

**СВЯЗЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ СЕЙСМИЧНОСТИ СЕВЕРНЫХ И ЦЕНТРАЛЬНЫХ
РАЙОНОВ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ С АНОМАЛИЯМИ СКОРОСТИ
СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЛН В ЛИТОСФЕРЕ И ГЕОДИНАМИКОЙ
СМЕЖНЫХ РЕГИОНОВ***

Н.К. Булин

ФГУП Всероссийский научно-исследовательский институт

имени А.П. Карпинского МПР России

199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74

E-mail: vsegei @vsegei.sp.ru

Поступила в редакцию 26 июня 2003 г.

Установлена преимущественная связь очагов коровых землетрясений с границами разноскоростных блоков, намеченных по данным глубинной сейсморазведки ГСЗ. В большинстве случаев эти границы представляют собой субвертикальные глубинные зоны нарушения сплошности горных пород, которым в верхней части кристаллической земной коры (КЗК) нередко отвечают локальные области пониженной скорости продольных Р- и сдвиговых S-волн. Отдельные сейсмические очаги или их совокупности имеют тенденцию локализоваться над протяженными (многие десятки и сотни км) зонами пониженной скорости сдвиговых S-волн в базальном слое КЗК. Отмечена преимущественно северо-восточная ориентация региональных границ разноскоростных зон КЗК, что согласуется с простиранием преобладающего числа дизъюнктивных сдвиго-надвиговых нарушений в чехле платформы. Большая часть очагов вызвана подвижками по субвертикальным плоскостям разрывов, что согласуется с характером подвижек в очагах землетрясений Фенноскандии, изученных инструментально. В соответствии с представлениями многих специалистов, северо-восточная ориентация границ разноскоростных зон может быть обусловлена процессами рифтогенеза в Северо-Атлантическом бассейне и боковым давлением смежных геоблоков Фенноскандинавского щита.

Ключевые слова: геодинамика, сейсмичность, аномалии скорости продольных и сдвиговых волн, сейсмические волноводы, Фенноскандинавский щит.

**THE RELATION OF REGIONAL SEISMICITY OF NORTH AND CENTRAL
REGIONS OF THE RUSSIAN PLATFORM AND THE SEISMIC VELOCITIES OF THE
LITHOSPHERE AND THE GEODYNAMIS OF ADJACENT REGIONS**

N.K. Bulin

Federal State Unitary Enterprise A.P. Karpinsky

All-Russian Research Geological Institute (VSEGEI)

The focus of earthquakes within the crust is mainly correlated with the contacts of blocks with different velocities of P – and S – waves, established by DSS method. In general, these contacts are deep fault which are sometimes correlated with a low velocity zone (LVZ) of P – waves in the upper crust. The same single focus and their totality have a tendency to localize above long LVZ zones of S – waves in the basal layer of the crust.

The orientation of the regional zones of velocity contact is mainly north-eastern just the same as in the platform cover. The major of earthquake foci are the result of movement along subvertical planes but

* Статья представляет собой расширенный доклад на Восьмой международной конференции «Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон» 16–20 сентября 2002 г., Петрозаводск.

not only subhorizontal planes. This idea is in consent to the model of earthquake focus mechanism. The last idea was formulated during the instrumental study of natural earthquakes in Finland. North-east orientation of velocity zones in the deep crust and at the level of Moho, according to several authors, may be caused by rifting of the North Atlantic basin and lateral compression of the Fennoscandinavian Shield.

Key words: *geodynamics, seismisity, anomalies of velocity of P – and S – waves, Fennoscandinavian Shield, subvertical plane.*

Связь коровой сейсмичности с аномалиями скоростного разреза земной коры исследовалась преимущественно по данным наблюдений ГСЗ на продольных сейсмических Р-волнах [Щукин и др., 1998]. Привлекались также данные МОВЗ [Коновалов и др., 2001]. Самым полным исследованием такого рода, по-видимому, является работа Ю.К. Щукина с соавторами [1998], в которой рассмотрены данные по 31 крупному землетрясению с очагами в основном на территории Кавказа и Средней Азии. Авторами сделан вывод, что наибольшее число очагов сильных землетрясений «сосредоточено в более высокопрочных (по сравнению с прилегающими) блоках земной коры» [Щукин и др., 1998, с. 61].

Большой вклад в понимание связи сильной коровой сейсмичности с распределением упругих модулей внесли исследования ГСЗ на Р- и S-волнах в очаговых зонах Муйского (1957 г.), Кеминского (1911 г.) и других катастрофических землетрясений с магнитудами 7,3–8,2 [Крылов, Тен, 1985]. Показано, что гипоцентры сильных коровых землетрясений приурочены к краевым неоднородностям крупных высокоскоростных тел с линейными размерами многие десятки километров. Имеется работа [Егоркин, 1999], в которой по данным ГСЗ анализируется связь сейсмической активности с вещественным составом кристаллической земной коры (КЗК). По данным для восточной части геотраверса «Базальт» им показано, что очаги землетрясений приурочены к контактам блоков с низким содержанием SiO_2 (преимущественно породы основного состава), а различие скоростей объемных волн на контактах составляет от 0,1 до 0,4 км/с.

Аналогичные связи коровой сейсмичности со скоростными характеристиками верхней литосферы наблюдаются и в пределах описываемого региона. Так, очаги Среднепечорского (1934 г.) и Мезенского (1936 г.) событий располагаются на границах разноскоростных блоков.

Непосредственное отношение к рассматриваемой проблеме имеют результаты массового томографического изучения строения сейсмоопасных зон по волнам Р- и S- сильных землетрясений Средней Азии, проведенного Т.М. Сабитовой [1996] преимущественно по материалам для Северного Тянь-Шаня. В итоге работ перечисленных выше и других исследователей к настоящему времени утвердилась следующая парадигма: разрядка напряжений при коровых землетрясениях происходит в краевых частях довольно крупных высокоскоростных тел, являющихся накопителями сейсмической энергии. Кроме того, на примере северотяньшанских сейсмических событий выяснено, что «положения очагов сильных землетрясений с магнитудами 6 и более обусловлены наличием нижнекорового волновода» [Сабитова, 1996, с. 8].

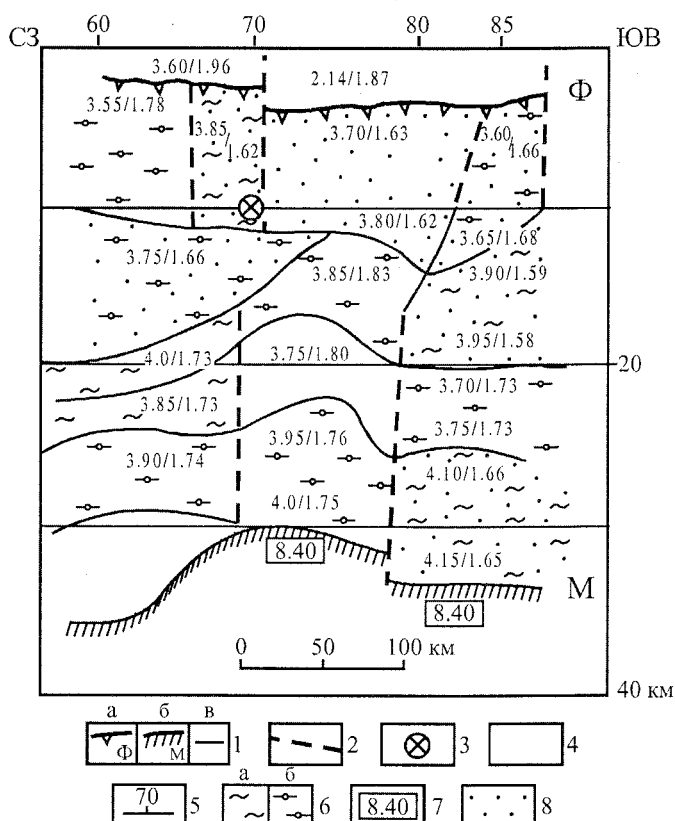
В качестве примера связи сейсмичности со скоростным строением кристаллической земной коры (КЗК) рассмотрим фрагменты разреза, составленного по данным многоволнового глубинного сейсмического профилирования (МГСР), в районе Мезенского землетрясения 23/I-1936 г., $M = 4,0$, глубина очага $h = 10$ (5–20) км. Как видно из рис. 1, очаг землетрясения приурочен к блоку с повышенной скоростью $V_s = 3,85$ км/с и к зоне субвертикального разлома, смещающего кровлю КЗК и продолжающегося (после некоторого перерыва) вплоть до границы М. Кроме радиальной зоны пониженной скорости $V_s = 3,75$ км/с, залегающей непосредственно ниже очага землетрясения, наблюдается еще несколько латеральных и радиальных волноводных зон, которые как бы «пронизывают» почти весь вертикальный разрез земной коры.

На рис. 2 сделана попытка совместить элементы скоростной зональности земной коры региона, установленные по данным Р-волн (скорость на границе Мохоровичича) и по данным S-волн. Последние в фрагментарном виде характеризуют скорость S-волн на уровне кровли

Рис. 1. Фрагмент сейсмического разреза земной коры, составленного методом многоволнового глубинного сейсмического профилирования (МГСП) по геотраверсу «Кварц» в эпицентральной зоне Мезенского землетрясения 23/II-1936 г.

Разрез составлен в Центре ГЕОН А.В. Егоркиным, Л.Б. Щегловой и др., схематизация по Н.К. Булину.

1 – сейсмические границы: а) горизонт Φ – кровля кристаллического фундамента, б) поверхность Мохоровичича, в) прочие сейсмические границы; 2 – условные скоростные контакты по границам блоков; 3 – гипоцентр землетрясения; 4 – скоростные характеристики в блоках: а – числитель – V_s , знаменатель V_p/V_s ; 5 – линия геотраверса и номера пикетов наблюдений; 6 – разнотипные скоростные блоки: а – с относительно повышенной скоростью V_s , б – латеральные и радиальные волноводы для сдвиговых волн V_s ; 7 – граничная скорость V_p^M км/с на поверхности Мохоровичича; 8 – сейсмические домены с пониженными значениями $V_p/V_s = 1,59-1,65$.



КЗК и кровли базального слоя коры. Как видно на рис. 2, очаги разных энергетических классов (1–4) наблюдаются в Зимнебережном районе (4 на рис. 2), где хорошо проявлен нижнекоровый базальный волновод. Землетрясение 4-го энергетического класса произошло в 1467 г. в Московской синеклизе, в области площадного распространения в базальном слое низкоскоростных отложений $V_s = 3,90$ км/с. Землетрясения низкого энергетического класса произошли в пределах Безымянной (5) и Ижевской (6) низкоскоростных зон базального слоя КЗК. Область сгущения эпицентров достаточно сильных землетрясений ($K < 6$) отмечена в пределах контура Среднеуральской субконцентрической области пониженной скорости $V_s = 4,0-4,15$ км/с в базальном слое КЗК.

Важно подчеркнуть, что базальные (нижнекоровые) волноводы зафиксированы в случае слабых сейсмических событий ($M \sim 3-4$), а не только при сильных ($M > 6$) землетрясениях, как это установлено Т.М. Сабитовой [1966] для сейсмоактивных зон Северного Тянь-Шаня.

Как показало изучение эпицентральных зон других землетрясений Русской платформы, также приуроченных к створам регио-

нальных сейсмических профилей МГСП, мощность базальных волноводов находится в пределах 5–15 км, а скоростные контрасты на боковых гранях волноводных доменов варьируют в пределах от 0,1–0,15 до 0,4–0,45 км/с (для S-волн).

Необходимо заметить, что очаговые зоны с базальными волноводами для S-волн во всех случаях содержат (в среднем или в верхнем слоях КЗК) волноводы для S-волн иногда большой мощности (до 10–15 км).

Значения скорости V_s в базальных волноводах систематически ниже, чем в латерально смежных доменах. Такая же картина наблюдается в пределах молодых (асейсмических?) рифтов Западной Сибири (Колтогорско-Уренгойский и др.). Устойчивая повторяемость этого признака наводит на мысль о возможности существования здесь горизонтального «растекания вещества», столь свойственного структурам рифтогенного (раздвигового) типа. Согласно выводам работы [Булин, Егоркин, 2000], наличие в базальном слое КЗК волновода для S-волн является прямым указанием на рифтогенный (раздвиговый) характер вмещающей базальный волновод структурной зоны.

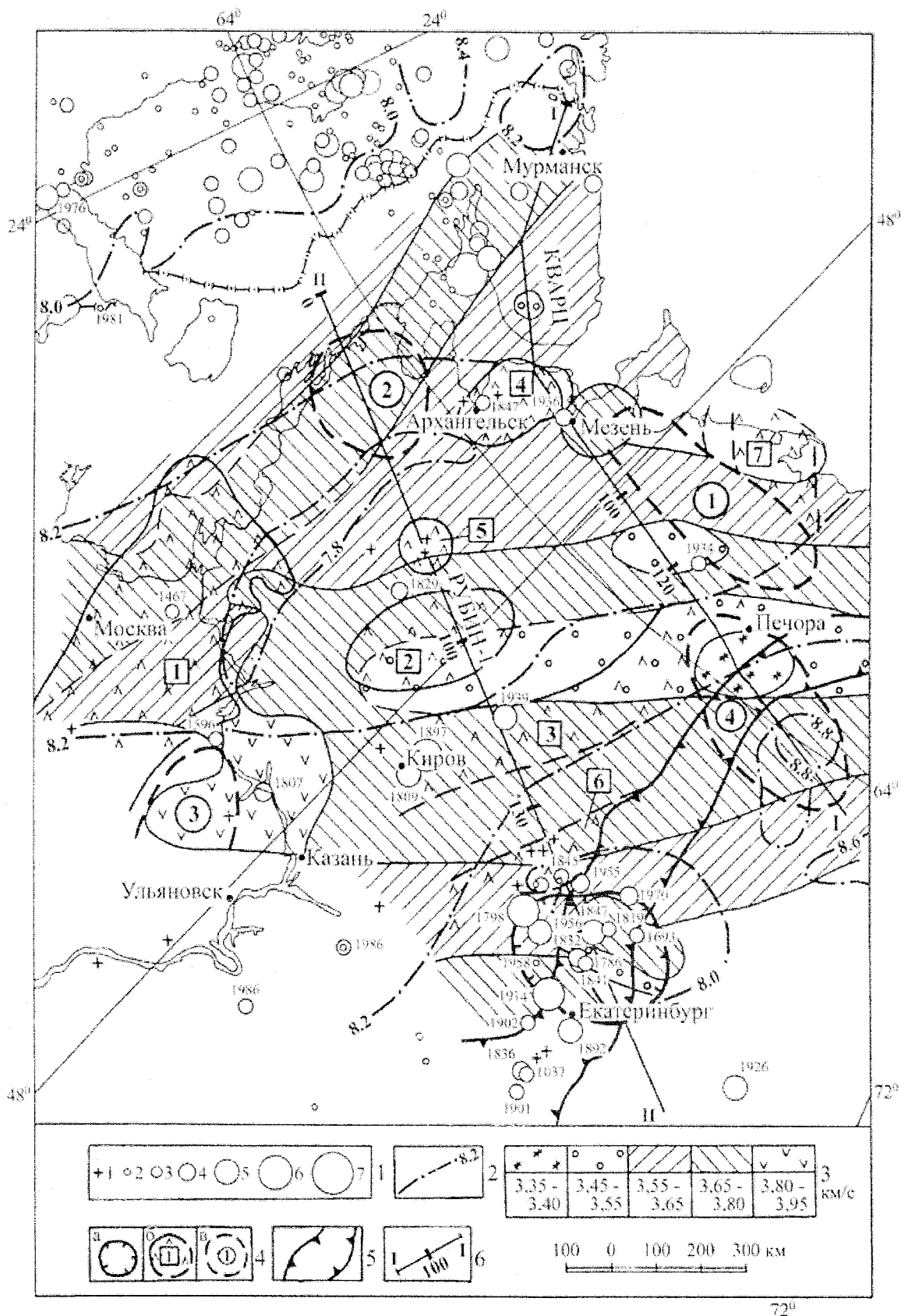


Рис. 2. Сопоставление скоростных неоднородностей верхней литосферы с распределением эпицентров тектонических землетрясений.

1 - эпицентры землетрясений по И.В. Анянину [1991]. Энергетический класс землетрясений $K = 1,8 + 4,3$: 1 - < 10; 2 - 10; 3 - 11; 4 - 12; 5 - 13; 6 - 14; 7 - 15; 2 - изолинии скорости продольных сейсмических волн на уровне границы Моховоричича V_p км/с, проведены с переменным шагом (в основном через 0,2 км/с)

[Булин и др., 2001]; 3 – распределение скорости распространения сдвиговых сейсмических волн V_s в верхней части кристаллического фундамента [Булин, Солодилов, 2001]; 4 – элементы зональности скорости V_s в базальном слое земной коры (использованы данные Центра ГЕОН): а – контур Среднеуральской субконцентрической области пониженной скорости $V_s = 4,0\text{--}4,15$ км/с; б – в базальном слое кристаллической коры зоны низкой скорости $V_s = 3,65\text{--}3,95$ км/с и их названия: 1 – Московская, 2 – Котлас-Яренгская, 3 – Кировско-Кажимская, 4 – Зимнебережная, 5 – Безымянная, 6 – Ижевская, 7 – Нарьянмарская; в – предположительно области повышенного субгоризонтального сжатия или (и) повышенной основности пород, характеризующиеся $V_s = 4,25\text{--}4,40$ км/с: 1 – Нарьян-Мар-Канинская, 2 – Восточно-Карельско-Беломорская, 3 – Токмовская, 4 – Верхне-Печорско-Сосьвинская; 5 – контуры Уральской складчатой системы; 6 – основные геотраверсы МГСП Центра ГЕОН: I – «Кварц» и II – «Рубин-1».

Важным выводом, вытекающим из анализа связи коровой сейсмичности с аномалиями скоростного разреза КЗК, является установление достаточно широкой распространенности средне-нижнекоровых волноводов для S-волн в пределах Русской платформы. Приуроченность к некоторым линейным коровым волноводным зонам гипоцентров землетрясений с магнитудой 4–6 позволяет ставить вопрос о выделении сейсмических минипоясов [Булин, 2001].

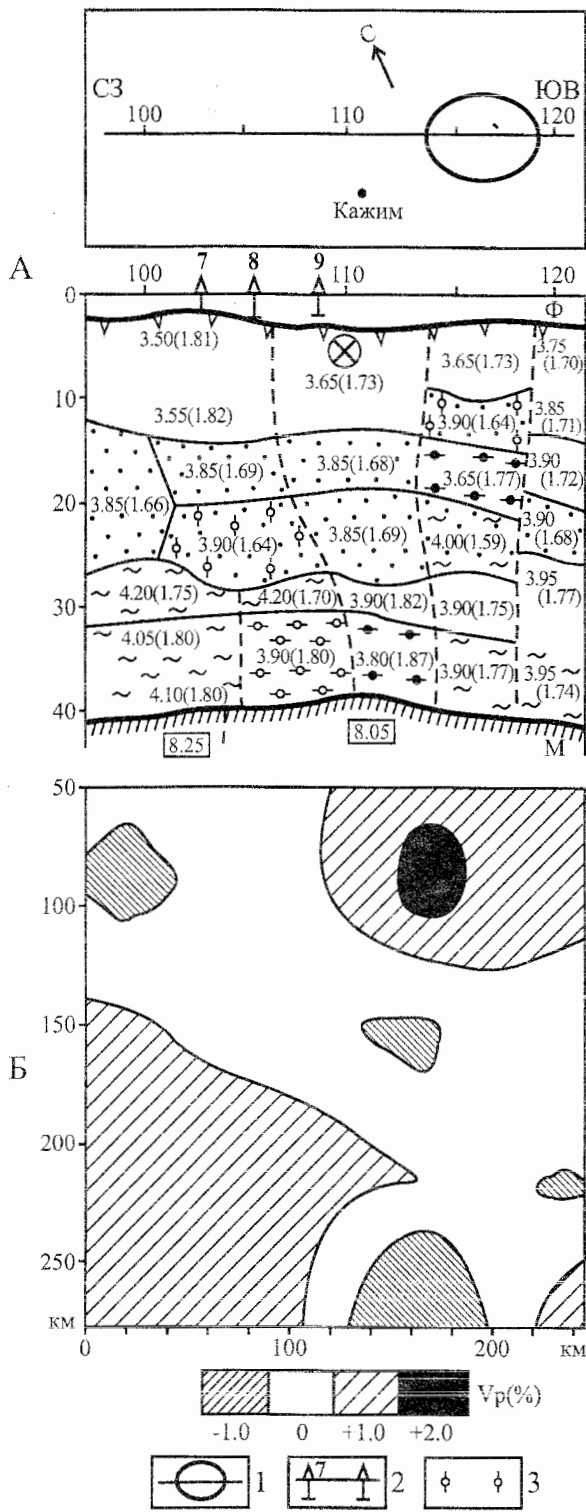
Достаточно широкая распространенность средне-нижнекоровых, в том числе базальных, волноводов для S-волн в пределах платформенных регионов [Булин, 2002] выдвигает задачу более детального их изучения, в особенности при оценке сейсмической опасности городских агломераций и сооружений типа АЭС, где до сих пор волноводы такого типа не выделялись.

Следует заметить, что для выявления возможно сейсмогенных зон необходимы высокоточные сейсмические данные о скоростном разрезе всей КЗК, а не только ее верхней части. С.Н. Кашубиным [1998] предложен изящный способ выявления возможно сейсмогенных зон по показателям анизотропии сдвиговых S-волн в верхней коре. Но данных только по верхней коре недостаточно. Широкая распространенность нижнекоровых (базальных) волноводов для S-волн в эпицентральных зонах как достаточно сильных ($M > 6$), так и гораздо более слабых ($M = 3,5\text{--}4$) землетрясений наводит на мысль о том, что в подготовке верхне-среднекоровых землетрясений широкого класса принимали участие структуродеформирующие процессы, протекавшие в нижней коре и в верхней мантии. Аналогичный вывод о возможном влиянии верхней мантии на процессы сейсмогенеза в земной коре ранее сделан в работе [Щукин, Краснопевцева и др., 1984, с. 69].

Представление о возможном влиянии строения верхней мантии на процессы сейсмогенеза в земной коре поддерживается данными по району Сыктывкарского землетрясения 1939 г., очаг которого находится в краевой зоне Кировско-Кажимского авлакогена (рис. 3). Главной особенностью скоростного разреза гипоцентральной зоны этого землетрясения является наличие латерально обособленного блока низкой скорости $V_s = 3,8$ км/с в базальном слое КЗК, а также среднекорового (глубина 12–20 км) анклавного домена с $V_s = 3,65$ км/с, который предположительно связывается с возможным очагом локализации углеводородных скоплений [Булин, Егоркин, 2000; Булин и др., 2002].

Предположение о возможной связи Сыктывкарского землетрясения не столько с аномалиями коровой скоростной (тектонической) напряженности, сколько с процессами, происходящими в верхней мантии, косвенно поддерживается наличием на глубинах 40–100 км локального очага повышенной скорости V_p , установленного по данным регистрации Р-волн далеких землетрясений методом профильной сейсмической томографии [Булин, Егоркин, Золотов и др., 2002].

Кроме сейсмических доменов, имеющих характер волноводных зон, испытывающих тенденцию к горизонтальному растяжению («растеканию»), предположительно намечены по сейсмическим данным области относительно (возможно абсолютного) сжатия базального слоя КЗК или (и) повышенной основности пород, характеризующиеся $V_s = 4,25\text{--}4,40$ км/с. Эти области чаще имеют субконцентрическую или эллипсовидную форму в плане. Формы связи этих структур с сейсмоактивностью и их возможный генезис остаются невыясненными. Токмовская зона (3 на рис. 2), приуроченная к одноименному Токмовскому подня-



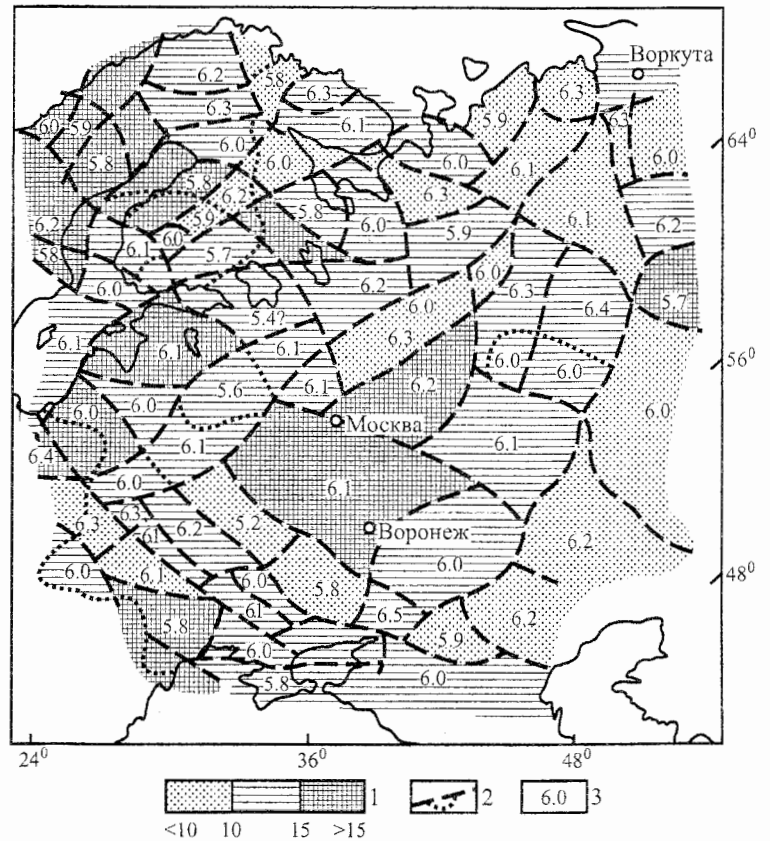
тию, характеризуется аномально высокой скоростью $V_s = 3,80-3,95$ км/с в верхнем слое КЗК. К ней и ее границам со смежными областями приурочены очаги землетрясений 1596 и 1807 гг. Восточно-Карельско-Беломорская практически асейсмичная зона (2 на рис. 2) характеризуется приуроченностью к ней интенсивной положительной аномалии теплового потока [Гордиенко и др., 1987]. К краевой части На-

Рис. 3. Глубинный разрез верхней литосферы через Кировско-Кажимскую рифтогенную зону вдоль фрагмента геотраверса «Рубин-1» (Костомукша-Семипалатинск) [Булин и др., 2002]. А – сейсмический разрез земной коры, Б – верхней мантии. Под пунктом 110 примерное положение проекции на линию профиля гипоцентра Сыктывкарского землетрясения 1939 г., $M = 4,7$, $h = 5$ (2–10) км. 1 – проекция на земную поверхность среднекоровой аномальной зоны с низкой скоростью $V_s = 3,65$ км/с (залитые кружки), относимой предположительно к возможному очагу нефтегазового скопления, 2 – скважины глубокого бурения, 3 – радиальный домен с пониженной скоростью V_p (сейсмический волновод, залитые кружки). Остальные обозначения см. на рис. 1. На разрезе Б вариации скорости V_p в мантии даны в процентах от стандартной модели JASP.

рьян-Мар-Канинской зоны (1 на рис. 2) приурочен Нижнепечорский очаг землетрясения 1934 г., а в центральной части этой зоны находится субконцентрическая кольцевая структура [Космогеологическая карта, 1980]. Аналогичная кольцевая структура приурочена и к осевой части Верхнепечорско-Сосьвинской зоны [Космогеологическая карта..., 1980]. В заключение краткой характеристики Переходим теперь к вопросу о генетических особенностях процесса сейсмоактивности рассматриваемого региона. Как видно на рис. 2, важнейшей особенностью скоростной структуры верхнего слоя КЗК в пределах Русской платформы является северо-восточная ориентация зон разной скорости V_s , прослеживаемая частично даже за ее пределами на территории Северного и Среднего Урала. Вывод о преимущественной северо-восточной ориентации (и ортогональной ей северо-западной ориентации) границ верхнего слоя земной коры полностью согласуется с распределением в нем мощности и скорости продольных сейсмических волн (рис. 4). На уровне кровли мантии также существуют два главных направления линейной скоростной зональности: северо-восточное (являющееся преобладающим) и северо-западное, что очевидно из рассмотрения ориентации простираний изоглубин границы М [Булин и др., 2001] (рис. 2). Подчиненное значение имеет субмеридиональное направление, которое проявилось в частности в узкой Вологодско-Северодвинской субмеридиональной зоне понижен-

Рис. 4. Делимость и упругие свойства верхнего слоя земной коры Восточно-Европейской платформы.

1 – мощность верхнего слоя консолидированной коры, км; 2 – границы неоднородностей с различной мощностью и скоростью V_p продольных волн в верхней коре (точечный пунктир – границы областей аномально низких значений V_p); 3 – осредненные значения V_p , км/с в слое [Краснопевцева, Щукин, 1996].



ной скорости $V_p = 7,75\text{--}7,90$ км/с, именуемой А.В. Егоркиным [1999] аномальной зоной 42° .

Как указывалось, на рис. 2 кроме изолиний границы М и скоростных зон верхнего слоя земной коры показаны фрагменты некоторых низкоскоростных зон на уровне кровли базального слоя земной коры (Котлас-Яренгская (2), Кировско-Кажимская (3) и другие зоны). Упомянутые нижнекоровые волноводные зоны также имеют преобладающее северо-восточное простирание. Все эти данные свидетельствуют об отсутствии резкой дискордантности простираний контактов скоростных неоднородностей кровли верхней мантии и сейсмических слоев внутри КЗК. По мнению автора, такое строение верхней литосферы указывает на повышенную жесткость земной коры ВЕП и, как следствие, на ее повышенную способность к возникновению протяженных расколов, примерно одинаково ориентированных на разных глубинных уровнях.

Необходимо отметить, что соотношение простираний сейсмических коровых скоростных зон друг с другом и поверхностью мантии на разных платформах различно. В пределах Западно-Сибирской платформы резкая дискордантность отмечается между верхне-среднекоровыми сейсмическими волноводами и базальным волноводом, а в северных районах – между последним и кровлей мантии [Будин, 2002]. На Сибирской платформе, где данные МГСП о пространственном положении верхне-среднекоровых сейсмических волноводов отсутствуют, отчетливо установлена лишь дискордантность

линейных протяженных (до 1000 км и более) базальных волноводов со структурами кровли мантии [Будин и др., 2001]. Нельзя исключать, что разный характер соотношений региональных структур чехла друг с другом и структурой верхов мантии в пределах разнотипных платформ мог обусловить те или иные особенности геодинамических процессов, в том числе и специфику сейсмических проявлений.

Обратимся теперь к вопросам геодинамической интерпретации сейсмичности исследуемого региона. Из последних опубликованных работ эти вопросы наиболее полно рассмотрены, по-видимому, в статьях Ф.Н. Юдахина [1999, 2001 и др.]. Согласно проведенному им обобщению геолого-геофизических материалов по описываемому региону, в земной коре на глубинах 7–18 км «выделен слой с пониженной скоростью продольных волн и пониженным электрическим сопротивлением волновода, который (слой) связывается с ослабленной трещиноватой зоной [Юдахин, 2001, с. 31]», носящей прерывистый характер, залегающей субгоризонтально и разделяющей верхнюю хрупко-жесткую и нижнюю псевдопластическую часть коры [там же, с. 17]». «Механизмом, обеспечивающим физико-динамическое равновесие волновода и его существование, являются сильные

горизонтальные напряжения со стороны Северо-Атлантической зоны спрединга, носящие волновой характер. При проскальзывании, верхней хрупко-жесткой части коры относительно нижней псевдопластичной возникают землетрясения» [Юдахин, 2002]. Рассмотренная геодинамическая схема в целом непротиворечива и может служить рабочей гипотезой, объясняющей природу наблюдаемой сейсмичности. Вполне можно согласиться с автором и в том, что «Поднятие Фенноскандии связано с существованием в нижней части коры – верхах мантии астеносферной линзы» [Юдахин, 2002, с. 21].

Вместе с тем интерпретация сейсодинамических явлений, описанная в статьях Ф.Н. Юдахина, не является единственно возможной по целому ряду причин. Во-первых, представление о большой выдержанности по простиранию опорной сейсмической границы А [Булин, 1974], не подтверждается анализом данных ГСЗ и МОВЗ по большим территориям. Даже в пределах восточной части Балтийского щита горизонт А местами «расщепляется» на спутники-аналоги A_1 , A_2 и т.д., отстоящие друг от друга по вертикали на 1–3 км. Во-вторых, верхнекорový сейсмический волновод обладает значительно меньшей распространенностью по латерали, чем это полагает автор. В-третьих, гораздо более распространенным по латерали является базальный волновод, выделяемый по сдвиговым сейсмическим волнам. Поэтому более предпочтительной плоскостью латерального скольжения мог бы служить не верхний, а нижний (базальный) волновод КЗК.

В [Юдахин, 2002] на с. 17 отмечено, что «на территории Фенноскандии отмечается сдвиговый по субвертикальным плоскостям характер механизмов очагов землетрясений и северо-западная ориентировка осей главных напряжений сжатия». Совершенно очевидно, что сдвиговый характер подвижек в очагах по субвертикальным плоскостям (подчеркнуто мной, Н.Б.) никак не согласуется с тезисом о том, «что внутриплитная сейсмичность Фенноскандии определяется, в основном, проскальзыванием верхнего ... слоя по более пластичному среднему слою ...» [Юдахин, 2002, с. 17]. По существу, Ф.Н. Юдахин постулирует надвиговый характер движений горных масс по субгоризонтальным плоскостям, или (что-то же самое) сдвиговый характер движений при горизонтальном положении сместителя. Между тем, как видно, например, на рис. 1, очаг Мезенского землетрясения непосред-

ственно коррелирует с зоной субвертикального разлома, четко зафиксированного сейсморазведкой. К категории субвертикальных разломов относятся и многие другие зоны контактов блоков с разными скоростными характеристиками (рис. 3). По мнению автора статьи, большая часть очагов тектонических землетрясений описываемого региона связана с движениями горных масс по вертикальным, а не по горизонтальным плоскостям разрыва, что лучше согласуется с характером подвижек в очагах изученных в Финляндии слабых землетрясений. Вместе с тем нет сомнения в том, что какая-то часть сейсмической энергии высвобождается с помощью надвиговых дислокаций по схеме, описанной в статьях Ф.Н. Юдахина [1999, 2002].

Представление о приоритете субвертикальных глубинных разрывных нарушений, как путей разрядки сейсмической энергии, имеет последователей. Так, например, И.В. Ананьин [1991] утверждает, что сейсмичность ВЕП связана «с грабенами и авлакогенами, с глубинными зонами разломов древнего и новейшего заложения...» [Юдахин, 2002, с. 23]. Однако, процессы сейсмогенеза не всегда находят простое и однозначное объяснение, поскольку их действительная природа чрезвычайно сложна. Например, остается неясным, с чем связана природа Сыктывкарского землетрясения 1939 г. (рис. 3). С точки зрения скоростной характеристики, очаг находится в безаномальном верхнем слое КЗК на значительном удалении от локальной зоны пониженной скорости продольных сейсмических волн, обнаруженной на глубине 10–15 км. Яркие скоростные аномалии приурочены к базальному слою ($V_s = 3,80\text{--}3,90$ км/с) и волноводу в верхней мантии. Как будто подтверждается общая идея И.В. Ананьина [1991] о связи достаточно сильных землетрясений ВЕП с грабенами и авлакогенами.

По-видимому, несомненным и важным фактором сейсмогенеза рассматриваемого региона было и остается латеральное геодинамическое воздействие Фенноскандинавского щита [Юдахин, 1999; Сим и др., 1996]. Нельзя не учитывать и заключения Л.А. Сим [2000] о том, что региональное поле неотектонических напряжений ВЕП и структур обрамления обусловлено также и альпийским орогенезом.

В заключение отметим, что в работах Ф.Н. Юдахина [1999, 2002] основной упор сделан на анализе сейсмических волноводов, выявленных в верхней части кристаллической коры

по наблюдениям только Р-волн. По его мнению, существование таких волноводов «в настоящее время можно считать установленным фактом» [Юдахин, 2002, с. 15]. Однако, даже из приведенных нами рисунков видно, что это мнение оправдывается не всегда и что гораздо более широкое распространение имеют волноводы для сдвиговых волн (рис. 1, 3). Особое значение приобретает нижнекоровый волновод для S-волн, что характерно в частности для Тимано-Печорской провинции [Булин, 2002].

Учитывая вышеизложенное, представляется целесообразным изучить возможность приложения алгоритма «проскальзывания верхней хрупко-жесткой части коры относительно нижней псевдопластической» [Юдахин, 2002, с. 21] применительно к случаю, когда «псевдопластическим слоем» является базальный слой земной коры, обладающий по мнению некоторых специалистов повышенной тектонической активностью и подвижностью [Леонов, 1997].

Список литературы

- Ананьин И.В. Сейсмоактивные зоны Восточно-Европейской платформы // Вопросы инженерной сейсмологии. 1991. Вып. 32. С. 119–123.
- Булин Н.К. Об одной сейсмической границе в консолидированной земной коре Евразии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1974. № 8. С. 5–25.
- Булин Н.К. О двух гипотетических сейсмических поясах в пределах Северной Евразии // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов (Материалы международной конференции). Воронеж: Изд-во Воронежского государственного университета, 2001. С. 45–47.
- Булин Н.К. О возможных связях региональной сейсмичности северных и центральных районов Русской платформы со скоростными характеристиками верхней литосферы // Глубинное строение и геодинамика Фенноскандии, окраинных и внутриплатформенных транзитных зон (Материалы Восьмой международной конференции). 16–20 сентября 2002 г., Петрозаводск, 2002. С. 40–41.
- Булин Н.К. Латеральная скоростная неоднородность глубоких зон земной коры на территории Западной Сибири // Докл. РАН. Т. 387. № 5. 2002. С. 668–673.
- Булин Н.К., Булина Л.В., Драгунов В.И. Глубинные зоны растяжения Сибирской платформы // Докл. РАН. Т. 381. № 1. 2001. С. 82–87.
- Булин Н.К., Егоркин А.В. Региональный прогноз нефтегазоносности недр по глубинным сейсмическим критериям. М.: Центр ГЕОН, 2000. 194 с.
- Булин Н.К., Егоркин А.В., Золотов Е.Е., Раки-тов В.А. Перспективы нефтегазоносности Кажимской зоны на Русской платформе // Геология нефти и газа. 2002. № 5. С. 53–55.
- Булин Н.К., Егоркин А.В., Колесник Н.Н. и др. Латеральная скоростная неоднородность верхов мантии Восточно-Европейской платформы // Геофизика XXI столетия: 2001 год. Сборник трудов Третьих геофизических чтений имени В.В. Федынского. М.: Научный мир, 2001. С. 33–37.
- Булин Н.К., Солодилов Л.Н. Латеральная скоростная неоднородность фундамента Восточно-Европейской платформы // Докл. РАН. 2001. Т. 379. № 2. С. 226–230.
- Гордиенко В.В., Завгородняя О., Моисеенко У.И., Смыслов А.А. Карта теплового потока европейской части СССР. М-б 1:5000 000. Л., 1987.
- Гущенко О.И., Мострюков О.И., Мострюкова А.О. и др. Палеонапряжения центральных районов Русской плиты (по геологическим и геоморфологическим данным) // Докл. РАН, 1999. Т. 368. № 2. С. 230–235.
- Егоркин А.В. Глубинные сейсмические исследования с трехкомпонентной регистрацией смещения почвы // Физика Земли. 1999. № 7–8. С. 44–64.
- Каиубин С.Н., Дружинин В.С., Рыжый Б.П. и др. Проблемы изучения и особенности сейсмичности Урала. Проблемы геодинамики, сейсмичности и минерализации подвижных поясов и платформенных областей литосферы. Екатеринбург: Ин-т геофизики УрО РАН, 1998. С. 92–95.
- Коновалов Ю.Ф., Попова О.Г., Кухмазов С.У. и др. Глубинное строение сейсмоопасной зоны Кавказских минеральных вод // Разведка и охрана недр. 2001. № 2. С. 26–29.
- Краснопевцева Г.В., Щукин Ю.К. Тектоническая делимость земной коры Восточно-Европейской платформы // Геофизика. 1996. № 4. С. 19–24.
- Крылов С.В., Теп Е.Н. Прочностные и упругие свойства очаговых зон сильных землетрясений на участках Байкальского и Северо-Тянь-Шаньского районов // Геология и геофизика. 1995. Т. 36. № 2. С. 137–150.
- Космогеологическая карта линейных и кольцевых структур территории СССР. Масштаб 1:5 000 000 // Гл. ред. Щеглов. Аэрогеология. М.: 1980.
- Леонов Ю.Г. Тектоническая подвижность коры платформ на разных глубинных уровнях // Геотектоника. 1997. № 4. С. 24–41.
- Сабитова Т.М. Глубинное строение земной коры Тянь-Шаня и выделение зон возможных землетрясений (по данным сейсмологии) // Автореф. дис.... докт. геол.-мин. наук. Бишкек, 1996. 62 с.
- Сим Л.А. Неотектонические напряжения Восточно-Европейской платформы и структур обрамления // Автореф. дис.... докт. геол.-мин. наук. М., 1996. 41 с.

Сим Л.А. Влияние глобального тектогенеза на новейшее напряженное состояние платформ Восточной Европы // М.В. Гзовский и развитие тектонофизики. М.: Наука, 2000. С. 326–348.

Щукин Ю.К., Краснопецева Г.В., Фирсов Д.Б. и др. Исследования земной коры и верхней мантии сейсмоопасных зон территории СССР. М.: Наука. 1984. 192 с.

Щукин Ю.К., Астахов К.П., Белов А.А. и др. Геолого-геофизические условия в очаговой зоне Спитакского землетрясения (к 10-летию трагедии) // Геофизика. 1998. № 5. С. 54–66.

Юдахин Ф.Н. Проблемы сейсмической активности слабосейсмичных территорий (Европейский Север России) // Геодинамика и геоэкология: Материалы межд. конф. Архангельск: Институт экологических проблем Севера УрО РАН, 1999. С. 441–445.

Юдахин Ф.Н. Геодинамические процессы в земной коре и сейсмичность континентальной части Европейского Севера // Литосфера. 2002. № 2. С. 3–23.

Рецензент доктор геол.-мин. наук С.Н. Кашубин