

УДК 550.343.4; 551.24 (470)

К ПРОБЛЕМЕ ТИПИЗАЦИИ СЕЙСМОГЕНЕРИРУЮЩИХ СТРУКТУР ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

С.А. Несмеянов, О.А. Воейкова

Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Москва

Поступила в редакцию 11.10.16

Рассмотрены принципы выделения сейсмогенерирующих структур. Выбран вариант, опирающийся на использование геологических критериев сейсмичности. Влияние гляциоизостатического фактора определяет необходимость выделения Западного и Восточного сейсмотектонических сегментов на Восточно-Европейской платформе с границей по фронту поздневалдайского оледенения. Основными сейсмогенерирующими структурами платформы служат активизированные авлакогены и разломы фундамента, а в Западном сегменте, кроме того, активные рифтогенные структуры и шовные зоны разрывного, флексурно-разрывного, флексурного и антиклинально-мелкоблокового типов.

Ключевые слова: сейсмогенерирующая структура, платформа, щит, разлом, шовная зона, гляциоизостазия.

Nesmeyanov S.A., Voejkova O.A. On the typification of seismogenerating structures in East European Platform. Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 2016. Volume 91, part 4–5. P. 27–39.

The article describes the principles of distinguishing seismogenerating structures in the East European Platform. The option is chosen based on the geological criteria of seismicity. The glacioisostasy influence suggests the necessity to divide the East European Platform into the Western and Eastern seismotectonic segments with the boundary running along the Late Wurm glaciation front. Active aulacogens and faults in the basement, as well as active riftogenic structures and suture zones of fault, flexure-fault and anticline-small blocky types in the Western segment appear to be the main seismogenerating structures on the platform.

Key words: seismogenerating structure, platform, shield, fault, suture zone, glacioisostasy.

Проблема локализации мест повышенной сейсмичности на Восточно-Европейской древней платформе (ВЕП), а соответственно и типизации развитых на ней сейсмогенерирующих структур (СГС) становится все актуальнее по мере усложнения хозяйственного освоения этой территории. Особенно острой данная проблема стала в связи со строительством многочисленных особо ответственных объектов типа АЭС, а также с возникновением сильных землетрясений в районах строительства подобных объектов. Наглядным примером таких ситуаций может служить Калининградское землетрясение 21 сентября 2004 г. с интенсивностью 6–7 баллов и магнитудой по разным параметрам от 4,3 до 5,1 (Землетрясения..., 2007, с. 377), произошедшее в районе проектирования Балтийской АЭС.

Основные этапы истории исследований

Неравномерная сейсмичность территории ВЕП отмечалась еще в 60-х гг. прошлого столетия при составлении Сейсмотектонической карты Европы масштаба 1:5 000 000 (Белоусов и др., 1968). На ней в качестве СГС выделялись области контрастных вертикальных движений, в том числе новейшие или омоложенные тектонические разрывы, особенно глубинные разломы. Предлагалось учитывать зоны новейшего ускорения тектонических движений, зоны современной тектонической перестройки, зоны со-

членения крупных структурных элементов и зоны поперечных поднятий. Указывалось, что сейсмически активны большая часть Балтийского щита, районы грабенообразования у г. Осло, поднятия в каледонидах Норвегии, некоторые районы Приуралья.

Существование более тесной связи неотектоники ВЕП с сейсмичностью тогда же высказывалось Н.И. Николаевым (1966, 1967), обобщившим материалы многочисленных предшественников. Применительно ко всей ВЕП он отметил следующие закономерности: «1) линейность в расположении эпицентров на площади; 2) их связь с зонами глубинных разломов, выявляющихся по геофизическим данным, что подчеркивается также вытянутостью плейстосейстовых и изосейстовых зон многих изученных землетрясений; 3) в местах перестройки структурного плана под влиянием новейших тектонических движений выявляются узлы с большой сейсмической активностью» (Николаев, 1967, с. 26). На Балтийском щите он связывал сейсмичность с зонами высоких градиентов скоростей вертикальных неотектонических движений, зонами глубоких тектонических разрывов и узлов их пересечения, а также с подвижностью неглубоких изометричной формы выраженных в рельефе блоковых структур. При этом тектоническую подвижность он объяснял, во-первых, гляциоизостатическими движения-

ми, особенно в центральной части щита, а во-вторых, активизацией неотектонических движений, связанных с развитием Атлантического океана. Кроме того, им подчеркивалась значимость зон повышенной сейсмичности вдоль границы щита с Норвежскими каледонидами и древнего, но активизированного на неотектоническом этапе Ботнического глубинного прогиба, где эпицентры землетрясений сосредоточиваются вдоль бортов впадин и тяготеют к линиям разломов (Николаев, 1966, с. 33). На Русской плите Н.И. Николаев (1967, с. 18) указывал на повышенную сейсмичность двух районов: 1) Приуралья (и смежных районов Урала), где землетрясения в 5–6 баллов он связывал с неотектонической активностью узлов пересечения глубинных разломов, и 2) Прикарпатья, где подобные землетрясения приурочены к «разломам в фундаменте в зоне сочленения его с альпийской геосинклинальной зоной Восточных Карпат».

В последние десятилетия в связи с активизацией строительства ответственных инженерных сооружений и проведением общего сейсмического районирования возрос интерес к выявлению СГС на Русской плите. В качестве таковых предлагалось использовать линеаменты, активные приповерхностные разрывы, а также изгибные деформации (Грачев и др., 1995; Макаров, 2008; Трифонов и др., 1993). Для линеаментов и активных разломов выдвинуто по несколько вариантов, различающихся в основном густотой сети, покрывающей Русскую плиту. Все упомянутые модели предусматривают практически равномерное присутствие СГС на всей территории ВЕП (рис. 1). Поэтому они оказались малопригодными для достижения поставленной цели, поскольку противоречат сейсмологическим материалам.

В основу линеаментно-доменно-фокальной (ЛДФ) модели, использованной при составлении карт общего сейсмического районирования (ОСР-97) для восточной части ВЕП (рис. 1, В) (Комплект..., 1999), положен, по существу, один из вариантов распределения линеаментов, а опирающиеся на них домены охватывают квазиоднородные в тектоническом и геодинамическом отношении объемы геологической среды. При этом фактический материал, положенный в основу трассировки линеаментов и выделения доменов, не опубликован.

Но главным недостатком ЛДФ-модели в том виде, в каком она доступна потребителю, является отсутствие или явно недостаточное использование геофизических, историко-тектонических, сейсмо-тектонических материалов, а также данных по современным движениям земной коры. Кроме того, эта модель столь же мало соответствует реальным сейсмологическим материалам, как и приведенные выше схемы.

Более удачной представляется методика выделения СГС на основе геологических критериев сейсмичности.

Методика выделения СГС на основе современных геологических критериев сейсмичности

В большинстве регионов зоны ВОЗ принадлежат верхнему сейсмоактивному слою, т.е. являются верхнекоровыми, где СГС, в которых возникают сильные землетрясения, имеют тектоническую природу. При этом основной элемент очага совмещается со сместителем разрыва или глубинного разлома (Костров, 1975; Шебалин, 1974).

Главными геологическими критериями сейсмичности можно считать следующие характеристики СГС: разрывную природу, масштабный фактор, древность заложения, степень новообразования и характер активизации (Несмеянов, 1984, 2004).

Разрывная природа определяется общепринятым механизмом очагов землетрясений, которые тяготеют к разрывным сочленениям тектонических блоков, т.е. к участкам с максимальной дифференцированностью и контрастностью тектонических движений.

Масштабный фактор заключается в связи наиболее сильных землетрясений с крупнейшими разрывными структурами. Как правило, очаги сильных землетрясений связаны с региональными разрывами. Но встречаются случаи, когда такие землетрясения связаны с локальными разрывами на участках активной новейшей перестройки.

Критерий **древности заложения** предполагает, что, наращивая свою протяженность и одновременно усложняя строение, разломы (разрывы) могли достичь необходимой величины обычно за несколько геологических периодов. Среди новейших разрывов сейсмогенерирующей способностью обладают только унаследованные, т.е. характеризующиеся древностью заложения. При большой длительности своего развития структура успевает сформировать все свои элементы. В разрывах это главный и опережающие сместители и тектонические клинья, в шовных зонах (разломах), кроме того, — краевые швы и их разрывное оперение, а также краевые поднятия.

Степень новообразования определяется тем, что в сейсмогенерирующих структурах наблюдается чередование древних элементов с новообразованными, а возникновение землетрясений связано с новейшей переработкой древних структур.

Характер активизации определяется, главным образом, степенью современной подвижности сейсмогенерирующих структур. Достаточно длительные повторные геодезические, лазерные и другие измерения современных смещений по разрывам дорогостоящи и редки. Поэтому привлекаются косвенные свидетельства рассматриваемой активизации — повышенные амплитуды голоценовых, четвертичных и даже новейших движений.

В качестве дополнительного, но важного критерия следует учитывать также повышенную **глубину проникновения**, достигающую главных сейсмоактивных слоев региона.

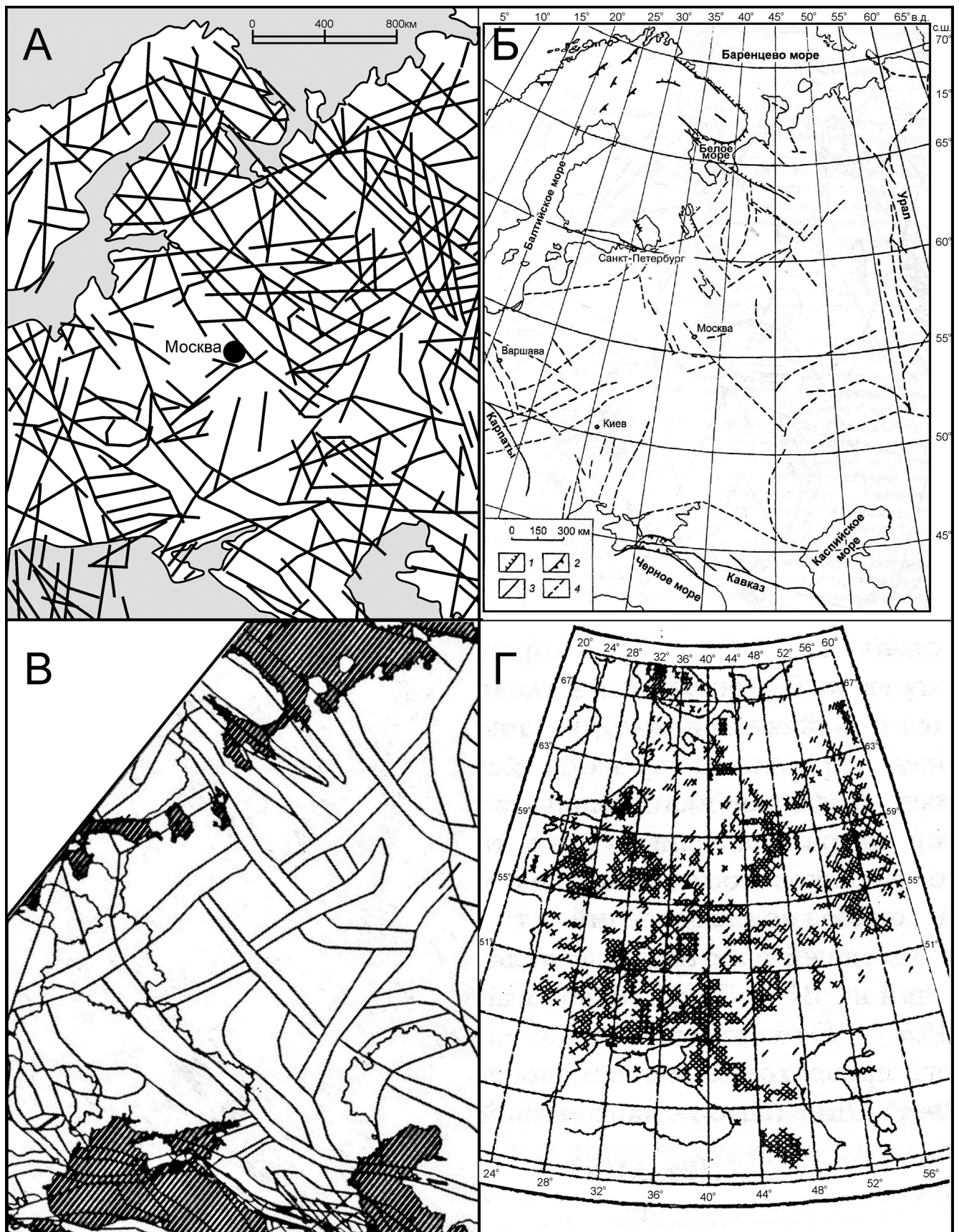


Рис. 1. Типы дислокаций, которые предлагалось рассматривать в качестве сейсмогенерирующих структур: А – линейменты, по (Макаров, 2008); Б – четвертичные разломы, по (Трифонов, 1999): 1 – сброс, 2 – взброс или надвиг, 3 – разлом с неизвестным направлением перемещений, 4 – предполагаемый разлом; В – домены, характеризующиеся рассеянными очагами землетрясений с $M \leq 5,5$, в линейментно-доменно-фокальной (ЛДФК) модели (Комплект..., 1999); Г – интенсивность изгибных деформаций (Грачев и др., 1995)

Неоднотипность строения СГС определяется неравномерностью распределения в них землетрясений. Уже сформировались две крайние точки зрения. Сейсмотектонический метод сейсмического районирования предполагает ожидаемые сильные землетрясения в «окнах» между предшествующими, а метод сейсмоактивных узлов – приуроченность к одним и тем же участкам сейсмогенерирующих структур, т.е. к «узлам» пересечения таких структур. По-видимому, сейсмоактивные «окна» более вероятны в областях со стабильными полями тектонических напряжений и однородными СГС, а сейсмоактивные «узлы» – в районах тектонических перестроек.

«Узлы» могут иметь различное строение. Дизъюнктивные узлы отвечают сочленению и пересечению разрывов и глубинных разломов (шовных зон), а сейсмоактивные дизъюнктивно-пликативные узлы описаны как пересечения шовных зон с региональными поперечными поднятиями.

Учет масштабного фактора показывает, что сейсмотектонические модели (в частности, ЛДФ), претендующие на соответствие одновременно и трещинам и глубинным разломам, настолько грубы, что теряют связь с геологической реальностью. Очевидно, *механизм трещинообразования не адекватен механизму разрывообразования, а механизм формирования глубинных разломов (шовных зон) нельзя свести к более простому механизму разрывообразования.* Поэтому эффективные модели очагов сильных землетрясений должны учитывать особенности строения именно крупнейших разрывных структур.

Характерно преобладание у крупных разрывов сложных разрывных зон, включающих морфологически разные сместители. Все это относится и к большинству шовных зон. Соответственно, должны преобладать *сейсмогенерирующие структуры, продуцирующие очаги с различным набором механизмов.* Это касается в первую очередь неглубоких очагов и очагов слабых землетрясений. Поэтому вполне вероятно неоднотипность очагов сильных и значительной части слабых землетрясений в пределах единой сейсмогенерирующей структуры. Возможны неодинаковые механизмы приповерхностных очагов и сейсмотектонических дислокаций, связанных с разными элементами шовной зоны, например с главными краевыми швами, оперением аллохтона и автохтона взбросо-надвигов, границами краевых поднятий (тыловые циркуобразные сбросы). Возможно также одновременное сейсмогенное оживление ряда разнотипных разрывов в очаговой зоне (Рогожин и др., 2007).

Изложенный выше подход к выделению СГС разрабатывался преимущественно на примере новейших орогенов, во многих из которых выделялись сходные типы СГС (Несмеянов, 2012). Поэтому данный подход можно считать межрегиональным, применимым и к платформам.

Традиционная схема алгоритма выделения СГС уточняется и корректируется за счет проявления специфических региональных факторов, существенно влияющих на сейсмотектонику рассматриваемой территории.

Для западной части ВЕП таким принципиально важным специфическим фактором является *гляциоизостатический*, связанный с многократным распространением мощных ледниковых покровов в четвертичном периоде. Он обусловил рекуррентность платформенного орогенеза Фенно-Скандинавского щита (Несмеянов, 2004). Важно, что скорости гляциоизостатических движений на порядки величин превышали скорости собственно неотектонических движений. Эти движения явились причиной «раскачки» относительно жесткого фундамента, в котором происходило многократное «оживление» древних тектонических швов.

Применение рассматриваемой методики приводит к следующим принципиальным выводам: 1) распределение интенсивности и различие природы сильных землетрясений предполагает разделение ВЕП на два сегмента: западный, охватывающий весь Фенно-Скандинавский (Балтийский) щит и некоторые прилегающие к нему части Русской плиты, и восточный, включающий основную часть Русской плиты и Украинский щит; 2) глубина гипоцентров и размеры очагов сильных (с магнитудой более 4–4,5 и интенсивностью более 7 баллов) землетрясений на всей ВЕП связаны с ее кристаллическим фундаментом, в котором и расположены основные СГС; 3) наиболее крупным СГС отвечают главные активные структуры разрывной природы, каковыми на ВЕП являются авлакогены, рифты и глубинные разломы; 4) наборы СГС в западном и восточном сейсмотектонических сегментах могут значительно различаться.

Из сказанного следует, что необходимо рассмотреть проблемы трассировки границы между западным и восточным сейсмотектоническими сегментами и специфику СГС в каждом из этих сегментов.

Учет гляциоизостатического фактора и граница Западного и Восточного сейсмотектонических сегментов ВЕП

Как показали исследования в северо-западной части Русской плиты (Несмеянов, 2015; Несмеянов и др., 2008, 2010; Сейсмотектоника..., 2009; Nesmeyanov et al., 2011), для сейсмотектоники особую роль играет последний (поздневалдайский – ошашковский для северо-западного региона Русской плиты) этап гляциоизостатического «оживления» СГС, поскольку компенсация гляциоизостатических аномалий может продолжаться и в настоящее время.

Сопоставление сейсмологических материалов с трассой фронта последнего материкового оледенения показало, что все выявленные собственно тектонические землетрясения с магнитудой более 3 располагаются исключительно на территории распространения довольно мощного покрова этого оледенения (рис. 2) (Сейсмотектоника..., 2009). Согласно теоретическим расчетам, на расстоянии от его фронта примерно в 50–100 км мощность данного ледника могла достигать 1 км, а амплитуда гляциоизостатических прогибаний и последующих

воздыманий — до 0,3 км (Артюшков, 1979; Сейсмоструктура..., 2009 и др.).

Эти движения по суммарной амплитуде соизмеримы с амплитудами вертикальных неотектонических движений длительностью 35–37 млн лет (Гарецкий и др., 1999). Следовательно, гляциоизостатические движения последнего оледенения, реализовавшиеся на протяжении не более 20 тыс. лет, были в среднем на три порядка величин интенсивнее неотектонических. При таких амплитудах и скоростях вертикальных гляциоизостатических движений вполне вероятно недавнее (в том числе голоценовое) «оживление» разрывных зон с блоковыми движениями амплитудой в десятки метров. Данное обстоятельство объясняет локализацию современной сейсмичности, опасной для строительства, в пределах области распространения последнего ледникового щита. Соответственно, данные по гляциоизостазии должны учитываться при сейсмическом районировании краевой северо-западной части Русской плиты. Поэтому на схеме тектонического районирования ВЕП (рис. 3) (Милановский, 1987; Тектоническая..., 2007) дополнительно проведена граница последнего ледникового покрова (Развитие..., 1993; Шик, 2008; Lindner, 1992). В его пределы попадал весь Балтийский (Фенно-Скандинавский) щит и прилегающие части Русской плиты.

Следует отметить, что трассировка границы Западного и Восточного сегментов ВЕП в дальнейшем потребует некоторого уточнения, поскольку рельеф краевой части поздневалдайского ледника, а соответственно, и размеры изостатических воздыманий местами были дифференцированными (Руттен, 1972; Saugamo, 1955; Mõgner, 1979 и др.). Это относится к северо-западу Русской плиты и Карелии, где ледник располагался, утончаясь к Кольскому полуострову, на котором ветви ледника обтекали высокие возвышенности типа Хибинских тундр.

СГС сейсмоструктурных сегментов ВЕП

В качестве СГС могут рассматриваться активные, а чаще активизированные древние структуры разрывного типа, из которых наиболее изученными являются авлакогены. По данным Е.Е. Милановского (1983, с. 38–39), молодые позднепалеозойские и мезо-кайнозойские авлакогены располагались по западной, южной и восточной окраинам ВЕП. «Самая поздняя фаза тектонической активности авлакогенов и зон разломов на Восточно-Европейской платформе относится к позднему (?) плиоцену — антропогену. С этой фазой связано прежде всего оживление некоторых древних авлакогенов северо-западного и северо-восточного простирания в пределах Балтийского щита и его окраины. Образовавшиеся в это время тектонические впадины Кандакшского залива, Ладожского озера, Ботнического залива, центральной части Балтийского моря глубиной 200–400 м наследуют или возрождают рифейские грабенообразные структуры» (Милановский, 1983, с. 74–75).

Западный сейсмоструктурный сегмент ВЕП. Для большей части данного сегмента, относящегося к Балтийскому (Фенно-Скандинавскому) щиту, можно остановиться только на самых крупных СГС. Гораздо более детальные материалы получены по одному из регионов в пограничной зоне между этим щитом и Русской плитой.

Балтийский (Фенно-Скандинавский) щит. Сейсмичность Фенноскандии характеризуется довольно четкой линейностью (рис. 4, А) (Юдахин и др., 2003). На северо-западе данной территории полоса землетрясений принадлежит к зоне каледонид Северо-Атлантического пояса. На самом щите такие полосы связаны преимущественно с грабенами, например, с грабеном Ботнического залива (рис. 4, Б) (Гарецкий и др., 1999), который Е.Е. Милановский (1987, с. 53) относит к авлакогенам. В районе Кольского полуострова также выделяются линейные сейсмогенерирующие структуры (рис. 4, В) (Юдахин и др., 2003).

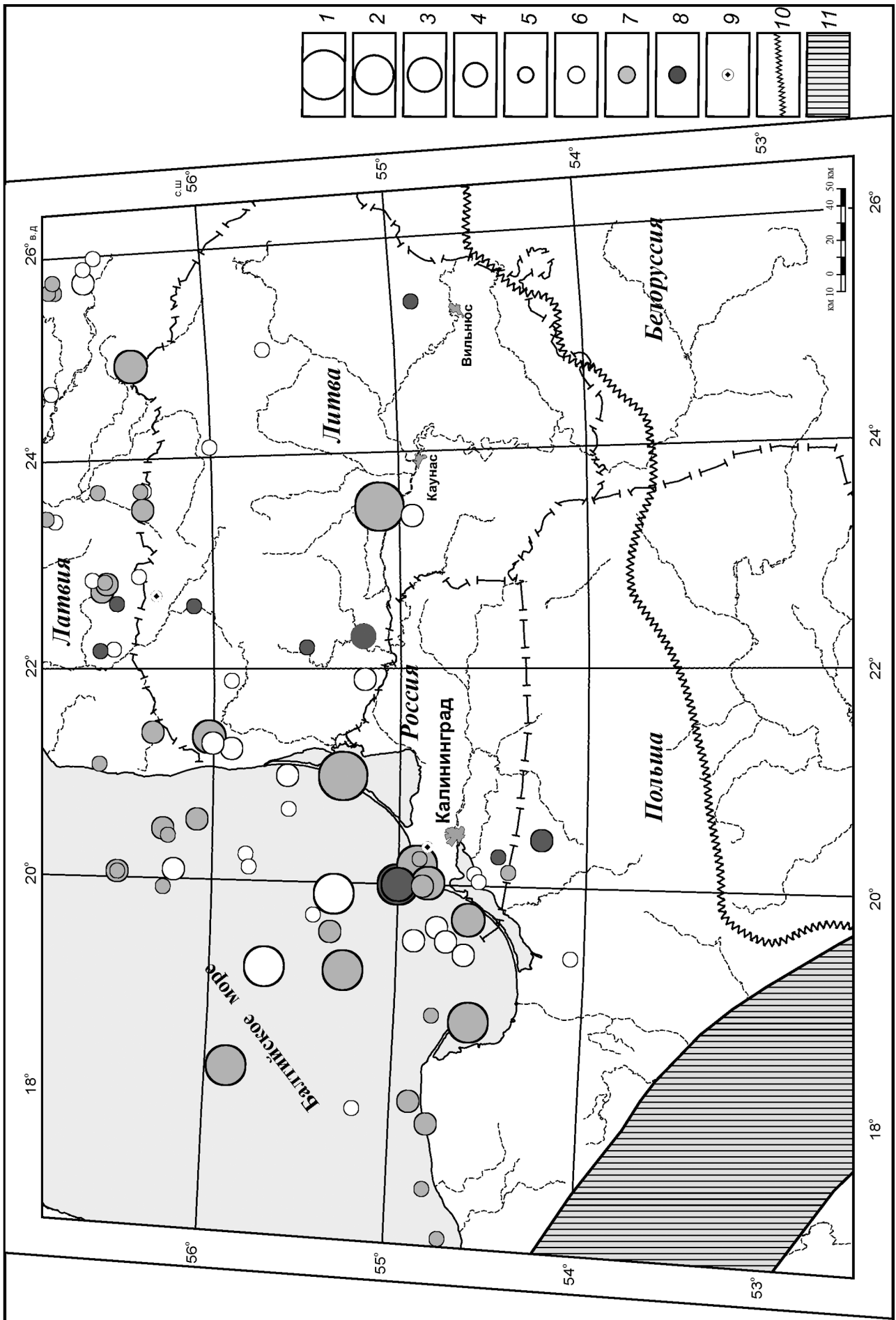
Общеизвестна повышенная сейсмичность в районе грабена Осло. В.Е. Хаин (1977, с. 178) рассматривал верхнепалеозойские рифты Осло и Скагерак в качестве одной из ветвей Западно-Европейской рифтовой системы. Как указывает Е.Е. Милановский (1983, с. 68), отдельные элементы системы рифтовых грабенов Осло-Бамбл-Хорн продолжали прогибаться вплоть до раннего мела.

В целом на щите наиболее вероятны два типа СГС: (1) шовно-депресссионный и (2) шовно-сбросовой. К шовно-депресссионным зонам, безусловно, относятся Ботническая, Кандакшско-Архангельская (II на рис. 4, В) и грабен Осло (3 на рис. 3). Шовно-сбросовыми зонами могут считаться Кольско-Мезенская, Хибинская и, по-видимому, Онежско-Чешская (I, III, IV на рис. 4, В).

Некоторые исследователи считают основные шовно-депресссионные зоны, в том числе Готландско-Ботническую и Финскую зоны грабенов, структурами начальной (позднететертичной) стадии рифтогенеза (Гарецкий и др., 1999). Поскольку здесь не проявилось полного набора признаков рифтогенеза (например, нет синхронного грабенообразования базальтового вулканизма), правильнее остановиться на шовно-депресссионной природе этой части СГС Балтийского щита. Характерно, что здесь, как и в шовно-депресссионных зонах орогенов, цепочки сейсмических очагов трассируют краевые разрывы грабенов и прилегающие части их поднятых крыльев.

Пограничная зона между щитом и плитой. Исследования в северо-западной, пограничной со щитом части Русской плиты (рис. 2), проводившиеся с учетом геологических критериев сейсмичности и влияния гляциоизостатического фактора (Несмеянов и др., 2008, 2010; Сейсмоструктура..., 2009), позволили выявить большее разнообразие СГС, чем на щите.

При характеристике неотектонической структуры в области распространения мощных четвертичных ледниковых покровов были намечены три структурных плана: (1) приповерхностный, полу-



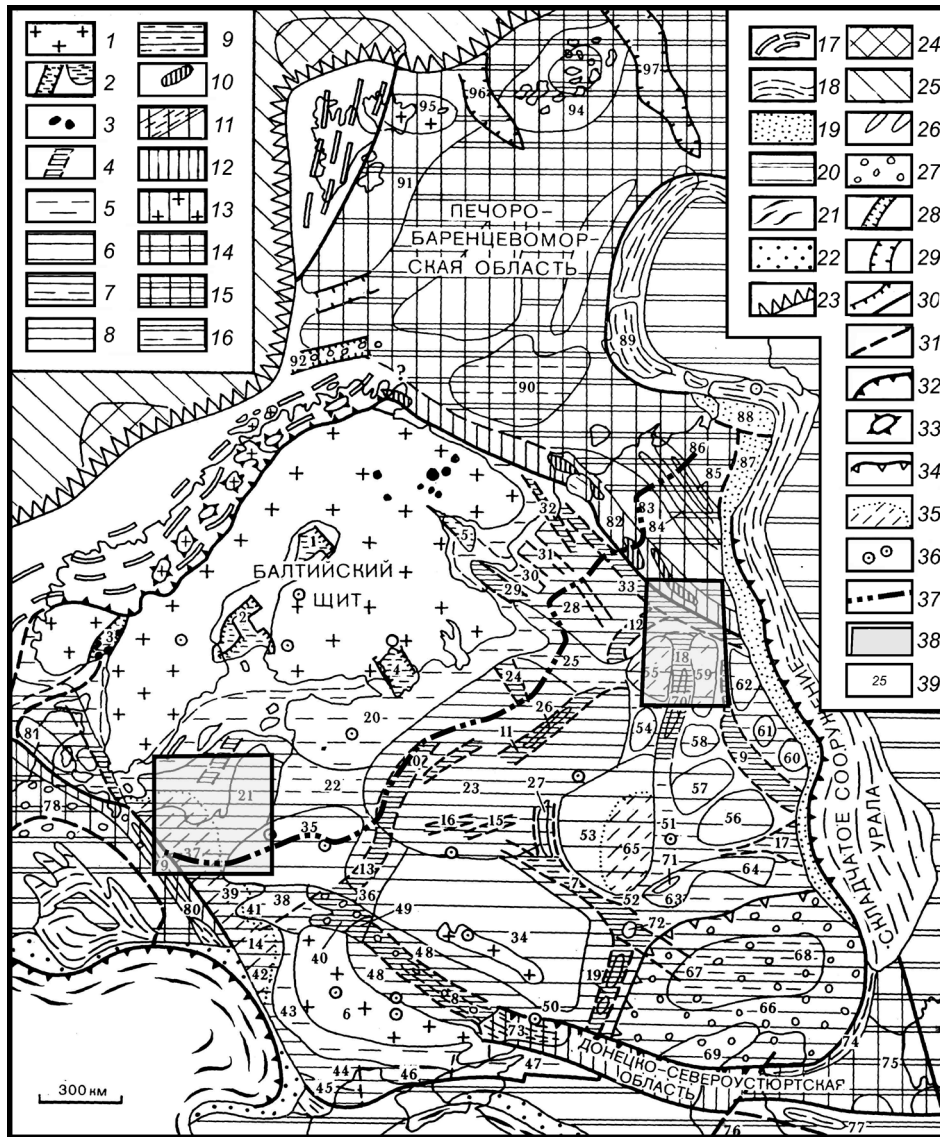


Рис. 3. Граница Западного и Восточного сеймотектонических сегментов Восточно-Европейской платформы на схеме тектонического районирования: 1–9 – Восточно-Европейская платформа: 1–3 – щиты: 1 – выходы фундамента на поверхность (местами прикрытого маломощным чехлом), 2 – грабены и впадины, выполненные верхнепротерозойскими и палеозойскими образованиями, 3 – верхнепротерозойские и палеозойские интрузивные массивы; 4–9 – Русская плита: 4 – погребенные грабены, выполненные верхним протерозоем и частично верхним палеозоем (авлакогены), 5 – крылья щитов, 6 – антеклизы и своды в сложных антеклиззах, 7 – седловины, крылья антеклиз и межсводовые прогибы в смежных антеклиззах, 8 – синеклизы и перикратонные впадины, 9 – наиболее глубокие части синеклиз с субокеаническим типом строения коры; 10–16 – метаплатформенные области: 10–12 – авлакогосинклинальные зоны: 10 – выступы байкальского (или салаирского) складчатого основания, 11 – то же, каледонского и герцинского, 12 – участки, перекрытые платформенным чехлом; 13–16 – метаплатформенные массивы и метаплатформенные области без расчленения: 13 – выступы добайкальского фундамента, 14 – поднятия в чехле, 15 – впадины в чехле, 16 – наиболее глубокие части впадин с предположительно субокеаническим типом строения коры; 17–22 – подвижные (эпигеосинклинальные складчатые) пояса: 17 – выступы складчатого основания каледонид Северо-Атлантического пояса, 18 – то же, герцинид, частично более древних структур и ранних киммерид Урало-Монгольского и Средиземноморского поясов, 19 – герцинские и раннекиммерийские краевые прогибы, 20 – участки складчатых областей, перекрытые мезокайнозойским и частично более древним чехлом молодых плит и парапласосов, 21 – позднекиммерийские и альпийские складчатые области, 22 – альпийские краевые прогибы; 23–25 – океанические впадины: 23 – краевые зоны (континентальные ступени), 24 – участки с утоненной корой континентального типа, 25 – глубоководные зоны с корой океанического типа; 26 – мезокайнозойские плакантиклинали (валы); 27 – районы развития соляных диапиров; 28 – грабены позднепротерозойские и палеозойские; 29 – то же, мезозойские и кайнозойские; 30 – крупные крутые разломы на поверхности; 31 – то же, погребенные; 32 – крупные надвиги и тектонические покровы; 33 – тектонические окна; 34 – крупные флексуры в чехле; 35 – некоторые наложенные мезокайнозойские впадины в чехле Русской плиты; 36 – астроблемы установленные и предполагаемые; 37 – граница поздневалдайского оледенения на Русской плите; 38 – границы районов, показанных на рис. 2, 5, 6; 39 – номера структур (см. Милановский, 1987, с. 46–47 и в тексте статьи)

Рис. 2. Схема распределения землетрясений относительно южной границы последнего плейстоценового оледенения (Сейсмо-тектоника..., 2009): 1–5 – магнитуда землетрясений (M): 1 – $4,8 \leq M \leq 5,2$; 2 – $4,3 \leq M \leq 4,7$; 3 – $3,8 \leq M \leq 4,2$; 4 – $2,8 \leq M \leq 3,7$; 5 – $M \leq 2,7$; 6–9 – глубина гипоцентра (h) в км: 6 – не определена; 7 – 0–10; 8 – 11–25; 9 – 26–40; 10 – граница последнего плейстоценового оледенения; 11 – зона Тейссейра-Торнквиста

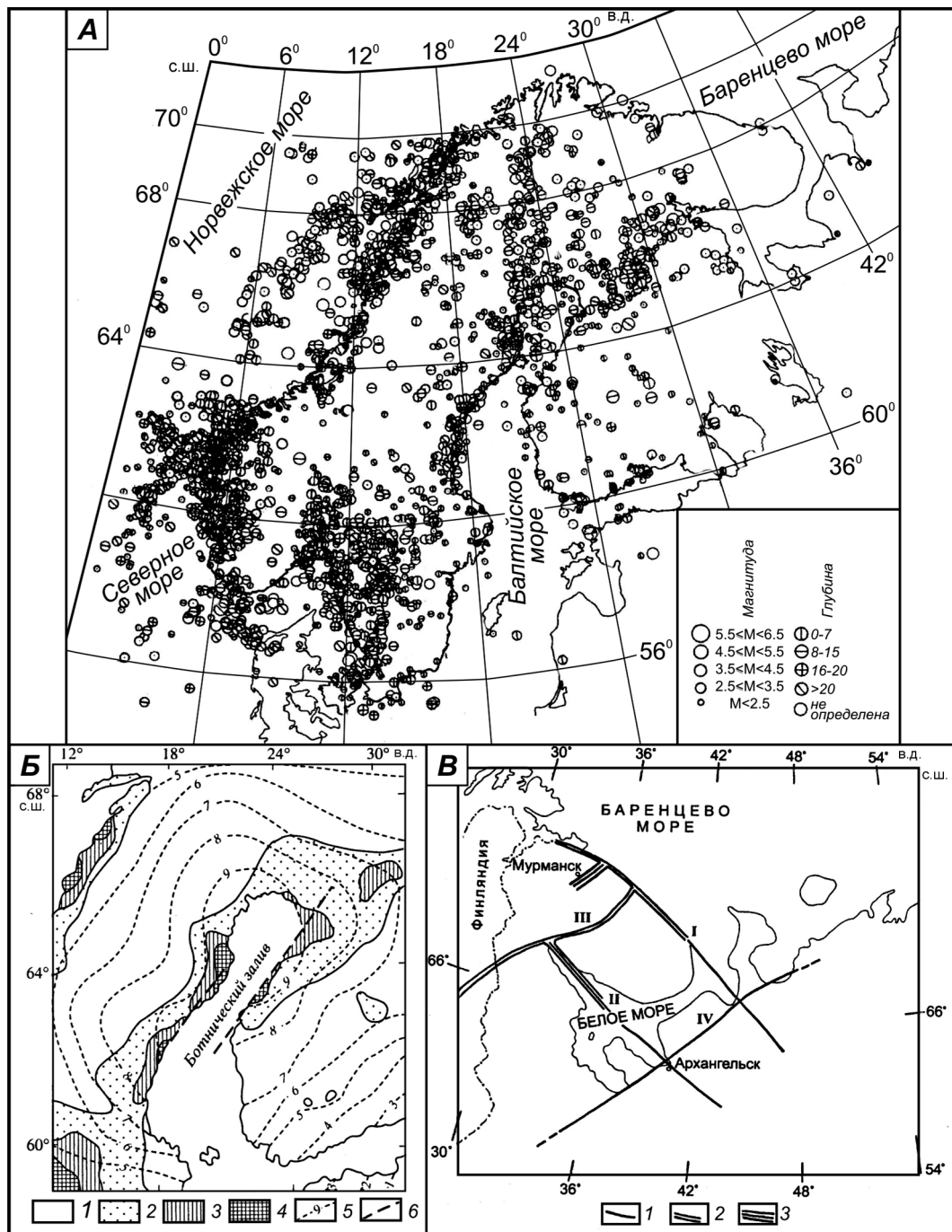


Рис. 4. Сейсмичность Балтийского (Фенно-Скандинавского) щита. А: карта эпицентров землетрясений Фенноскандии за 1990–1977 гг. по (Heikkinen et al., <http://www.seismo.helsinki.fi>, из Юдахин и др., 2003); Б: соотношение сейсмичности (по К.Е. Заальстрему), современных движений (по А.А. Никонову) и зон разрывных нарушений (по А.Г. Стрембергу) в центре позднеплейстоценового фенно-скандинавского ледникового покрова (Гарецкий и др., 1999): 1–4 – количество землетрясений за время 1600–1925 гг.: 1 – менее 5; 2 – 6–11; 3 – 12–17; 4 – более 18; 5 – изобазы, мм/год; 6 – разрывные нарушения; В: оси сейсмогенных зон на северо-востоке Фенно-Скандинавского щита (Юдахин и др., 2003). Максимальные магнитуды землетрясений: 1 – до 4; 2 – до 5; 3 – до 6 и более. Сейсмогенные зоны: I – Кольско-Мезенская, II – Кандалакшско-Архангельская, III – Хибинская, IV – Онежско-Чешская

чивший отражение в собственно новейших отложениях и формировавшийся в течение всего новейшего этапа геологического развития, т.е. за последние 35–37 млн лет (Гарецкий и др., 1999; Разломы..., 2007); (2) погребенный, связанный с четвертичной гляциогенной активизацией кристаллического фундамента, но проявившейся преимущественно за последние 400 тыс. лет; в нем намечено три порядка предположительно активных погребенных шовных

структур; (3) наиболее молодой структурный план (конец неоплейстоцена и голоцен), включающий две зоны поднятия: Эстонско-Курземскую и Литовско-Восточно-Латвийскую. Различные сочетания дислокаций из этих структурных планов позволяют типизировать линейные СГС. Так, совпадение погребенной разрывной зоны с приповерхностной флексурой дает возможность выделять флексурно-разрывную шовную зону, которая рассматривается

как новейшая структура, активизированная в четвертичном периоде. Крупные разрывные структуры рассматриваются в качестве шовно-разрывных зон, а крупные флексурные зоны – в качестве шовно-флексурных зон. Выделена оригинальная шовно-антиклинальная мелкоблоковая Лиепайско-Псковская зона, в которой мелкоблоковое основание сочетается с крупной антиклиналью, сопровождаемой разрывами и флексурами.

Анализ истории фанерозойского развития территории показал, что: (1) наблюдается нарастание интенсивности структурных перестроек (максимум в позднем палеозое); (2) зона палеозойских разрывных перестроек локализуется внутри зоны повышенной дифференцированности новейших тектонических структур. Это указывает на весьма длительное развитие района с наибольшей активностью верхнекоревой переработки.

В деформациях подошвы земной коры (поверхности Мохоровичича) наиболее важными элементами являются три зоны уступов, которые могут интерпретироваться в качестве глубинных разломов. В них происходит резкое изменение структурного плана и мощностей земной коры с амплитудой до 11–12 км. Две из них на юго-западе района, очевидно, оконтуривают зону Тейссейра-Торнквиста как шовно-авлакогенную структуру на границе древней Восточно-Европейской и эпигерцинской Западно-Европейской платформ. Тем самым определяется ширина этой зоны, у которой в качестве приповерхностных границ используются две верхнекоровые шовно-разрывные зоны (одна первого, а вторая – третьего порядков). Соответственно, данная зона может рассматриваться в качестве общекоровой.

Третья глубинная зона уступов в подошве земной коры располагается на севере района. Она преимущественно субширотна и не совпадает с приповерхностными структурами разрывной природы. Поэтому она рассматривается в качестве самостоятельной, но глубинной сейсмогенерирующей структуры, а ее присутствие определяет существование двух разноглубинных структурных планов.

Еще одним важным элементом глубинного строения района служит региональная тепловая аномалия, наиболее крупная по своей интенсивности в пределах Восточно-Европейской платформы. Данная зона может отличаться повышенной современной тектонической активностью. Ее важно сопоставить с другими материалами, которые позволят уточнить размещение СГС. Характерно, в частности, что она находится в центре области более интенсивной дифференцированности новейших структур. Это согласуется с высказанным выше предположением о том, что повышенный тепловой поток отражает усиленную тектоническую активность.

Анализ планового соотношения разномасштабных новейших структур позволил наметить их перекрестную ориентировку и возможность выделения структурных узлов (простых, сложных и составных). Простые узлы образуются двумя пересекаю-

щимися линейными структурами. Сложными узлами считаются участки пересечения трех и более линейных структур. Составные узлы образуются двумя-тремя сближенными узлами. Важным является учет глубинности сочленяющихся и пересекающихся линейных структур, поскольку кроме верхнекоровых линейных структур геофизическими методами выделяются глубинные, т.е. транскоровые зоны, которые можно в полной мере считать глубинными разломами.

Анализ СГС показал, что в пограничной зоне между щитом и плитой присутствуют следующие типы зон: шовно-авлакогенная, шовно-антиклинальная мелкоблоковая, ряд разрывных, флексурно-разрывных и флексурных (рис. 5). Это разнообразие связано, очевидно, с детальностью целенаправленных исследований. Поэтому не исключено выявление большего разнообразия СГС и на других территориях. Так, уже получены достаточно определенные сведения о четвертичном тектоническом и сейсмотектоническом обновлении рифейского Ладожского грабена с приуроченностью к молодым краевым сбросам эпицентров землетрясений. Здесь и на смежных территориях в зоне сопряжения щита и плиты проявляются локальные структуры молодого воздымания и разрывы сдвигового и, возможно, взбросо-надвигового типов. Накапливается материал и по сейсмотектоническому обновлению грабенообразной структуры Финского залива (Никонов, 2007).

Можно полагать, что подобные СГС могут выделяться при детальных исследованиях и на всей территории Балтийского щита.

Восточный сейсмотектонический сегмент ВЕП. Тектоническое строение Русской плиты изучено неравномерно и трактуется неоднозначно. Нет еще и сколько-нибудь устоявшейся схемы соотношения древних и новейших структур этой платформы. Поэтому приходится опираться на одну из наиболее представительных схем ее традиционного тектонического районирования (рис. 3), на которой древние структуры проиндексированы арабскими цифрами (они используются и в последующем тексте). Неотектоника плиты изучена гораздо хуже. Поэтому новейшие структуры будут упоминаться только в отдельных случаях.

Важнейшими шовными структурами плиты (далее в тексте номера структур выделены курсивом) являются авлакогены, выполненные нижнерифейскими (на востоке плиты) и преимущественно средне- и верхнерифейскими и нижневендскими отложениями. Относительная глубина этих линейных грабенообразных впадин варьирует от 1–2 до 5 км, в отдельных случаях до 10–15 км (Днепровско-Донецкий авлакоген – 8). Борты и днища авлакогенов имеют ступенчатое и клавишное строение, поскольку пересекаются продольными, реже диагональными и поперечными крутыми сбросами с амплитудами смещения от нескольких сотен метров до первых километров. В конце позднего протерозоя, т.е. в байкальскую тектоническую эпоху, предшествующее растяжение иногда сменялось го-

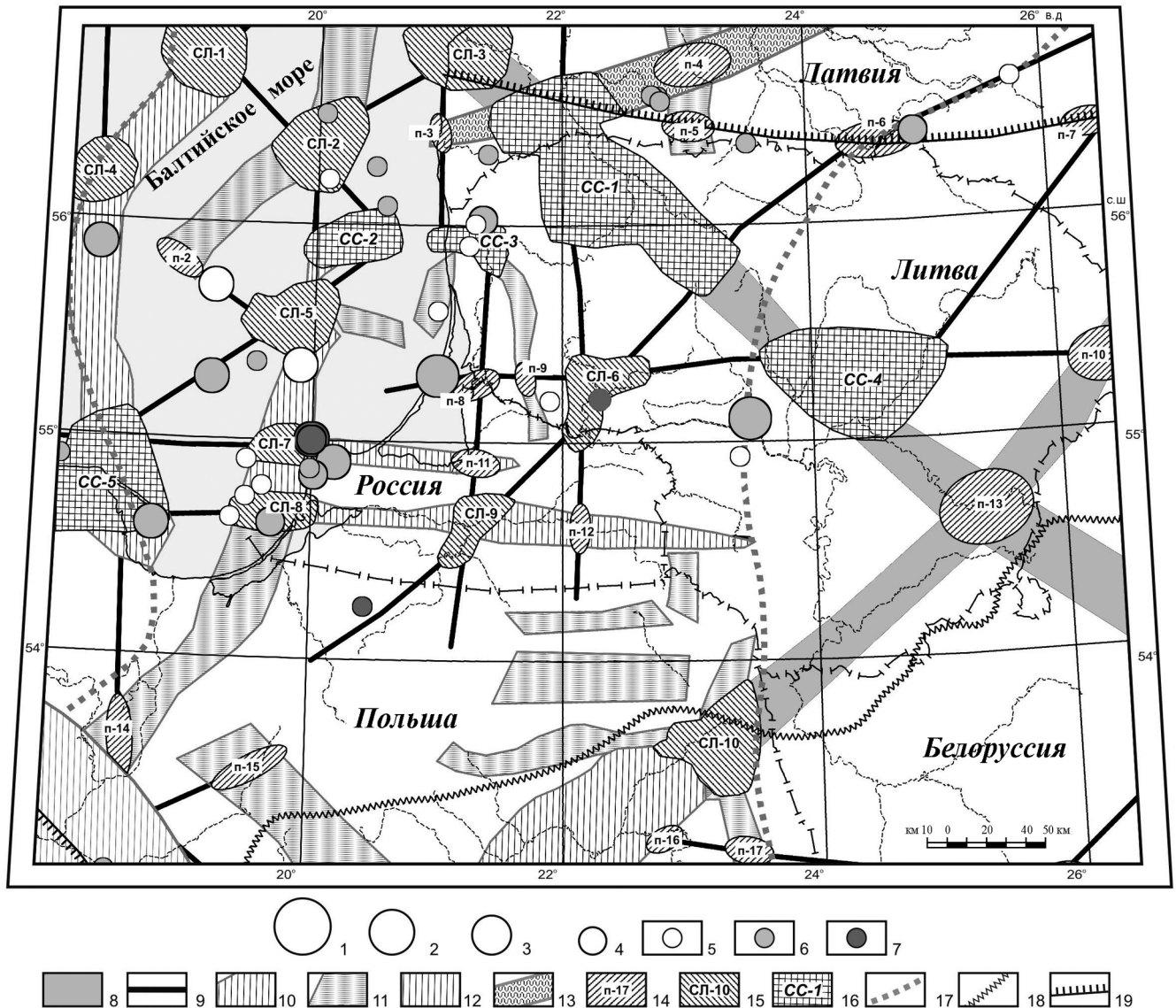


Рис. 5. Карта потенциально сейсмогенерирующих структур северо-запада Русской плиты (Сейсмотектоника..., 2009): 1–4 – магниту́да землетрясений (M): 1 – $4,8 \leq M \leq 5,2$; 2 – $43 \leq M \leq 47$; 3 – $3,8 \leq M \leq 4,2$; 4 – $2,8 \leq M \leq 3,7$; 5–7 – глубина гипоцентра (h) в км: 5 – не определена; 6 – 0–10; 7 – 10–20; 8, 9 – разрывные зоны в пределах древней платформы: 8 – II порядка, 9 – III порядка; 10 – шовно-авлакогенная зона Тейссейра-Торнквиста; 11–13 – линейные зоны: 11 – флексурные, 12 – флексурно-разрывные, 13 – шовно-антиклинальные; 14–16 – типы структурных узлов: 14 – простой, 15 – сложный, 16 – составной; 17 – границы новейших структур пятого порядка; 18 – граница распространения последнего ледникового щита; 19 – глубинные разломы

ризонтальным сжатием, сбросы превращались во взбросы, а внутри некоторых авлакогенов возникли горстовые инверсионные поднятия. С позднего венда – раннего палеозоя в одних районах или с девона – в других начал формироваться плитный чехол с образованием синеклиз и антеклиз. Приосевые зоны синеклиз, как правило, наследуют положение погребенных под ними авлакогенов. В отдельных авлакогенах, например, в Кировском (18) и Доно-Медведицком (19), во второй половине девона возобновлялось интенсивное погружение, а Днепровско-Донецкий авлакоген (8) в позднем девоне не только регенерировался, но и значительно расширился по простиранию к северо-западу. Прогибание в нем продолжалось до ранней перми, а его преобразование в синеклизу началось в позднепермское время. Последние фазы тектонической активизации ряда авлакогенов относятся к мезо-

зою, а в некоторых из них даже к началу кайнозоя, когда в плитном чехле над ними были сформированы инверсионные валообразные структуры типа плакантиклиналей (Милановский, 1987). Это свидетельствует о возможности молодой активизации авлакогенов, рассматриваемых в качестве шовных зон.

Кроме собственно авлакогенов на территории плиты присутствуют древние грабены. Особенно характерны они для краевой части плиты, где нередко оказываются обновленными, получившими прямое отражение в рельефе, например, Ладожский (4), Кандалакшский (5) и др.

Наиболее крупной является авлакогеосинклинальная система Тимана (сложный авлакоген), которая отделяет с северо-востока собственно древнюю плиту от Тимано-Печерско-Баренцевоморской метаплатформенной области. На юге древняя плита

обрамляется Донецко-Североустуртской метаплатформенной областью, включающей Донецкую (97) (Донецко-Промысловую) и Южноэмбенскую (74) авлакогеосинклинальные складчатые зоны и Северо-Устуртский метаплатформенный массив (75) (Милановский, 1987).

Конечно, полной информации о структурной приуроченности землетрясений на Русской плите еще нет. Именно поэтому в существующих сводках по сейсмичности этой территории приводится только географическое расположение эпицентров (см., например, Сейсмическое..., 1980, с. 110–111). Однако уже появился ряд публикаций, подтверждающих связь сильных землетрясений именно с авлакогенами, грабенами и шовно-сбросовыми зонами. Ниже приводятся некоторые наиболее представительные материалы.

На самом востоке Русской плиты к западу от Красноуфимского разлома и палеозойского краевого прогиба ряд сейсмических очагов связан с краями Альметьевского (56), Пермского (61) и других сводов, смежных с Камско-Бельским авлакогеном (9). Данные очаги, по-видимому, тяготеют к бортам этого авлакогена или к оперяющим его грабенам (Землетрясения..., 2007). Основная активизация этих грабенов происходила в среднем палеозое в позднеживецкое–раннефранское время (Милановский, 1987, с. 68).

Северо-западнее, к югу от восточного окончания Тимана (рис. 6) связь сейсмических очагов с бортами Кировско-Кажимского авлакогена (18) проявляется совершенно очевидно (Землетрясения..., 2007, с. 231). Активизация этого авлакогена происходила двукратно – в среднем (?) рифее и в конце среднего – начале позднего девона. При каждой активизации в нем накапливалось до 0,5–1,0 км осадков (Милановский, 1987, с. 67).

На юге плиты намечается два различных типа структурной приуроченности землетрясений (Никонов и др., 2001). Первый тип связан с северным бортом Днепровско-Донецкого авлакогена (8), который испытал горизонтальное растяжение в позднедевонскую эпоху, т.е. в начале герцинского тектонического цикла, а в конце этого цикла и в ларамийскую фазу альпийского цикла – небольшое сжатие. Позднепалеозойско-мезозойско-кайнозойский (до миоцена) комплекс отложений мощностью до 1–3 км выполняет здесь широкую Украинскую синеклизу, под которой погребен рассматриваемый авлакоген. Но в строении этого комплекса в смягченной форме отражаются многие элементы авлакогена, в том числе диапировые структуры с ядрами из девонской и пермской соли. Все это свидетельствует о длительной унаследованности развития структур. Землетрясения связаны, скорее всего, именно с таким обновлением разрывных структур. Они отмечаются в районе городов Харьков (Никонов и др., 2001) и Луганск (Сейсмическое..., 1980).

Второй тип структурной приуроченности землетрясений связан с орографически выраженными Липецким и Калужско-Курским новейшими раз-

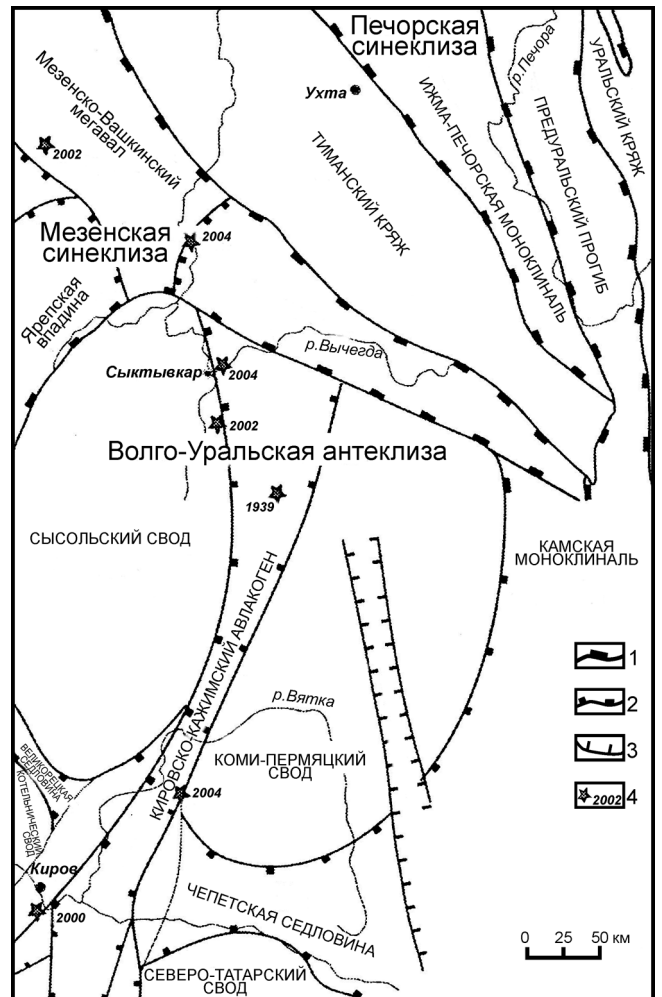


Рис. 6. Схема тектонического районирования по поверхности фундамента на востоке сочленения Русской плиты с Тиманом (Землетрясения..., 2007): 1–4 – границы структур: 1 – надпорядковые; 2 – первого порядка; 3 – второго порядка; 4 – прогиба; 5 – местоположение очага землетрясения, год

рывами, которые пересекают Воронежскую антеклизу в северо-северо-восточном направлении. Сейсмичны также структурные узлы пересечения этих разрывов с Суджано-Икорецким разрывом (Никонов и др., 2001). Характерно, что очаги землетрясений располагаются на глубинах до 10 км, т.е. там, где в районе Липецкого разлома геофизическими исследованиями обнаружены субгоризонтальные неоднородности (на глубинах 4–8 и 8–14 км). Предполагается поэтому связь очагов с узлами пересечения субвертикальных и субгоризонтальных разрывов (Дуркин, 2000). Поскольку каждая из упомянутых зон представлена не одним, а двумя-тремя субпараллельными разрывами, можно предполагать, что здесь формируются молодые грабеновые или сложные шовно-сбросовые зоны.

Специфическое сгущение эпицентров землетрясений связано с районом северо-западной части Припятского прогиба (40) и зоной его сочленения с Белорусской антеклизой (35). Здесь отмечается тесная связь слабых землетрясений с конкретными продольными разрывами (Северо-Припятским, Ляховичским, Речицким, Чернослободско-Мало-

душинским, Копаткевичским, Шестовичским, Сколодинским) (Землетрясения..., 2007). Этот грабеннообразный прогиб, или впадина, ограничен с севера и юга ступенчатыми краевыми сбросами с суммарным вертикальным смещением до 3–5 км, а днище его разбито густой сетью менее крупных сбросов. С перераспределением верхнедевонской соли в восточной части прогиба связаны многочисленные криптодиapiroвые структуры, рост которых продолжался до конца палеозоя (Миляновский, 1987 с. 63–64). Очевидно, здесь имеет место шовно-депресссионная структура, которую часто трактуют, как палеорифт. При этом не исключается проявление и сдвиговых перемещений по разрывам (Разломы..., 2007). Неотектонические исследования свидетельствуют об унаследованном проявлении на новейшем тектоническом этапе ряда древних структур прогиба. Прерывистые зоны линеаментов, трассируемые вдоль некоторых древних погребенных разрывов – Речицкого, Березинского и др., отражают приповерхностные зоны трещиноватости, развивающиеся над разрывно-флексурными дислокациями в чехле и над погребенными разрывами фундамента. Отмечается также, что линеаменты иногда несколько смещены от погребенного разрыва или флексуры. Но сами подвижки считаются новейшими, точнее, миоценовыми и четвертичными (Макарова, 2007). Предполагается также, что часть землетрясений связана с техногенными факторами – выемкой и складированием больших масс горных пород на шахтных полях Солигорского месторождения (Разломы..., 2007, с. 337–338). Можно полагать, что здесь вполне возможна наведенная сейсмичность, обусловленная техногенной активизацией тектонической подвижности.

Севернее, в пределах Белорусской антеклизы землетрясения связаны с отдельными разрывами различной ориентировки (Землетрясения..., 2007). Здесь можно предполагать преимущественно сбросовое обновление древних разрывов.

Общие выводы

Из сказанного можно сделать следующие общие выводы.

1. Достаточно определенно наметилось различие в характере СГС и уровне сейсмичности для двух соизмеримых по площади сейсмотектонических сегментов древней платформы, разделенных границей распространения последнего ледникового покрова:

а) повышенная сейсмичность связана с западным (подвергшимся последнему материковому оледенению) сегментом платформы, который включает Балтийский (Фенно-Скандинавский) щит и прилегающие к нему краевые части Русской плиты.

Здесь основные землетрясения связаны с шовно-грабеновыми, шовно-антиклинальными, шовно-сбросовыми, флексурно-разрывными, флексурными и реже с шовно-авлакогенными СГС;

б) гораздо более слабой сейсмичностью характеризуется восточный сегмент платформы, отвечающий основной части Русской плиты и Украинскому щиту. Здесь большинство местных землетрясений связано с так или иначе обновленными погребенными авлакогенами, а также с шовно-грабеновыми и шовно-сбросовыми СГС.

Специфика наборов СГС определяется не только различием в геологическом строении и истории развития двух упомянутых сегментов платформы, но и своеобразием природы современных тектонических напряжений (преимущественно гляциоизостатических в западном сегменте и тектонических в восточном).

2. Выявление и характеристика СГС ВЕП находятся на начальных стадиях исследований. Однако уже ясно, что на Русской плите необходим совместный и детальный анализ погребенных древнейших и приповерхностных новейших и четвертичных структур. При этом особенно важными являются, во-первых, изучение не только основных этапов развития древних структур, но и признаков их последующего обновления, а во-вторых, характеристика соотношения древних структур с новейшими и проявления в новейших структурах признаков унаследованности более древних деформаций. Например, на рифейском Пачелмском авлакогене с герцинского этапа тектогенеза начинается зарождение поперечного Окско-Цнинского вала. На неотектоническом этапе появляются орографически выраженные меридиональный Окско-Донской прогиб и сопряженный с ним на востоке Окско-Цнинский вал, частично наследующий одноименную палеозойскую структуру. Элементы унаследованности рифейских структур проявляются в виде сегментации вала линеаментами северо-западной ориентировки (Суханова, Макаров, 2007). Следовательно, молодая перестройка древних шовных зон сопровождается их некоторой регенерацией. В результате может быть получена намного бо́льшая, чем ныне, дифференциация СГС.

3. Следует отметить очевидное сходство наборов основных типов СГС разнообразных орогенических и древних платформенных регионов (Несмеянов, 2012). Различия в индивидуальной специфике СГС касаются не главных (родовых) их типов, а видовых особенностей, т.е. разнообразия внутри основных типов. А таковыми основными типами можно считать шовно-флексурный, шовно-разрывный (с вариациями по кинематике преобладающих смещений), шовно-депресссионный и шовно-блоковый.

ЛИТЕРАТУРА

Артюшков Е.В. Геодинамика. М.: Наука, 1979. 328 с.
Белюсов В.В., Сорский А.А., Бунэ В.И. Сейсмотектоническая карта Европы (объяснительная записка) М.: Наука, 1968. 40 с.

Гарецкий Р.Г., Айзберг Р.Е., Карabanов А.К. и др. Новейшая тектоника и геодинамика Центральной Европы // Геотектоника. 1999. № 5. С. 3–14.

- Грчев А.Ф., Магницкий В.А., Мухамедиев Ш.А., Юнга С.Л. Изгибные деформации и сейсмичность литосферы Восточно-Европейской платформы // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 2–3. М.: ОИФЗ РАН, 1995. С. 243–247.
- Дуркин А.Г. Глубинные сейсмические исследования ОГТ в районе эксплуатации ответственных промышленных сооружений на Воронежском кристаллическом массиве // Геодинамика и техногенез. Мат-лы Всерос. совещ. Ярославль, 2000. С. 51–52.
- Землетрясения и микросейсмичность в задачах современной геодинамики Восточно-Европейской платформы. Кн. 1. Землетрясения. Петрозаводск: КНЦ РАН, 2007. 382 с.
- Комплект карт общего сейсмического районирования территории Российской Федерации – ОСР-97. Масштаб 1:8 000 000. Объяснит. зап. и список городов и населенных пунктов, расположенных в сейсмоопасных районах. М.: ОИФЗ РАН, 1999. 57 с.
- Костров Б.В. Механика очага тектонического землетрясения. М.: Наука, 1975. 174 с.
- Макаров В.И. Четвертичная тектоника и геодинамика платформенных территорий: актуальные проблемы изучения // Бюл. Комиссии по изуч. четвертич. периода. 2008. № 68. С. 10–25.
- Макарова Н.В. О проявлении древних структур в новейшей тектонике Припятского прогиба // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Казань: Казанск. ун-т, 2007. С. 39–43.
- Милановский Е.Е. Геология СССР. Ч. 1. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987. 416 с.
- Милановский Е.Е. Рифтогенез в истории Земли (рифтогенез на древних платформах). М.: Недра, 1983. 280 с.
- Несмеянов С.А. Геологические соображения о типах очагов коровых землетрясений // Вопр. инженерной сейсмологии. Вып. 25. Прогноз сейсмических воздействий. М.: Наука, 1984. С. 107–119.
- Несмеянов С.А. Инженерная геотектоника. М.: Наука, 2004. 780 с.
- Несмеянов С.А. Шовные зоны как верхнекоровые сейсмогенерирующие структуры // Геоэкология. 2012. № 1. С. 5–28.
- Несмеянов С.А. Принципы выделения сейсмогенерирующих структур на Восточно-Европейской платформе // Сергеевские чтения. Вып. 17. М.: РУДН, 2015. С. 277–282.
- Несмеянов С.А., Воейкова О.А., Лутиков А.И., Никонов А.А. Влияние гляциоизостазии на местную сейсмичность краевой части Русской плиты в области поздне-четвертичного оледенения // Литасфера. 2008. № 2. С. 164–167.
- Несмеянов С.А., Лутиков А.И., Воейкова О.А., Донцова Г.Ю. Сейсмичность северо-западной части Русской плиты и ее гляциоизостатическая природа // Геоэкология. 2010. № 2. С. 141–156.
- Николаев Н.И. Неотектоника и сейсмичность Восточно-Европейской платформы // Изв. АН СССР. Сер. геогр. 1967. № 2. С. 13–27.
- Николаев Н.И. О связи сейсмичности Балтийского щита и норвежских каледонид с неотектоникой // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геол. 1966. № 3. С. 20–36.
- Никонов А.А. Новейшая тектоника и активные разломы в переходной зоне от Фенно-Скандинавского щита к Восточно-Европейской платформе (юго-восточный сектор) // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Казань: Казанск. ун-т, 2007. С. 135–139.
- Никонов А.А., Белоусов Т.П., Энман С.В. Землетрясения юга Восточно-Европейской платформы и их структурная позиция // Физ. Земли. 2001. № 5. С. 30–44.
- Развитие ландшафтов и климата Северной Евразии. Вып. 1 (Региональная палеогеография). М.: Наука, 1993. 102 с.
- Разломы земной коры Беларуси. Минск: Красико-Принт, 2007. 372 с.
- Рогожин Е.А., Овсяченко А.Н., Мараханов А.В. и др. Олоторское землетрясение в Корякии 20(21) апреля 2006 г., результаты геологического и макросейсмического изучения эпицентральной области // Олоторское землетрясение 20(21) апреля 2006 г., Корякское нагорье. Первые результаты исследований. Петропавловск-Камчатский, 2007.
- Руттен М.Г. Геология Западной Европы. М.: Мир, 1972. 448 с.
- Сейсмическое районирование территории СССР. Методические основы и региональное описание карты 1978 г. М.: Наука, 1980. 308 с.
- Сейсмоструктоника плит древних платформ в области четвертичного оледенения М.: Книга и Бизнес, 2009. 288 с.
- Суханова Т.В., Макаров В.И. Пачелмский авлакоген (Русская плита) на новейшем этапе тектонической эволюции // Изменяющаяся геологическая среда: пространственно-временные взаимодействия эндогенных и экзогенных процессов. Казань: Казанск. ун-т, 2007. С. 64–68.
- Тектоническая карта России и прилегающих территорий и акваторий. Масштаб 1:4 000 000 / Под ред. Е.Е. Милановского. 2007.
- Трифонов В.Г. Неотектоника Евразии. М.: Научный мир, 1999. 252 с.
- Трифонов В.Г., Кожурин А.И., Лукина Н.В. Изучение и картирование активных разломов // Сейсмичность и сейсмическое районирование Северной Евразии. Вып. 1. М.: ОИФЗ РАН, 1993. С. 196–206.
- Хаин В.Е. Региональная геотектоника. Внеальпийская Европа и Западная Азия. М.: Недра, 1977. 359 с.
- Шебалин Н.В. Очаги сильных землетрясений на территории СССР. М.: Наука, 1974. 54 с.
- Шик С.М. Некоторые проблемы стратиграфии квартала // Бюл. Комиссии по изуч. четвертич. периода. 2008. № 68. С. 40–49.
- Юдахин Ф.Н., Шукин Ю.К., Макаров В.И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.
- Lindner L. (Ed.). Czwartorzęd. Osady, metody badań, stratygrafia. Warszawa: Wydawnictwo PAE, 1992. 683 p.
- Mörner N.-A. The Fennoscandian uplift and Late Cenozoic geodynamics: geological evidence // GeoJournal. 1979. Vol. 3. P. 287–318.
- Nesmeyanov S.A., Lyutikov A.I., Voejkova O.A., Dontsova G.Yu. Seismicity of the northern part of Russian Plate and its glaciostatic nature // Water Resources. 2011. Vol. 38, N 7. P. 916–929.
- Sauramo M. Land uplift with hinge-lines in Fennoscandia // Ann. Acad. Sci. Fennicae. Ser. A. 1995. Vol. 3(44). P. 1–25.

Сведения об авторах: Несмеянов Сергей Алексеевич — докт. геол.-минерал. наук, гл. науч. сотр. Ин-та геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, e-mail: voa49@mail.ru; Воейкова Ольга Алексеевна — ст. науч. сотр. Ин-та геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, e-mail: voa49@mail.ru