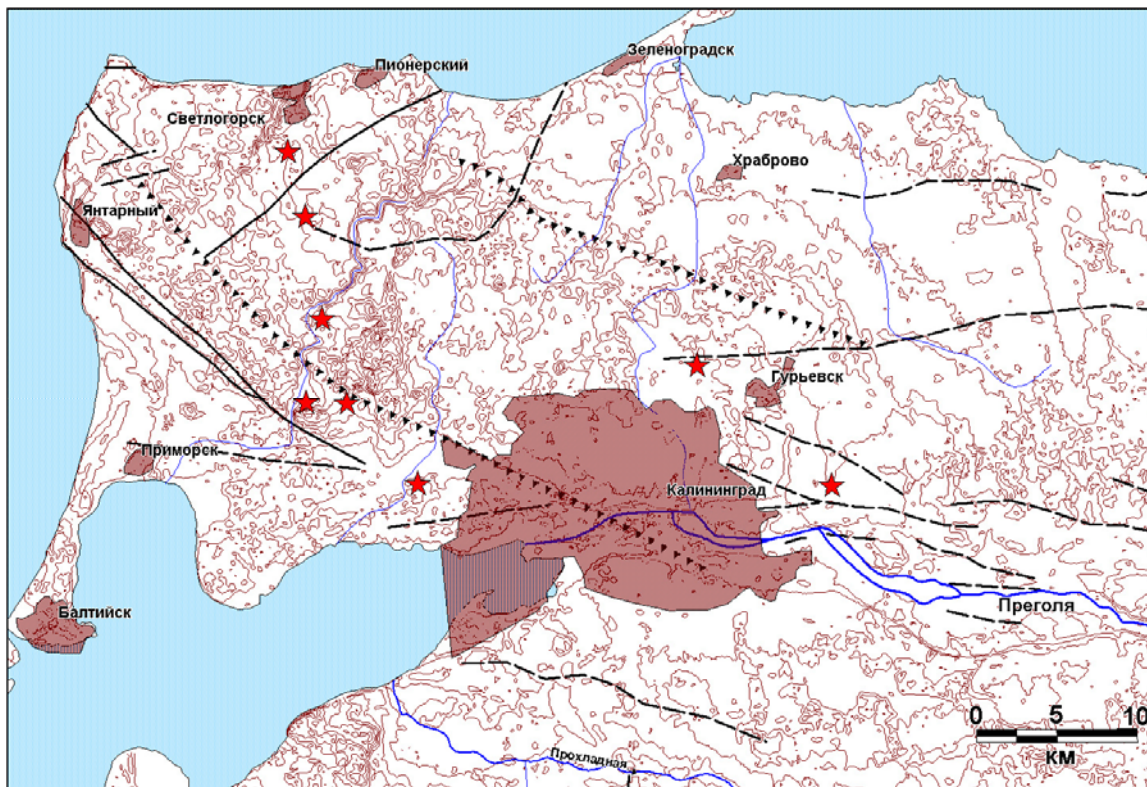


Рис. 4. Схема распространения обнаруженных нептунических даек (показаны звездочками) на фоне дизъюнктивных структур (см. рис. 2)

Кроме структур разжижения в зонах выделенных Янтарненских разломов или в соседней Бакалинской флексурно-разрывной зоне в стенках ряда карьеров обнаружены активные разрывные нарушения взбросового и надвигового типа в толщах рыхлых озерных песков с прослоями глин позднеплейстоценового возраста. Разрывы часто сопровождаются дисгармоничной складчатостью во вмещающих породах. По стратиграфическому положению разрывов можно предположить время их возникновения. Вероятнее всего, это ранний голоцен. Амплитуда смещений по наблюдаемым молодым разрывным нарушениям составляет первые сантиметры. В карьере к западу от пос. Черепаново и р. Нельма в денудационно-тектоническом уступе в зоне Янтарненского разлома обнаружен фрагмент черного дернового горизонта, залегающего на буровато-коричневых гравийно-песчано-суглинистых отложениях, деформированных мелким диапиром из залегающих ниже песков. Глубина этого нарушения – 50–60 см от поверхности. Согласно радиоуглеродному анализу органического вещества, возраст этого горизонта составляет  $10390 \pm 120$  лет назад (обр. 3737 ИГАН). Таким образом, деформация произошла в начале голоцена.

**В заключение** можно констатировать, что, вероятнее всего, очаги Калининградских землетрясений 2004 г. были связаны с системой Янтарненских оперяющих разломов или с соседней Бакалинской флексурно-разрывной зоной северо-западной ориентировки, причленяющихся с севера к Прегольской зоне разломов субширотного простирания. Положение инструментальных эпицентров сильного форшока и главного толчка, по данным большинства сейсмологических агентств, пространственно связано с этими диагональными разломами, выражающимися в

рельефе в виде протяженных уступов или узких депрессий, а на дистанционных материалах – в виде линейных северо-западного простирания. Эти тектонические зоны в прошлом демонстрировали сейсмическую активность, о чем говорят найденные в их пределах палеосейсмодислокации. Такое заключение опирается также на решение фокального механизма главного толчка, подвижка в очаге которого выглядела как практически чистый правосторонний сдвиг по нодальной плоскости северо-западной ориентировки.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 05–05–64170, 05–05–79148, 08–05–00103, 08–05–12028) и при частичной финансовой поддержке Президиума РАН (Программа № 16).

#### Л и т е р а т у р а

1. **Рейснер Г.И., Иогансон Л.И.** Прогнозная оценка сейсмического потенциала Русской платформы // Недр Поволжья и Прикаспия. – 1996. – Спец. вып. 13. – С. 11–14.
2. **Рейснер Г.И., Рогожин Е.А.** Калининградское землетрясение 2004 г. // Наука и технология в России. Международная газета. – 2005. – № 2–3 (74–75). – С. 10–13.
3. **Ананьин И.В., Булин Н.К., Клааманн Э.Р.** Осмусаарское (Эстонское) землетрясение 25 октября 1976 г. // Землетрясение в СССР в 1976 году. – М.: Наука, 1980. – С. 91–96.
4. **Никонов А.А.** Осмусаарское землетрясение 25 октября 1976 г.: макросейсмика, сейсмоструктура, механизм очага // Физика Земли. – 2002. – № 8. – С. 690–703.
5. **Габсатарова И.П., Чепкунас Л.С., Бабкова Е.А., Малянова Л.С., Рыжикова М.И.** Калининградские землетрясения 21 сентября 2004 года с  $M_w=4.6$  и  $4.8$ ,  $I_0=6$  и  $I_0=6-7$  (Запад России). (См. раздел III (Сильные и ощутимые землетрясения) в наст. сб.).
6. **Grünthal G., Sim L., Stromeyer D.** Direction of recent maximal stress and epicentre map of tectonic earthquakes (maps 5, 6). Neogeodynamica Baltica IGCP–Project 346 // Branderburgische Geowissenschaftliche Beiträge. – 2001. – N 1. – P. 33–38.
7. **Карта разломов территории СССР и сопредельных стран.** Масштаб 1:2500000 / Под ред. А.В. Сидоренко. – Л.: ВСЕГЕИ, 1982.
8. **Тектоническая карта Прибалтики,** М 1:1000000, объяснительная записка / Ред. П.И. Сувейздис. // Труды ЛитНИГРИ, вып. 33. – Вильнюс: ЛитНИГРИ, 1979. – С. 92.
9. **Додонов Е.А., Наместников Ю.Г., Якушова Е.А.** Новейшая тектоника юго-востока Балтийской синеклизы. – М.: МГУ, 1976. – 196 с.
10. **Загородных В.А., Довбня А.В., Жамойда В.А.** Стратиграфия Калининградского региона. – Калининград: Янтарный сказ, 2001. – 226 с.
11. **Геология Балтийского моря.** – Вильнюс: Мокслас, 1976. – 380 с.
12. **Obermeier S.F.** Using liquefaction-induced features for paleoseismic analysis // Using Ground-Failure Features for Paleoseismic Analysis. – USGS Open-File Report 94–663. – 1995. – P. 1–56.
13. **Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В., Новиков С.С.** Структура очага Олюторского землетрясения 2006 г. как проявление межплитных тектонических деформаций // Общие и региональные проблемы тектоники и геодинамики. Материалы ХLI Тектонического совещания. Т. 2. – М.: ГЕОС, 2008. – С. 167–171.
14. **Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В.** Сейсмоструктурные и сейсмодинамические проявления Алтайского землетрясения 27 сентября 2003 г. с  $M_w=7.3$ ,  $I_0=9-10$  (Горный Алтай) // Землетрясения Северной Евразии, 2003 год. – Обнинск: ГС РАН, 2009. – С. 364–341.