

УДК 551.42

Омуралиева А.

*Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан***ЛОКАЛЬНАЯ СКОРОСТНАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ ПО ДАННЫМ ЦИФРОВЫХ СТАНЦИЙ СЕТЕЙ KRNET (ИС НАН КР), KNET (ИС РАН) В ТЕЧЕНИЕ 2020 Г.**

Аннотация. Изложены результаты разработки методики изучения локальных скоростных неоднородностей земной коры Тянь-Шаня, представляющая собой вариант детальной сейсмической томографии. Приведены карты-схемы горизонтальных разрезов локальных скоростных неоднородностей земной коры (на глубинах 5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 25-30 км, 30-35 км) Тянь-Шаня, а также модели локальных неоднородностей по вертикальному разрезу на меридиане землетрясения Кемин (1911 г., $K_R=17.8$, $M_{LH}=8.2$) по параметрам: V_p , V_s , V_p/V_s , коэффициента Пуассона, плотности ρ , модуля сжатия K , модуля сдвига или жёсткости μ . Отмечено изменение скоростных неоднородностей активных структур Тянь-Шаня во времени.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмические волны, сейсмическая томография, скоростная неоднородность, коэффициент Пуассона, плотность, модуль сжатия, модуль сдвига или жёсткости.

2020-ЖЫЛ ИЧИНДЕ KRNET, KNET ТАРМАКТАРЫНЫН САНАРИПТИК СТАНЦИЯЛАРЫ БОЮНЧА БОРБОРДУК ТЯНЬ-ШАНДЫН ЛОКАЛДЫК ЫЛДАМДЫГЫНЫН АР ТҮРДҮҮЛҮГҮ

Кыскача мазмуну. Деталдуу сейсмикалык томографиянын бир варианты болгон Тянь-Шань кыртышынын локалдык ылдамдыгынын ар түрдүүлүгүн изилдөө методологиясын иштеп чыгуунун натыйжалары берилген. Тянь-Шань жер кыртышынын локалдык ылдамдык ар түрдүүлүгүнүн горизонталдык кесилиштеринин (5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 25-30 км, 30-35 км тереңдиктерде) карта-схемалары, ошондой эле Кемин жер титирөөнүн (1911, $K_R=17.8$, $M_{LH}=8.2$) меридианындагы V_p , V_s , V_p/V_s , Пуассон катышы, тыгыздык ρ , кысуу модулу K , жылуу модулу же катуулугу μ параметрлери боюнча вертикалдык кесилиш локалдык ылдамдык ар түрдүүлүгүнүн моделдери көрсөтүлгөн. Убакыттын өтүшү менен Тянь-Шандын активдүү структураларынын ылдамдыгынын ар түрдүүлүгүнүн өзгөрүүсү белгиленди.

Негизги сөздөр: жер титирөө, сейсмикалык толкундар, сейсмикалык томография, ылдамдыктын ар түрдүүлүгү, Пуассон коэффициенти, тыгыздык, кысуу модулу, жылышуу же катуулук модулу.

LOCAL VELOCITY HETEROGENEITY OF THE CENTRAL TIEN SHAN ACCORDING TO DIGITAL STATIONS OF THE KRNET (IS NAS KR), KNET (RS RAS) NETWORKS DURING 2020

Abstract. The results of the study of local velocity heterogeneities of the Tien-Shan crust are given in the paper. This method is a variant of detailed seismic tomography. Map-scheme of horizontal sections of local velocity heterogeneities of the Tien-Shan's crust (at depths of 5-10 km, 10-15 km, 15-20 km, 20-25 km, 25-30 km, 30-35 km), as well as vertical section of local heterogeneities along the Kemin earthquake (1911, $K_R=17.8$, $M_{LH}=8.2$) by next parameters: V_p , V_s , V_p/V_s , Poisson's ratio, density ρ , compression modulus K , shear modulus or modulus of rigidity μ . The velocity heterogeneities change of the Tien-Shan's active structures in time is noted.

Keywords: earthquake, seismic waves, seismic tomography, velocity heterogeneity, Poisson's ratio, density, bulk modulus, shear modulus or modulus of rigidity.

Построение скоростных неоднородностей литосферы Тянь-Шаня и прослеживание этих неоднородностей во времени, по мере проявления очагов землетрясений в пределах активных структур является важной проблемой.

В 1993 г. была построена первая региональная (мелкомасштабная) трёхмерная модель земной коры и подкоровой части литосферы Тянь-Шаня с помощью сейсмической томографии [1] по данным аналоговых станций ИС НАН КР и цифровых станций сети KNET (НС РАН). После начались работы по составлению детальной модели скоростных неоднородностей, например, центральной части Северного Тянь-Шаня на основе записей сети KNET (НС РАН) сейсмических волн землетрясений и взрывов [2] с привлечением данных станций Китая. В 1998-2000 гг. сейсмическая сеть расширена включением 28 американских цифровых станций, установленных по проекту CHENGIS. В 2001-2004 гг. по имеющимся данным продолжены расчёты сейсмической томографии по методу Стива Рёкера [3, 4]. Построены скоростные модели земной коры и верхней мантии по семи меридиональным профилям, пересекающим Таримскую плиту, Тянь-Шань и Казахский щит [5]. В 2006 г. обобщены трёхмерные скоростные модели земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня, построенные методом сейсмотомографии до глубин 200 км [6].

По точным записям цифровых станций сетей KNET, CHENGIS, IRIS/GSN (TLG) и GEOSCOPE (WUS) был проведён расчёт сейсмической томографии [7] по методу Zhao et al. [8] и построена трёхмерная модель скоростной неоднородности Центрального Тянь-Шаня. В дальнейшем точные данные цифровых станций сети KNET (НС РАН) позволяли достоверно определить скорости сейсмических волн очагов землетрясений северной части Центрального Тянь-Шаня и построить модели локальной скоростной неоднородности земной коры [9]. На южной части Среднего Тянь-Шаня на меридиане озёр Чатыркол–Сонкол Российской академией наук и др. проведён комплексный геофизический (МОВ-ОГТ, МОВЗ и сейсмотомографии) профиль «MANAS», выделены вертикальные и латеральные скоростные неоднородности земной коры [10].

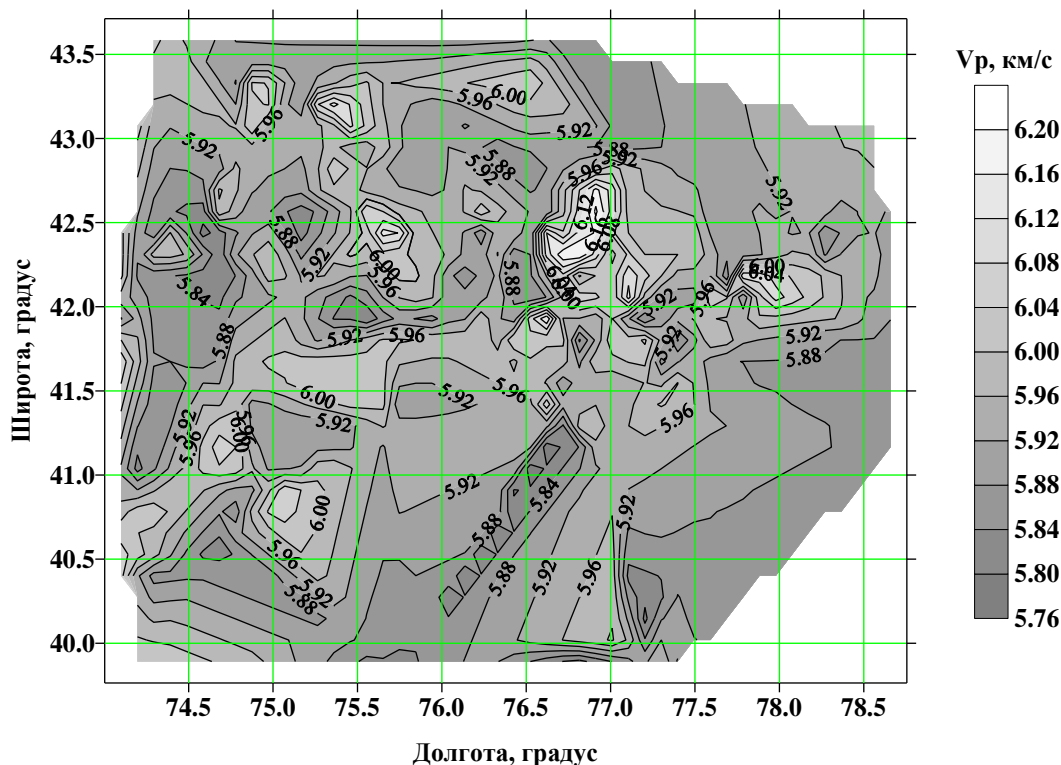
Исходными данными исследований служат записи цифровых сейсмических станций, сейсмические бюллетени и каталог землетрясений Института сейсмологии НАН КР [11]. Параметры продольной волны изучались по записи Z –компоненты (вертикальной), а параметры поперечной волны – по записи одной из компонент с наилучшим соотношением «сигнал/шум». Оценивались значения σ_{rms} – среднеквадратическое отклонение времён пробега наблюдаемых и вычисленных (погрешность), σ_e – стандартное отклонение от времени вступления, d – класс точности определения эпицентра, she – 68%-ный доверительный интервал в определении положения эпицентра, глубина события, определяемая по заложенным скоростным моделям (depth) и по методике, заложенной в программе Hypoellipse [12] (hz), sez – 68%-ный доверительный интервал в определении глубины и т.д.

Методика исследования является вариантом детальной сейсмической томографии. Определялись скорости сейсмических волн каждого очага путём составления индивидуальных годографов. Значения скоростей относились к гипоцентрам землетрясений и с помощью компьютерных программ составлены комплексы карт-схем горизонтальных разрезов - двухмерных локальных скоростных неоднородностей V_p , V_s , V_p/V_s по интервалам глубин: 5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 25-30 км и 30-35 км (рисунки 1, 3, 4). Выделены относительно высокоскоростные, низкоскоростные и переходные локальные скоростные неоднородности на каждом горизонте глубин Тянь-Шаня. Они приурочены к разным частям активных структур земной коры. Распределение их имеет мозаичный характер. Система горизонтальных

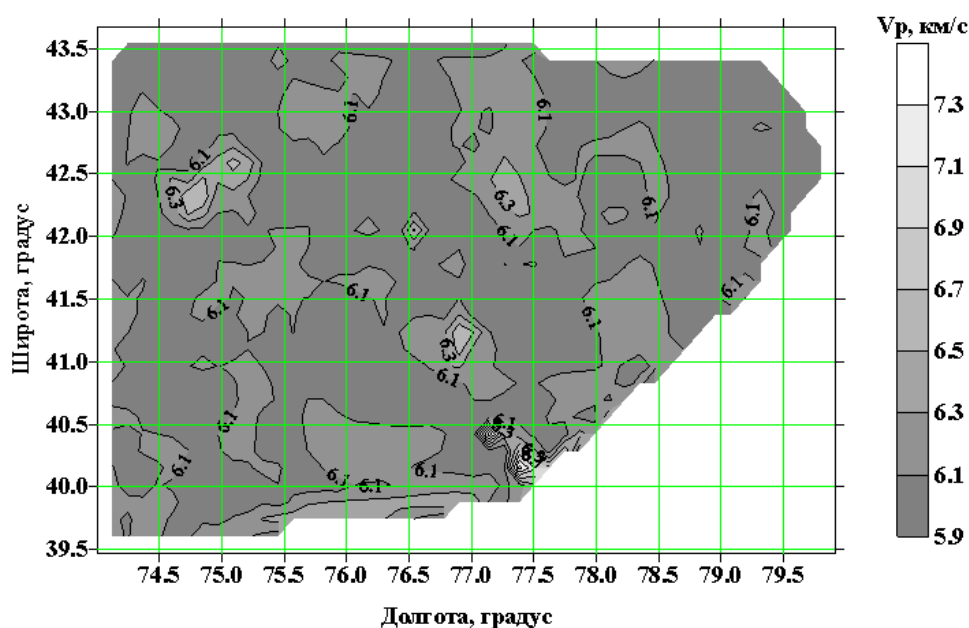
разрезов - двумерных скоростных неоднородностей представляют собой трёхмерные скоростные локальные неоднородности Тянь-Шаня. Одновременно составлялись карты-схемы времени проявления локальных неоднородностей (рисунок 2), а также вертикальные разрезы локальных неоднородностей по параметрам: V_p , V_s , V_p/V_s , коэффициента Пуассона, плотности ρ , модуля сжатия K , модуля сдвига μ , в частности на меридиане крупного землетрясения Кемин (1911 г., $K_R=17.8$, $M_{LH}=8.2$) (рисунки 5-12).

Рассмотрим системы горизонтальных разрезов - двумерных скоростных V_p локальных неоднородностей (рисунок 1).

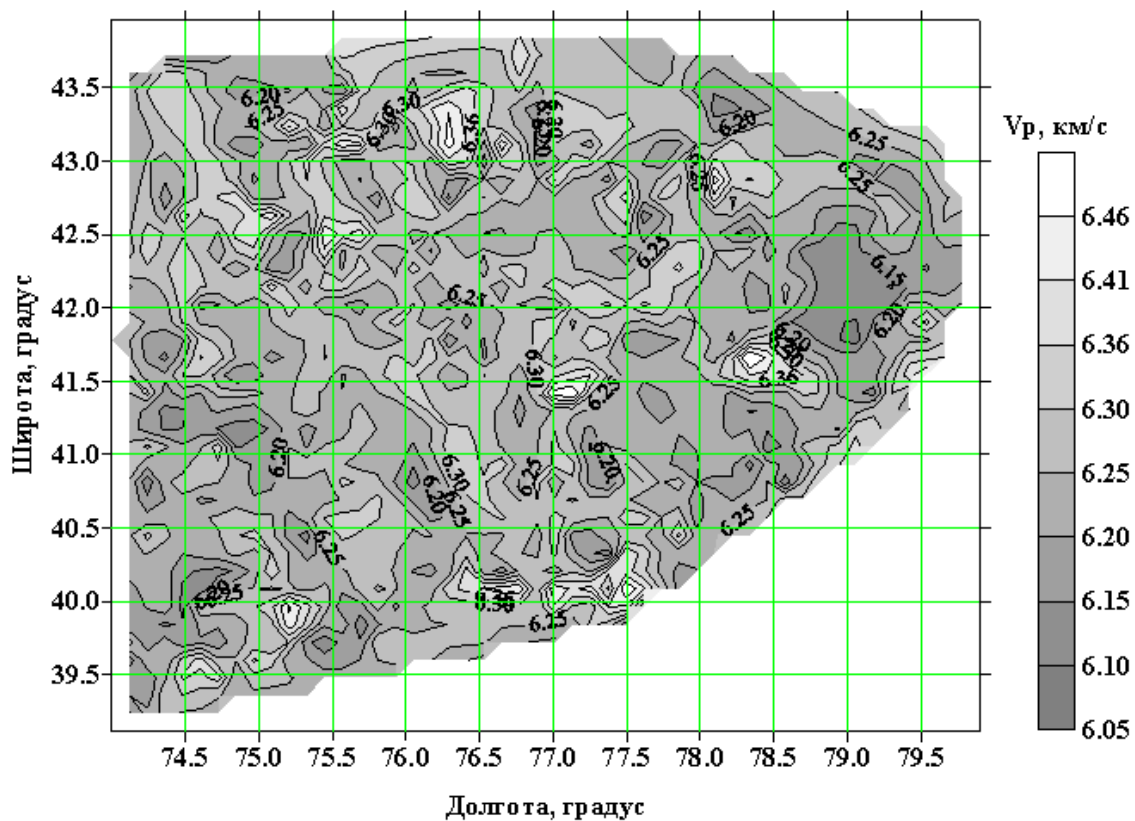
А



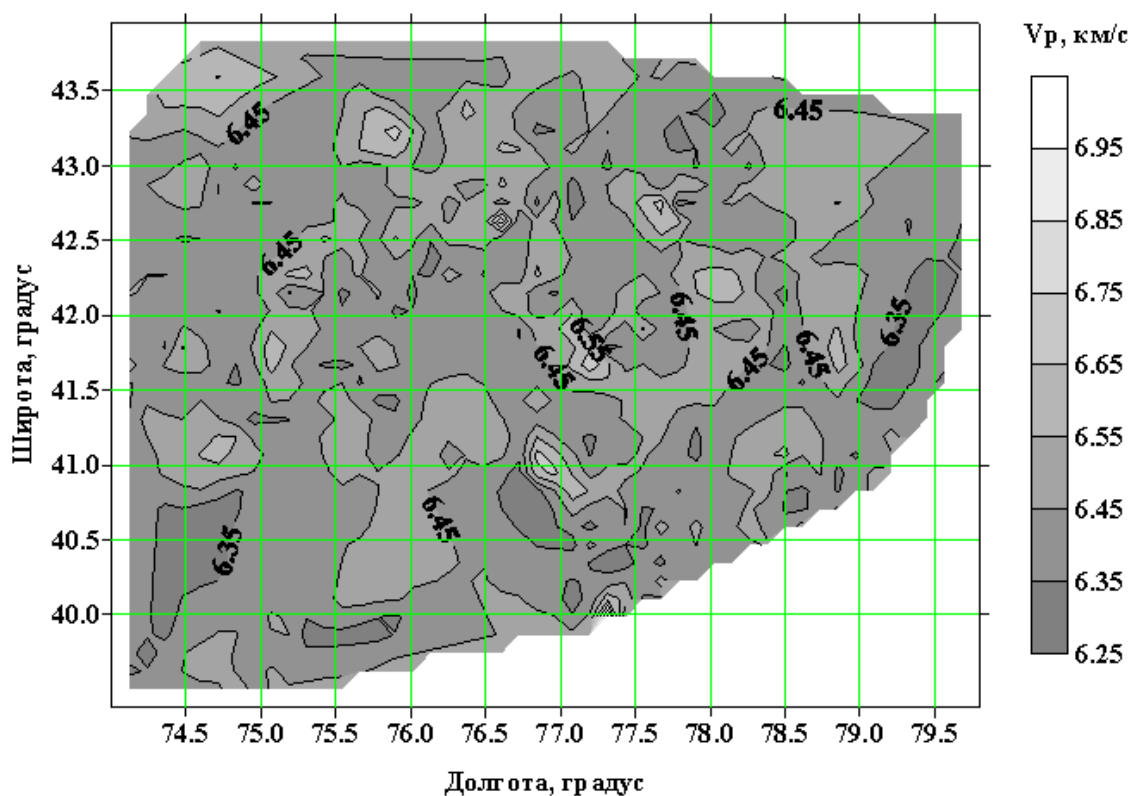
Б



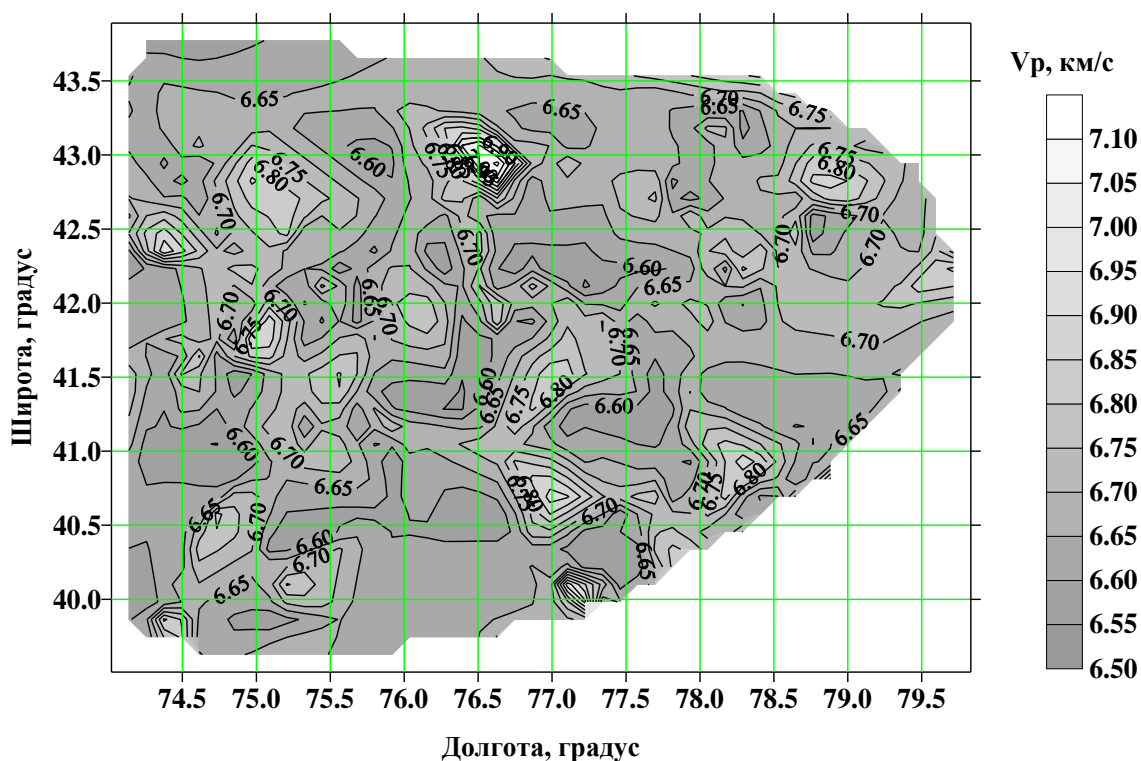
В



С



Д



Е

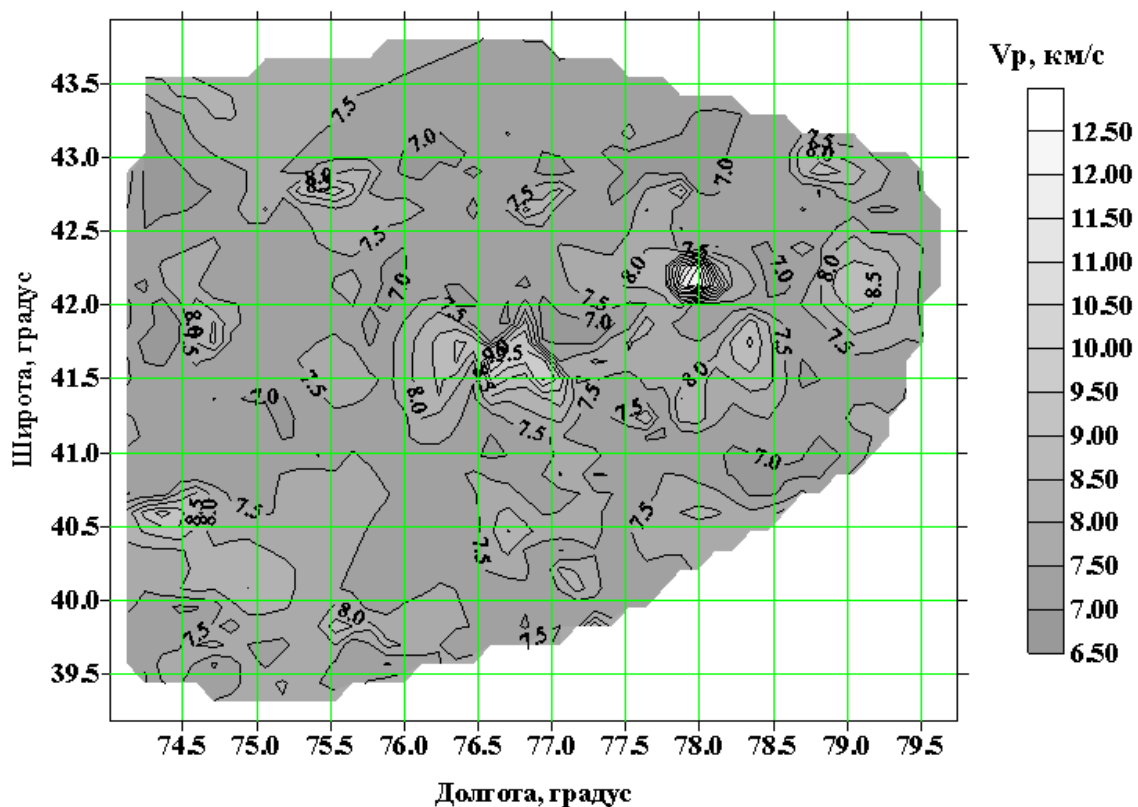


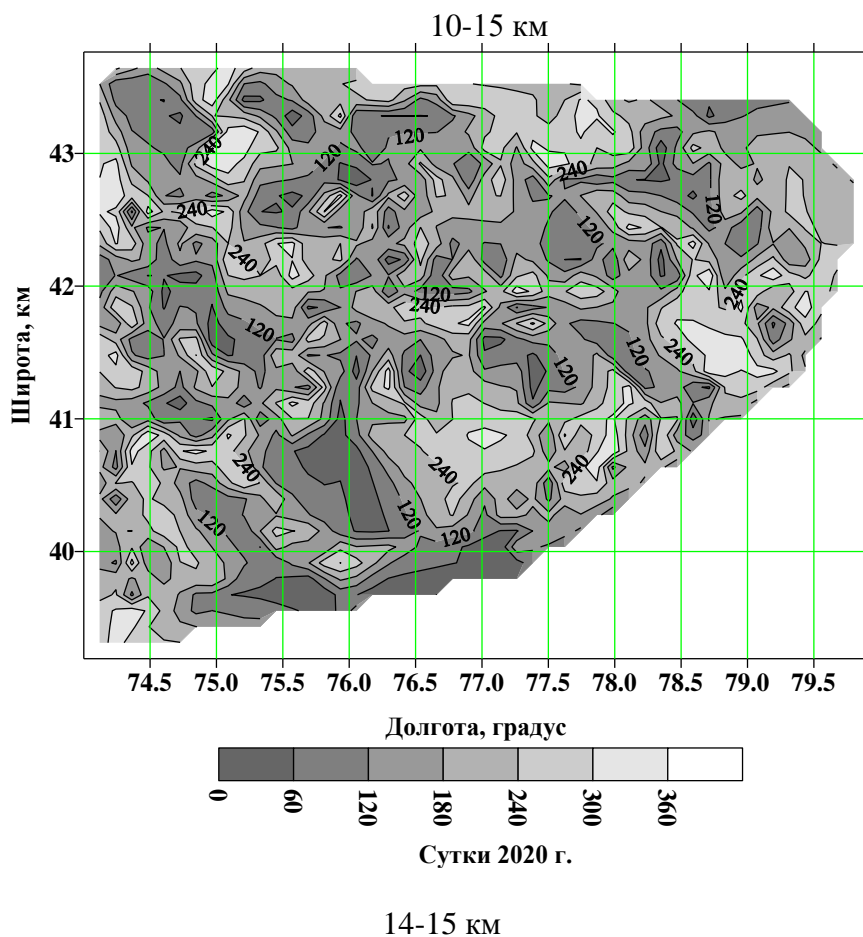
Рисунок 1. Карта - схема локальных скоростных неоднородностей (в течение 2020 г.) по продольным сейсмическим волнам V_p (км/с) очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на горизонтальных разрезах - глубинах: А- 5-10 км, Б-10-15 км, В-15-20 км, С-20-25 км, Д-25-30 км, Е- 30-35 км на основе данных цифровых сейсмических станций сетей KNET (ИС РАН), KRNET (ИС НАН КР), Казахстана, Узбекистана.

Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_p неоднородностей Тянь-Шаня на разных горизонтальных разрезах- глубинах земной коры приведены в таблице 1.

Таблица 1. Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_p неоднородностей Тянь-Шаня на горизонтальных разрезах - глубинах земной коры.

№ п.п.	Глубина, км.	Скоростная неоднородность, км/с	
		высокая	низкая
1.	5-10	≥ 6.00	< 5.88
2.	10-15	> 6.30	< 6.10
3.	15-20	> 6.30	< 6.20
4.	20-25	> 6.45	< 6.35
5.	25-30	> 6.75	< 6.60
6.	30-35	≥ 8.00	< 7.50

На рисунке 2 показано проявление локальных скоростных неоднородностей Тянь-Шаня во времени на различных глубинах земной коры, в качестве примера 10-15 км, 20-25 км, 30-35 км в течение 2020 г. Отмечено, что локальные скоростные неоднородности рождаются в отдельных частях активных структур земной коры и в дальнейшем они проявляются в других частях. Например, локальная скоростная неоднородность сначала проявилась на глубинах 30-35 км под восточной частью Кунгейского поднятия, на глубинах 20-25 км под центральной частью Кунгейского поднятия, на глубинах 10-15 км под западными частями Кунгейского и Заилийского поднятий.



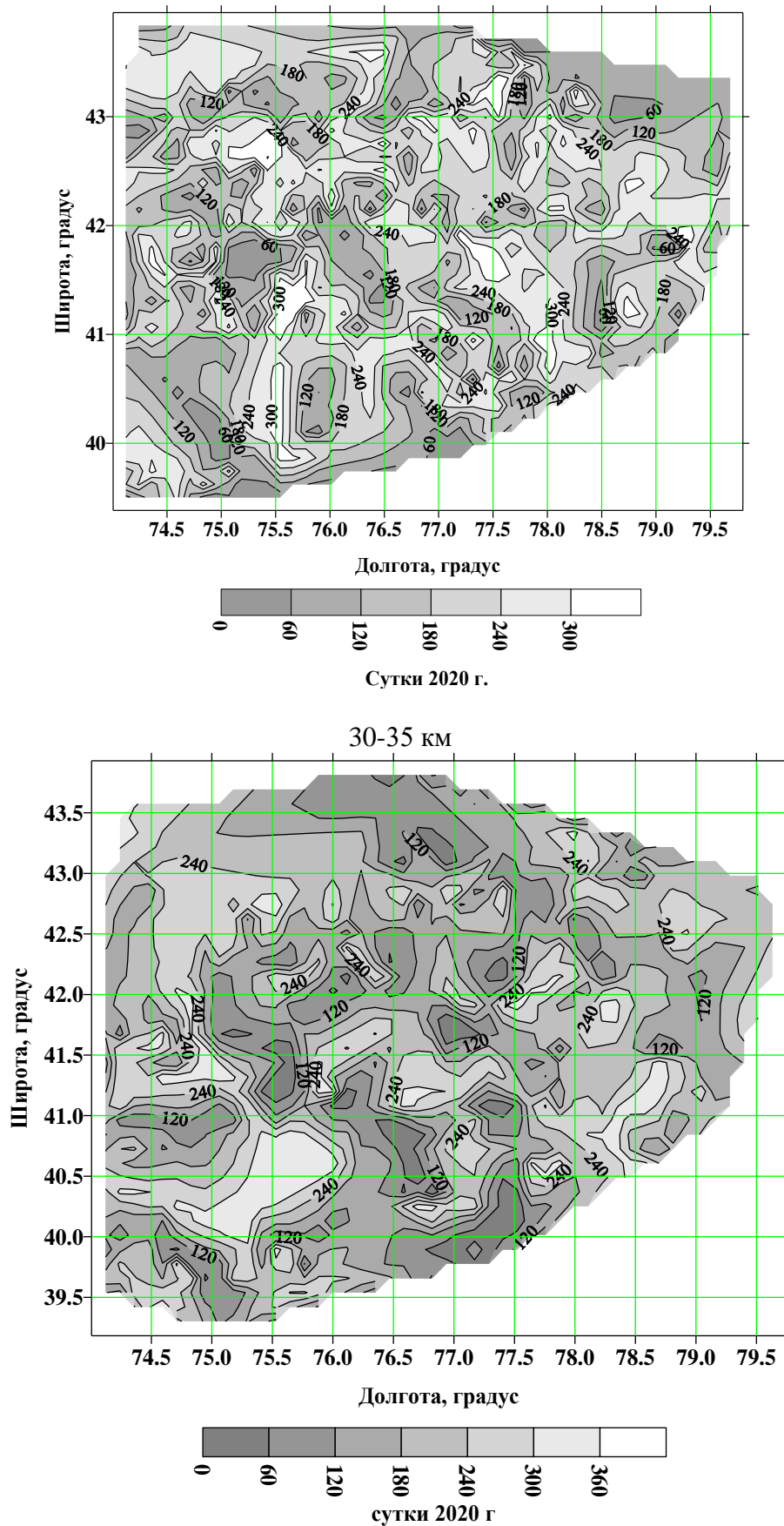
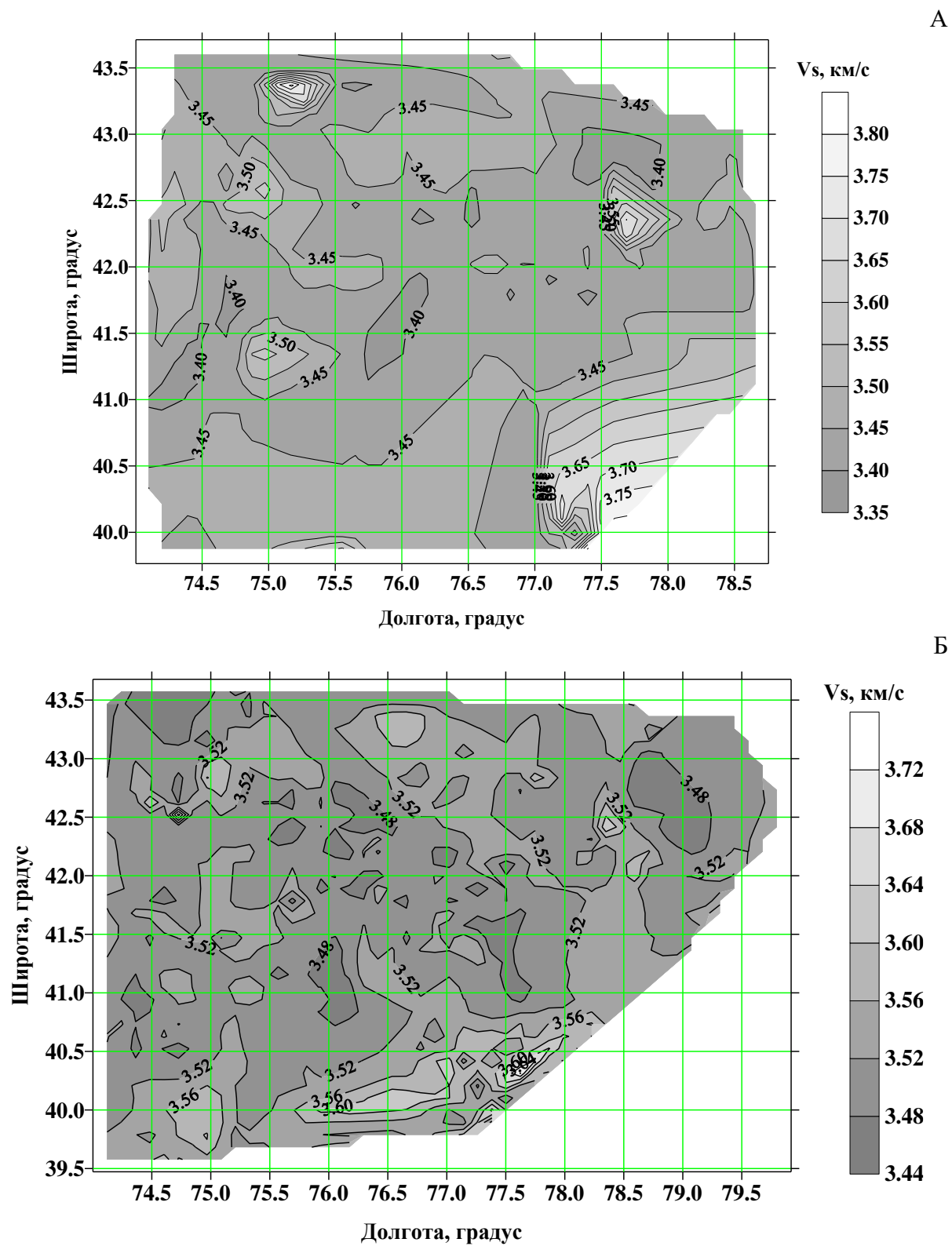
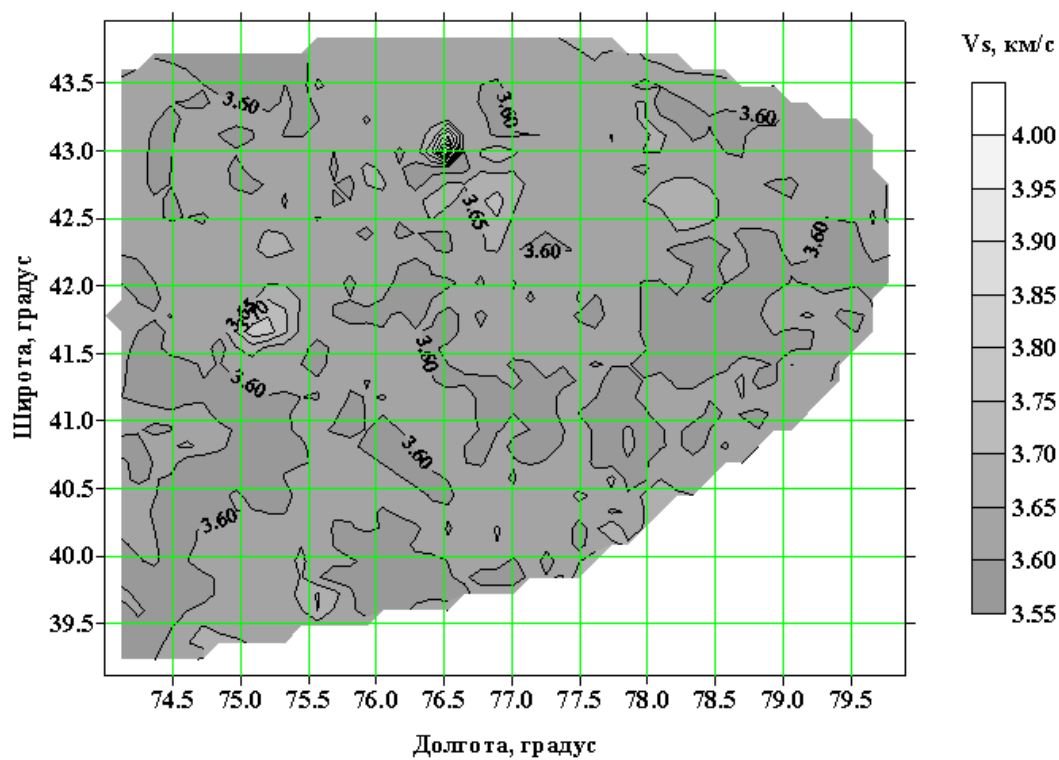


Рисунок 2. Карта - схема времени проявления – «рождения» локальных скоростных неоднородностей Тянь-Шаня на 10-15 км, 20-25 км, 30-35 км глубинах земной коры.

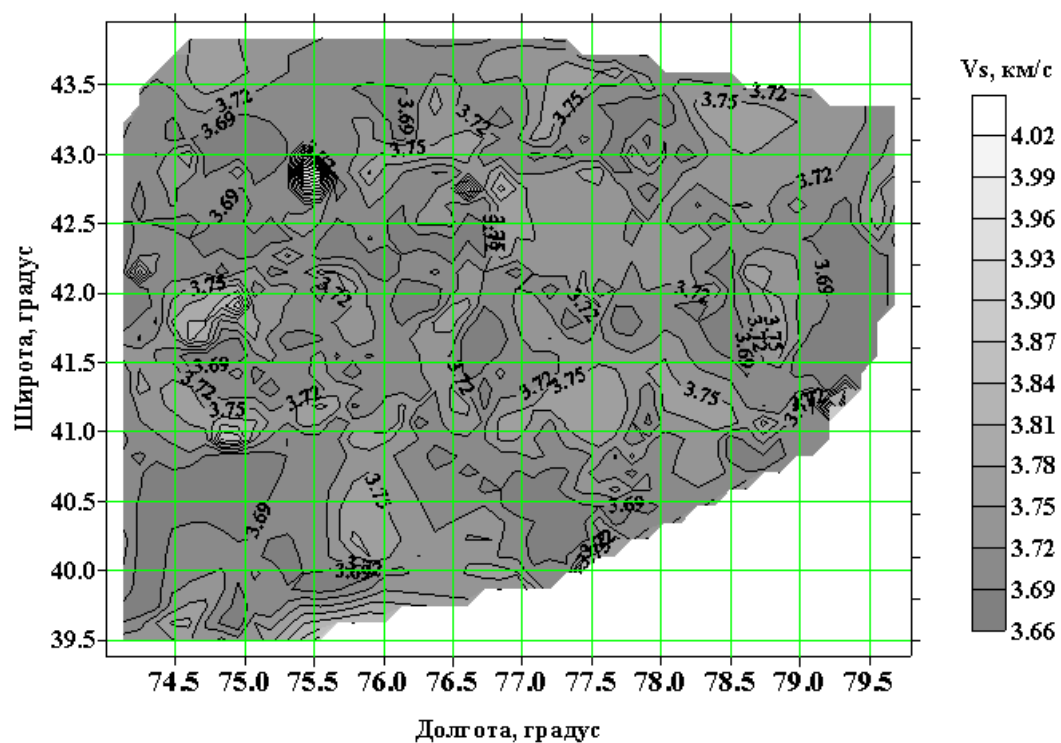
Далее рассмотрим системы горизонтальных разрезов - двумерных локальных скоростных V_s неоднородностей (рисунок 3).



В



С



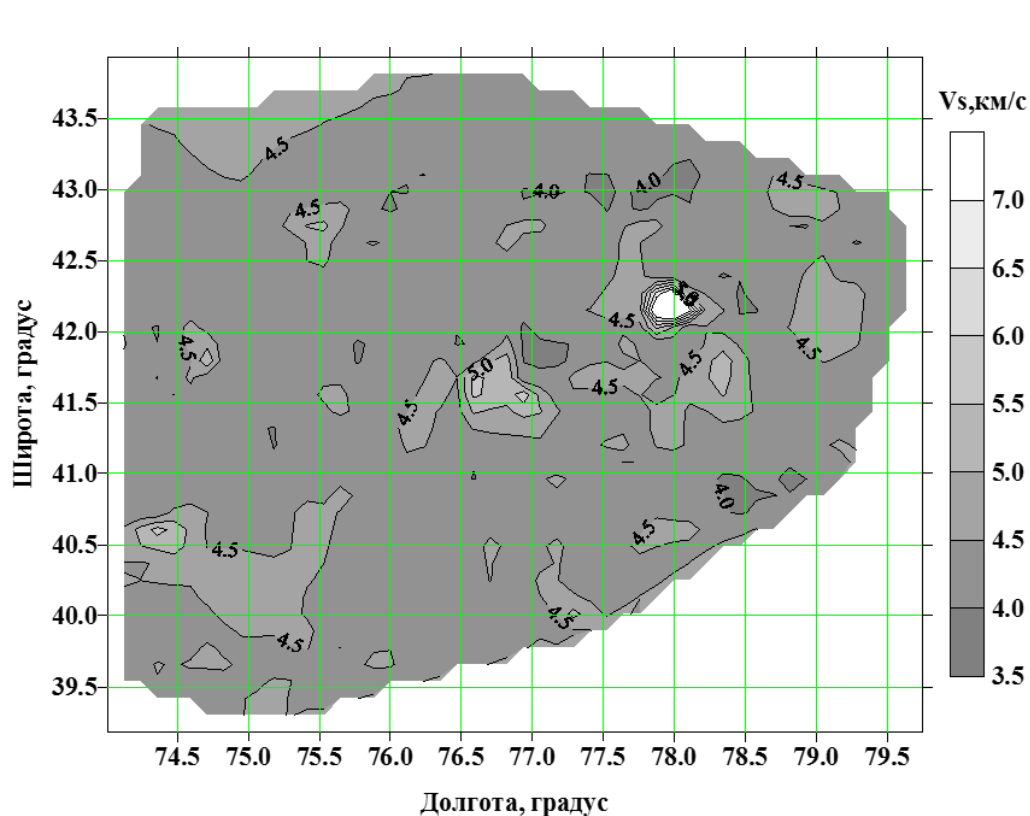
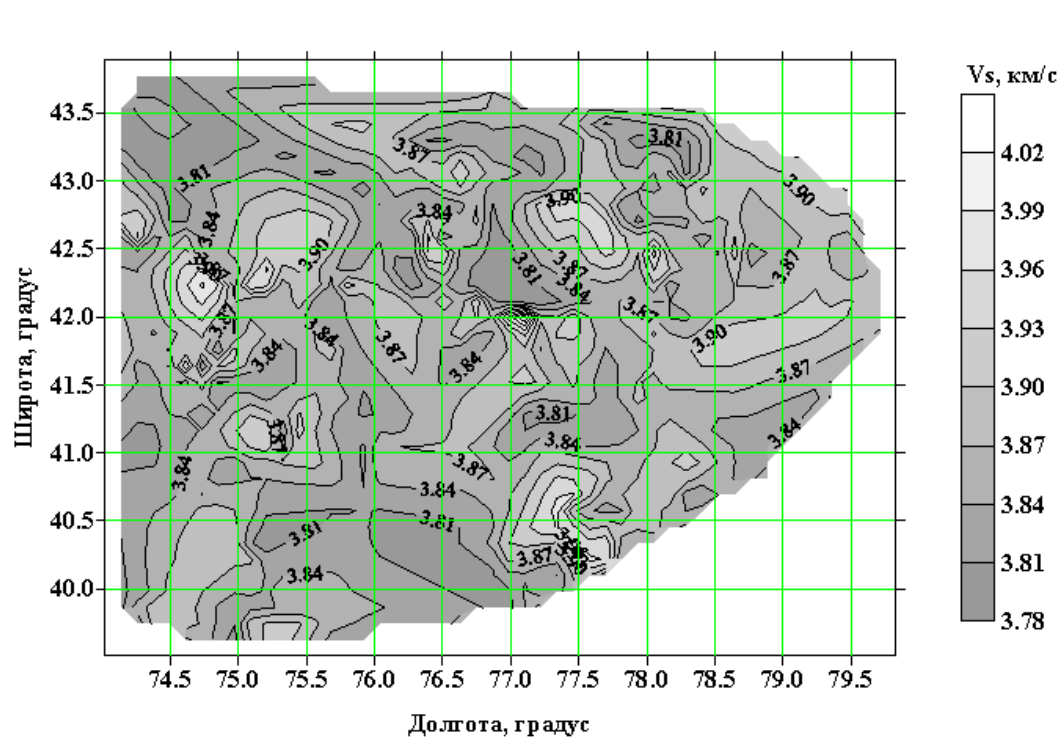


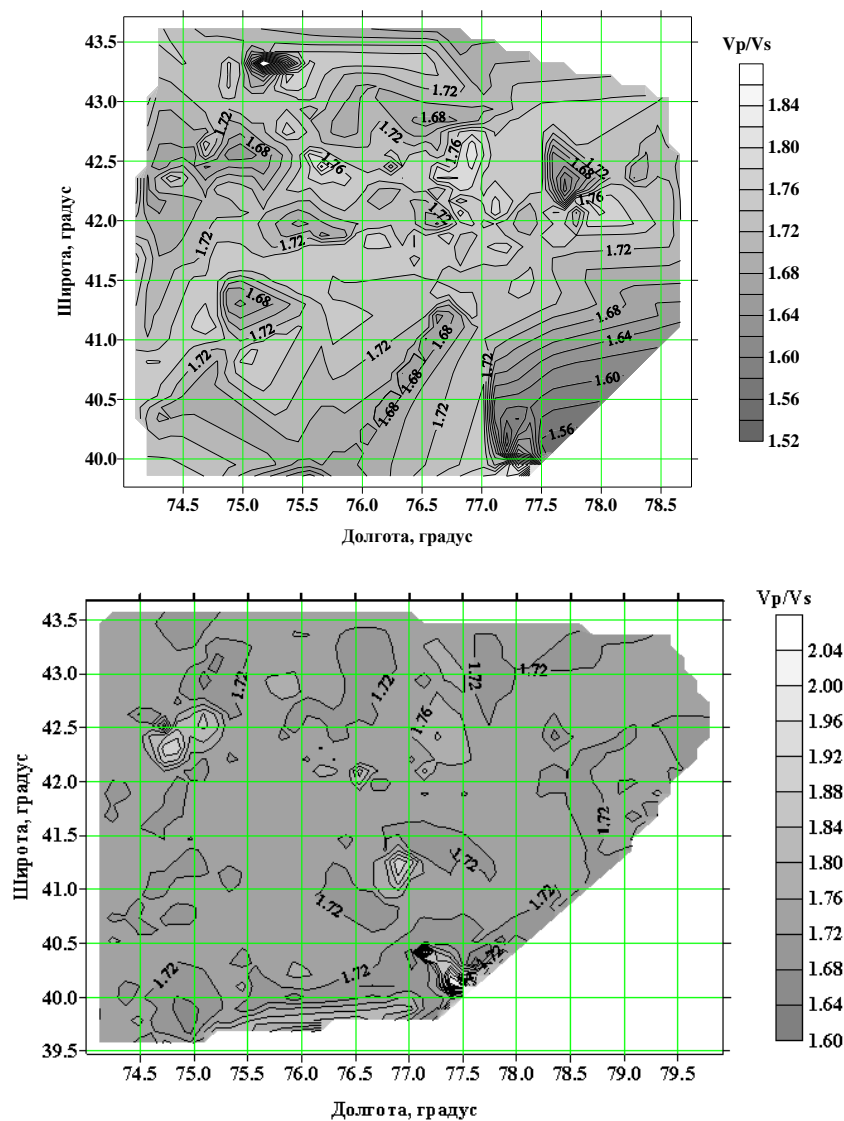
Рисунок 3. Карта – схема локальных скоростных неоднородностей (в течение 2020 г.) по поперечным сейсмическим волнам V_s (км/с) очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на горизонтальных разрезах- глубинах: А- 5-10 км, Б-10-15 км, В-15-20 км, С-20-25 км, Д-25-30 км, Е- 30-35 км на основе данных цифровых сейсмических станций сетей КNET (ИС РАН), КRNET (ИС НАН КР), Казахстана, Узбекистана.

Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_s неоднородностей Тянь-Шаня в горизонтальных разрезах на разных глубинах земной коры приведены в таблице 2.

Таблица 2. Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_s неоднородностей Тянь-Шаня в горизонтальных разрезах на разных глубинах земной коры.

№ пп	Глубина, км	Скоростная неоднородность, км/с	
		высокая	низкая
1.	5-10	≥ 3.50	< 3.40
2.	10-15	> 3.52	< 3.48
3.	15-20	> 3.65	< 3.60
4.	20-25	> 3.75	< 3.72
5.	25-30	> 3.90	< 3.84
6.	30-35	≥ 4.50	< 4.00

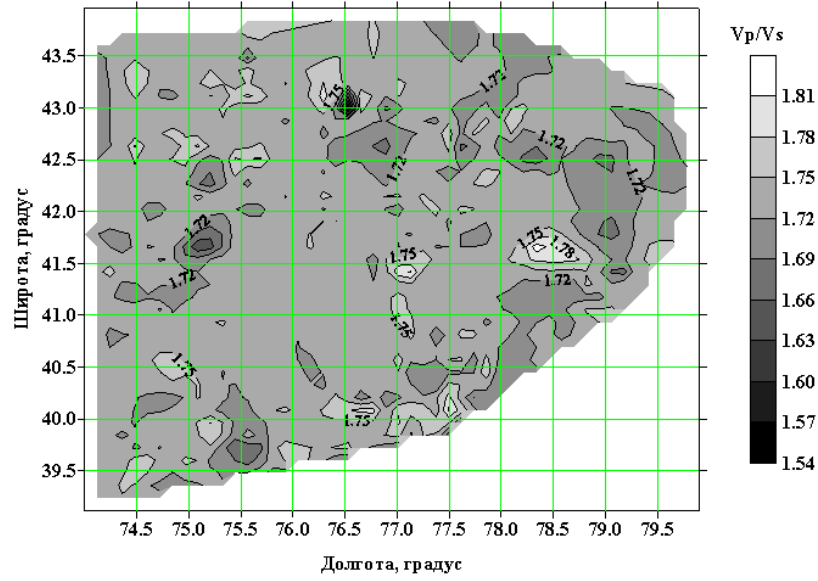
В дальнейшем рассмотрим системы двумерных локальных скоростных V_p/V_s неоднородностей (рисунок 4).



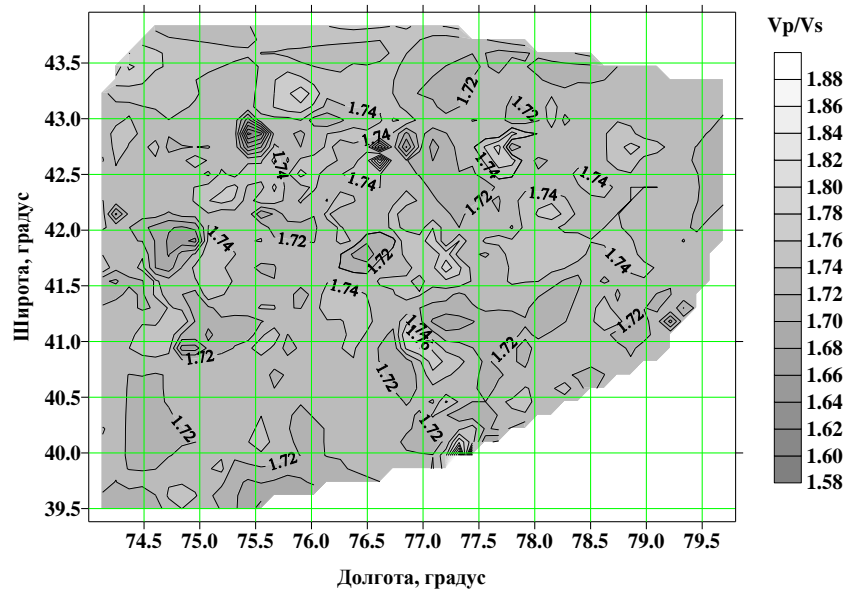
А

Б

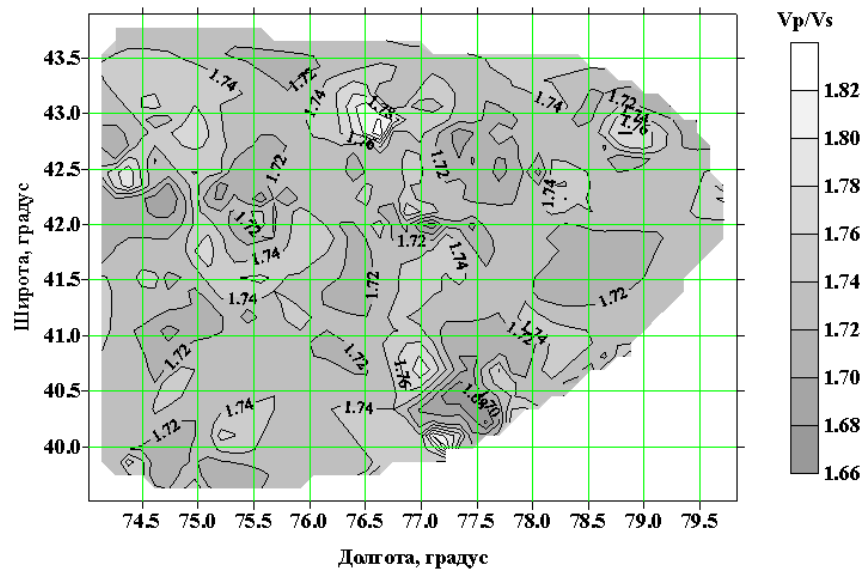
В



С



Д



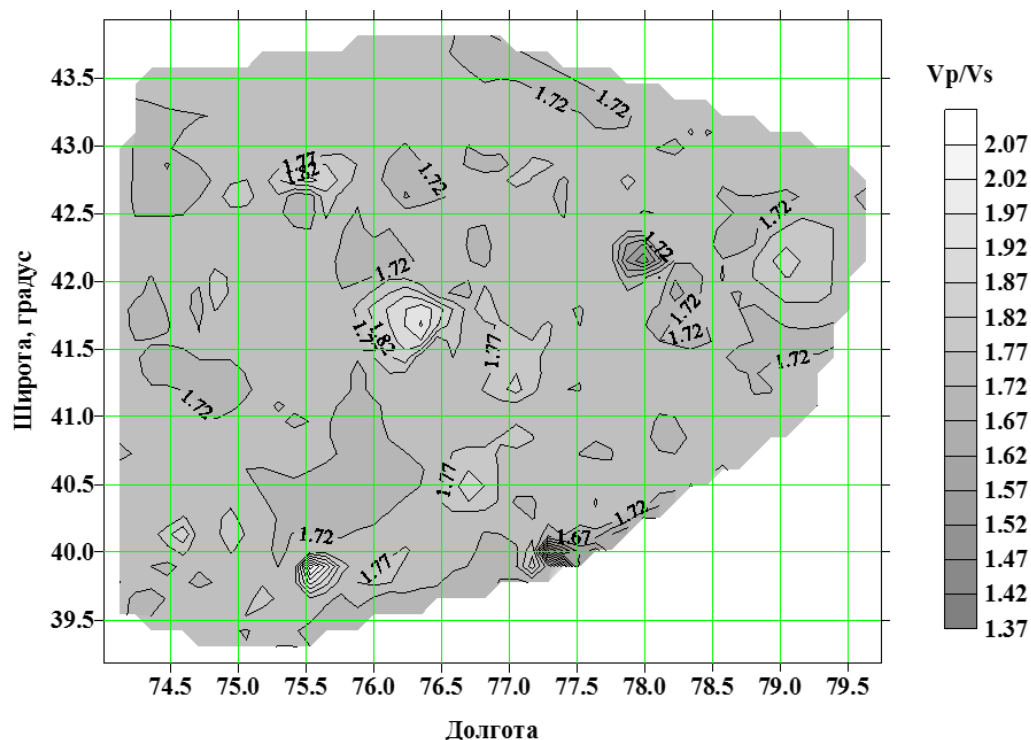


Рисунок 4. Карта - схема двумерных локальных скоростных неоднородностей (в течение 2020 г.) по отношению продольных и поперечных сейсмических волн V_p/V_s очагов землетрясений Центрального Тянь-Шаня на горизонтальных разрезах – на глубинах: А- 5-10 км, Б-10-15 км, В-15-20 км, С-20-25 км, Д-25-30 км, Е- 30-35 км на основе данных цифровых сейсмических станций сетей KNET (ИС РАН), KRNET (ИС НАН КР), Казахстана, Узбекистана.

Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_p/V_s неоднородностей Тянь-Шаня в горизонтальных разрезах на разных глубинах земной коры приведены в таблице 3.

Таблица 3. Вероятные значения высокоскоростных и низкоскоростных V_p/V_s локальных неоднородностей Тянь-Шаня в горизонтальных разрезах на разных глубинах земной коры.

№ пп	Глубина, км	Скоростная неоднородность V_p/V_s	
		высокая	низкая
1.	5-10	≥ 1.74	< 1.68
2.	10-15	> 1.76	< 1.72
3.	15-20	> 1.75	< 1.72
4.	20-25	> 1.74	< 1.72
5.	25-30	> 1.74	< 1.72
6.	30-35	≥ 1.77	< 1.72

Совместный анализ локальных скоростных неоднородностей V_p , V_s , V_p/V_s на одинаковых глубинах показал, что локальные неоднородности могут быть разделены на три группы:

1. $V_p/V_s < 1.72$ - малые значения V_p и V_s ;
2. $V_p/V_s > 1.72$ - малые значения V_p и V_s ;
3. $V_p/V_s > 1.72$ - большие значения V_p и V_s .

Здесь можно сказать [13], что первая группа неоднородностей может быть связана с проявлением флюидов, вторая группа неоднородностей – с проявлением частичного плавления, третья группа неоднородностей – с проявлением высоких давлений.

Наибольший интерес вызывает изучение скоростных неоднородностей по профилям. В качестве примера рассмотрим профиль скоростных локальных неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане крупного землетрясения Кемин ($K_R=17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). На рисунке 5 приведён вертикальный разрез локальных скоростных V_p неоднородностей (по меридиану $\lambda=76.90^\circ$ между широтами от $\varphi=39^\circ$ до $\varphi=44^\circ$).

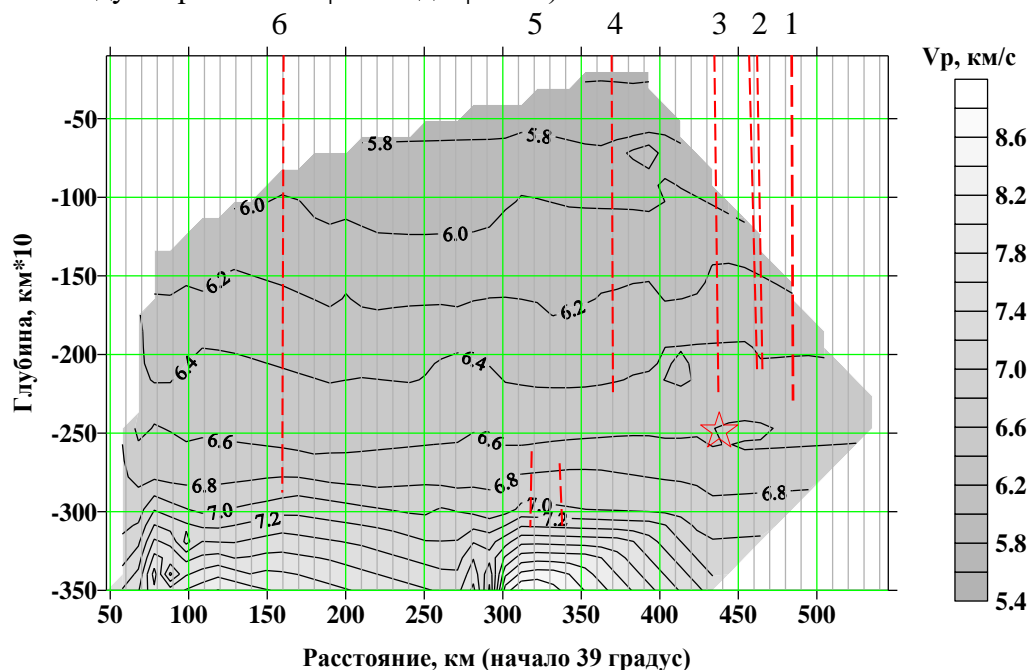


Рисунок 5. Вертикальный разрез локальных скоростных V_p неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане крупного землетрясения Кемин ($K_R=17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения. Пунктирными линиями красного цвета обозначен ряд активных разломов: 1-Заили, 2-Северный Кемин и Южный Кемин, 3- Предзападный-Кемин, 4- Восточный Терскей, 5- Южный Жетим, 6-Южный Кельпинтаг.

Распределение времени проявления локальных скоростных неоднородностей Тянь-Шаня на вертикальном разрезе по меридиану (в пределах $\lambda=76.90^\circ$) Кеминского землетрясения представлено на рисунке 6. Ранние проявления локальных скоростных неоднородностей (ЛСН) отмечены на сочленении Тянь-Шаня и Тарима на широтах около $\varphi=40^\circ$; в пределах Срединного Тянь-Шаня на глубинах около 5-35 км на широтах $\varphi=41.5^\circ-42.0^\circ$; на сочленении Тянь-Шаня и Казахского щита на глубинах около 15-35 км на широтах около $\varphi=42,6^\circ$ и 43° . В дальнейшем между ранними ЛСН наблюдались поздние проявления. Соответственно, здесь развиваются процессы динамики локальных неоднородностей литосферы Тянь-Шаня, представляющие новое направление сейсмической томографии.

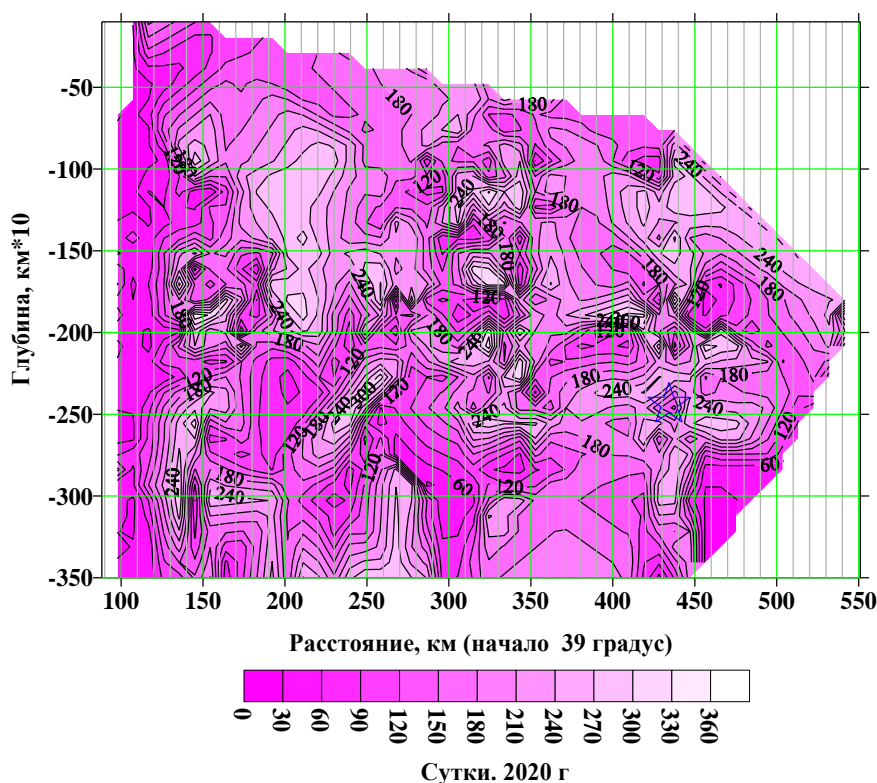


Рисунок 6. Распределение времени проявления в сутках 2020 г. локальных неоднородностей Тянь-Шаня на вертикальном разрезе по меридиану крупного землетрясения Кемин ($K_R = 17.8$, $M = 8.2$, $I_0 = 10-11$ баллов, $h = 25$ км, $\varphi = 42.90^\circ$, $\lambda = 76.90^\circ$) между широтами $\varphi = 39-44^\circ$. Звездочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

На рисунке 7 приведён вертикальный разрез локальных скоростных V_s неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане ($\lambda = 76.90^\circ$) сильного Кеминского землетрясения.

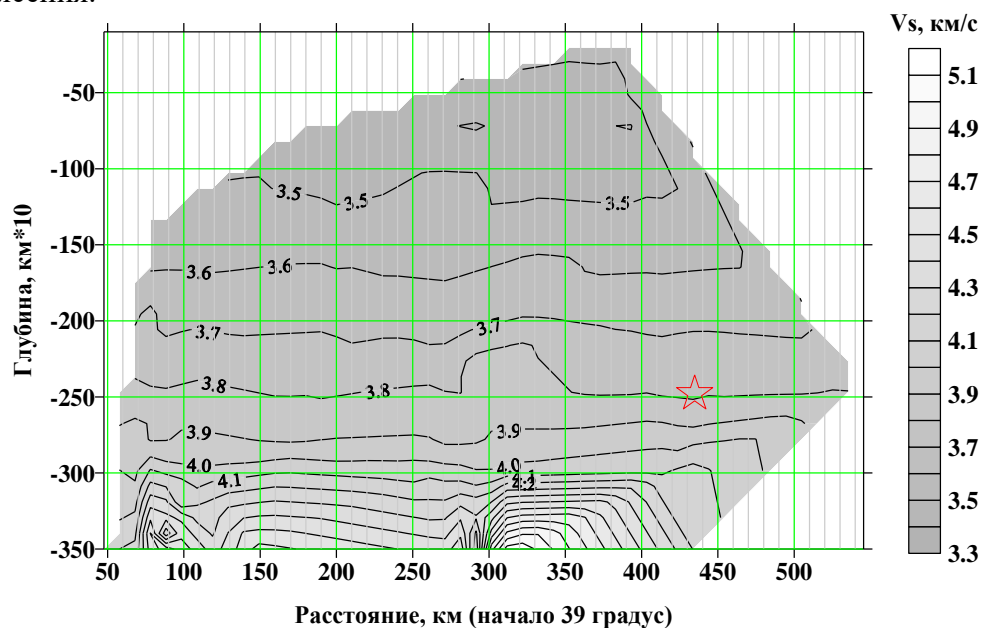


Рисунок 7. Вертикальный разрез локальных скоростных V_s неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане крупного землетрясения Кемин ($K_R = 17.8$, $M = 8.2$, $I_0 = 10-11$ баллов,

$h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

На рисунке 8 приведён вертикальный разрез локальных скоростных V_p/V_s неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане ($\lambda=76.90^\circ$) сильного Кеминского землетрясения.

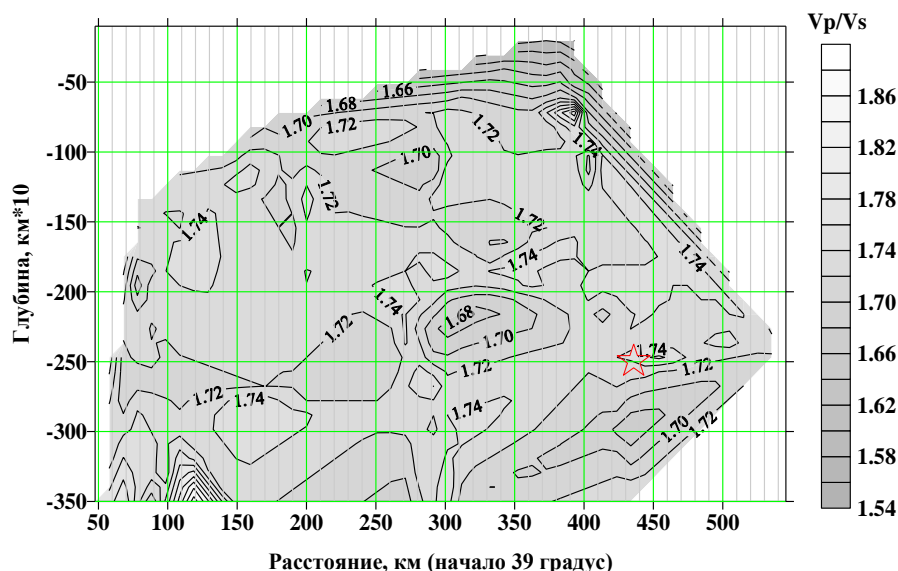


Рисунок 8. Вертикальный разрез локальных скоростных V_p/V_s неоднородностей Тянь-Шаня на меридиане сильного Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

Важно рассмотреть распределение на вертикальном разрезе значений коэффициента Пуассона, что является величиной отношения относительного поперечного сжатия к относительному продольному растяжению (рисунок 9). Значения коэффициента определялись по общеизвестной в практике формуле на основе данных скоростей V_p и V_s . Они изменяются в пределах 0.15-0.30. Соответственно, относительное продольное растяжения в земной коре достаточно большое, чем поперечное сжатие.

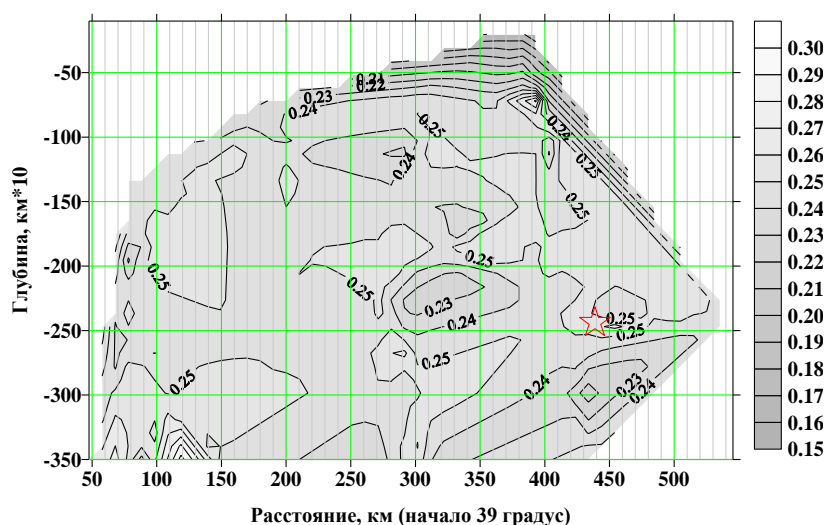


Рисунок 9. Вертикальный разрез распределения коэффициента Пуассона в локальных скоростных неоднородностях Тянь-Шаня на меридиане сильного Кеминского

землетрясения ($K_R = 17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

На рисунке 10 показано распределение плотности на вертикальном разрезе. Для этого определено соотношение плотности горных пород (ρ , г/см³) и скорости V_p (км/с) сейсмической волны на основе экспериментальных данных [14, 15]:

$$\rho = 0,021V_p^4 - 0,615 V_p^3 + 6,4788V_p^2 + 28,768V_p + 47,919. \quad (1)$$

На вертикальном разрезе отмечается, что значения плотности среды земной коры повышается сверху вниз от 2.6-2.7 г/см³ до 3.6 г/см³ на глубинах 30-35 км. На поле плотности наблюдаются своеобразные складки и высокоградиентные зоны. Плотность среды в пределах гипоцентра (около 25 км) Кеминского землетрясения составляет порядка 3.25-3.30 г/см³

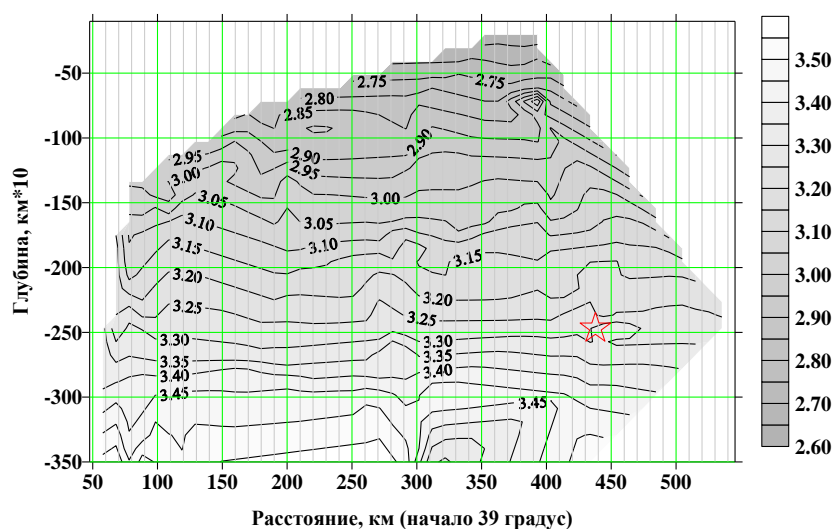


Рисунок 10. Вертикальный разрез распределения плотности массива горных пород (г/см³) в локальных скоростных неоднородностях Тянь-Шаня на меридиане сильного Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

Распределение значения модуля сжатия ($K \cdot 10^{12}$, дин/см²) на вертикальном разрезе приведён на рисунке 11. Модуль объёмного сжатия (K) вещества является мерой сопротивления вещества объёмному сжатию. Для этого определён сейсмический параметр (Φ) Адамса-Вильямсона:

$$\Phi = V_p^2 - 4/3V_s^2 = K/\rho, \quad (2)$$

где Φ – сейсмический параметр, V_p , V_s – скорости продольных и поперечных сейсмических волн, K – модуль сжатия, ρ – плотность среды и соотношение модуля сжатия ($K \cdot 10^{12}$, дин/см²) и сейсмического параметра Φ :

$$K = (0.0001\Phi^2 + 0.037\Phi - 0.1687) \times 10^{12}, \text{ дин/см}^2. \quad (3)$$

На вертикальном разрезе отмечается, что значения модуля сжатия среды земной коры повышается сверху вниз от $(0.4-0.5) \times 10^{12}$ дин/см² до $(1.4-1.5) \times 10^{12}$ дин/см² на глубинах 30-35 км. На поле модуля сжатия наблюдаются своеобразные изгибы и высокоградиентные субвертикальные зоны. Модуль сжатия среды в пределах гипоцентра (около 25 км) землетрясения Кемин (1911 г.) составляет порядка $(0.7-0.8) \times 10^{12}$ дин/см².

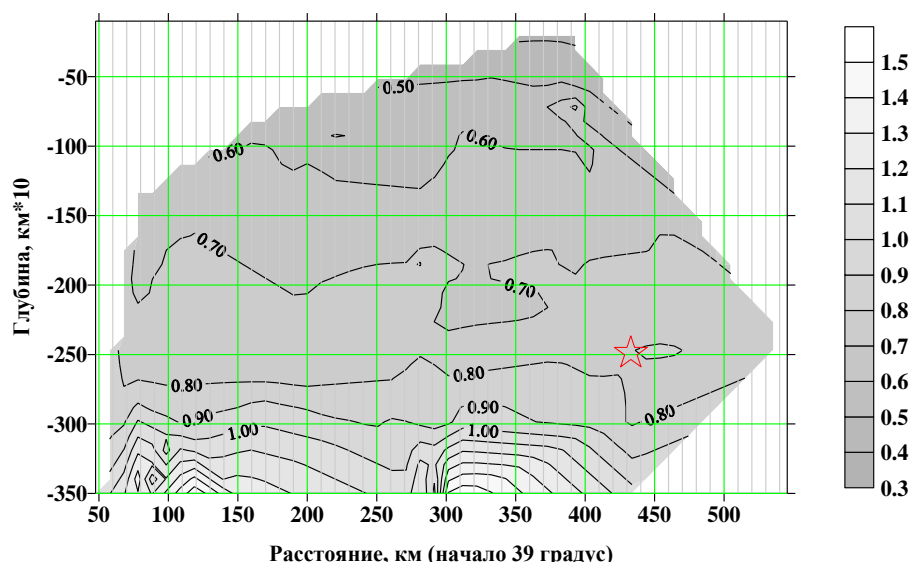


Рисунок 11. Вертикальный разрез распределения модуля сжатия K , 10^{12} дин/см² в локальных скоростных неоднородностях Тянь-Шаня на меридиане сильного Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

На рисунке 12 показано распределение жёсткости на вертикальном разрезе земной коры. Для этого определено соотношение жёсткости - модуля сдвига горных пород (μ , 10^{12} дин/см²) и скорости V_p (км/с) сейсмической волны на основе экспериментальных данных [14, 15]:

$$\mu = (0.003V_p^3 + 0.0475V_p^2 - 0.3897V_p + 0.6729) \times 10^{12}, \text{ дин/см}^2. \quad (4)$$

На вертикальном разрезе отмечается, что значения жёсткости среды земной коры повышаются сверху вниз от $(3.0-3.5)10^{12}$ дин/см² до $(6.0-6.3)10^{12}$ дин/см² на глубинах 30-35 км. На поле жёсткости наблюдаются своеобразные изгибы изолиний и высоко градиентные зоны. Жёсткость среды в пределах гипоцентра (около 25 км) землетрясения Кемин составляет порядка $(4.5-5.2)10^{12}$ дин/см². Рассматривая вертикальный разрез поля жёсткости в связи с моделью (формулой) Аки:

$$M_0 = \mu UA, \quad (5)$$

где M_0 – сейсмический момент (дин·см), μ – жёсткость (дин/см²), U – средняя подвижка по разлому очага (см), A – площадь разлома (см²), например, очаг Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M=8.2$, $I_0=10-11$ баллов, $h=25$ км, $\varphi=42.90^\circ$, $\lambda=76.90^\circ$) протяжённостью около 150 км и мощностью слоёв: 5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 30-35 км имеет площадь $A=750 \times 10^{10}$ см² со средней подвижкой около $U=750$ см. В соответствии с величинами жёсткости на различных горизонтах земной коры могут быть различные значения сейсмического момента. Например, сейсмический момент в пределах гипоцентра на глубине около 25 км на горизонте 20-25 км, где $\mu = 4,52 \times 10^{12}$ дин/см², составит:

$$M_0 = 4,52 \times 10^{12} \cdot 750 \cdot 750 \times 10^{10} = 2.5 \times 10^{28} \text{ дин} \cdot \text{см};$$

на горизонте 15-20 км - $M_0 = 4,0 \times 10^{12} \cdot 750 \cdot 750 \times 10^{10} = 2.2 \times 10^{28}$ дин·см;

на горизонте 10-15 км - $M_0 = 3.5 \times 10^{12} \cdot 750 \cdot 750 \times 10^{10} = 1.92 \times 10^{28}$ дин·см;

на горизонте 5-10 км - $M_0 = 3.0 \times 10^{12} \cdot 750 \cdot 750 \times 10^{10} = 1.6 \times 10^{28}$ дин·см.

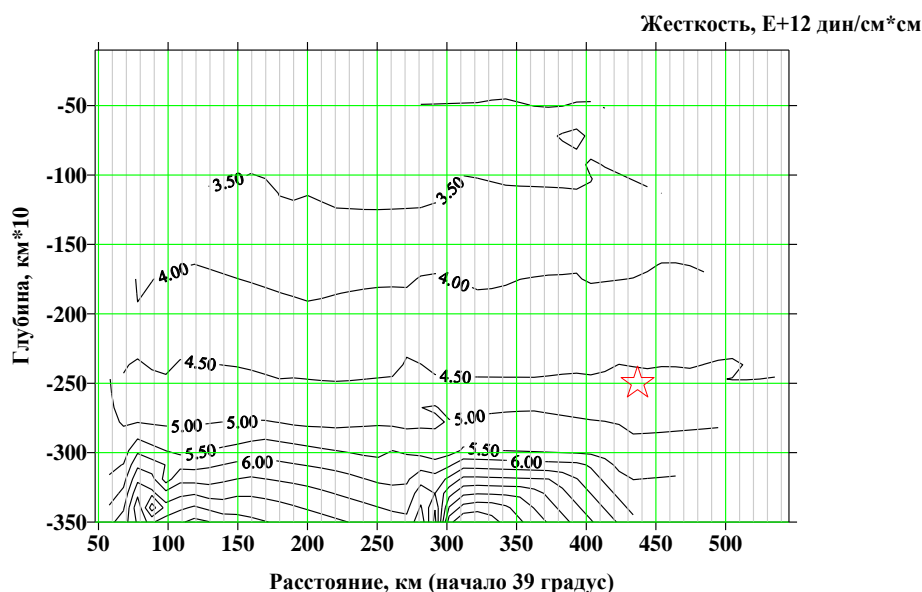


Рисунок 12. Вертикальный разрез распределения жёсткости μ , 10^{12} дин/см² в локальных скоростных неоднородностях Тянь-Шаня на меридиане сильного Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M = 8.2$, $I_0 = 10-11$ баллов, $h = 25$ км, $\varphi = 42.90^\circ$, $\lambda = 76.90^\circ$). Звёздочкой обозначен гипоцентр Кеминского землетрясения.

Заключение

1. Разработана методика изучения локальных скоростных неоднородностей, представляющая собой вариант детальной сейсмической томографии;
2. Составлены модели – карты-схемы горизонтальных разрезов локальных скоростных неоднородностей земной коры (на глубинах 5-10 км, 10-15 км, 15-20 км, 20-25 км, 25-30 км, 30-35 км) Тянь-Шаня по параметрам: V_p , V_s , V_p/V_s по данным сетей цифровых станций, в частности за 2020 г. Распределение этих неоднородностей имеет мозаичный характер. Осуществлялось слежение времени проявления скоростных неоднородностей. Отмечено, что локальные скоростные неоднородности рождаются в отдельных частях активных структур земной коры и в дальнейшем они проявляются в других частях.
3. Одновременно построены локальные неоднородности по вертикальному разрезу на меридиане сильного Кеминского землетрясения ($K_R = 17.8$, $M = 8.2$, $I_0 = 10-11$ баллов, $h = 25$ км, $\varphi = 42.90^\circ$, $\lambda = 76.90^\circ$) по параметрам: V_p , V_s , V_p/V_s , коэффициента Пуассона, плотности ρ , модуля сжатия K , модуля сдвига μ . Выделены своеобразные складки и высококонтрастные границы неоднородностей на разных горизонтах земной коры. Отмечены ранние и поздние проявления - «рождения» локальных неоднородностей, которые характеризуют процесс динамической локальной скоростной неоднородности литосферы Тянь-Шаня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Roecker S.W., Sabitova T. M., Vinnik L.P. et al. Three-dimensional elastic wave velocity structure of the Western and Central Tien Shan // J. Geophys. Res. - 1993. - V. 98. - N. B9. - P.15779-15795.
2. Ghose S., Humburger M., Virieux J. Three-dimensional velocity structure and earthquake locations beneath the northern Tien Shan of Kyrgyzstan, Central Asia // J. Geophys. Res. - 1998. - V. B2. - P.2725-2748.

3. Adamova A.A., Sabitova T.M. Velocity structure beneath Tien Shan inferred from P-and S-wave by travel time tomography //Newsletter. European Geophysical Society. Number 78, Nice, March 2001.
4. Адамова А.А., Сабитова Т.М. Трёхмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня //Физика Земли. -2004. -№5. –С.58-67.
5. Сайипбекова А.М. Сейсмотомографическая модель и современная геодинамика литосферы Тянь-Шаня //Отв.ред. В.И.Шацкилов. Ош: Билим, 2003. -216 с.
6. Сабитова Т.М. и др. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. //Отв.ред. Бакиров А.Б. Бишкек: Илим, 2006. -116 с.
7. Omuralieva A., Nakajima J., Hasegawa A. Three-dimensional seismic velocity structure of the crust beneath the central Tien Shan, Kyrgyzstan: Implications for large- and small-scale mountain building //Tectonophysics. -2009. N.465(1). –P.30-44.
8. Zhao D., Hasegawa A., Horiuchi S. Tomographic Imaging of P and S wave velocity structure beneath northeastern Japan //J. Geophys Res. -1992. –V.97. NO. B13 –P.19909-19928.
9. Omuraliev M., Omuralieva A. Late Cenozoic tectonics of the Tien Shan, Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: Ilim, 2004. -166 p.
10. Щелочков Г.Г., Брагин В.Д., Рыбин А.К. и др. Трансект «MANAS»: первые результаты обработки и интерпретации данных сейсмических зондирований Центрального Тянь-Шаня //Сборник материалов четвёртого международного симпозиума 15-20 июня 2008 года «Геодинамика внутриконтинентальных орогенов и геоэкологические проблемы. Выпуск 4. -2009. - С.59-67.
11. Отчёты о научно-производственной деятельности Центра обработки данных Института сейсмологии НАН КР.
12. Lahr, J.C., 1999, revised 2012, HYPOELLIPSE: a computer program for determining local earthquake hypocentral parameters, magnitude, and first-motion pattern: U.S. Geological Survey Open-File Report 99–23, version 1.1, 119 p. and software, available at <https://pubs.usgs.gov/of/1999/ofr-99-0023/>.
13. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов, температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений, 2015, Бишкек: «Триада Принт», 206 с.
14. Christensen N.I., Mooney W.D. Seismic velocity structure and composition of the continental crust: A global view //J. Geophys Res. -1995. –V.100. NO. B7 –P.9761-9788.
15. Christensen N.I. Poisson's ration and crustal seismology //J. Geophys Res. -1996. –V.101. NO. B2 –P.3139-3156.

Рецензент: д.ф.-м.н. Погребной В.Н.