

УДК.550.34; 551.1

Багманова Н.Х., Миркин Е.Л., Сабитова Т.М.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ВОЛНОВОДЫ В ЗЕМНОЙ КОРЕ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация: На основе трёхмерной скоростной модели земной коры Тянь-Шаня была составлена схема распределения зон волноводов (зон понижения скорости сейсмических волн). Количественной оценкой изменения скорости Р-волн с глубиной служил ее объемный градиент. Отмечено, что в земной коре кыргызской части Тянь-Шаня существуют два уровня присутствия волноводов (в среднем – на глубинах 15 и 35 км). Наиболее существенное их проявление имеет место на глубинах от 30 до 40 км на юго-западе и юго-востоке кыргызской части Тянь-Шаня.

Ключевые слова: Трёхмерная скоростная модель, земная кора, верхняя мантия, волновод, глубинное строение, градиент скорости, очаговая зона

ТЯНЬ-ШАНДЫН ЖЕР КЫРТЫШЫНДАГЫ СЕЙСМИКАЛЫК ТОЛКУНДАРДЫН ЫЛДАМДЫГЫ ТӨМӨНДӨЙ ТУРГАН ЖЕРЛЕР

Кыскача мазмуну: Тянь-Шандын жер кыртышынын үч өлчөмдүү ылдамдатылган үлгүсүнүн негизинде сейсмикалык толкундардын ылдамдыгы төмөндөй турган зоналарын бөлүштүрүү схемасы түзүлгөн. Тереңдиги бар Р-толкундардын ылдамдыгынын өзгөрүшүнө сандык баа берүү катары анын көлөмдүү градиенти кызмат өтөгөн. Тянь-Шандын кыргыз бөлүгүндөгү жер кыртышында мындай жерлердин болушунун эки катмары бар (орточо алганда – 15 жана 35 км тереңдиктерде). Алардын өзгөчө билинип турушу Тянь-Шандын кыргыз бөлүгүнүн түштүк-батышында жана түштүк-чыгышында 30дан 40 км ге чейинки тереңдиктерде орун алган.

Негизги сөздөр: Үч өлчөмдүү ылдамдык модели, жер кыртышы, жогорку мантия, суу толкуну, тереңдик курулушу, ылдамдык градиенти, очок зонасы.

WAVEGUIDES IN THE TIEN-SHAN CRUST

Abstract: Based on 3D velocity model of the Tien-Shan crust a scheme of low velocity zones (waveguides or velocity inversion zones) was constructed. At that quantitative estimation of P-wave velocity change with depth the volume gradient was. It was noted that in a crust of the Kyrgyz part of Tien-Shan there are two levels (at depth 15 and 35 km) where P-wave velocity inversion zones exist. These are well developed at the depth of 30-40 km in the south-west and south-east of the Kyrgyz Tien-Shan.

Keywords: three-dimensional velocity model, the crust, the upper mantle, the waveguide, deep structure, velocity gradient, focal area

Характер скоростных неоднородностей земной коры и верхней мантии является отражением происходящих в них геодинамических процессов, и, в частности, сейсмичности. Неслучайно внимание широкого круга исследователей с давних пор привлечено к изучению особенностей глубинного строения отдельных регионов, и в первую очередь, сейсмоактивных. Как известно, одной из основных особенностей как континентальной, так и океанической коры, является присутствие в ней зон пониженной скорости - волноводов [1-10]. Многочисленные данные о параметрах волноводов (глубине залегания, мощности, величине понижения скорости в слое относительно вышележащего), обнаруженных на всех континентах в пределах платформенных и складчатых областей, собраны Краснопевцевой

Г.В. [3]. Проведённый ею анализ показал, что волноводы распространены во всех типах тектонических структур – от древних щитов до областей современной активизации. В ряде случаев в складчатых областях волноводы выражены ярче, чем на платформах – увеличивается их мощность (до 15-20 км), усиливается понижение скорости в слое (до 0,5-1,0 км/с), отмечается углубление волноводов вплоть до низов коры (35-50 км). Как отмечает Краснопевцева Г.В., в коре всех типов тектонических структур волноводы распространены не повсеместно, поэтому любая локальная модель коры с зоной пониженной скорости не является типовой моделью для крупной структуры.

В пределах Средней Азии (в земной коре Тянь-Шаня и Памира) волноводы были выделены в 60-80 годах при детальном исследовании скоростного строения земной коры отдельных локальных областей. Для территорий Узбекистана и западной Киргизии при этом широко использовался предложенный Бутовской Е.М. [6] метод поля скоростей. В земной коре отдельных областей Таджикистана волноводы были выявлены Нерсесовым И.Л., Чепкунас Л.С. [7], в земной коре Северного Тянь-Шаня – Шацкиным В.И. [8] при переинтерпретации данных ГСЗ. По результатам проведенных исследований было установлено, что волноводы в земной коре Тянь-Шаня и Памира проявляются отдельными локальными объёмами и располагаются на разных глубинах.

Детальность и надёжность результатов исследования глубинного строения земной коры разными авторами определялась существующей системой наблюдений, количеством и качеством экспериментальных данных и использованными методами их интерпретации. В 90-ых годах она существенно повысилась благодаря применению современных методов сейсмотомографии с использованием информативных систем наблюдений и обширного сейсмологического материала, накопленного за длительный срок. На основе трёхмерной скоростной модели земной коры Тянь-Шаня Сабитовой Т.М. и др. [9, 11,12] проведён анализ скоростной структуры земной коры Тянь-Шаня и отмечено, что очаги сильных землетрясений тяготеют к прочным однородным телам. Очевидно, соседствующие с ними волноводы, нарушая стабильность, способствуют разрядке напряжений, поэтому они могут рассматриваться как индикаторы местоположения возможных сильных землетрясений.

При дальнейшей интерпретации скоростной модели земной коры Тянь-Шаня детально рассмотрены волноводные зоны, их пространственное распределение и распределение по глубине. Количественной оценкой изменения скорости Р-волн с глубиной служил ее объёмный градиент. Построенная схема распределения волноводных зон в земной коре Тянь-Шаня по градиенту скоростей Р-волн представлена на рисунке 1, (а) – суммарное изображение волноводных зон на всех глубинах (0-60 км) в горизонтальной проекции, (б) – распределение волноводных зон по глубине в аксонометрической проекции. Для более наглядного объёмного представления распределения зон волноводов на рисунках 2-5 приведены отдельные фрагменты этой схемы в крупном масштабе (координаты фрагментов указаны в подрисуночных подписях). Полученное распределение свидетельствует о том, что на Тянь-Шане волноводы значительно распространены как в верхней коре, так и в нижней коре, и расположены преимущественно на глубинах 15 км и 35 км. Наиболее существенное их проявление имеет место на глубинах от 30 до 40 км на юго-западе и юго-востоке кыргызской части Тянь-Шаня.

Для объяснения связи местоположения очагов сильных землетрясений с распределением волноводов необходимо знание условий возникновения и природы волноводов, в первую очередь, учёт термодинамических параметров, влияющих на свойства пород и определяющих возможность разрядки накопленных напряжений путём пластических или разрывных деформаций, с которыми связаны землетрясения.

Как известно, формирование волноводов может быть вызвано различными причинами. Резанов И.Е. [5], обобщая мнения многих исследователей, отмечает, что волноводы образуются при массовых излияниях базальтоидов, при надвигах высокоскоростных пород на низкоскоростные, при возникновении зон дробления и заполнении трещин продуктами

гидротермальной деятельности. Появление волноводов связано также с изменением скорости при воздействии определённых термодинамических условий. Так, например, по расчётам Кутаса Р.И. на Украинском щите в глубинном диапазоне 10-20 км можно ожидать такие температуры, которые, согласно экспериментальным данным, достаточны, чтобы скорость продольных волн уменьшилась на 0,1-0,2 км/с [5]. К таким же выводам пришли Пузырев Н.Н. и другие авторы модели со слоем пониженной скорости для Байкальской рифтовой зоны [4].

В сейсмоактивном регионе Средней Азии формирование и природа волноводов в земной коре Тянь-Шаня и Памира, а также их связь с сейсмичностью исследовались Борисовым С.О. [13], использующим разработки Николаевского В.Н. [14], касающиеся влияния глубинных термодинамических параметров на свойства пород. Указанные параметры определяют возможность оценки вероятности разрядки возникающих по различным причинам напряжений путем пластических или разрывных деформаций.

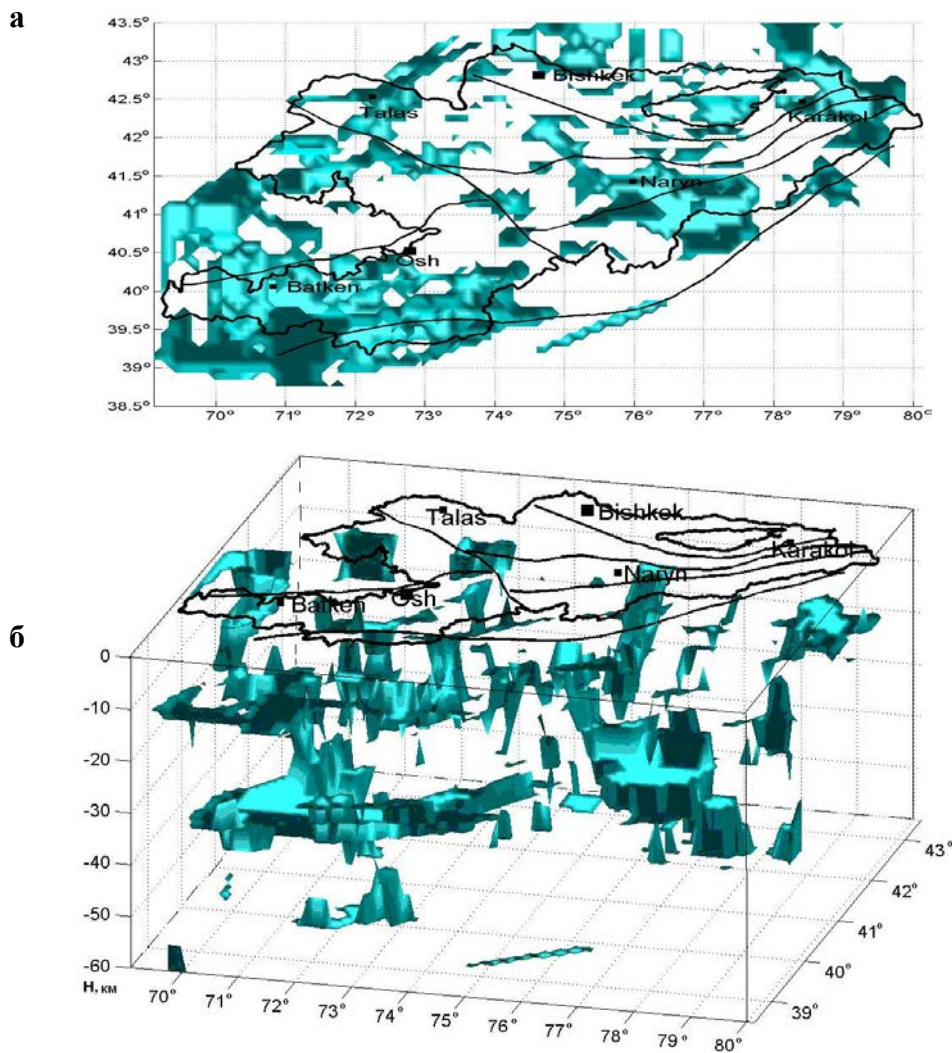


Рисунок 1. Схема распределения волноводных зон в земной коре Тянь-Шаня:
а – суммарное изображение волноводных зон на всех глубинах (0-60 км) в горизонтальной проекции;
б – распределение волноводных зон по глубине в аксонометрической проекции.

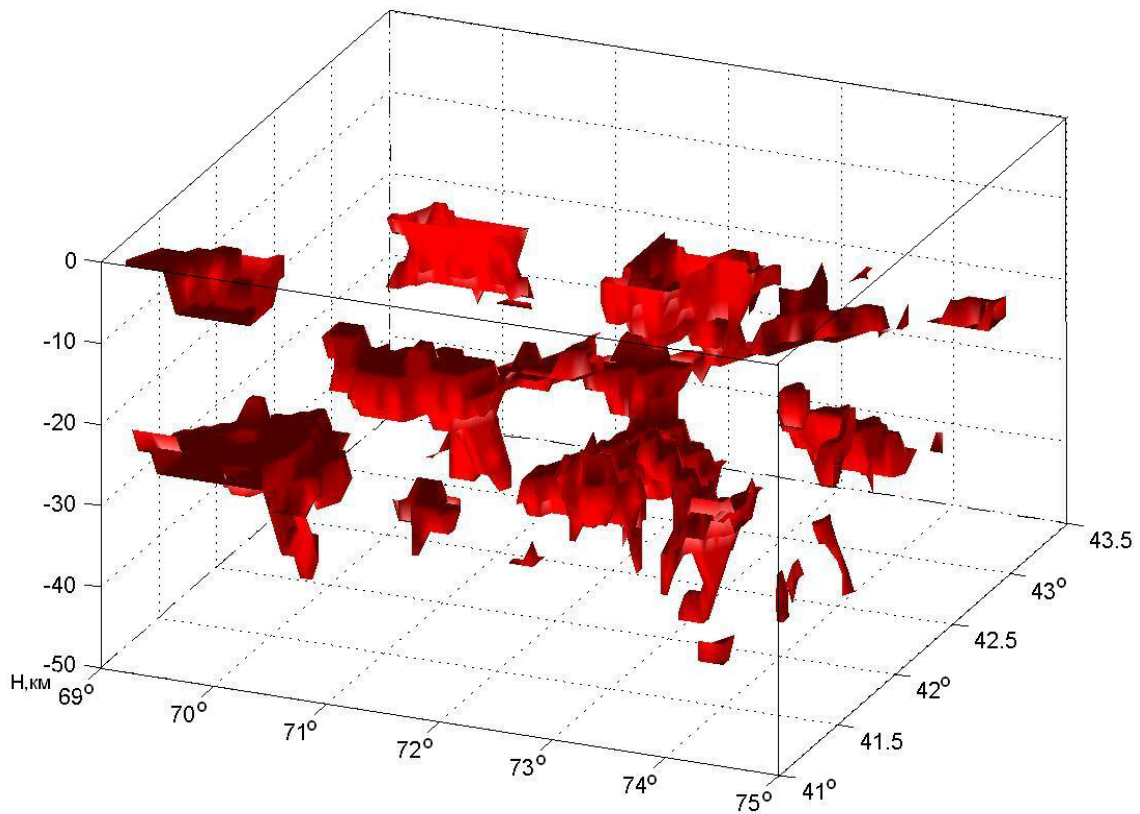


Рисунок 2. Фрагмент схемы распределения волноводных зон в земной коре в пределах координат: $\varphi = 41^{\circ} - 43.5^{\circ}$, $\lambda = 69^{\circ} - 75^{\circ}$.

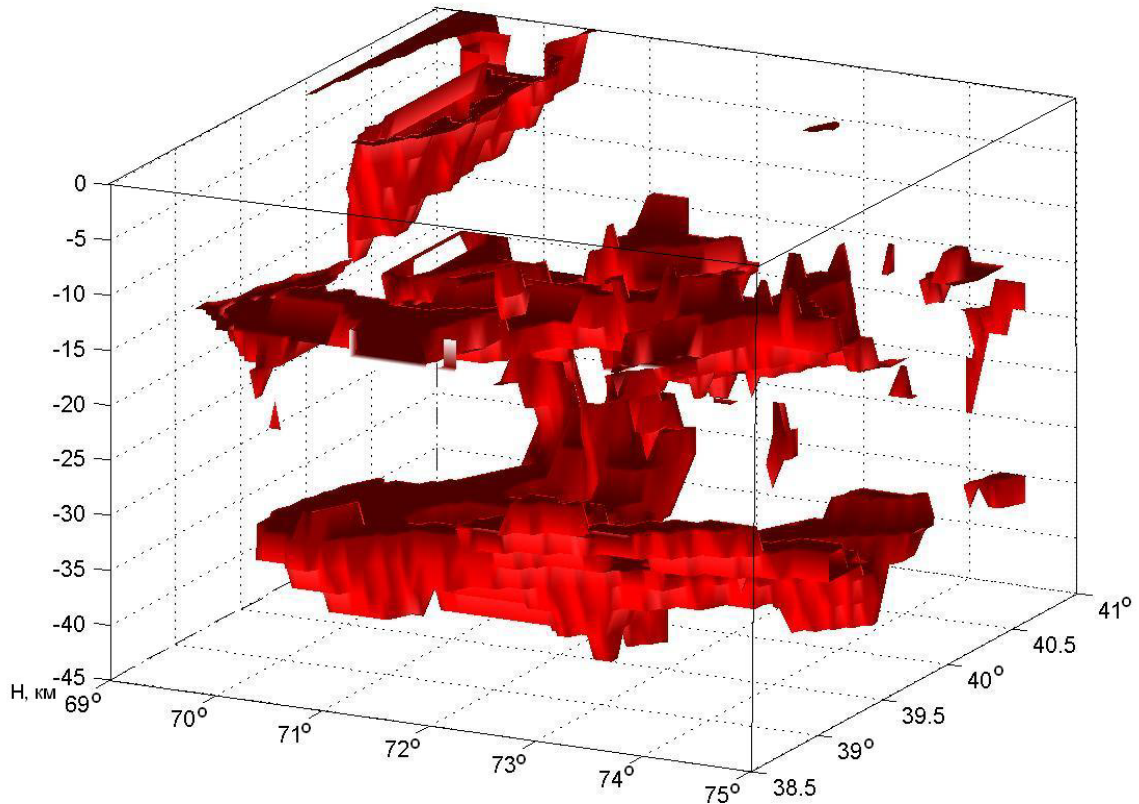


Рисунок 3. Фрагмент схемы распределения волноводных зон в земной коре в пределах координат: $\varphi = 38.5^{\circ} - 41^{\circ}$, $\lambda = 69^{\circ} - 75^{\circ}$.

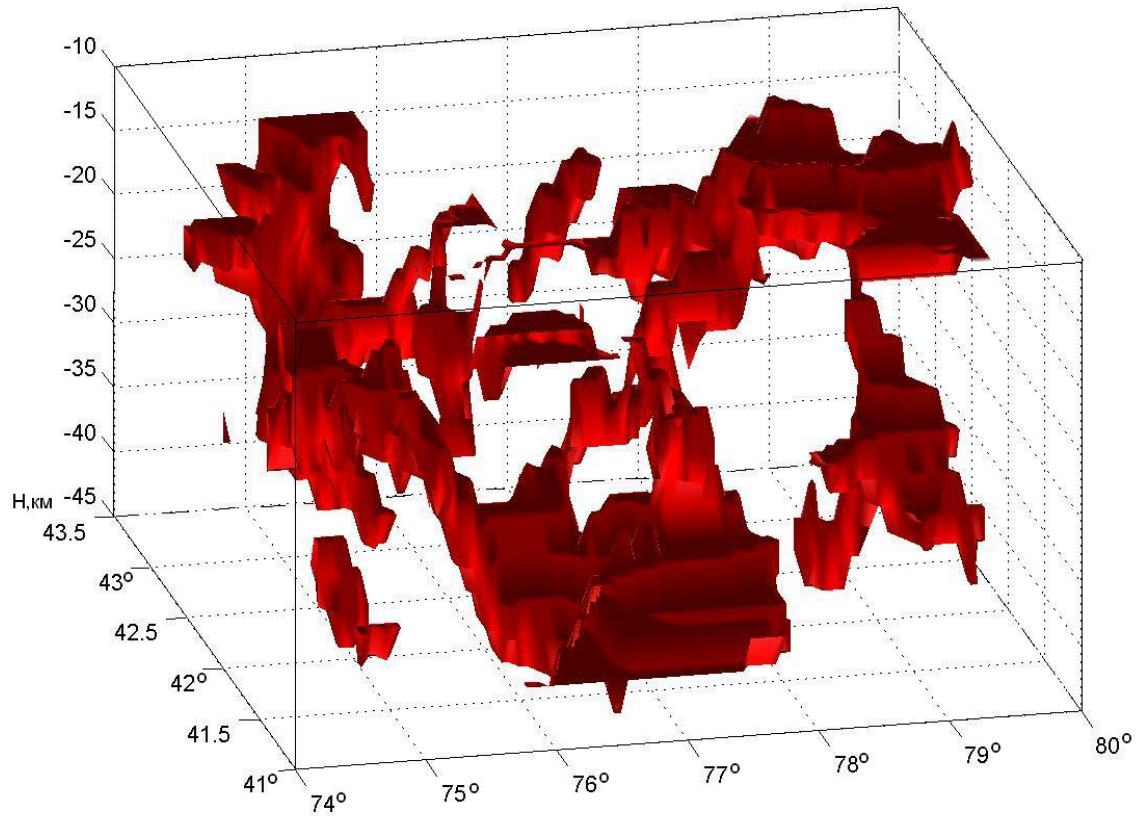


Рисунок 4. Фрагмент схемы распределения волноводных зон в земной коре в пределах координат: $\varphi=41^{\circ}$ - 43.5° , $\lambda=74^{\circ}$ - 80° .

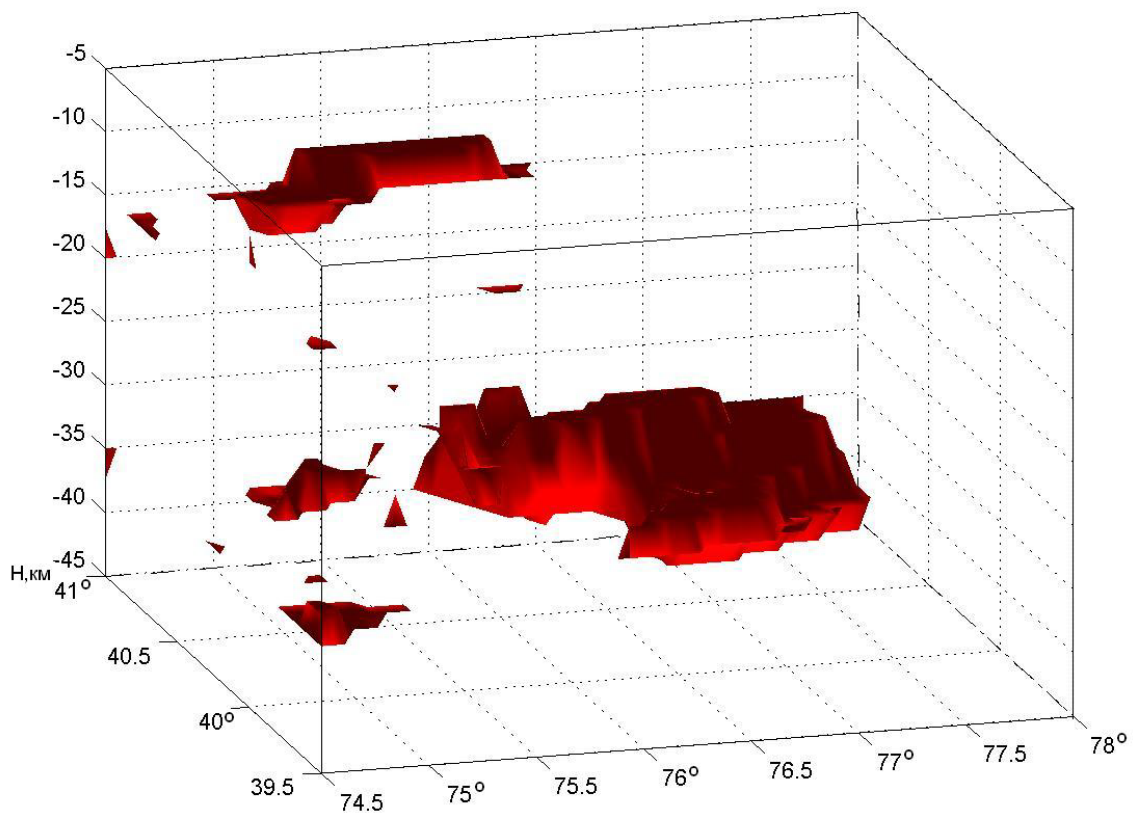


Рисунок 5. Фрагмент схемы распределения волноводных зон в земной коре в пределах координат: $\varphi=39.5^{\circ}$ - 41° , $\lambda=74.5^{\circ}$ - 78° .

Первые приводят к медленным снятиям напряжений без срывов, а вторые - к "взрывному" выделению накопленной энергии с формированием разрывных нарушений среды и очагов землетрясений. По представлениям Николаевского, основанным на анализе результатов лабораторных работ по изучению характера изменения величины скалывающих напряжений при одновременном воздействии на породу давления и температуры, при достижении термодинамическими параметрами определенных значений на фоне общего роста скалывающих напряжений возникают зоны квазипластического состояния вещества, когда маловероятны взрывные выделения энергии даже при значительных смещениях. Очевидно, что эти зоны в пределах литосферы должны соответствовать некоторым слоям, характеризующимся отсутствием очагов сильных землетрясений вследствие того, что породы здесь в значительной степени теряют способность к хрупким деформациям [14]. Границы внутри коры, выделенные по результатам сейсмических исследований, по мнению Николаевского В.Н., могут соответствовать последовательным сменам хрупко-дилатансионных (псевдопластических) состояний.

В регионах молодых складчатых гор нижняя кромка хрупкого состояния вещества может залегать в пределах коры, что является следствием повышенного здесь геотермического градиента. По представлениям Таль-Вирского Б.Б. [15] и Борисова С.О. [13] уже на глубинах порядка 20 км в пределах территории Средней Азии, занятой горными сооружениями, температура может достигать 500-700°C. Как известно, этим значениям соответствует зона плавления гранитоидных масс при наличии даже незначительного количества воды. Таким образом, в земной коре могут располагаться границы изменения состояния геологической среды, на которых «происходит смена элементарных механизмов деформирования и переход к истинно-пластическому состоянию» [13]. Выводы о существовании границ, делящих земную кору на сейсмически активные и несейсмичные слои, сделанные на основании результатов исследований разных авторов, подтверждаются данными о распределении глубин залегания очагов землетрясений [16, 17].

В пределах Средней Азии аналогичные границы впервые были выделены Бутовской Е.А. [6], которая на основании многолетних сейсмологических наблюдений установила, что кровля основного волновода, лежащая на глубине от 24 до 38 км, отделяет сейсмически активную верхнюю часть коры от нижней асейсмичной. В этой же работе показано, что понижение скорости прохождения продольных и, в особенности, поперечных волн позволяет говорить о том, что данный волновод можно рассматривать как упруго-вязкое образование в коре, обладающее пониженным коэффициентом вязкости.

Следует полагать, что приведённые на рисунках 1-5 схемы распределения волноводных зон отражают наличие в земной коре Тянь-Шаня вышеописанного аномального состояния вещества. Как следует из публикаций Бакирова А.Б. и др. [18] и Мамырова Э. [19], при существующих на территории кыргызской части Тянь-Шаня РТ-условиях на глубинах 15-30 км возможно плавление пород кислого состава, а глубже - и основного. Данный эффект усиливается в зонах активных разломов, где температуры могут достигать значений 700-1000°C. Выше «несейсмичного слоя» на исследуемой нами территории Тянь-Шаня, очевидно, располагается область коры, где существующие термодинамические параметры и свойства геологической среды соответствуют условиям, обеспечивающим возможность возникновения очагов землетрясений (сейсмически активный слой). Не случайно наибольшее количество землетрясений в Тянь-Шане происходит на глубинах 5-15 км [16], т. е. над верхнекоровым волноводом, расположенным на глубинах 10-20 км. В Южнотяньшаньской сейсмоактивной зоне (рисунок 3) отмечается ярко выраженный нижнекоровый (30-40 км) волновод, в этой зоне, по-видимому, существуют возможности формирования довольно глубоких (с глубиной очага около 30 км) сильных землетрясений.

Выводы:

Использование методов сейсмотомографии позволяет определить районы и установить глубины основных ослабленных зон (волноводов) в земной коре Тянь-Шаня.

В формировании очаговых зон сильных ($M > 6.5$) землетрясений, наряду с субвертикальными разломными зонами, большую роль играет субгоризонтальная неоднородность земной коры, ее тектоническая расслоенность. В соответствии с термодинамическими параметрами земной коры очаги сильных землетрясений, как правило, располагаются над коровыми волноводами. Они могут быть связаны как с субвертикальными подвижками вдоль разломов, так и с субгоризонтальным проскальзыванием верхней более жесткой части земной коры по пластичному волноводу. Поэтому зоны присутствия в земной коре волноводов могут рассматриваться как индикаторы местоположения очагов возможных сильных землетрясений.

Литература

1. Макаров В.И., Трифонов В.Г., Щукин Ю.К. и др. Тектоническая расслоенность литосферы новейших подвижных поясов. – М.: Наука. - 1982. - 116 с.
2. Павленкова Н.И. Волновые поля и модель земной коры (континентальной части). – Киев: Наукова думка. - 1973. - 127 с.
3. Краснопевцева Г.В. Низкоскоростные слои (волноводы) в земной коре // Глубинное строение слабосейсмичных районов СССР. – Москва: Наука. - 1987. –С. 86-95.
4. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. – Москва: Наука. - 1980. - 184 с.
5. Резанов И.А. Эволюция представлений о земной коре. – Москва: Наука.- 2002. -299 с.
6. Бутовская Е.М. Сопоставление и анализ данных по геофизическим полям.// Литосфера Памира и Тянь-Шаня. – Ташкент: Фан.- 1982. - С. 214-221.
7. Нерсесов И.Л., Чепкунас Л.С. Обнаружение слоя пониженных скоростей в земной коре Южного Тянь-Шаня. // Труды X Генеральной ассамблеи Европейской Сейсмологической Комиссии. – Ленинград.- 1967. - С. 37-45.
8. Шацкилов В.И, Горбунов П.Н., Фремд и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. – Алматы: Евразия. - 1993. - 105 с.
9. Сабитова Т.М., Адамова А.А., Меджитова З.А., Багманова Н.Х. Трехмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня по данным сейсмотомографических исследований. // Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). – Москва: Научный Мир.- 2005.- С. 118-134.
10. Сабитова Т.М., Меджитова З.А. Инверсия скорости Р-волн в земной коре Тянь-Шаня и местоположение очагов сильных землетрясений. // Активный геофизический мониторинг литосферы Земли. – Новосибирск.- 2005.- С. 262-266.
11. Адамова А.А., Сабитова Т.М., Миркин Е.Л., Багманова Н.Х. Модели для блочной аппроксимации распределения скорости с использованием SPHYRIT 90 (алгоритм С. Рекера). // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью /под ред. Бакирова А.Б. – Бишкек: Илим.- 2006. -С.9-18.
12. Сабитова Т.М., Адамова А.А., Миркин Е.Л. Ослабленные зоны в скоростной структуре Р-волн земной коры и очаги сильных землетрясений // Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью / Под ред. Бакирова А.Б., – Бишкек: Илим.- 2006. - С.52-55.
13. Борисов С.О. Глубинные термодинамические условия и динамика земной коры Средней Азии. – Ташкент: ФАН.- 1988.- 94 с.
14. Николаевский В.Н. Обзор: земная кора, дилатансия и землетрясения // Дж. Райс. Механика очага землетрясения. – Москва: Мир.-1982. - С.133-217.

15. Таль-Вирский Б.Б. Геофизические поля и тектоника Средней Азии. – Москва: Недра.- 1982.- 217 с.
16. Юдахин Ф.Н. Геофизические поля, глубинное строение и сейсмичность Тянь-Шаня. – Фрунзе: Илим. - 1983.- 248 с.
17. Джанузаков К.Д., Омуралиев М.О., Омуралиева А.М. и др. Сильные землетрясения Тянь-Шаня (в пределах территории Кыргызстана и прилегающих районов стран Центральной Азии). – Бишкек: Илим. - 2003. - 215 с.
18. Бакиров А.Б., Лесик О.М., Лобанченко А.П., Сабитова Т.М. Признаки современного глубинного магматизма в Тянь-Шане.// Геология и геофизика. - 1996. - Т.37. №12.- С. 42-53.
19. Мамыров Э. Упругие свойства кристаллических горных пород в термодинамических условиях земной коры зон активных разломов Тянь-Шаня. – Бишкек: Илим, 2001. - 160 с.