ISSN 2224-5278

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# хабарлары



НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН NEWS

OF THE ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

## ГЕОЛОГИЯ ЖӘНЕ ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР СЕРИЯСЫ

♦

## СЕРИЯ ГЕОЛОГИИ И ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

## 3 (411)

МАМЫР – МАУСЫМ 2015 ж. МАЙ – ИЮНЬ 2015 г. МАҮ – JUNE 2015

ЖУРНАЛ 1940 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН ЖУРНАЛ ИЗДАЕТСЯ С 1940 г. THE JORNAL WAS FOUNDED IN 1940.

> ЖЫЛЫНА 6 РЕТ ШЫҒАДЫ ВЫХОДИТ 6 РАЗ В ГОД PUBLISHED 6 TIMES A YEAR

> > АЛМАТЫ, ҚР ҰҒА АЛМАТЫ, НАН РК ALMATY, NAS RK

#### Бас редактор

#### ҚР ¥ҒА академигі

#### Ж. М. Әділов

#### Редакция алқасы:

геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Бейсенова А.С.; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Бишімбаев У.К.; геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Ерғалиев Г.Х.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академикі Кожахметов С.М.; геол.-мин. ғ. докторы, академик НАН РК Курскеев А.К.; геол.-мин. ғ. докторы, проф., академик НАН РК Оздоев С.М.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Рақышев Б.Р.; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Северский И.В.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Рақышев Б.Р.; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі Северский И.В.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Әбішева З.С.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Бүктүков Н.С.; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Бүктүков Н.С.; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Фиірсеріков М.Ш. (бас редактордың орынбасары); геол.-мин. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Сейітмұратова Э.Ю.; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі Тэткеева Г.Г.; техн. ғ. докторы Абаканов Т.Д.; геол.-мин. ғ. докторы Абаканов Т.Д.; геол.-мин. ғ. докторы Абаканов М.К.; геол.-мин. ғ. докторы, проф. Байбатша Ә.Б.; геол.-мин. ғ. докторы Беспаев Х.А.; геол.-мин. ғ. докторы, ҚР ҰҒА академигі Сыдықов Ж.С.; геол.-мин. ғ. кандидаты, проф. Жуков Н.М.

#### Редакция кеңесі:

Эзірбайжан ҰҒА академигі Алиев Т. (Әзірбайжан); геол.-мин. ғ. докторы, проф. Бакиров А.Б. (Қырғызстан); Украинаның ҰҒА академигі Булат А.Ф. (Украина); Тәжікстан ҰҒА академигі Ганиев И.Н. (Тәжікстан); доктор Рh.D., проф. Грэвис Р.М. (США); Ресей ҰҒА академигі РАН Конторович А.Э. (Ресей); геол.-мин. ғ. докторы, проф. Курчавов А.М. (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі Постолатий В. (Молдова); жаратылыстану ғ. докторы, проф. Степанец В.Г. (Германия); Рh.D. докторы, проф. Хамфери Дж.Д. (АҚШ); доктор, проф. Штейнер М. (Германия)

#### Главный редактор

#### академик НАН РК

#### Ж. М. Адилов

#### Редакционная коллегия:

доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК А.С. Бейсенова; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК В.К. Бишимбаев; доктор геол.-мин. наук, проф., академик НАН РК Г.Х. Ергалиев; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК С.М. Кожахметов; доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК А.К. Курскеев; доктор геол.-мин. наук, проф., академик НАН РК С.М. Оздоев; доктор техн. наук, проф., академик НАН РК Б.Р. Ракишев; доктор геогр. наук, проф., академик НАН РК И.В. Северский; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК З.С. Абишева; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Н.С. Буктуков; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК А.Р. Медеу; докт. геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК М.Ш. Омирсериков (заместитель главного редактора); доктор геол.-мин. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Э.Ю. Сейтмуратова; докт. техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК Г.Г. Таткеева; доктор техн. наук Т.Д. Абаканов; доктор геол.-мин. наук М.К. Абсаметов; докт. геол.-мин. наук, проф. А.Б. Байбатша; доктор геол.-мин. наук Х.А. Беспаев; доктор геол.-мин. наук, академик НАН РК Ж.С. Сыдыков; кандидат геол.мин. наук, проф. Н.М. Жуков

#### Редакционный совет

академик НАН Азербайджанской Республики Т. Алиев (Азербайджан); доктор геол.-мин. наук, проф. А.Б. Бакиров (Кыргызстан); академик НАН Украины А.Ф. Булат (Украина); академик НАН Республики Таджикистан И.Н. Ганиев (Таджикистан); доктор Рh.D., проф. Р.М. Грэвис (США); академик РАН А.Э. Конторович (Россия); доктор геол.-мин. наук А.М. Курчавов (Россия); академик НАН Республики Молдова В. Постолатий (Молдова); доктор естественных наук, проф. В.Г. Степанец (Германия); доктор Рh.D., проф. Дж.Д. Хамфери (США); доктор, проф. М. Штейнер (Германия)

«Известия НАН РК. Серия геологии и технических наук». ISSN 2224-5278

Собственник: Республиканское общественное объединение «Национальная академия наук Республики Казахстан (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №10892-Ж, выданное 30.04.2010 г.

Периодичность: 6 раз в год Тираж: 300 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18, http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2015

Адрес редакции: Казахстан, 050010, г. Алматы, ул. Кабанбай батыра, 69а. Институт геологических наук им. К. И. Сатпаева, комната 334. Тел.: 291-59-38.

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

\_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_

#### Editor in chief

#### Zh. M. Adilov,

#### academician of NAS RK

#### Editorial board:

A.S. Beisenova, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; V.K. Bishimbayev, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; G.Kh. Yergaliev, dr. geol-min. sc., prof., academician of NAS RK; S.M. Kozhakhmetov, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; A.K. Kurskeev, dr.geol-min.sc., academician of NAS RK; S.M. Ozdoyev, dr. geol-min. sc., prof., academician of NAS RK; B.R. Rakishev, dr. eng. sc., prof., academician of NAS RK; I.V. Severskiy, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; Z.S. Abisheva, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; M.S. Buktukov, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; A.R. Medeu, dr. geogr. sc., prof., academician of NAS RK; M.Sh. Omirserikov, dr. geol-min. sc., corr. member of NAS RK (deputy editor); E.Yu. Seytmuratova, dr. geol-min. sc., prof., corr. member of NAS RK; G.G. Tatkeeva, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; M.S. Baibatsha, dr. geol-min. sc., prof.; Kh.A. Bespayev, dr.geol-min.sc., academician of IAMR; Zh.S. Sydykov, dr.geol-min.sc., academician of NAS RK; N.M. Zhukov, cand.geol-min.sc., prof.

#### Editorial staff:

T. Aliyev, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); A.B. Bakirov, dr.geol-min.sc., prof. (Kyrgyzstan); A.F. Bulat, NAS Ukraine academician (Ukraine); I.N. Ganiev, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); R.M. Gravis, Ph.D., prof. (USA); A.E. Kontorovich, RAS academician (Russia); A.M. Kurchavov, dr.geol-min.sc. (Russia); V. Postolatiy, NAS Moldova academician (Moldova); V.G. Stepanets, dr.nat.sc., prof. (Germany); J.D. Hamferi, Ph.D, prof. (USA); M. Steiner, dr., prof. (Germany).

## News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technology sciences. ISSN 2224-5278

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty) The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of information and archives of the Ministry of culture and information of the Republic of Kazakhstan N 10892-Ж, issued 30.04.2010

Periodicity: 6 times a year Circulation: 300 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18, http://nauka-nanrk.kz/geology-technical.kz

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2015

Editorial address: Institute of Geological Sciences named after K.I. Satpayev 69a, Kabanbai batyr str., of. 334, Almaty, 050010, Kazakhstan, tel.: 291-59-38.

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

\_\_\_\_\_ 4 \_\_\_\_\_

#### N E W S OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES ISSN 2224-5278 Volume 3, Number 411 (2015), 99 – 107

## THE EARTH'S CRUST P-VELOCITY MODELS ALONG GEOTRAVERSES THROUGH VERNNENSKY, CHILIKSKY, KEMINSKY EARTHQUAKE MULTIFOCAL UPTAKES

#### N. P. Stepanenko, T. M. Kaidash, M. S. Tolegen

Institute of Seismology, Almaty, Kazakhstan

Keywords: earth crust, lithosphere, speed, active mantle, modeling, deep structure.

Abstract. To identify the most characteristic features of the structure of the crust and upper mantle in seismically active regions of the Tien-Shan, two-dimensional P-velocity and geodynamic models were developed along two meridional (77°, 78°) and North Tien-Shan latitude (43°) geotraverses, crossing the focal zones of the strongest earthquakes in the North Tien-Shan folded area: Vernensky, Chiliksky, Keminsky. The simulation results allow us to obtain the most complete picture of the deep structure of the lithosphere of the North Tien Shan region and adjacent territories, and in conjunction with the data of the seismic regime in the most authentic way to allocate geodynamic active volume of the study area. In orogenic part of the study area consolidated crust is characterized by abnormally increased power of the upper complex sialic rocks and accordingly depth of the lower base complex. Increased seismic activity is observed in the contact area of depth blocks of different material composition, especially the sialic rocks and mafic series, underlain by the large amounts of the active crustal mantle, as in the North Tien Shan seismically active region. The simulation results revealed the position of the region of the ascending (plumes) and descending (slabs) of heat-mass stream from the lower mantle, which have a dominant influence on the geodynamic setting and the seismic regime of the Northern Tien Shan and adjacent territories.

УДК 550.834(574)

## Р-СКОРОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ ВДОЛЬ ГЕОТРАВЕРСОВ, ПРОХОДЯЩИХ ЧЕРЕЗ ОЧАГОВЫЕ ЗОНЫ ВЕРНЕНСКОГО, ЧИЛИКСКОГО И КЕМИНСКОГО ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

#### Н. П. Степаненко, Т. М. Кайдаш, М. С. Толеген

#### ТОО «Институт сейсмологии», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: земная кора, литосфера, скорость, активная мантия, моделирование, глубинное строение.

Аннотация. Для выявления наиболее характерных черт структуры земной коры и верхней мантии в сейсмоактивных регионах Тянь-Шаня разработаны двумерные Р-скоростные и геодинамические модели вдоль двух меридиональных (77°, 78°) и Северо-Тянь-Шаньского широтного (43°) геотраверсов, пересекающих очаговые зоны сильнейших землетрясений, произошедших в Северо-Тянь-Шаньской складчатой области: Верненского, Чиликского, Кеминского.

Введение. К настоящему времени сформировалась устойчивая позиция, что для глубокого понимания геодинамических, в том числе сейсмических, процессов необходимо изучать, как минимум, строение всей литосферы высокосейсмичных территорий в их взаимосвязи с асейсмичными, не ограничиваясь только земной корой. Современная тектоническая (сейсмическая) активность коры обусловлена особенностями глубинной геологической структуры, вещественного состава пород, термодинамических условий коры и тектоносферы в целом. Основные сведения о дифференциации этих и других параметров получены с помощью глубинных геофизических исследований. Одним из наиболее эффективных направлений изучения особенностей строения земной коры и верхней мантии, позволяющих получить общее представление о характеристике структур Северного Тянь-Шаня и помогающих расшифровать ее основные геодинамические или геотектонические особенности, является структурно-скоростное моделирование.

Р-скоростное и геодинамическое моделирование проведено по двум меридиональным (77°, 78°) и Северо-Тянь-Шаньскому широтному (43°) трансрегиональным геотраверсам (рисунок 1) с целью выявления особенностей геодинамического и тектонического строения литосферы в очаговых зонах сильных землетрясений – Верненского, Чиликского и Кеминского, произошедших в Северо-Тянь-Шаньской складчатой области.



Рисунок 1 - Схема расположения геотраверсов

Глубина вертикальных разрезов 200 км. На модели вынесены очаги землетрясений (*M*≥5) за период 1973–2004 гг. по данным каталога NEIC Геологической службы США. Расстояние от эпицентров землетрясений до линии разреза – не более 50 км. На Северном Тянь-Шане очаги сильных землетрясений формируются в пределах земной коры – в основном на глубинах 15-30 км, реже до 40 км. Так для Верненского (1887 г., *M*=7,3) землетрясения глубина очага 20 км, для Чиликского (1889 г., *M*=8,3) – 40 км, для Кеминского (1911 г., *M*=8,2) – 25 км.

По структурно-вещественным комплексам на разрезах выделяются следующие блоки: Таримский, Предтаримский, Терскейский, Иссыккульский, Кунгей-Заилийский, Илийский, выраженые на земной поверхности в виде глыбовых складок с синхронно изогнутыми коровыми слоями, разделенные зонами глубинных разломов и прослеживающиеся через всю земную кору до верхней мантии.

Описание и сопоставительный анализ Р-скоростных моделей земной коры и верхней мантии проводится по слоям, в соответствии со сложившейся стратиграфической и петрофизической интерпретацией [1, 2].

=100 ==

Структурно-скоростная и геодинамическая модели вдоль геотраверса Меридиан 77° (рисунок 2). Геотраверс протяженностью 550 км начинается на территории Китая от 39°-й параллели в пустыне Такла-Макан пересекает хребты Южного Тянь-Шаня, Терскей Алатау, Кунгей Алатау, Заилийский Алатау, Илийскую впадину и заканчивается на 44°-й параллели. Разрез пересекает очаговые зоны Кеминского и Верненского землетрясений по широте 43° (рисунок 1). Геодинамические модели литосферы построены на основе соответствующих Р-скоростных моделей.



Изолинии – скорости распространения продольных волн (км/с); Красная штриховая линия – подошва земной коры; кружки – очаги землетрясений.

Рисунок 2 – Двумерная Р-скоростная модель земной коры и верхней мантии по геотраверсу Меридиан 77°

Подошва платформенного чехла (V<sub>p</sub>≤5,6 км/с) на разрезе контролируется сглаженной изолинией 5,6 км/с. По вещественному составу чехол сложен мезозойско-кайнозойским седиментным и палеозойско-вулканогенно-осадочным метаморфическим комплексами. Мощность чехла колеблется от 1–2 км на Казахском щите до 8–10 км на Тариме.

Мощность гранито-гнейсового (сиалического) комплекса ( $V_p = 5,6-6,4$  км/с), соответствует нашим представлениям о сейсмичности коры: консолидированная кора под орогенами, которые в регионе практически все высокосейсмичны (что подтверждается положением очаговых зон сильных землетрясений), характеризуется аномально повышенной мощностью. На платформенных территориях (Казахский щит) она минимальна.

Северный Тянь-Шань по своему строению состоит из четырех глыбовых складок (хр. Киргизский, Кетмень, Кунгей Алатау, Заилийский Алатау) с мощным гранито-гнейсовым слоем порядка 28 км. Между Иссык-Кульской и Илийской впадинами выделена аномальная по геофизическим параметрам глубинная структура шириной более 50 км (рисунок 3). Она представлена от границы Мохо до гипсометрического уровня 10 км породами гранулито-гнейсового слоя мощностью около 40 км; выше – сильно метаморфизованным сиалическим комплексом. Еще выше разрез представлен гранитными интрузиями. В этой части земной коры находятся очаги Верненского и Кеминского землетрясений. Здесь же между хребтами Кунгей и Заилийский Алатау прослеживается сквозькоровый глубинный Чилик-Кеминский разлом, к которому приурочено Чиликское землетрясение. По особенностям внутренней Р-скоростной структуры консолидированной коры разрез отчетливо разделяется Заилийским Алатау на два типа: орогенный с юга и платформенный с севера. Мощность коры орогенного типа повышена и составляет 50–57 км.

Гранулито-гнейсовый (базитовый,  $V_p = 6,4-6,8 \text{ км/c}$ ) и гранулит-базитовый (ультрабазитовый,  $V_p = 6,8-7,2 \text{ км/c}$ ) комплексы также соответствуют сложившимся представлениям об их связи с сейсмичностью: в орогенах их суммарная мощность меньше мощности сиалического слоя и не





Условные обозначения к профильным геодинамическим моделям литосферы Тянь-Шаня

2. ЭЛЕМЕНТЫ ДЕФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ





Рисунок 3 – Геодинамическая модель литосферы по геотраверсу Меридиан 77°

превышает 15–17 км, а на слабосейсмичной платформе их мощности примерно равны и составляют 20–22 км.

Особо следует остановиться на структуре верхней мантии. Понятие активной мантии обоснованы в работе [3, 4]. В пределах платформ и орогенов юго-востока Казахстана подкоровая активная мантия характеризуется значениями  $V_p < 8,0$  км/с, а нормальная – значениями  $V_p \ge 8,0$  км/с.

Судя по присутствию слоя активной мантии, выделяемого изолинией 8,0 км/с (рисунки 2, 3) на всей территории вдоль геотраверса Меридиан 77°, верхнюю мантию, можно отнести к сейсмически активной. При визуальном сопоставлении объемов активной мантии и очагов землетрясений установлено, что очаги сильных землетрясений повсеместно приурочены к участкам развития активной мантии.

=102 =

Скоростная модель мантии свидетельствуют о ее сложном гетерогенном строении. На моделях (рисунки 2, 3) показаны чередующиеся низко- и высокоскоростные столбообразные выступы в субмеридиональном пересечении. Конвективные тепломассопотоки ( $V_p \le 8,0$  км/с), фиксируемые в нижней части разреза по обе стороны от опускающегося под действием силы гравитации холодного слэба ( $V_p > 8,0$  км/с) на широте 40° при продвижении вверх на глубине 70–80 км начинают растекаться в горизонтальной плоскости, постепенно занимая весь подкоровой объем, и достигают северной границы Тянь-Шаня с Казахским щитом примерно на широте 44°.

Под слоем активной мантии граница между северной и южной частями разреза следует по субвертикальной поверхности нормальной мантии с  $V_p < 8,0-8,4$  км/с и находится южнее коровой (41°). Обширная масса нормальной мантии включает слэб, погружающийся в северном направлении (рисунок 3). Мантия под Южным Тянь-Шанем состоит из субвертикальных плюмовых каналов и широкого в верхней части вертикального холодного слэба.

Структурно-скоростная и геодинамическая модели вдоль геотраверса Меридиан 78° (рисунки 4, 5). Геотраверс Меридиан 78° по протяженности составляет 550 км. Очаговые зоны Кеминского и Чиликского землетрясений разрез пересекает по широте 43° (см. рисунок 1).



Рисунок 4 – Двумерная Р-скоростная модель земной коры и верхней мантии по геотраверсу Меридиан 78°

Структура земной коры вдоль геотраверса Меридиан 78° в общих чертах аналогична коре геотраверса Меридиан 77°. Подошва коры под Северным Тянь-Шанем немного повышается (до 52 км), гранито-гнейсовый слой становится тоньше, мощность базитового слоя в ядре Кунгей-Заилийской мегаскладки резко возрастает до 30 км и в ней отмечаются овалы габброидов.

В Южном Тянь-Шане и Тариме возрастает общая мощность гранито-гнейсового слоя. Южно-Тянь-Шаньский синклинорий становится уже, под ним коромантийная смесь тоньше; в Предтаримской зоне антиклиналь становится шире, слои более четкими, мощность базитового слоя возрастает вдвое, ультрабазитового – почти втрое уменьшается, мощность коромантийной смеси увеличивается вдвое. Под Таримом резко сокращен базитовый слой.

Аномальные высокоскоростные внутрикоровые выступы в коре до гипсометрического уровня 8-10 км под краевыми орогенами Тянь-Шаня, сопровождаемые низкоскоростными включениями повышенной мощности в подкоровой мантии выделяются более отчетливо. В пределах Кунгей-Заилийского Алатау наиболее четко конфигурация выступа описывается изолинией 6,6 км/с, обобщенно – изолинией 6,4 км/с, принятой нами в качестве границы между сиалическим и базитовым комплексами коры. Контрастность выступа подчеркивается включением в него пород самого нижнего, гранулит-базитового, комплекса, оконтуриваемого изолинией 6,8 км/с. Известия Национальной академии наук Республики Казахстан



Рисунок 5 – Геодинамическая модель литосферы по геотраверсу Меридиан 78° (условные обозначения см. рисунок 3)

Структура верхней мантии на разрезе значительно усложняется. В мантии на глубине 150–200 км выделяются два высокоскоростных канала (слэба) ( $V_p > 8,4$  км/с). Погружающийся под Кунгей-Алатау слэб становится более обширным. На границе с Южным Тянь-Шанем погружается еще один слэб, а между двумя слэбами в нормальной мантии картируется наклонный канал неустойчивой мантии с веществом, поднимающимся к границе в земной коре между Южным и Срединным Тянь-Шанем. Этот восходящий поток низкоскоростной мантии со значениями скорости  $V_p < 8,0$  км/с на глубинах 70–100 км заполняет почти все подкоровое пространство в пределах разреза. Представляется, что он и является основной причиной сложной тектоники и геодинамики Тянь-Шаня, обусловливающей его аномально высокую геодинамическую, в том числе сейсмическую, активность [5].

По значениям мощности активной мантии к наиболее высокосейсмичным можно отнести южную периферию хребта Кокшаал и протяженную зону между хребтами Кунгей и Заилийский Алатау (очаговые зоны Чиликского и Кеминского землетрясений), к умеренно сейсмичным – зону Таримской равнины, к слабосейсмичным – северное окончание профиля в пределах Казахсткго щита.

Структурно-скоростная и геодинамическая модели вдоль геотраверса 43°. Субширотный геотраверс (43°) располагается вдоль горных структур Северного Тянь-Шаня (рисунок 6). Протяженность его составдяет 325 км и пересекает очаговые зоны всех трех сильнейших землетрясений: Чиликского, Кеминского и Верненского. По всему разрезу (рисунки 6, 7) отмечается повышенная мощность сиалического слоя, за исключением небольшого района к западу от хребта Турайгыр. Очаги землетрясений, вынесенные на разрез, совпадают в плане с повышенными объемами сиалического комплекса. Там же, где мощности сиалического и базитового слоев соразмерны, очаги отсутствуют.

Профильная геодинамическая модель литосферы по широтному геотраверсу 43° (рисунок 7) построена по простиранию сквозькоровой флексурно-разломной (очаговой) Северо-Тянь-Шаньской зоны, рассмотренной во многих работах, список которых приведен в монографии А. В. Тимуша [6]. Такой интерес к зоне связан, прежде всего, с положением в ней очаговых зон трех разрушительных землетрясений современности, а также постоянным генерированием ею землетрясений с  $M \approx 7$ , высокой сейсмической активности по слабым землетрясениям. Кровля гранито-гнейсового комплекса плавно вогнута в сторону дневной поверхности, а в восточной части



Рисунок 6 – Двумерная Р-скоростная модель земной коры и верхней мантии по Северо-Тянь-Шаньскому широтному (43°) геораверсу



Рисунок 7 – Геодинамическая модель литосферы по Северо-Тянь-Шаньскому широтному (43°) геотраверсу (условные обозначения см. рисунок 3)

профиля плавно синклинально изогнута. Самый мощный базитовый слой купола (20–30 км) имеет сложную по форме кровлю, включает овалы ультрабазитов и имеет спокойную, слегка выгнутую вверх кровлю маломощных (до 6 км) ультрабазитов. Крылья купола ограничены зонами крутопадающих на запад (Кемин-Ушконурским) и на восток (Корумды-Ойтальским) глубинных разломов, являющихся флюидоподводящими каналами, в результе чего в их зонах резко наращивается по вертикали базитовый слой (>30 км). Крутой восточный контакт трассируется не только через всю земную кору, но и продолжается в верхней мантии, ограничивая с востока слэб. На западном и восточном флангах профиля намечаются синклинорные прогибы за счет резкого уменьшения мощности базитого комплекса ( $V_{\rho} = 6,4-6,8$  км/с), увеличения мощности вулканогенно-осадочно-метаморфического ( $V_{\rho} < 6,0$  км/с) на восточном фланге, где профиль следует по северному склону Кунгей-Алатау и до 10 км на западном погружении Заилийского Алатау.

Контактируют Заилийский и Кунгей Алатау в районе меридиана 77° по сложной зоне поперечных Алматинского меридионального и Чилик-Кеминского перевального разломов, к востоку от которой поперечные северо-западные разломы падают на CB, а на западном фланге – северовосточные на C3. С этой сложной поперечной зоной, рассекающей центральную часть купола, связаны очаги Верненского (на пересечении с Заилийским разломом) и Кеминского (на пересечении с Чилик-Кеминским разломом) землетрясений. На восточном фланге с пересечением описываемой Северо-Тянь-Шаньской зоны с меридиональным разломом возник очаг Чиликского землетрясения.

Обращает на себя внимание особенность локализации горячих плюмов в интервале глубин 70–200 км, выявленная по широтному геотраверсу 43° вдоль структур Северного Тянь-Шаня. На западе от меридиана 75° и на востоке между 78° и 79° меридианами значительная по мощности подкоровая часть разреза занята активной мантией, а ниже – умеренно холодной (почти нормальной). И только в центре разреза (меридиан 77°) мощность активной мантии уменьшается. Но, по сути, под всей корой на разрезе выделяется сплошной близгоризонтальный слой активной мантии.

Из анализа скоростных и геодинамических моделей (рисунки 2–7) следует, что Тянь-Шаньский ороген выражен в рельефе земной поверхности и земной коре в виде сводового поднятия, сжимаемого прессингами – Таримским массивом и Казахским щитом. Возникновение свода, возможно, вызвано подъемом высокотемпературных масс (плюмов) из глубинных горизонтов.

Подкоровая и коровая сейсмичность Северо-Таримской очаговой зоны определяется ее положением в южной краевой части Тянь-Шаньского свода, связью с глубинными разломами Гиссаро-Кокшаальской разрывной системы и слэбом, расположенным под поверхностью Мохо на грубине около 15 км, омываемым плюмовыми потоками, послойным скольжением, особенно на разделе гранито-гнейсового и базитового слоев. В Северо-Тянь-Шаньской очаговой зоне сейсмичность только коровая. Очаги землетрясений также отнесены к границе гранито-гнейсового и базитового слоев.

Особенности строения литосферы орогенов и прилегающих платформ, сформированные ранее и подтвержденные настоящим исследованием на представительных материалах, заключаются в следующем:

• Консолидированная земная кора высокосейсмичных орогенов, что подтверждается положением очаговых зон сильных землетрясений, характеризуется аномально повышенной мощностью верхнего сиалического комплекса пород и, соответственно, пониженной мощностью нижнего базифицированного комплекса.

• Выявлено положение основных для региона плюмовых каналов из нижней мантии, вплоть до подкорового уровня, оказывающих главенствующее влияние на геодинамическую обстановку и сейсмический режим этого самого сложного узла орогенов в пределах континентальной коры Тянь-Шаня и прилегающих территорий.

• Установлено, что сложное гетерогенное поле V<sub>p</sub> под Тянь-Шанем обусловлено восходящими и нисходящими тепломассопотоками верхней мантии. Высокоскоростные объемы интерпретируются как охлажденные слэбы, опускающиеся в мантию под действием гравитации. Относительно низкоскоростные массы представляют собой активную (разогретую) мантию восходящих плюмовых тепломассопотоков. При продвижении вверх активная мантия занимает подкоровое пространство под орогенами, контролируя высокосейсмичные области.

• Повышенной сейсмической активностью могут обладать области контакта мощных блоков разного вещественного состава, особенно пород сиалического и мафического рядов, подстилаемых большими объемами активной подкоровой мантии, как это имеет место в Северо-Тянь-Шаньской области сильнейших землетрясений.

106 ====

#### ЛИТЕРАТУРА

[1] Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацилов В.И. Скоростные модели литосферы Высокой Азии по системе геотраверсов // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2. – С. 109-121.

[2] Шацилов В.И. Геофизические критерии сейсмической активности тектоносферы Тянь-Шаня // Проблемы предотвращения последствий разрушительных землетрясений. Доклады 1 каз-яп. семин. 25-28 июня 2001 г. – Алматы: Эверо, 2002. – С. 119-124.

[3] Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Рахымбаев М.М., Сыдыков А., Тимуш А.В., Шацилов В.И. Особенности структуры активной мантии территории Казахстана в связи с сейсмичностью // Современная геодинамика и сейсмичность Центральной Азии. – Вып. 3. – Иркутск, 2005. – С. 54-59.

[4] Шацилов В.И., Тимуш А.В., Степаненко Н.П., Кайдаш Т.М. Особенности строения литосферы Тянь-Шаня и прилегающих территорий // Геодинамические, сейсмологические и геофизические основы прогноза землетрясений и оценки сейсмического риска. Докл. Каз-Росс. конф. 22-24 июня 2004 г. – Алматы, 2005. – С. 118-129.

[5] Шацилов В.И., Горбунов П.Н., Белоусова Н.П., Степаненко Н.П. Строение тектоносферы Тянь-Шаня на основе новой геофизической информации // Inland Earthquake. – 1997. – Vol. 11, № 3. – С. 265-272.

[6] Тимуш А.В. Сейсмотектоника литосферы Казахстана. – Алматы, 2011. – 590 с.

#### REFERENCES

[1] Nusipov E.N., Ospanov A.B., Shatsilov V.I. High-speed models of a lithosphere of High Asia on system of geotraverses. Bulletin NNC RK, Iss. 2, 2005. P. 109-121. (in Russ.).

[2] Shatsilov V.I. Geophysical criteria of seismic activity tektonosfer of Tien Shan. Problems of prevention of consequences of destructive earthquakes. Reports 1 kaz-np. on June 25-28, 2001 Almaty: Evero, 2002. P.119-124. (in Russ.).

[3] Nusipov E.N., Ospanov A.B., Rakhymbayev M.M., Sydykov A., Timush A.V., Shatsilov V.I. Features of structure of an active cloak of the territory of Kazakhstan in connection with seismicity. Modern geodynamics and seismicity of Central Asia, Iss. 3. Irkutsk, 2005. P. 54-59. (in Russ.).

[4] Shatsilov V.I., Timush A.V., Stepanenko N.P., Kaydash T.M. Features of a structure of a lithosphere of Tien Shan and adjacent territories. Geodynamic, seismological and geophysical bases of the forecast of earthquakes and assessment of seismic risk. Rep. Kaz-Russ. Conf. On June 22-24, 2004 Almaty, 2005. P.118-129. (in Russ.).

[5] Shatsilov V.I., Gorbunov P.N., Belousov N.P., Stepanenko N.P. Structure of tectonosphere of Tien Shan on the basis of new geophysical information. Inland Earthquake, 1997. Vol.11, No. 3, P.265-272. (in Russ.).

[6] Timush A.V. Seismotectonics of a lithosphere of Kazakhstan. Almaty, 2011. 590 p. (in Russ.).

#### ВЕРНЕН, ШЕЛЕК, КЕМЕНДЕГІ ЖЕР СІЛКІНУЛЕРІНІҢ КІНДІК БЕЛДЕМДЕРІ АРҚЫЛЫ ӨТЕТІН ГЕОТРАВЕРСТЕР БОЙЫНДАҒЫ ЛИТОСФЕРАНЫҢ Р-ЖЫЛДАМДЫҚ МОДЕЛДЕРІ

#### Н. П. Степаненко, Т. М. Кайдаш, М. С. Төлеген

#### Сейсмология Институты, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жер кыртысы, литосфера, жылдамдык, белсенді мантия, нобайлау, терендік құрылымы.

Аннотация. Тянь-Шанньнің сейсмоактивті аймақтарының жер қыртысы мен жоғарғы мантиясына тән ерекшеліктерін анықтау мақсатында Солтүстік-Тянь-Шань қатпарлы облысында болған Верный, Шелек, Кемін атты күшті жер сілкіністерінің ошақтық зонасын кесіп өтетін екі меридиандық (77<sup>0</sup>,78<sup>0</sup>) және Солтүстік Тянь-Шанньдық ендіктік (43<sup>0</sup>) геотраверстердің бойында екіөлшемді Р-жылдамдық және геодинамикалық нобайлары жасалды.

Поступила 28.04.2015 г.

## Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

## www:nauka-nanrk.kz

## geology-technical.kz

Верстка Д. Н. Калкабековой

Подписано в печать 03.06.2015. Формат 70х881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф. 7,5 п.л. Тираж 300. Заказ 3.

Национальная академия наук РК 050010, Алматы, ул. Шевченко 28, т. 272-13-19, 272-13-18