

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

SERIES OF GEOLOGY AND TECHNICAL SCIENCES

ISSN 2224-5278

Volume 6, Number 408 (2014), 41 – 34

STRUCTURAL-VELOCITY CRITERIA OF SEISMIC HAZARD ASSESSMENT BASED ON THE P-VELOCITY MODEL OF LITHOSPHERE OF KAZAKHSTAN AND ADJACENT TERRITORIES

N. P. Stepanenko, T. M. Kaidash

Institute of seismology, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: nstep56@mail.ru

Key words: Earth's crust, bedding plane, consolidated crust, active mantle.

Abstract. Structural-velocity criteria for seismic hazard assessment based on the volume of P-velocity model of the lithosphere of Kazakhstan and adjacent territories of neighboring states are defined. When creating a model, the materials of fundamental and applied research on the deep structure and geodynamics of the lithosphere and seismically aseismic areas of Kazakhstan were used. As a result, the volume of P-velocity simulation obtained the possibility of comparative analysis and interpretation of the peculiarities of the internal structure of the crust and upper mantle, which significantly increases the amount of information about the study environment for solving scientific and practical seismology.

УДК 550.834(574)

СТРУКТУРНО-СКОРОСТНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ОБЪЕМНОЙ P-СКОРОСТНОЙ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ КАЗАХСТАНА И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Н. П. Степаненко, Т. М. Кайдаш

ТОО «Институт сейсмологии», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: земная кора, осадочный слой, консолидированная кора, активная мантия.

Аннотация. Приведены результаты объемного P-скоростного моделирования литосферы Казахстана и прилегающих территорий соседних государств. При создании модели использовались материалы фундаментальных и прикладных исследований по изучению глубинного строения и геодинамики литосферы сейсмоактивных и асейсмичных районов Казахстана. Проведен анализ и интерпретация особенностей внутренней структуры земной коры и верхней мантии в связи с сейсмичностью. Определены структурно-скоростные критерии оценки сейсмической опасности.

Одной из составных частей геофизической основы геодинамического районирования литосферы являются данные, характеризующие внутреннюю структуру земной коры и верхней мантии с помощью параметра – скорости распространения продольных волн. Изучение структуры скоростных моделей в пределах сейсмоактивных зон позволяют выявить некоторые региональные особенности сейсмичности и ее связь с глубинным строением.

В ходе исследований по созданию глубинной геофизической основы оценки сейсмической опасности по скоростным характеристикам земной коры и верхней мантии (глубинных сейсмических зондирований и профильной томографии) [1-4] была разработана объемная Р-скоростная модель литосферы Казахстана и прилегающих территорий соседних государств. Модель может быть представлена в виде срезов на различных гипсометрических уровнях, разрезов в любом требуемом направлении или набором структурных схем характерных скоростных уровней и мощности слоев между ними [4-6].

Наиболее информативными, с позиций возможности выявления контрастных внутрикоровых неоднородностей, влияющих на формирование пространственного режима сейсмичности, являются структурные схемы рельефа Р-скоростных уровней, составленные с интервалом 0,4 км/с для значений скоростей продольных волн V_p от 5,6 до 7,2 км/с, охватывающих весь диапазон консолидированной коры и верхней мантии (до скоростного уровня 8,0 км/с), а также мощности основных геофизических слоев земной коры и верхней мантии. Важнейшими из последних, имеющих непосредственное отношение к задачам геодинамического и тектонического районирования литосферы [7], являются мощность осадочного слоя (ограничен снизу скоростным уровнем 5,6 км/с), мощность сиалического (гранито-гнейсового) слоя (между скоростными уровнями 5,6 и 6,4 км/с), мощность базальтового слоя (между скоростными уровнями 6,4 и 7,2 км/с) и мощность активной мантии (между подошвой коры и скоростным уровнем 8,0 км/с).

Для количественной оценки мощности верхнего осадочного слоя земной коры применялась структурная схема Р-скоростного уровня 5,6 км/с, которую можно рассматривать как схему мощности верхнего осадочного слоя земной коры, поскольку разрез сверху начинается от нулевого гипсометрического уровня.

Структурная схема скоростного уровня 5,6 км/с (рисунок 1) достаточно точно отображает области наибольшего погружения подошвы осадочного слоя в Прикаспийском регионе. Так его мощность в пределах Прикаспийской впадины имеет значения более 16 км, в Южно-Каспийской впадине – 22–25 км. В Мугоджарах она составляет не более 2 км, в пределах Мангышлака и Устюрта – 4–8 км.

В центральной части Казахстана подошва осадочного слоя наиболее погружена в пределах Амударьинской впадины. Здесь его мощность составляет более 13 км, структура изолиний скорости 5,6 км/с хорошо выделяет зону распространения Репетекского прогиба, относящегося к южной окраине Центральных Каракумов, Предкопетдагского и Башкентского прогибов. В зоне Шалкарского прогиба отмечен еще один значительный максимум погружения чехла (более 8 км). Изолинии 2–4 км четко оконтуривают структуру Кызылкумского свода. В той части территории, где развита Северо-Тянь-Шаньская горная система, мощность осадочного слоя варьирует в пределах 3–5 км. Изолинии северо-западного простирания соответствуют положению ее основных хребтов и межгорных впадин. Понижение подошвы слоя на глубину более 5 км отмечено в Южно-Аральской, Айдарской впадинах, на юго-восточной периферии Приаральских Каракумов. Напротив, в областях, относящихся к сводам и поднятиям (Жусалинский свод, Северо-Аральское поднятие), а также в пустыне Кызылкум мощность слоя минимальна (менее 2 км).

Глубина погружения скоростного уровня 5,6 км/с в северо-восточной части Казахстана варьирует от нескольких сот метров до 5 км, что соответствует общепринятым представлениям о мощности осадочного чехла для платформенных территорий, к каковым относится большая часть исследуемого региона. Максимальная мощность слоя (более 5 км) наблюдается в районе Барабинской низменности и граничащей с ней Кулундинской равнины, относящихся к Западно-Сибирской плите. На Тургайском плато вдоль секущей его в субмеридиональном направлении Тургайской низменности его мощность составляет 3–4 км, так же как и в Тенизской впадине, прилегающей к ней с востока. В горных областях Алтая, в восточных отрогах Мугоджар, на возвышенностях и плато (Кокчетавская, Бийско-Чумышская возвышенности, Приобское плато)

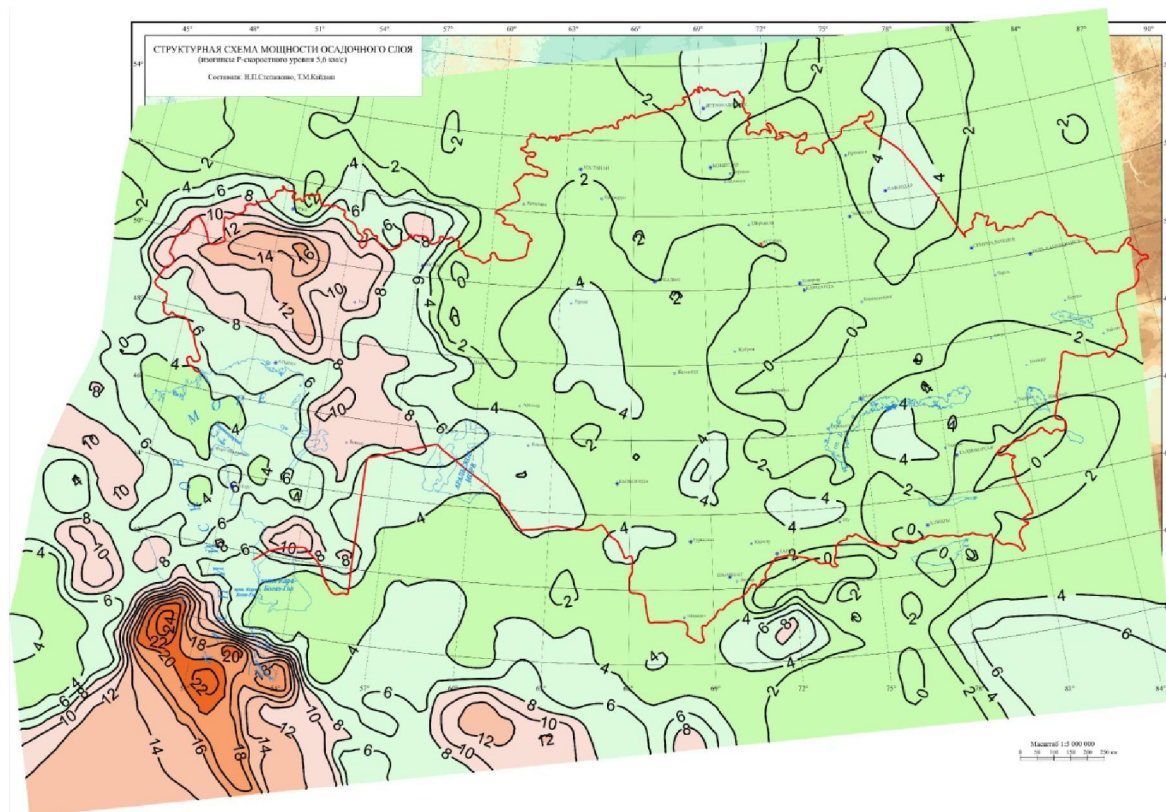


Рисунок 1 – Структурная схема мощности осадочного слоя земной коры (изогипсы Р-скоростного уровня 5,6 км/с)

мощность слоя минимальна (менее 1 км). Изогипсы 1 км хорошо оконтуривают выделенные здесь по геологическим данным тектонические структуры: Горно-Алтайскую, Рудно-Алтайскую, Западно-Саянскую и Салаирскую складчатые системы. Минимальная мощность слоя соответствует зоне Кокчетавского антиклинория, Уральской складчатой системе, Степнякскому мегасинклинию (1–2 км). Промежуточное положение по мощности слоя (2–3 км) занимает зона сочленения Чингиз-Тарбагатайского мегаантиклинория и Жарминского мегасинклиория. На Казахском щите и в орогенных областях Северного Тянь-Шаня мощность осадочного слоя практически равна нулю.

В целом, дифференциация значений мощности осадочного слоя в пределах территории, охваченной объемным Р-скоростным моделированием, подтверждает общепринятое представление об увеличении его мощности во впадинах и минимальных значениях на сводах и поднятиях. По характеру изогипс скоростного уровня 5,6 км/с выделяются основные тектонические структуры, относящиеся к исследуемому региону.

Одним из характерных признаков высокосейсмичной коры является наличие мощного сиалического комплекса (рисунок 2). На юго-востоке Казахстана в сейсмически активных орогенах Северного Тянь-Шаня его мощность достигает 40–43 км. В Джунгарии она составляет более 35 км. На локальном участке северо-восточного простирания от хребта Каратау через пустыню Бетпак-Дола также зафиксировано повышение мощности слоя до 30–35 км. Вдоль этой линии в разное время зафиксированы землетрясения с магнитудой $M = 4-5$. Еще один участок с аномально увеличенной мощностью сиалического слоя расположен на пересечении меридиана 78° и широты 50° , куда приурочены очаги землетрясений с магнитудой $M = 5$.

В Прикаспийском регионе наибольшая мощность сиалического слоя, достигающая значений 16–21 км, отмечена в пределах Астраханско-Эмбенского района Русской плиты, на северо-восточной периферии Большого Кавказа, в пределах Уральско-Мугоджарского эпиплатформенного орогена, в полосе юго-западного простирания от южного Приаралья до Копетдага, на северо-западной периферии Терско-Каспийской зоны эпигеосинклинального орогенеза, на западе Прикаспийской впадины. Более обширные по площади территории с повышенной мощностью слоя отмечены в полосе северо-восточного простирания от восточной туркменской периферии Южно-

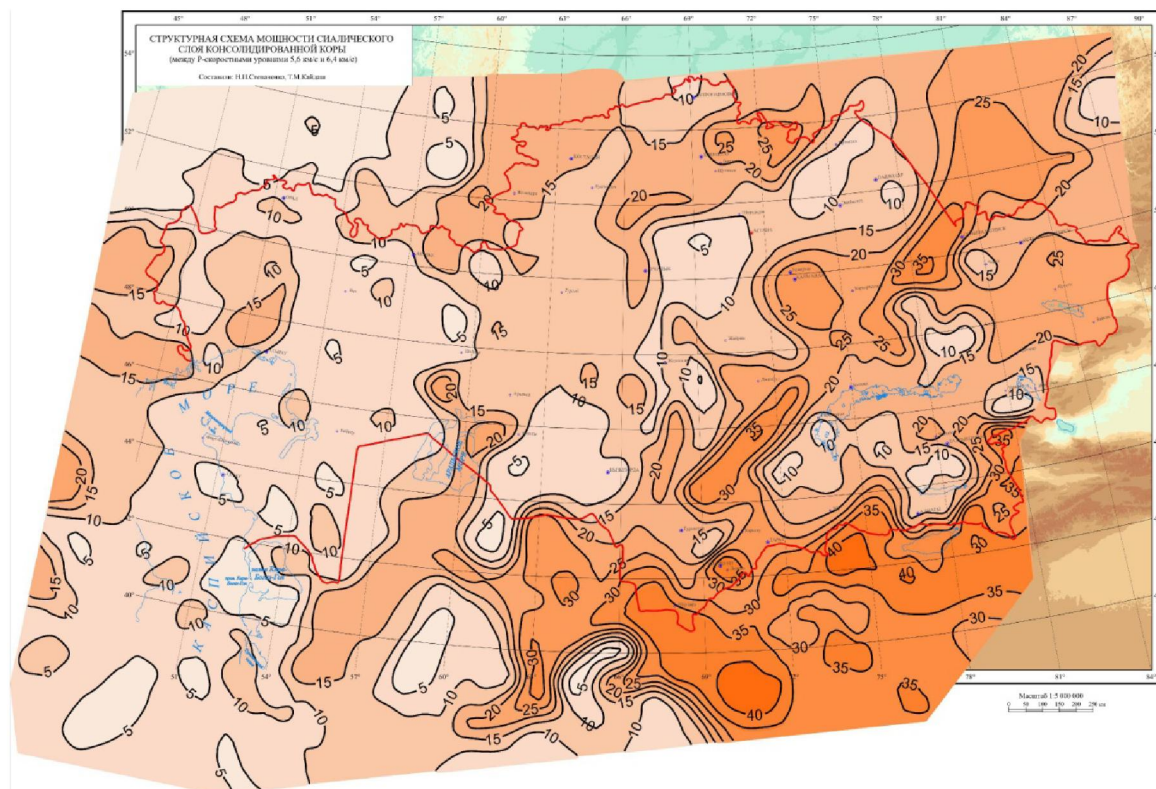


Рисунок 2 – Структурная схема мощности сиалического слоя консолидированной коры (между Р-скоростными уровнями 5,6 и 6,4 км/с)

Каспийской впадины до южного Приаралья, а также на северо-восточной периферии региона. Наименьшие значения мощности слоя (<5 км) выделены за северной периферией Прикаспийской впадины, в центральной части Карабогазского свода, в Предкопетдагском прогибе. Остальная территория Прикаспийского региона характеризуется равномерным чередованием разноориентированных зон с диапазонами значений мощности слоя от 5–10 до 10–15 км.

В подавляющем большинстве случаев зонам повышенной мощности сиалического слоя соответствуют зоны аномально малых значений мощности нижележащего базальтового слоя. Учитывая небольшую общую мощность коры в Прикаспийском регионе, за исключением Кавказа, указанные соотношения свидетельствуют о преобладании в мощности коры базальтового комплекса.

Базальтовый слой характеризуется умеренными утолщениями до 30 км на сопредельной с Прикаспийской впадиной территории Восточно-Европейской платформы, в районах Астрахани, Атырау и на Северном Кавказе со смещением на северо-восток относительно утолщений сиалического (гранито-гнейсового) слоя (рисунок 3). На северном обрамлении Прикаспийской впадины мощность слоя увеличивается до 30 км, а в районах по обе стороны Южного Урала, севернее Мугоджар, в Тургайском прогибе и в Каракумах на меридиане Ашхабада локально увеличивается до 26–30 км. В пределах Карабогаза отмечено локальное увеличение его мощности до 20 км, фиксирующее центральную часть одноименного нижнекорового выступа. Наиболее контрастно (до 35 км) увеличение мощности слоя в районе Мугоджар, так же контрастно выделяющееся в вышележащем слое с некоторым смещением на северо-запад, фиксируя здесь самый мощный для региона выступ нижнекоровых слоев. Увеличение мощности базальтового слоя до 30 км отмечено на небольшом участке, расположенном между западными отрогами Памира (Заравшанский хребет) и пустыней Каракумы. В северо-западной и восточной частях Казахского мелкосопочника также фиксируется увеличение его мощности до 30 км. На юго-востоке Казахстана в орогенных областях Северного Тянь-Шаня мощность базальтового слоя минимальна и составляет 5–10 км.

В целом структурные планы верхней и нижней частей коры являются как бы антиподами по соотношениям мощности на платформе и в орогене: в орогенах мощность сиалического комплекса

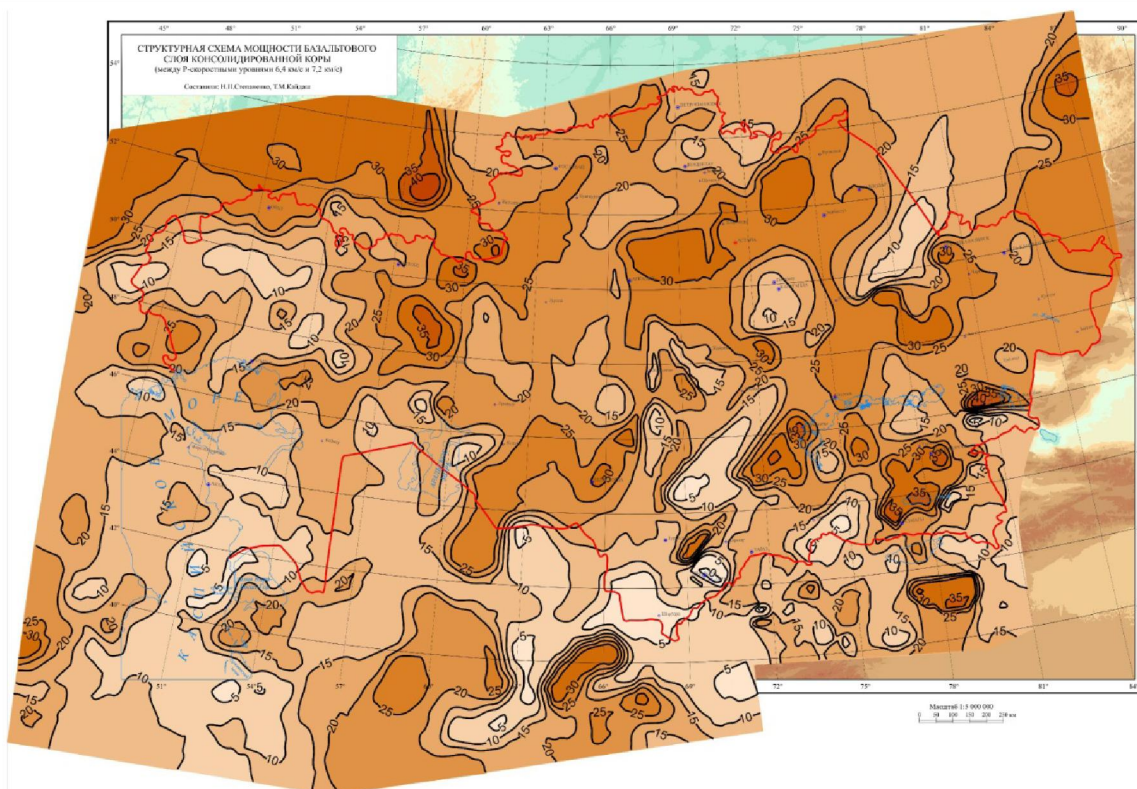


Рисунок 3 – Структурная схема мощности базальтового слоя консолидированной коры (между Р-скоростными уровнями 6,4 и 7,2 км/с)

максимальна, мощность базальтового комплекса составляет в среднем одну треть от вышележащего слоя.

Таким образом, консолидированная земная кора орогенов, которые на юго-востоке Казахстана практически все высокосейсмичны, характеризуется аномально повышенной мощностью верхнего сиалического комплекса пород и, соответственно, пониженной мощностью нижнего базифицированного комплекса. Типичная платформенная слабосейсмичная кора с примерно равным соотношением мощностей сиалического и базифицированного комплексов характерна для центральной и восточной частей Туранской плиты, Тургайского плато, Казахского щита.

Одним из важных критериев оценки сейсмической опасности и выделения сейсмогенерирующих зон является мощность активной мантии (между подошвой коры и скоростным уровнем 8,0 км/с). Под активной мантией подразумевается мантия, отличающаяся повышенной активностью протекания в ней физико-химических реакций, что обуславливает целый спектр геодинамических процессов, в том числе высокую коровую сейсмичность. Понятие активной мантии и его экспериментальное обеспечение обоснованы в работах [8, 9].

В мантии сейсмически активных территорий выявлено сложное гетерогенное поле скорости (V_p), характеризующееся серией чередующихся неоднородностей, аномально высоко- и низкоскоростных по отношению к нормальным значениям. Высокоскоростные включения интерпретируются как охлажденные протоплюмы (слэбы), испытывающие в настоящее время опускание под действием гравитации, а низкоскоростные – как восходящие потоки (плюмы) разогретого вещества мантии (глубинные энерговоды) [10-12]. При продвижении вверх разогретое вещество мантии постепенно занимает весь подкоровый объем в пределах орогена, контролируя его высокосейсмичные территории. На юго-востоке Казахстана с прилегающими территориями Китая и Кыргызстана при помощи метода сейсмической томографии были получены сведения о скоростной структуре верхней мантии [13].

Структурная схема мощности активной мантии представлена на рисунке 4.

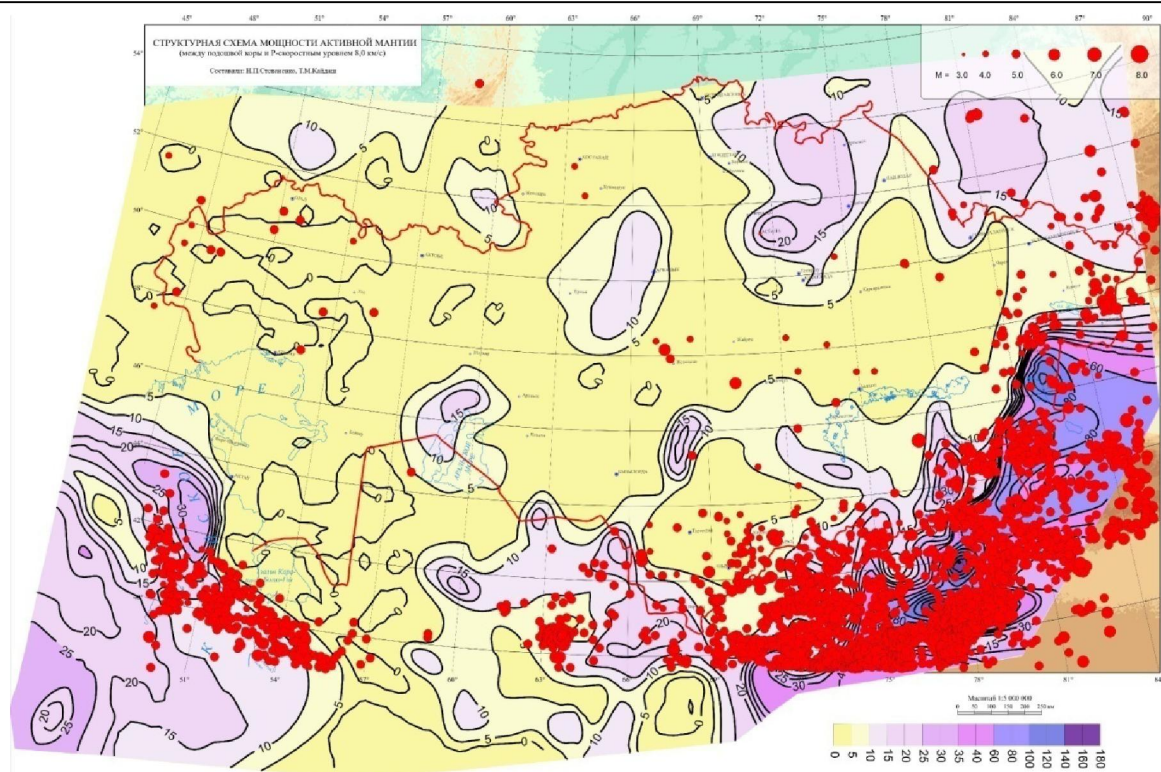


Рисунок 4 – Структурная схема мощности активной мантии (между подошвой коры и скоростным уровнем 8,0 км/с) с эпицентрами землетрясений с магнитудой $3 \leq M \leq 8$

Самая большая по площади и мощности (до 32 км) зона активной мантии в Прикаспийском регионе простирается с северо-запада на юго-восток в пределах Терско-Каспийского и Апшеронского прогибов центральной части акватории Каспия, контролирует в пространстве нижний уровень кавказской субдукции. Менее мощная (до 24 км) активная мантийная зона прослеживается в Куринской впадине, достигая западной периферии Южно-Каспийской впадины. Две эти зоны охватывают практически весь сейсмоактивный Кавказ. Кроме того, заслуживают внимания локальные фрагменты зон активной мантии на севере, северо-востоке и юго-востоке Прикаспийского региона, контролирующие соответственно умеренные зоны Предуралья, Зауралья и Копетдага. Зоны с переходными значениями мощности активной мантии (4–6 км), указывающие на возможную слабую сейсмичность, выделены в осевой части структур Урала, в Акватории Арала и южном Приаралье, а так же в северном Прикаспии.

Территорию центральной части Казахстана с прилегающими районами Узбекистана, судя по присутствию здесь слоя активной мантии, за исключением локальных участков в зоне Тургайского плато, можно отнести к сейсмически активной. Орогены Южного Тянь-Шаня с мощностью активной мантии более 20 км являются высокосейсмичными. Известные Газлийские землетрясения 1976 и 1984 гг. произошли в Бухаро-Газлийском сеймотектоническом регионе, в зоне сочленения Бухарской ступени и Газлийского поднятия. Здесь также земная кора подстилается слоем активной мантии повышенной мощности 10–12 км.

На схему мощности активной мантии вынесены очаги землетрясений с магнитудой $M = 3-8$, произошедших на исследуемой территории с 350 до 2012 гг. При визуальном сопоставлении объемов активной мантии и очагов землетрясений установлена важная закономерность: очаги сильных ($M \geq 6$) и умеренных ($3 \leq M < 6$) землетрясений повсеместно фиксируются в пределах орогенов, подстилаемых слоем активной мантии повышенной мощности ($H > 5$ км), на асейсмичных территориях активная мантия отсутствует ($H=0$ км), а в переходных зонах от асейсмичных к высокосейсмичным активная мантия выклинивается ($0 \text{ км} \leq H \leq 5 \text{ км}$).

Связь пространственного положения очагов сильных и умеренных землетрясений с наличием объемов активной мантии подтверждает возможность рассматривать присутствие активной мантии

в качестве одного из критериев современной геодинамической нестабильности литосферы и выделения по ним сейсмогенерирующих зон.

Таким образом, в результате объемного Р-скоростного моделирования литосферы Казахстана получена возможность анализа и интерпретации особенностей внутренней структуры земной коры и верхней мантии и выделения по ним сейсмогенерирующих зон. Это значительно увеличивает объем информации об исследуемой среде и надежность выявления в ней петрофизических, геотектонических и геодинамических критериев при обобщениях и районированиях при решении задач научно-практической сейсмологии.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шацкилов В.И. Строение земной коры и верхней мантии Северного Тянь-Шаня // Сейсмические модели литосферы основных геоструктур территории СССР. – М.: Наука, 1980. – С. 116-120.
- [2] Шацкилов В.И. Сайилбекова А.М. Профильная томография литосферы Тянь-Шаня по материалам региональной сейсмологии // Доклады НАН РК. – 1994. – № 6. – С. 47-52.
- [3] Шацкилов В.И., Горбунов П.Н., Степаненко Н.П. и др. Скоростные модели земной коры Казахстана. – Алматы: Евразия, 1993. – 105 с.
- [4] Степаненко Н.П., Кайдаш Т.М., Белоусова Н.П., Шершнева В.В. 3D Р-скоростное моделирование литосферы центральной части Казахстана с прилегающими территориями // Известия НАН РК. – 2012 – № 3. – С. 68-74.
- [5] Нусипов Е.Н., Кайдаш Т.М., Степаненко Н.Н., Шацкилов В.И. Объемное Р-скоростное моделирование литосферы Каспийского региона // Геология и охрана недр. – 2000. – № 1. – С. 52-59.
- [6] Stepanenko N., Kaidash T., Belousova N. 3D P-wave velocity modeling of the lithosphere of Kazakhstan // Collection of papers abstract. – Urumqi, China, SEPT. 23-26, 2013. – P. 234-235.
- [7] Сейсмическое районирование территории СССР // Методические основы и региональное описание карты 1978 г. – М.: Наука, 1980. – 308 с.
- [8] Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Рахымбаев М.М. и др. Особенности структуры активной мантии территории Казахстана в связи с сейсмичностью // Современная геодинамика и опасные природные процессы в Центральной Азии. – Иркутск, 2005. – Вып. 3. – С. 54-59.
- [9] Шацкилов В.И. Региональные особенности строения земной коры в связи с сейсмичностью // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. – Алматы: Эверо, 2000. – С. 65-74.
- [10] Пушаровский Ю.М., Новиков В.Л., Савельев А.А., Фадеев В.Е. Неоднородности и конвенция в тектоносфере // Геотектоника. – 1999. – № 5. – С. 3-8.
- [11] Шацкилов В.И., Горбунов П.Н. Глубинная структура земной коры Джунгаро-Северо-Тянь-Шаньского и Каратауского регионов // Сейсмическое районирование Республики Казахстан. – Алматы: Эверо, 2000. – С. 75-96.
- [12] Sh. Maruyama Plume tectonics // J.G.S. – Japan, 1994. – Vol. 100, N 1. – P. 24-49.
- [13] Нусипов Е.Н., Оспанов А.Б., Шацкилов В.И. Скоростные модели литосферы Высокой Азии по системе геотраверсов // Вестник НЯЦ РК. – 2005. – Вып. 2. – С. 109-121.

REFERENCES

- [1] Shacilov V.I. Stroenie zemnoj kory i verhnjej mantii Severnogo Tjan'-Shanja. *Sejsmicheskie modeli litosfery osnovnyh geostuktur territorii SSSR. Moskva: Nauka*, 1980. S. 116-120. (in Russ.).
- [2] Shacilov V.I. Sajjilbekova A.M. Profil'naja tomografija litosfery Tjan'-Shanja po materialam regional'noj sejsmologii. *Doklady NAN RK*. 1994. №6. S. 47-52. (in Russ.).
- [3] Shacilov V.I., Gorbunov P.N., Stepanenko N.P. i dr. *Skorostnye modeli zemnoj kory Kazahstana*. Almaty: Evrazija, 1993. 105 s. (in Russ.).
- [4] Stepanenko N.P., Kajdash T.M., Belousova N.P., Shershnev V.V. 3D R-skorostnoe modelirovanie litosfery central'noj chasti Kazahstana s prilegajushhimi territorijami *Izvestija Nacional'noj Akademii Nauk Respubliki Kazahstan* 2012 g., №3. S. 68-74. (in Russ.).
- [5] Nusipov E.N., Kajdash T.M., Stepanenko N.N., Shacilov V.I. Ob#emnoe R-skorostnoe modelirovanie litosfery Kaspijskogo regiona *Geologija i ohrana neдр*. 2000. №1. S. 52-59. (in Russ.).
- [6] Stepanenko N., Kaidash T., Belousova N. 3D P-wave velocity modeling of the lithosphere of Kazakhstan *Collection of papers abstract. Urumqi, China*, SEPT. 23-26, 2013. P. 234-235. (in Engl.).
- [7] Sejsmicheskoe rajonirovanie territorii SSSR. *Metodicheskie osnovy i regional'noe opisanie karty 1978 g.* Moskva: Nauka, 1980. 308 s. (in Russ.).
- [8] Nusipov E.N., Ospanov A.B., Rahymbaev M.M. i dr. Osobennosti struktury aktivnoj mantii territorii Kazahstana v svjazi s sejsmichnost'ju. *Sovremennaja geodinamika i opasnye prirodnye processy v Central'noj Azii*, Irkutsk, 2005. Vyp.3. S. 54-59. (in Russ.).
- [9] Shacilov V.I. Regional'nye osobennosti stroenija zemnoj kory v svjazi s sejsmichnost'ju. *Sejsmicheskoe rajonirovanie Respubliki Kazahstan*. Almaty: Jevero, 2000. S. 65-74. (in Russ.).
- [10] Pushharovskij Ju.M., Novikov V.L., Savel'ev A.A., Fadeev V.E. Neodnorodnosti i konvencija v tektonosfere. *Geotektonika*, 1999. № 5. S. 3-8. (in Russ.).

[11] Shacilov V.I., Gorbunov P.N. Glubinnaja struktura zemnoj kory Dzhungaro-Severo-Tjan'-Shan'skogo i Karatauskogo regionov. *Seismicheskoe rajonirovanie Respubliki Kazahstan*. Almaty: Jevero, 2000. S. 75-96. (in Russ.).

[12] Sh. Maruyama Plume tectonics. *J.G.S. Japan.*, 1994. Vol.100, № 1. R. 24-49. (in Engl.).

[13] Nusipov E.N., Ospanov A.B., Shacilov V.I. Skorostnye modeli litosfery Vysokoj Azii po sisteme geotraversov. *Vestnik NJaC RK*, вып. 2, 2005. S. 109-121. (in Russ.).

ҚАЗАҚСТАННЫҢ ЛИТОСФЕРАСЫН ЖӘНЕ ОНЫМЕН ІРГЕЛЕС АЙМАҚТАРДЫҢ СЕЙСМИКАЛЫҚ ҚАУПТІЛІГІН КӨЛЕМДІ Р-ЖЫЛДАМДЫҚТЫ ҮЛГІНІҢ НЕГІЗІНДЕ БАҒАЛАУДЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ЖЫЛДАМДЫҚТЫ ШАРТТАРЫ

Н. П. Степаненко, Т. М. Кайдаш

Сейсмология институты, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: жер қыртысы, шөкпе қабат, шоғырланған жер қыртысы, активті мантия.

Аннотация. Қазақстанның литосферасын және онымен іргелес көрші мемлекеттердің аймақтарын көлемді Р-жылдамдықты үлгілеудің нәтижелері келтірілген. Үлгіні жасағанда Қазақстанның терең құрылымды және сілкінгіштігі жоғары және сілкінгіштігі төмен литосфераларының геодинамикасының іргелі және қосалқы зерттеулерінің мәліметтері пайдаланылды. Жер қыртысының ішкі құрылымының ерекшеліктерімен және жоғарғы мантияның сейсмикалық байланыстары сараланып, талданды. Сейсмикалық қауіпті бағалаудың құрылымды-жылдамдықты өлшемі анықталды.

Поступила 27.11.2014 г.