

УДК 551.243.+551.2

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

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА РАСЧЁТА И ПОСТРОЕНИЯ ТРЁХМЕРНОЙ МОДЕЛИ РЕЛЬЕФА ПОВЕРХНОСТИ МОХОРОВИЧИЧА СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация: В статье предлагается алгоритм построения границы Мохоровичича на основе интегрированных критериев её определения, а также накопленных лабораторией «Исследование глубинного строения сейсмоопасных зон» Института сейсмологии НАН КР данных по трёхмерной скоростной модели земной коры и верхней мантии. Предложенный алгоритм построения граничной поверхности Мохоровичича реализован в виде комплекса программ в среде программирования MATLAB, предназначенного для построения трёхмерной модели рельефа поверхности Мохоровичича Северного Тянь-Шаня.

Ключевые слова: Земная кора, верхняя мантия, поверхность Мохо, скоростная модель, градиент скорости продольных Р-волн, алгоритм, объёмная триангуляция, трёхмерное изображение.

ТҮНДҮК ТЯНЬ-ШАНДЫН МОХОРОВИЧИЧ ЖЕР БЕТИНИН РЕЛЬЕФИНІН ҮЧ ӨЛЧӨМДҮҮ МОДЕЛИН ТУРГУЗУУНУ ЖАНА ЭСЕПТӨӨЛӨРДҮН ПРОГРАММАЛЫК КОМПЛЕКСИН ИШТЕП ЧЫГУУ

Кыскача мазмуну: Макалада Мохоровичич чектерин аны аныктоонун интеграцияланган критерийлеринин негизинде, ошондой эле КР УИАнын Сейсмология институтунун «Сейсмокоркунучтуу зоналардын тереңдик курулушун изилдөө» лабораториясы тарабынан топтолгон жер кыртышынын жана жогорку мантиясынын үч өлчөмдүү ылдамдык модели боюнча маалыматтардын негизинде тургузуу алгоритми сунушталат. Мохоровичичтин чектик беттерди тургузуунун сунушталган алгоритми Түндүк Тянь-Шандын Мохоровичичтин жер бетинин рельефинин үч өлчөмдүү моделин тургузууга арналган MATLAB программалоо чөйрөсүндөгү программалар комплекси түрүндө ишке ашырылган.

Негизги сөздөр: Жер кыртышы, жогорку мантия, Мохо бети, ылдамдык модели, туурасынан кеткен Р-толкундардын ылдамды градиенти, алгоритм, көлөмдүү триангуляция, үч өлчөмдүү сүрөттөлүш

DEVELOPMENT OF THE PROGRAM COMPLEX FOR CALCULATION AND CONSTRUCTION OF THREE-DIMENSIONAL MODEL OF THE MOHO SURFACE OF NORTH TIEN-SHAN

Abstract: An algorithm for the Moho boundary mapping based on integrated criteria of its definition, as well as data on the three-dimensional velocity model of the crust and upper mantle accumulated by the laboratory of Deep Structure of Seismic Hazard Zones Investigation of the Institute of Seismology NAS KR, is presented in the paper. The proposed algorithm for the Moho boundary mapping is implemented as a set of programs in the MATLAB software, intended for the construction of three-dimensional model of the Moho surface of the North Tien Shan.

Keywords: the earth's crust, the upper mantle, Moho surface, velocity model, the velocity gradient of the longitudinal P-waves, algorithm, volumetric triangulation, three-dimensional image.

Граница Мохоровичича (поверхность Мохо).

Поверхность Мохоровичича (Мохо) – граница раздела между земной корой и мантией Земли; выявлена в 1909 югославским сейсмологом А. Мохоровичичем. Граница Мохо – нижняя граница земной коры, на которой происходит резкий скачок скорости сейсмических волн. Многие авторы определяют границу Мохо как сейсмическую границу, на которой происходит резкое изменение скорости продольных сейсмических волн с 6,5 – 7,5 (в коре) до 7,8 – 8,2 (км/с) (в верхней мантии). А также, на которой наблюдается резкое уменьшение градиента скорости от 0,1 – 0,2 до 0,01 (1/с) [1]. Последний признак часто не принимался во внимание, однако, он представляется важным, так как в соответствии с [1] – «...только в результате резкой смены большого градиента скорости на исчезающе малый обеспечивается устойчивость прослеживания первых волн на большом интервале расстояний с почти неизменной мантийной скоростью и образованию интенсивной группы рефрагированных волн в последующих вступлениях». Наиболее вероятно, что граница Мохо либо разделяет слои разного химического состава, либо является фазовой границей между средами одного химического состава. Это точка зрения сейчас является одной из общепризнанных.

Выяснение вида рельефа границы Мохо важно для обоснования гипотез горообразования и общей эволюции земной коры, а также для изучения корреляционных и причинно-следственных зависимостей особенностей рельефа границы Мохо с сейсмическими проявлениями в изучаемом районе.

Процедура построения границы Мохо.

Необходимая для дальнейших исследований трёхмерная модель скоростных полей сейсмических волн была получена сотрудниками лаборатории «Исследование глубинного строения сейсмоопасных зон» Института сейсмологии НАН КР с использованием разработанного в лаборатории комплекса программ для построения скоростных полей Тянь-Шаня на базе трёхмерной триангуляции скоростной модели литосферы Тянь-Шаня [2]. Комплекс программ позволяет восстановить значение скоростей изменения продольных Р – волн в любой заданной точке трёхмерного пространства изучаемого фрагмента «массива земной коры и верхней мантии» Северного Тянь-Шаня.

Расчёт и построение трёхмерной модели поверхности Мохо осуществим для фрагмента «массива земной коры и верхней мантии», ограниченного координатами 73° – 76° восточной долготы и 42° – 43,5° северной широты (регион – Северный Тянь-Шань). В качестве примера использования разработанного в лаборатории комплекса программ приведём зависимости изменения скоростей продольных Р – волн от глубины для нескольких географических точек (широта, долгота) в изучаемом районе Северного Тянь-Шаня. На рисунках 1 – 4 для конкретных географических точек представлены зависимости изменения скоростей продольных Р – волн от глубины в диапазоне предполагаемого отсутствия границы Мохо (30 – 95 км).

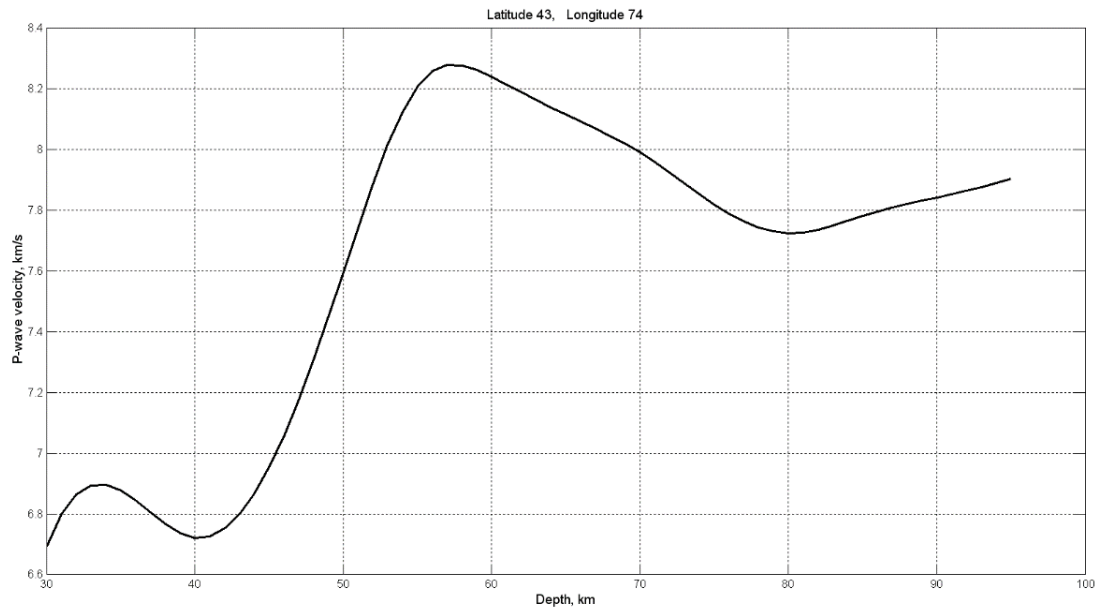


Рисунок 1. Зависимость изменения скоростей продольных Р-волн от глубины (широта 43°, долгота 74°)

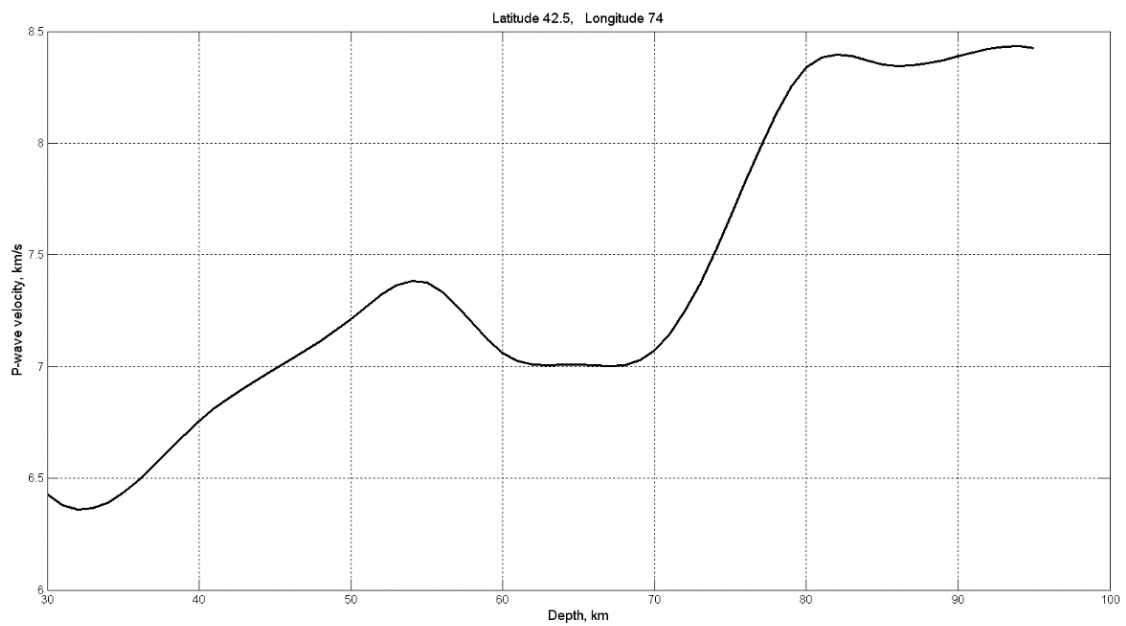


Рисунок 2. Зависимость изменения скоростей продольных Р-волн от глубины (широта 42,5°, долгота 74°)

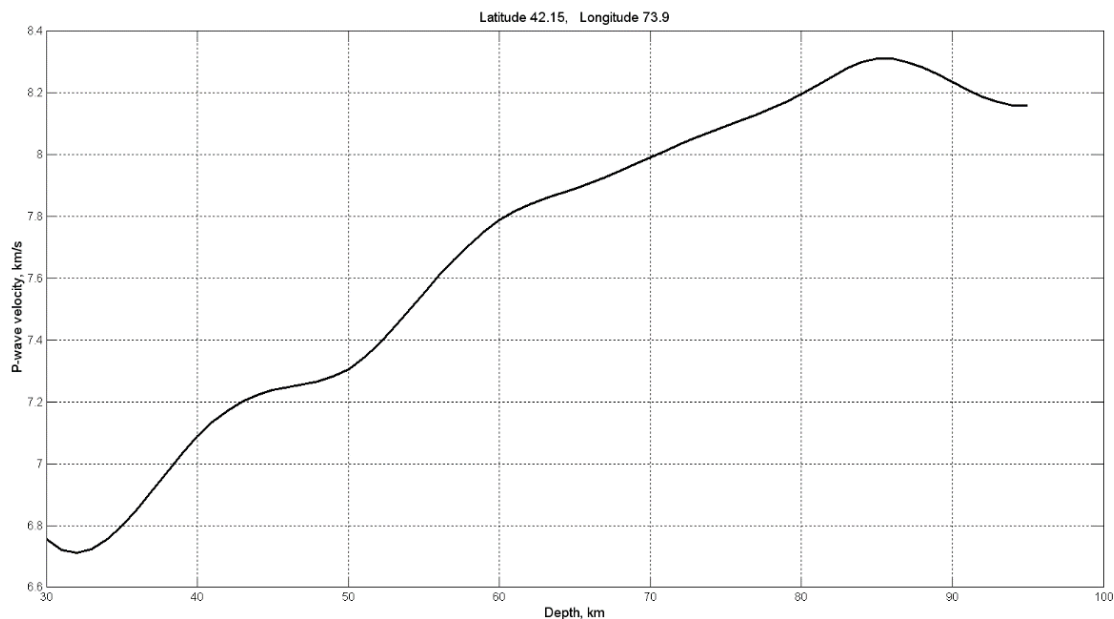


Рисунок 3. Зависимость изменения скоростей продольных Р–волн от глубины (широта 42.15°, долгота 73.9°)

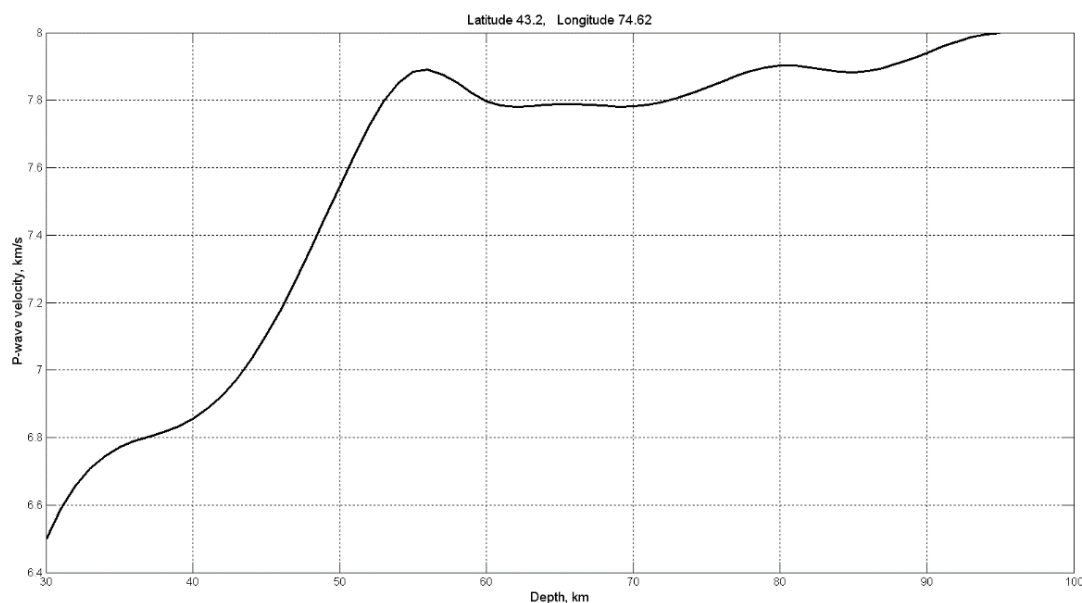


Рисунок 4. Зависимость изменения скоростей продольных Р – волн от глубины (Широта 43.2°, Долгота 74.62°).

Из приведённых графиков видно – в каждой географической точке изучаемого региона картина изменения скорости с глубиной индивидуальна. И для того, чтобы правильно установить границу Мохо, в соответствии с [3 – 6], необходимо одновременно учитывать несколько важных факторов:

- резкое изменение скорости продольных Р-волн при переходе из коры в мантию, что означает наличие максимального градиента скорости Р – волн в диапазоне предполагаемого присутствия границы Мохо (30 – 95 км);
- отсутствие резкого изменения скорости в слое верхней мантии, располагающемся сразу же за границей Мохо, что означает резкое уменьшение градиента скорости Gr_V от 0,1 – 0,2 до 0,01 1/с (например, $Gr_V \leq 0.03$ 1/с).
- скорость продольных Р-волн в точке перехода должна быть не меньше пороговой скорости V_{br} (например, $V_{br} \approx 7.4$);

Для алгоритмической реализации указанных факторов был разработан программный модуль, интеллектуально учитывающий три указанных выше фактора одновременно для принятия решения о назначении границы Мохо. Результаты работы данного модуля иллюстрируют рисунки 5 – 8. Из приведённых рисунков видно - граница Мохо назначается системой на максимальном изменении градиента в каждом конкретном случае индивидуально, учитывая второй и третий факторы приведённые выше.

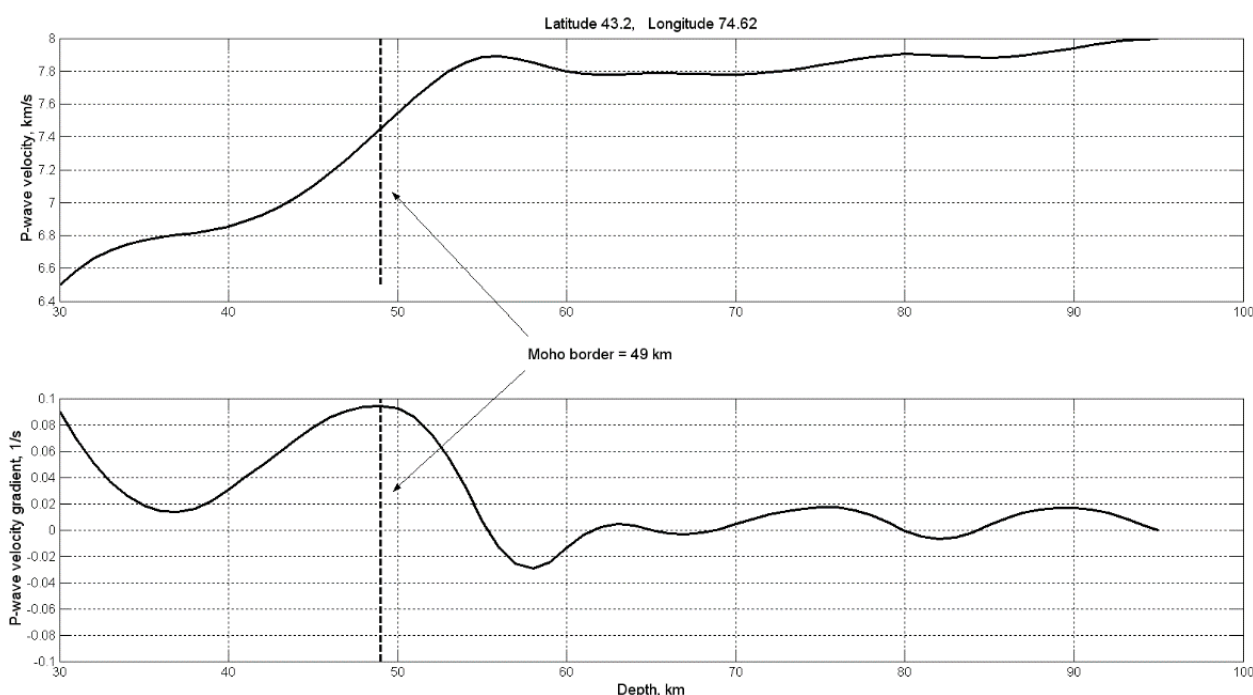


Рисунок 5. Назначение границы Мохо для точки с координатами: широта 43.2°, долгота 74.62°.

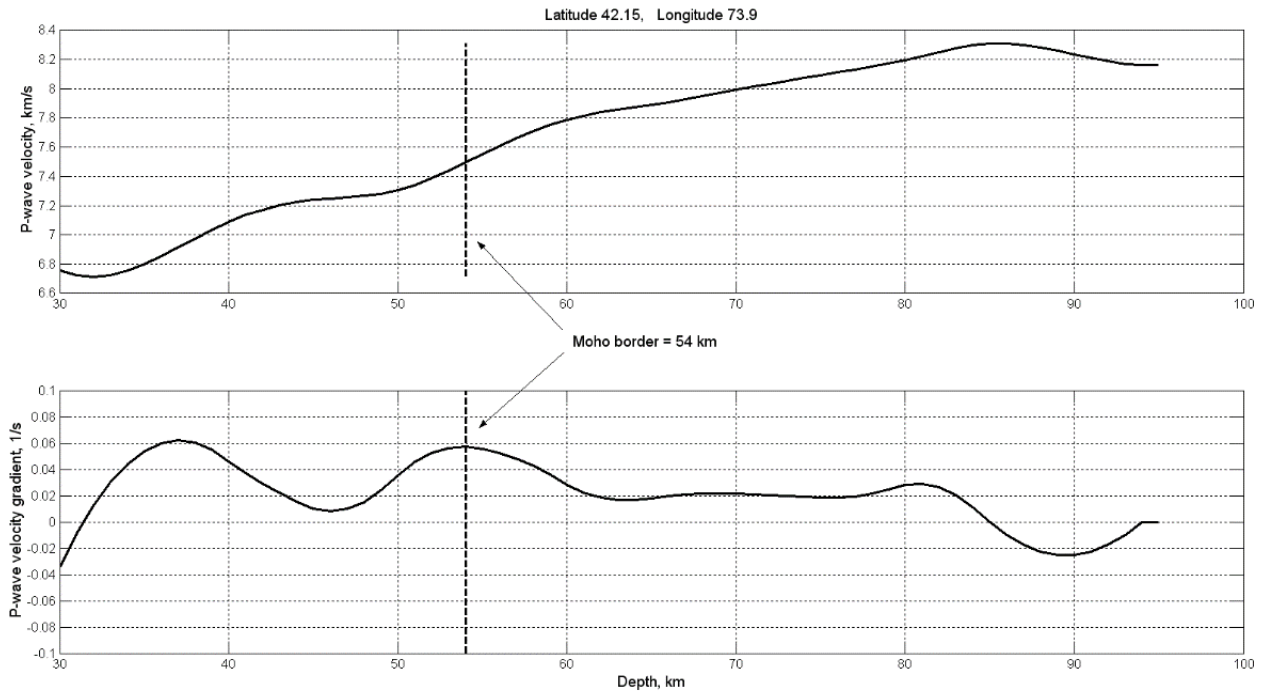


Рисунок 6. Назначение границы Мохо для точки с координатами: широта 42.15° , долгота 73.9° .

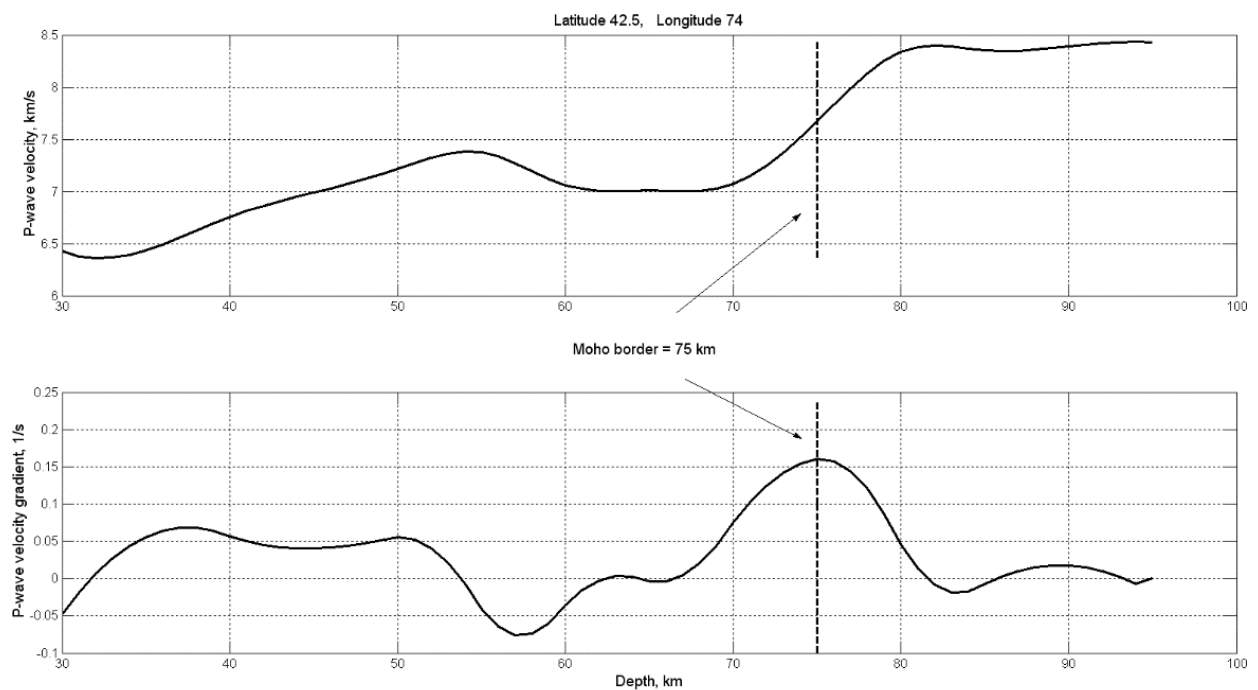


Рисунок 7. Назначение границы Мохо для точки с координатами: широта 42.5° , долгота 74.0° .

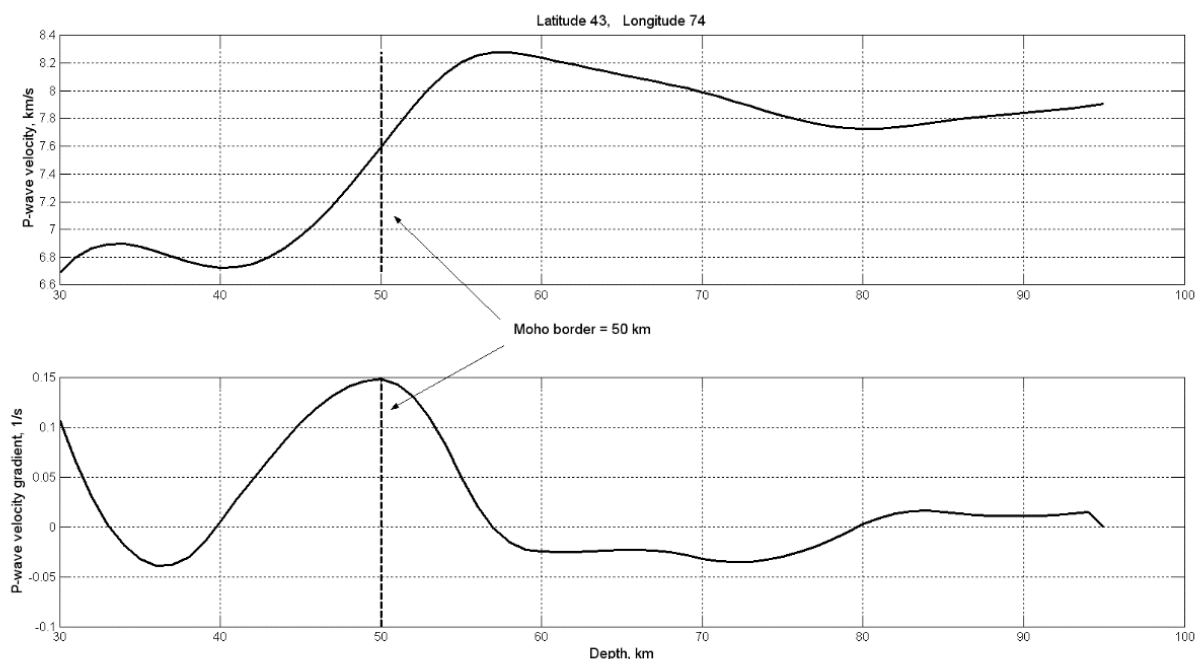


Рисунок 8. Назначение границы Мохо для точки с координатами: широта 43.0° , долгота 74.0° .

Таким образом, разработанный программный модуль назначения границы Мохо в конкретной географической точке Северного Тянь-Шаня позволил путём применения алгоритмов объёмной триангуляции данных получить двухмерное и трёхмерное представление рельефа поверхности Мохо изучаемого района.

Результаты работы программного комплекса изображения рельефа поверхности Мохо представлены на рисунках 9, 10. Рисунок 9 демонстрирует двухмерное представление рельефа поверхности Мохо изучаемого района; на рисунке 10 изображена трёхмерная модель. Из рисунков видно, что глубина залегания поверхности Мохо Северного Тянь-Шаня варьирует от 40-50 км до 65-75 км. На большей части исследуемой территории мощность земной коры представлена значениями 45-50 км. В юго-западной части отмечается максимальное погружение до 70-75 км. В юго-восточной и восточной частях преобладают области с глубиной залегания поверхности Мохо 55-60 км.

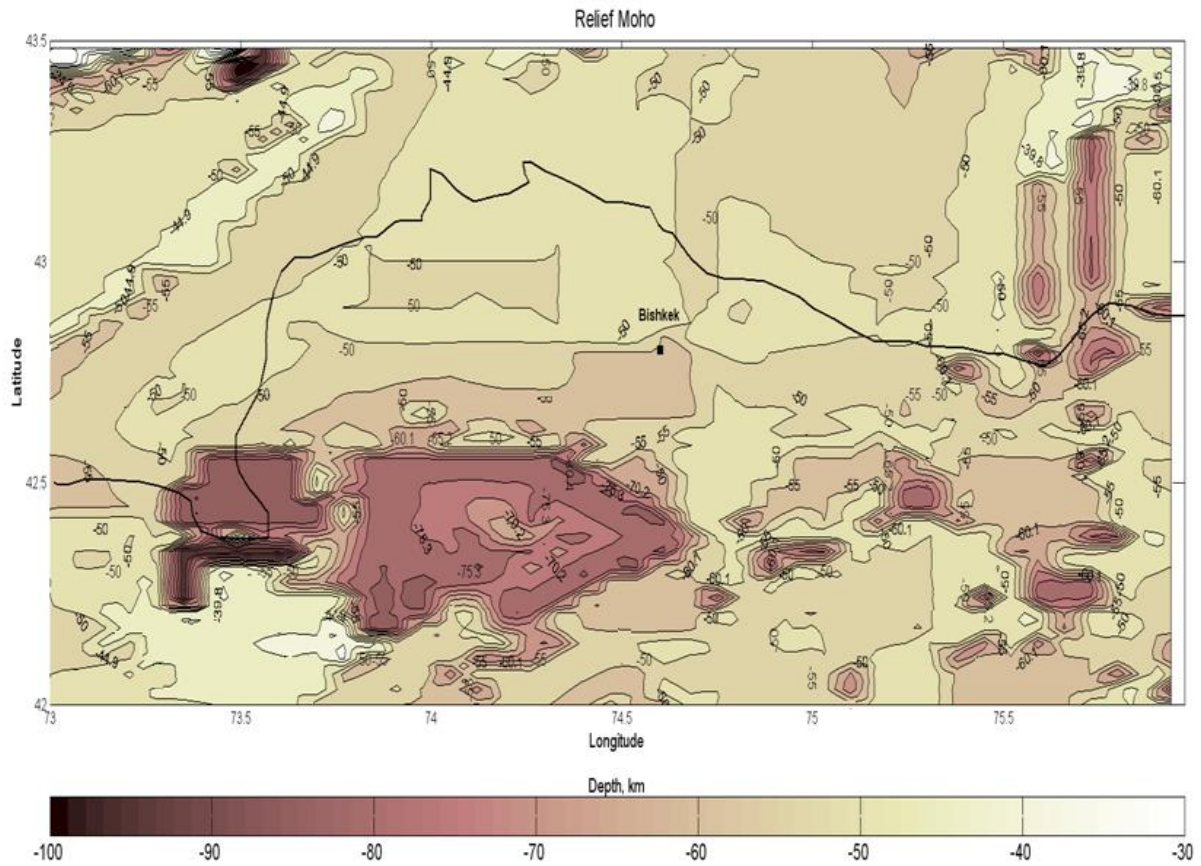


Рисунок 9. Рельеф поверхности Мохо, полученный программным комплексом по изменению скоростей продольных Р – волн Северного Тянь-Шаня.

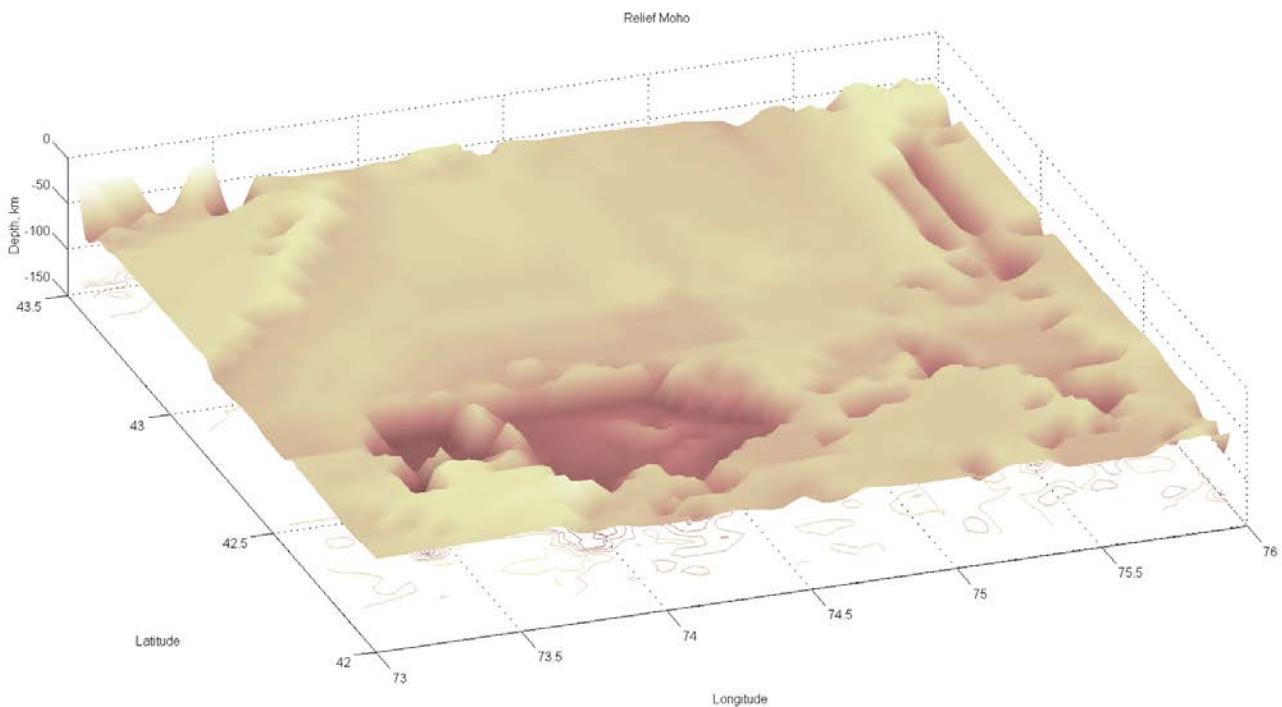


Рисунок 10. Трёхмерное представление рельефа поверхности Мохо, полученное программным комплексом по изменениям скоростей продольных Р – волн Северного Тянь-Шаня.

Существует ряд схем рельефа поверхности Мохо, полученных различными авторами [7-11]. Направленность изолиний мощности земной коры, построенных разными авторами, к примеру, в работах [7-9] в целом одинакова (юго-запад, северо-восток) и представлена значениями 45-50 км (в северо-восточной, северо-западной частях), 50-55 км (в центральной части) и 60 км (в юго-восточной части). Детальная карта изоглубин поверхности Мохо, при построении которой использована корреляционная связь между аномальным гравитационным (Δg)а полем в редукции Буге и глубинами залегания поверхности Мохо, представлена в работе [11]. Фрагмент этой карты приведён на рисунке 11. При сравнении рисунка 10 и рисунка 11 можно отметить незначительные (5-7 км) различия в абсолютных значениях глубин залегания поверхности Мохо почти на всей исследуемой территории, за исключением области в юго-западной части, где отмечаются существенные различия в значениях (18-20 км).

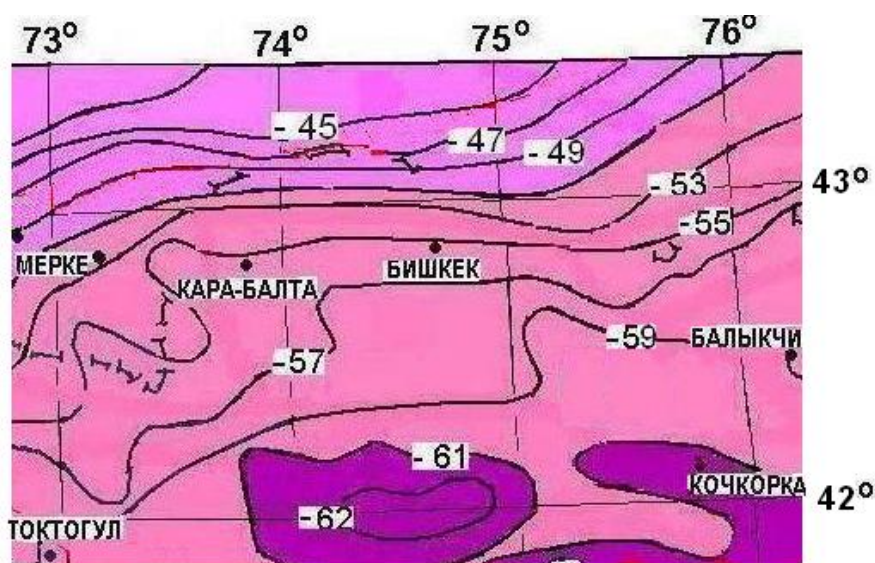


Рисунок 11. Фрагмент карты изоглубин поверхности Мохо, построенной в соответствии с величинами аномального гравитационного поля в редукции Буге [11].

- Разработан программный комплекс изображения рельефа поверхности Мохо с использованием сейсмотомографических данных.
- Получено двухмерное и трёхмерное представление рельефа поверхности Мохо изучаемого района с координатами: 73° – 76° восточной долготы и 42° – 43.5° северной широты (рисунки 9, 10).
- Отличительной особенностью представленной схемы рельефа поверхности Мохо, полученной программным комплексом по изменению скоростей продольных Р – волн, является наличие областей с максимальным погружением поверхности Мохо до 70-75 км. На всех полученных ранее [7-11 и др.] картах-схемах рельефа поверхности Мохо таких значений не отмечалось. Можно отметить, что, используя в дальнейшем другие методы исследования и уточняя существующие, появиться возможность подтвердить или опровергнуть наличие таких областей в районе исследования.

Рецензент: доктор г.-м.-н. Мамыров Э.

Литература

1. Павленкова Н. И., Косминская И. П. и др. Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. Москва: Наука. 1980. С. 144.
2. 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. Бишкек: Илим. 2006. С.9-18.
3. Резанов И. А. Эволюция представлений о земной коре. Москва: Наука. 2002. С.300.
4. Резанов И. А., Файтельсон А.Ш., Краснопевцева Г. В. Природа границы Мохоровичича. Москва: Недра. 1984. С.118-120.
5. Павленкова Н. И. Структура литосферы и задачи сейсмических исследований. // Исследования земной коры невзрывными сейсмическими источниками. Москва: Наука. 1981.
6. Павленкова Н. И. Структура земной коры и верхней мантии и тектоника плит. // Геодинамические исследования. Москва: Наука. 1989. № 13.
7. Беляевский Н.А. Земная кора в пределах территории СССР. М.: Наука. 1974. С. 280.
8. Крестников В.И., Нерсесов И.Л. Тектоническое строение Памира и Тянь-Шаня и его связь с рельефом поверхности Мохоровичича. // Советская геология. 1962. №11. С.36-69.
9. Сабитова Т.М. Строение земной коры Кыргызского Тянь-Шаня по сейсмологическим данным. Фрунзе: Илим. 1989. С. 174.
10. Современная геодинамика областей внутриконтинентального коллизионного горообразования (Центральная Азия). Москва: Научный Мир. 2005. С. 400.
11. Погребной В.Н. Гребенникова В.В. Особенности тектонической структуры поверхности Мохо на территории Кыргызского Тянь-Шаня по гравитационным данным. // Сборник докладов 5-го Международного симпозиума «Современные проблемы геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Москва-Бишкек, 2012. Т. 2. С.100-105.