

КРУПНОМАСШТАБНЫЕ СКОРОСТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОДКОРОВОЙ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ

Щукин Ю.К.

Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, schuk@idg.chph.ras.ru

Завершена многолетняя работа по изучению глубинных скоростных неоднородностей Северной Евразии (б. СССР) для задач практической сейсмологии взрывов [1].

Получена новая версия распределения скорости Р волны на поверхности Мохоровичича на основе трехмерной модели среды для территории России и смежных с ней регионов. Для основной части Российского региона Северной Евразии эта модель является томографической усовершенствованной версией оригинальной скоростной модели ГСЗ, т.е. данные регистрации волны Р от мирных ядерных взрывов и некоторых землетрясений были использованы для того, чтобы Рn и верхнемантийные скорости согласовать и экстраполировать на межпрофильное ГСЗ пространство.

Файл этой модели покрывает регион в границах 35°-80° N по широте и 30°-180° E по долготы. Модельные исследования распределены по сетке 1°x1°. В модели в узлах пересечения градусной сетки обозначены глубина (в километрах) и скорость Рn (в км/с) на вершущке (**lid**) мантии.

Основной файл имеет объем 177 КБ и включает 6946 линий. На них проставлены следующие данные: широта (**N**), долгота (**E**), глубина до поверхности Мохоровичича (**Hm**, в км), скорость **Pn** (в км/с).

Оставим пока в стороне прагматическую сторону выполненной работы, нацеленную на улучшение регистрации и локализации сейсмических событий разной природы, в том числе и на телесеизмических расстояниях, и дадим краткое геолого-геофизическое толкование полученных ранее (Г.В. Краснопецева, 1989; [2]) и сейчас результатов.

Из построений очевидно, что скорость сейсмических волн в слое ниже поверхности (границы) Мохоровичича, изменяется в широких пределах – от 7,7 км/с до 8,4-8,6 км/с с преобладанием значений 8,2-8,4 км/с. Мощность указанного слоя также не остается постоянной и варьирует от 20-30 км до 60-70 и более км. Все это создает сложную гетерогенную картину изменения исследуемого параметра верхней мантии, свидетельствующую, вероятно, о разнообразии процессов, происходящих на контакте «**кора – мантия**».

В то же время в изолиниях равных значений пластовой скорости отчетливо проявляется блоковое строение верхнего уровня мантии, причем в поле изолиний можно проследить крупные тектонические структуры – Сибирскую, Западно-Сибирскую и Русскую платформы, горно-складчатые сооружения Средней Азии и др., можно установить и их более мелкие элементы, характеризующиеся различными значениями Рn. Иными словами, можно считать, что корни крупных тектонических неоднородностей распространяются на глубину, по крайней мере, первых сотен километров.

В целом, более высокоскоростным выражен слой «**lid**» (относительно нижележащего первого волновода в мантии) под древними платформами. Локальные высокоскоростные аномалии в их пределах расположены, как правило, в отрицательных структурах: в Прикаспийской, Московской синеклизах и др. В то же время платформенные щиты характеризуются умеренными (около 8,2 км/с) значениями скорости в слое «**lid**»; более высокие значения скорости отмечены под Украинском щитом.

Горно-складчатые сооружения также характеризуются низкоскоростными (умеренными) параметрами обсуждаемого слоя подкоровой литосферы; наиболее высокоскоростной среди них – Урал. Отмечается также общее усложнение слоя в южном направлении: увеличивается раздробленность и количество слоев с пониженной скоростью. Это, по всей видимости, связано с активными глубинными процессами в южном альпийском поясе складчатых структур. Динамическое влияние последних на окраины прилежащих платформ оставило свои заметные следы в тектонической памяти литосферы.

Весьма сложным представляется строение литосферного слоя подкоровой литосферы в пределах Западно-Сибирской плиты – ансамбль высокоскоростных (8,4- 8,6 км/с) аномалий установлен в центральной ее части в пределах расположения основных отрицательных тектонических структур (впадин, рифтов).

Наиболее интересной особенностью строения подкоровой литосферы является выделение ряда протяженных вытянутых структур – «поясов». Часть их совпадает с такими же структурами, выделяемыми в земной коре. Это – пограничной зоне между Уралом и Западно-Сибирской плитой; на юге – зона между горными сооружениями Памиро – Тянь-Шаня и Туранской плитой; зона между Западно-Сибирской плитой и Тунгусской синеклизой Сибирской платформы; можно предполагать продолжение в мантии Байкальского корового рифтового пояса (Г.В. Краснопецева, 1989; [2]).

Строение выделенных «поясов» на верхнем мантийном уровне сложно, большого распространения в его пределах получили высокоскоростные локальные аномалии. Кроме указанных выше, устанавливаются также «пояса» меньшей протяженности разделяющие Западно-Сибирскую плиту на северо-восточную, низкоскоростную

и юго-западную, более высокоскоростную, части; более высокоскоростной Западный Памир и сравнительно низкоскоростной Восточный Памир. В последнее время А.В.Егоркин (2000 г.) [3] наметил высокоскоростной «пояс» аномалий вдоль 42° в.д. в пределах Восточно-Европейской платформы.

Мощность подкорового слоя литосферы, как правило, увеличивается в сторону геологически более молодых регионов.

Таким образом, представленная информация о скорости (реже, о мощности) подкоровой литосферы, расположенной в переходной зоне между корой и «астеносферой», где, вероятно, преобразуется энергия глубинных процессов, видоизменяющая низы коры.

Выполненные построения в значительной мере «геологичны», что свидетельствует, вероятно, о большом влиянии на формирование особенностей вещественного состава и структуры земной коры и тектонической ситуации глубинных процессов, происходящих в верхней мантии.

Вопросы геологической интерпретации данных и построений рельефа поверхности Мохоровичича возникли сразу же после массового определения глубин до М (Н.А. Беляевский [4]). Изучению сейсмических характеристик на поверхности Мохоровичича и в переходном слое «кора-мантия» посвящены известные работы Н.И. Давыдовой [5], Ю.В. Тулиной, Г.А. Ярошевской [6], Г.В. Краснопевцевой [7], Н.И. Павленковой [8, 9], И.С. Вольвовского [10], В.З. Рябого [11], В.Б.Соллогуба (1986) [12], Н.Я. Кунина [13] и др. Десятки альтернативных построений и предположений об особенностях пространственного распределения граничной скорости на поверхности, идентифицированной в ряде случаев с Рп вблизи М на вершущке мантии («lid»), до сих пор дают обильную пищу для размышлений. Не остались в стороне и мы [14, 15, 2, 16, 17].

Интерес к переходной зоне «кора-мантия» возобновился, вероятно, в связи с огромным объемом работ МОВ-ОГТ, выполненным разными странами мира, в том числе и в России. Оказалось, что полученные в разных регионах границы глубинных отражений в земной коре трудно коррелируемы. Однако, самым тяжелым оказался вопрос: почему на многих региональных профилях МОГТ едва или вовсе не выражена граница Мохоровичича [9]. Вообще же заново встал вопрос о природе сейсмических границ в коре и верхней мантии.

Драматичными для геологов и геофизиков стали результаты глубокого и сверхглубокого бурения. Подтвердились представления о динамической природе сейсмических границ в земной коре, возникших в результате тектонического расслоения среды (коры и верхов мантии) в процессе прошлых и современных геодинамических преобразований среды. Эти данные во многом разрушили бытовавшие до сих пор представления о прямой связи глубинных и приповерхностных структур.

Размышления интерпретатора сейсмической информации о природе границы М, переходной зоны от коры к мантии, слоя «lid» (который можно считать результатом единых процессов), основаны на следующих предположениях. Переходная зона от М к верхам мантии – это результат: а) физико-химических превращений вещества коры и верхов мантии, б) термодинамических преобразований, в) напряженно-деформированного состояния среды.

Иначе говоря, границу Мохоровичича и переходную зону от земной коры к верхней мантии следует считать областью активных геологических процессов, в разное время затронувших все без исключения структуры Земли. Поэтому граница М – одна из немногих единых для твердой Земли планетарных границ, а зона перехода от коры к мантии – пространство, необходимое нашей Земле для развития указанных выше процессов. Возраст, тип проявления, физические свойства, характер прослеживаемости М, распределение скоростных аномалий под границей М, соотношение подкоровой литосферы с глубокими частями мантии и т.п. – все это признаки проявления палео – и современных геодинамических процессов.

Поэтому работа прагматического содержания [1] оказалась весьма информативной и для задач геолого-геофизического содержания.

Скоростные разрезы – образы среды подкоровой части литосферы – иллюстрируют не только ее гетерогенностью структуры и состава среды вдоль профиля наблюдений. Разнообразие ансамбля скоростных аномалий обусловлено также разным геологическим возрастом структур, режимом и длительностью тектонического развития [14]. Та же смысловая нагрузка содержится в картах распределения скоростных параметров на границе М и ниже, в слое «lid», отличающимся повышенными значениями продольных сейсмических волн.

Аномалии Рп [18, 19] указывают на важную роль вещественного фактора (алмазоносные кимберлитовые трубки) в формировании поля скоростей в пределах Восточной Сибири. В нашей работе [1] скорость Рп волн оказалась заниженной по сравнению со значениями, показанными на схеме в работе.

То же самое можно сказать и о Западной Сибири [20]. Повышенные значения скорости Рп еще требуют объяснения, хотя роль активных геодинамических процессов и рифтогенных структур глубинного заложения, к которым пространственно приурочены нефтегазовые месторождения-гиганты, нельзя исключать из объяснения причин аномального строения верхней мантии региона [21].

Таким образом, можно провозгласить *два важных девиза*:

Первый из них можно был бы сформулирован так: **«старые данные для новых целей»** (к этому же призывает в своей работе К.Фукс [22]).

Второй – «геология для сейсмологии». Мы агитируем весь арсенал накопленных знаний о среде использовать для тех задач, в которых геологические понятия и размышления еще мало известны или мало понятны.

Осталось обсудить некоторые нерешенные вопросы. Сначала это сделаем с помощью Карла Фукса [22], с которым автору пришлось работать в рамках научной программы проекта EUROPROBE и обсуждать некоторые изложенные вопросы.

ДИСКУССИЯ

Изменение масштаба гетерогенной тонкой структуры на уровне Мохо представляется охватывающим континент, возможно глобальным явлением. Тем не менее возникают вопросы: какие процессы ответственны за образование этой тонкой структуры и почему это сказывается в резком изменении в области Мохо. Возможно это химическая дифференциация в литосфере. Альтернативным или дополнительным механизмом является относительное движение между корой и мантией вдоль зоны срыва (*detachment*), особенно в самых низах коры и на границе «кора–мантия». Может ли такая дифференцированная деформация между корой и верхней мантией образовывать различия в масштабах гетерогенной литосферной тонкой структуры?

Открытие резкого изменения в пространственных параметрах литосферной структуры на границе Мохо ставит также вопросы для смежных дисциплин [22].

ПЕТРОЛОГИЯ/ГЕОХИМИЯ/ ВУЛКАНОЛОГИЯ

Характеристические (геометрические) отношения (длина к толщине) скоростных неоднородностей и плотности, их пространственных распределений могут быть прямо связаны с характеристиками магматических камер или зон самых верхов мантии, истощенных магматической дифференциацией. Какое распределение ожидается с композиционной точки зрения, например, в процессе истощения мантии? Какие оценки градиентов, связанных с охлаждением и удалением расплава, пригодны для магматических камер в нижней коре, на границе Мохо и для деплетированных (истощенных) пакетов в литосферной мантии? Что является возможными причинами низких V_p ~6.0 км/с вблизи Мохо? Частичное плавление или наличие флюидов при литосферном давлении? Как они могли создаваться? Могут ли они еще генерироваться в зоне Мохо на щитах или кратонах?

ТЕКТОНОФИЗИКА

Что касается связи (сцепления) или разъединения между хрупкой корой и подстилающим мантийным потоком, как это сказывается на распределении неоднородностей и их наблюдаемом изменении на границе кора–мантия? Может ли изменение структурных параметров на Мохо указывать зону приспособляющих (компенсирующих) различий в дифференциации между корой и мантией? Как РмР-кода волн появляется в зонах известных сильных сцеплений или сильного разъединения? Какой может быть роль частичного плавления (карманы) или сверхсжатых флюидов которые могут уменьшить эффективную вязкость и облегчить срывы?

ГЕОДИНАМИКА

Возможно ли быстрые изменения динамических характеристик Рп в подкоровой литосфере и на Мохо. Если это так [5], тогда каким образом отслеживать такие изменения и как геологически объяснить следствия таких быстрых динамических (геодинамических) изменений. Не правильнее ли в таком случае считать границу Мохоровичича самой молодой и мобильной границей в земной коре? Четкость (резкость) проявления границы Мохоровичича [7, 17] или же «непрослеживаемость» Мохо на разрезах МОГТ – не является ли это проявлением пространственно-временного изменения структуры и свойств подкоровой литосферы и Мохо? Каковы практические следствия такого предположения в задачах прогноза мест очаговых зон землетрясений? Каков механизм таких изменений на Мохо и в подкоровой литосфере платформенных областей? Глубинные динамические системы взаимодействующих неоднородностей внутри и на границах орогенов и платформ – не подсказка ли к одному из вариантов такого объяснения?

НЕКОТОРЫЕ КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Lid – верхушка (крышка) подкоровой литосферы, между разделом Мохоровичича и первым мантийным сейсмическим волноводом.

Tectonic layering, flake tectonics, delamination of mantle lithosphere – тектоническая расслоенность.

Depleted mantle – деплетированная (истощенная) мантия.

Decollement – региональный срыв между «верхним структурным ярусом» и фундаментом.

Decoupling – нарушение структурных связей; разъединение, расщепление.

Detachment – срыв.

Underplating – магматическое подслаивание.

Mantle-crust mix – коро–мантийная смесь.

ЛИТЕРАТУРА

1. Murphy Y.R., Rodi W.I., Johnson M. e.al. Seismic Calibration of Group 1 IMS Stations in Eastern Asia for Improved IDS Event Location // 23th Seismic Research review: Worldwide Monitoring of Nuclear Explosion / October 2-5, 2001, p. 280-288.
2. Атлас карт глубинного строения земной коры и верхней мантии территории СССР (объяснительная записка). М., ВНИИГеофизика, 1989, 84 с.
3. Егоркин А.В. Геологическая информативность многоволнового ГСЗ на примере изучения Севера Европейской части России // Региональная геология и металлогения. № 10, 2000, С.-Пб., ВСЕГЕИ. С. 85-93.
4. Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. М., Недра, 1974, 280 с.
5. Давыдова Н.И. Изучение тонкой структуры области перехода от коры к мантии. М., Наука, 1977, 163 с.
6. Тулина Ю.В., Ярошевская Г.А. Внутренняя структура земной коры. Методика анализа и интерпретации сейсмических волновых полей. М., Наука, 1976, 134 с.
7. Резанов И.А., Файтельсон А.Ш., Краснопевцева Г.В. Природа границы Мохоровичича. М., Наука, 1984, 219 с.
8. Павленкова Н.И. Метод глубинного сейсмического зондирования, основные этапы развития, достижения и проблемы // Физика Земли, 1999, № 7-8. С. 3-29.
9. Павленкова Н.И. Основные результаты глубинных сейсмических зондирований за 50 лет исследований // Региональная геология и металлогения, 1999, № 10, С.-П., ВСЕГЕИ. С. 12-21.
10. Вольвовский И.С. Сейсмические исследования земной коры в СССР. М., Недра, 1973. 208 с.
11. Рябой В.З. Аномалии времен пробега P_{np}^m (Pn) и скоростные неоднородности верхней части мантии территории СССР // ДАН СССР, 1973, т. 212, № 1. С. 88-91.
12. Соллогуб В.Б. Литосфера Украины. Киев, Наукова Думка, 1986, 183 с.
13. Кунин Н.Я., Шейх-Заде Э.Р. Районирование верхней мантии Евразии по особенностям граничных скоростей продольных волн // Геофизический сборник, 1988, т. 10, № 1. С. 3-12.
14. Глубинное строение слабосейсмичных регионов СССР. М., Наука, 1987, 238 с.
15. Проблемы глубинной геологии СССР. М., 1988, 206 с.
16. Краснопевцева Г.В., Щукин Ю.К. Тектоническая делимость земной коры Восточно-Европейской платформы // Геофизика, 1996, № 4, с. 19-24.
17. Краснопевцева Г.В., Ю.К.Щукин Объемная глубинная модель земной коры Восточно-Европейской платформы по данным региональных сейсмических исследований // Региональная геология и металлогения. № 10, 2000. С. 73-84.
18. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические зондирования в Якутской кимберлитовой провинции. Наука, Новосибирск, 1993, 136 с.
19. Суворов В.Д. Глубинные сейсмические исследования в Якутии // Физика Земли, 1999, № 7-8, с. 94-113.
20. Solodilov L.N. The GEON Centre: 25 Years of Implementation of PNE Studies of Earth's Deep Structure. Upper Mantle Heterogeneities from Active and Passive Seismology. Ed. K.Fuchs. 1997, p. 1-10.
21. Глубинное строение территории СССР. М., Наука, 1991, 224 с.
22. Fuchs K., Wenzel F. Conservation of lithospheric DSS-Data – Upper Mantle Heterogeneities from Active and Passive Seismology. Ed. K.Fuchs. 1997, p. 11-31.

О СВЯЗИ СТРУКТУРНО-ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ И ГЕОЛОГО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ГЛУБИННЫХ НАПРАВЛЕНИЙ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Щукин Ю.К., Бабак В.И., Краснопевцева Г.В.

Институт динамики геосфер РАН, г. Москва, schuk@idg.ras.ru

Эту работу (которую мы посвящаем памяти Владимира Ивановича Бабака, который еще в 1994 г. предложил выполнить совместить свои геоморфологические и наши геофизические построения, видя в них похожесть), можно рассматривать как продолжение исследования вопросов сообщения современных вертикальных движений морфоструктурных особенностей земной коры и сейсмичности [1] (Ананьин, Лилиенберг, Щукин, 1973). Тогда нам удалось сделать ряд интересных и важных выводов. *Во-первых, мы предположили наличие динамической системы «морфоструктурные особенности – медленные современные движения – сейсмичность».* *Во-вторых, мы допускали, что пространственная дифференциация крупных морфоструктурных областей и глубинного строения земной коры Восточной Европы находит в целом прямое отражение в дифференциации медленных вертикальных движений.* *В-третьих, пространственная дифференциация быстрых (сейсмических) движений также обнаруживает тесную связь с характером проявления вертикальных движений и морфоструктурными особенностями платформы окружающих горно-складчатых областей.*

Таким образом, допускалось, что между морфоструктурами, глубинным строением земной коры и пространственной дифференциацией современных вертикальных движений Восточной Европы существует определенная взаимосвязь. Наличие такой взаимосвязи указывает на значительную динамичность земной коры. В связи с этим был поставлен принципиальный вопрос о степени постоянства таких параметров, как, например, мощ-