

УДК 550.34 (574.4)

Багманова Н.Х., Меджитова З.А.
Институт сейсмологии НАН КР,
г. Бишкек, Кыргызстан

ВОЛНОВАЯ КАРТИНА ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДЛЯ ПОДТВЕРЖДЕНИЯ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ТЯНЬ-ШАНЯ

Аннотация. Статья посвящена изучению волновой картины, наблюдаемой на записях сейсмических станций Кыргызстана от подземных ядерных взрывов, произведённых на Семипалатинском испытательном полигоне (STS- Semipalatinsk Test Site) и на полигоне Лобнор (Китай).

Ключевые слова: ядерный взрыв, продольные и поперечные волны, годограф, скоростная модель.

ЖЕР АЛДЫНДАГЫ ЯДРОЛУК ЖАРДЫРУУЛАРДАН БОЛГОН ТОЛКУН СҮРӨТҮ ЖАНА АНЫ ТЯНЬ-ШАНДЫН СЕЙСМОТОМОГРАФИЯЛЫК МОДЕЛИН ТАСТЫКТОО ҮЧҮН КОЛДОНУУ

Кыскача мазмуну. Макала Семипалатинск сыноо полигонунда (STS-Semipalatinsk Test Site) жана Лобнор (Кытай) пролигонунда жүргүзүлгөн жер алдындагы ядролук жардыруулардан Кыргызстандын сейсмикалык станцияларындагы жазууларда байкалуучу толкун сүрөтүн изилдөөгө арналган.

Негизги сөздөр: ядролук жардыруу, туурасынан кеткен жана узунунан кеткен толкундар, годограф, ылдамдык модели.

WAVEFORMS OF NUCLEAR EXPLOSIONS AND THEIR USING IN EVIDENCE OF THE SEISMOTOMOGRAPHIC MODEL OF THE TIEN- SHAN

Abstract. Investigation of the waveforms of underground nuclear explosions conducted at the Semipalatinsk Test Site (STS, USSR) and at the Lop Nor Test Site (China), and recorded by the seismic stations in Kyrgyzstan is presented in the paper.

Keywords: nuclear explosion, body and surface waves, travel-time curve, velocity model.

Данная работа посвящена изучению волновой картины, наблюдаемой на записях сейсмических станций Кыргызстана от подземных ядерных взрывов, произведённых на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП – Семипалатинский испытательный полигон) и на полигоне Лобнор (Китай). Местоположение испытательных полигонов показано на рис. 1. Отбор данных Семипалатинских взрывов проведён в РФЯЦ-ВНИИТФ [1] из открытых источников [2,3]. Данные по подземным ядерным взрывам Китая взяты из открытых источников Prototype International Data Centre, Nuclear Explosions by China.

Как следует из работы [4] при мощных ядерных взрывах регистрируются те же продольные и поперечные волны, связанные со слоями в земной коре, которые наблюдаются и при землетрясениях (на соответствующих эпицентральных

расстояниях): прямые рефрагированные волны P_0 , S_0 , которые распространяются в осадочных или осадочно-метаморфических породах, слабо рефрагированные преломлённые волны P^* , P^* , P_n , S^* , S^* , S_n , распространяющиеся в основных слоях земной коры (гранитном, базальтовом), а также связанные с границей верхней мантии – границей Мохоровичича (М). Чётко регистрируются запредельные отражённые продольные P_nP_n и поперечные волны S_nS_n от границы М. При подземных взрывах возбуждаются и присутствуют на записях обменные преломлённые волны типа $P_kP_kS_k$; $P_kS_kS_k$; $S_kP_kS_k$ и, по-видимому, отражённые волны типа P_kS_k или S_kP_k [4].

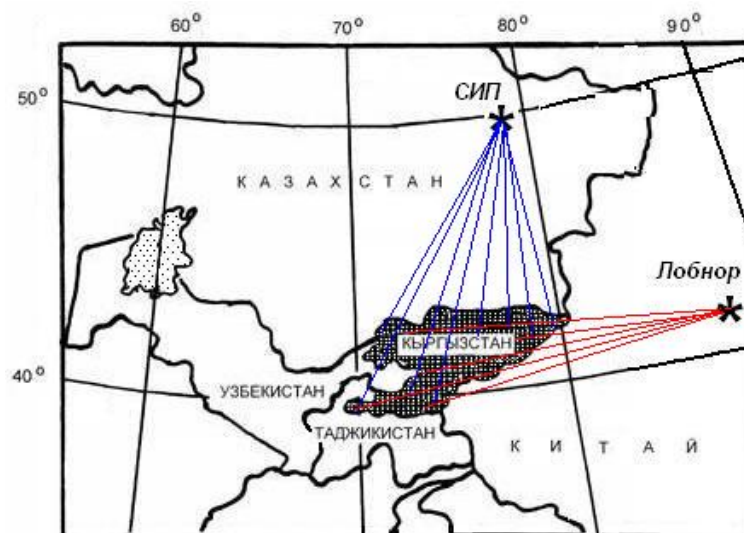


Рис.1. Расположение полигонов испытания ядерных взрывов (*): Семипалатинский (СИП, Казахстан), Лобнор (Китай).

Проведены замеры записей 14 довольно мощных ($5.7 < m_b < 7.1$) ядерных взрывов, произведённых на Семипалатинском испытательном полигоне и 7 мощных ($5.8 < m_b < 7.1$) ядерных взрывов на полигоне Лобнор (Китай). Взрывы хорошо были зарегистрированы сейсмическими станциями аналоговой сети Кыргызстана, оснащёнными приборами СКМ-3 ($V_m = 10000$ и 25000 , скорость развёртки записи 120 мм/мин) и приборами СКД ($V_m = 1000$, скорость развёртки записи 60 мм/мин). Число станций варьировало от 20 до 30-32. Точность замеров составляет $\pm(0.1-0.2)$ сек для записей приборами СКМ и $\pm(0.3-0.5)$ сек для записей приборами СКД. Замерялись времена как первых вступлений продольных волн, являющихся в наших условиях преломлёнными от границы Мохоровичича, так и всех последующих четких фаз, независимо от их природы. Сейсмические станции Кыргызстана находятся на расстояниях $790-1300$ км от Семипалатинского и $800-1600$ км от Лобноровского полигонов. Для всех замеренных взрывов построены индивидуальные годографы продольных волн. Годографы поперечных волн S не строились вследствие нечёткости вступлений. На рис. 2 приведён осреднённый годограф продольных волн, зарегистрированных при Семипалатинских взрывах. Названия сейсмических станций приведены согласно международной кодировке (см. таблицу 1) – наименование и код. Пример записи взрыва, проведённого 20 июля 1985 года на Семипалатинском полигоне ($\varphi = 50.00^\circ$, $\lambda = 79.00^\circ$, $m_b = 6.7$, мощность $20-150$ кт) аналоговыми станциями сейсмической сети Кыргызстана приборами типа СКМ ($V = 25000$) приведён на рис. 3 и приборами СКД ($V = 1000$) - на рис.4.

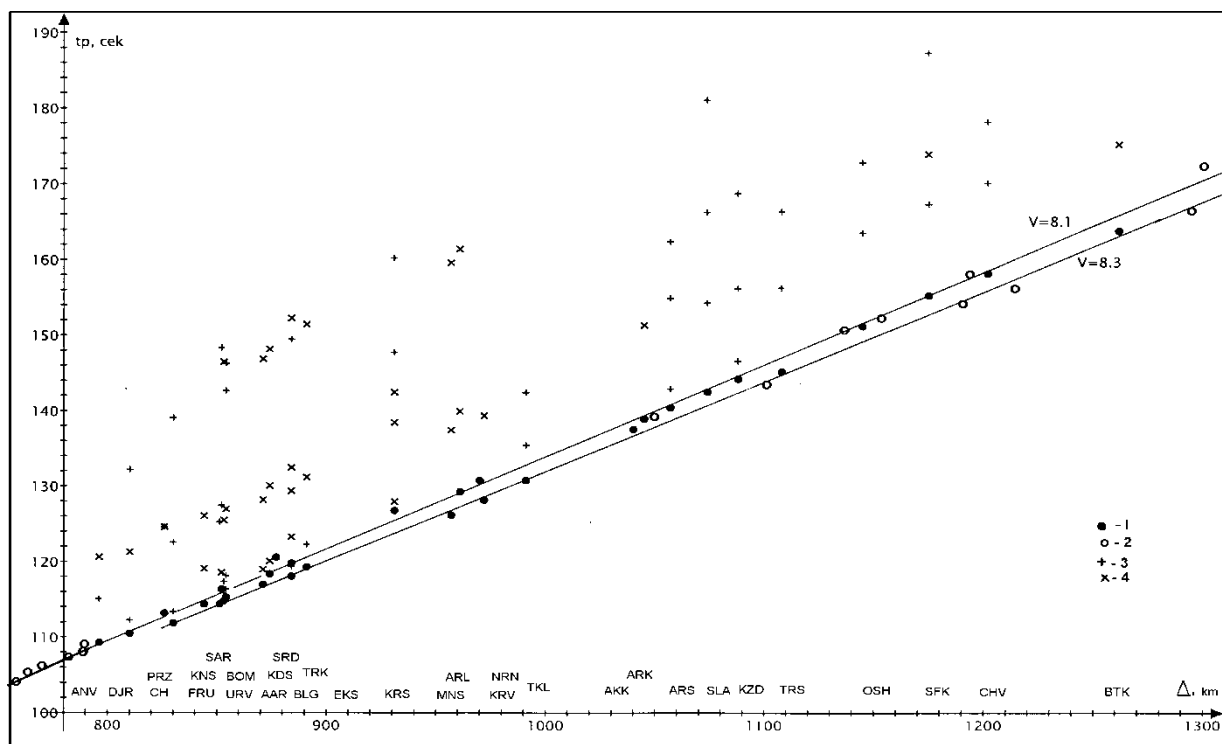
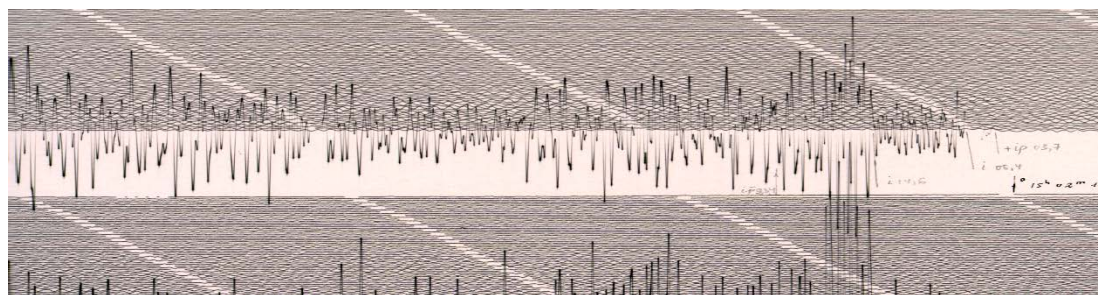


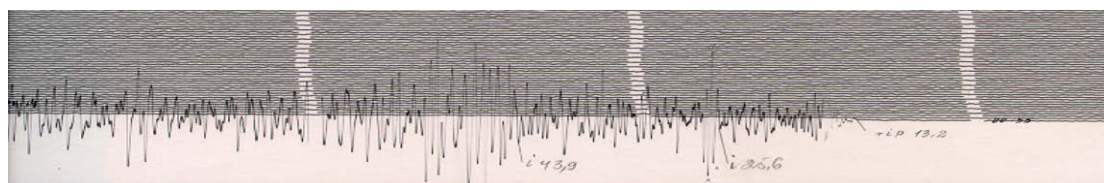
Рис. 2. Осреднённый годограф Семипалатинских взрывов. Первые вступления Р-волны: 1-данные сейсмических станций Кыргызстана, 2 – данные Бюллетеней станций других государств. Последующие вступления фаз волн, наблюдаемые: 3– в 50-75 % случаев, 4 – в 80-100 %.

Таблица 1.

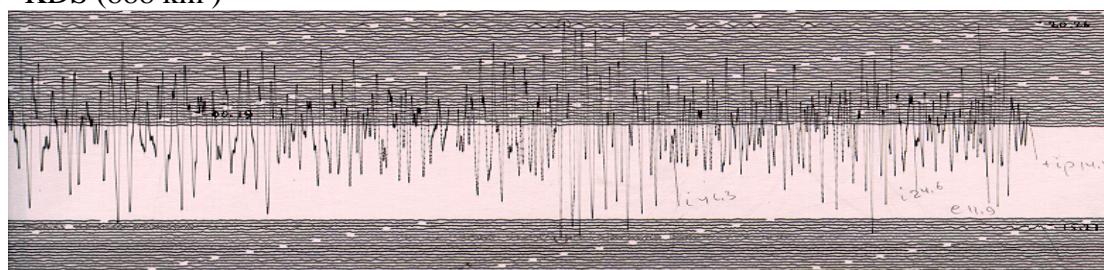
код ст.	название	код ст.	название	код ст.	название	код ст.	название
ANV	Ананьево	EKS	Эркин-Сай	OSH	Ош	NAM	Наманган
KDS	Каджи-Сай	CHM	Чумыш	CHV	Чаувай	FRG	Фергана
BOM	Боом	AAR	Ала-Арча	KZD	Кызыл-Джар	NVN	Новоникол.
SRD	Сары-Джаз	FRU	Фрунзе	SFK	Суфи-Курган	CHK	Чимкент
SAR	Сару	ARL	Арал	SLA	Салом-Алик	TSH	Ташкент
KNS	Кенсу	MNS	Манас	BTK	Баткен	CHS	Четсу
DJR	Джергалан	TKL	Токтогул	TLG	Талгар	URT	Ура-Тюбе
SHT	Шаты	KKL	Кара-Куль	FBR	Фабричная	DSH	Душанбе
KRS	Карасай	KRV	Кировка	MED	Медео	GRM	Гарм
SRD	Сарыджаз	NRN	Нарын	CHL	Чилик	DZT	Джиргаталь
TRK	Терскей	TRS	Терек-Сай	KRM	Курменты	KST	Кастек
PRZ	Пржевальск	ARK	Аркин	TSH	Тянь-Шань		
BLG	Белогорка	AKK	Ак-Кия	MTB	Майтюбе		
URV	Юрьевка	ARS	Арсланбоб	KRT	Курты		



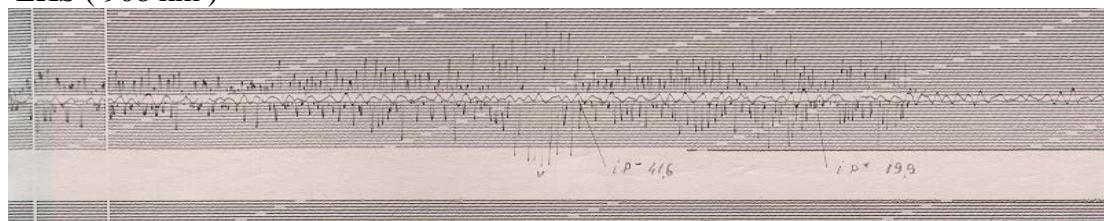
ANV (809 km)



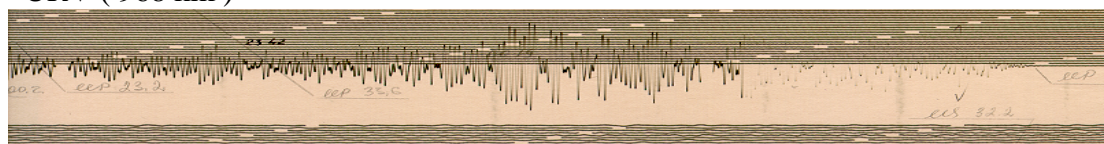
KDS (888 km)



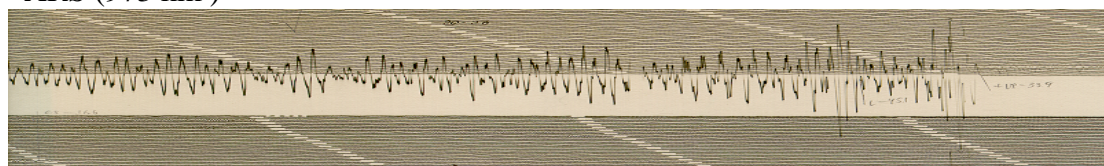
EKS (908 km)



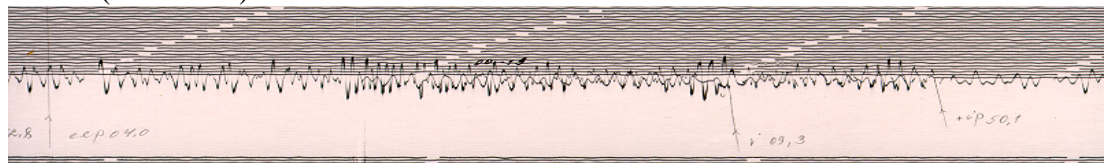
URV (968 km)



ARS (973 km)

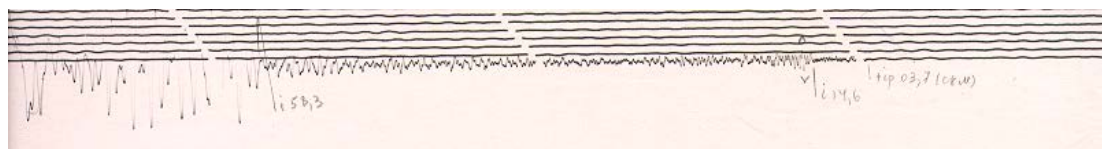


ARK (1062 km)

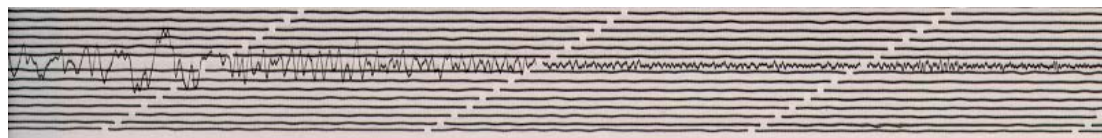


SFK (1192 km)

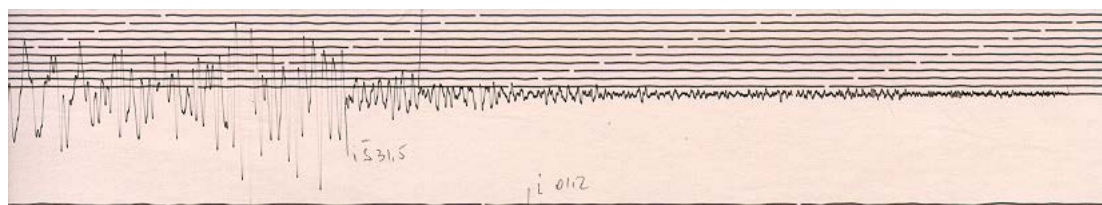
Рис. 3. Пример записи Семипалатинского взрыва 20 июля 1985 года (приборы типа СКМ V=25000).



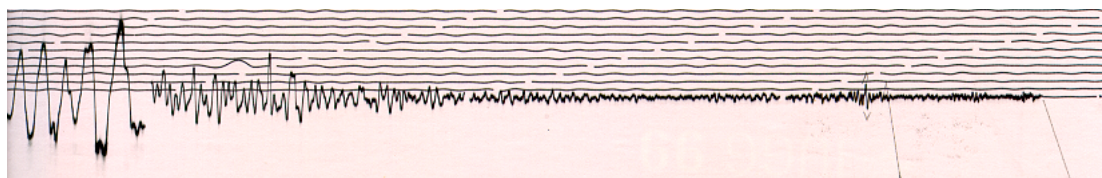
ANV (809 km)



KDS (888 km)



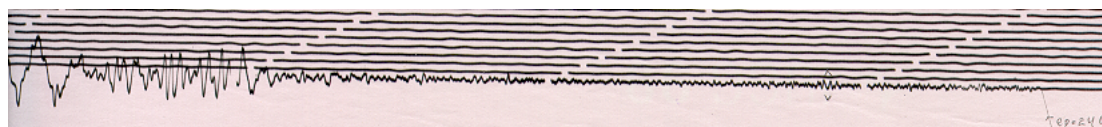
EKS (908 km)



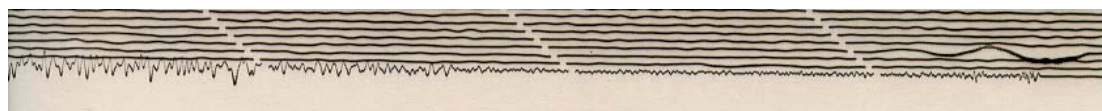
AAR (889 km)



MNS (973 km)



ARL (976 km)



ARC (1061 km)

Рис. 4. Пример записи Семипалатинского взрыва 20 июля 1985 года (приборы СКД, $V = 1000$).

Исследование полученных материалов позволяет отметить следующие особенности записей Семипалатинских взрывов аналоговыми станциями сейсмической сети Кыргызстана.

- Записи объёмных волн при подземных ядерных взрывах состоят из большого числа волн, что несомненно связано с более короткопериодным составом возбуждаемых в этом случае колебаний, в результате чего возможно

возникновение большого числа волн, преломлённых и отражённых не только от основных, но и на промежуточных границах раздела в земной коре.

- ✓ На записях подземных ядерных взрывов сейсмических станций Кыргызстана (в преобладающем их большинстве) довольно чётко прослеживаются фазы волн, приходящие через: (1÷3) сек., (10÷12) сек., (19÷22) сек., (30÷33) сек. после первой волны.
- Записи на сейсмических станциях, располагающихся в различных частях Тянь-Шаня (Северном, Центральном, Восточном, Южном и Западном), отличаются по характеру проявления на сейсмограммах. На записях станций района Иссык-Куля («Ананьево», «Каджи-Сай», «Боом», «Сары-Джаз», «Сару», «Кенсу», «Джергалан», «Шаты», «Карасай») сначала отмечается слабая волна с незначительными амплитудами, далее вступает более интенсивная волна с чётким вступлением, а затем – очень чёткая волна с максимальными амплитудами. На сейсмических станциях, расположенных в Чуйской впадине («Эркин-Сай», «Юрьевка», «Чумыш», «Белогорка», «Ала-Арча»), первая фаза волны Pn также характеризуется незначительными амплитудами, но характер их проявления более чёткий, чем на записях станций района Иссык-Куля. На записях станций «Аркит», «Манас», «Арал», «Терек-Сай», «Баткен», «Токтогул» первой регистрируется интенсивная волна с очень чётким вступлением и большими амплитудами. На записях сейсмических станций «Арсланбоб», «Ош», «Чаувай», «Кызыл-Джар», «Суфи-Курган», «Салом-Алик» таких интенсивных первых вступлений Pn волны не наблюдаются.
- На индивидуальных годографах первых вступлений для всех замеренных взрывов сейсмические станции разделяются на две группы, образующие две ветви (рис.2). Одну из них с кажущейся скоростью **8.0-8.1** км/сек образуют сеймостанции, располагающиеся в Северном (Иссык-Кульская впадина), Центральном, Восточном Тянь-Шане и горном обрамлении Ферганской впадины («Ананьево», «Пржевальск», «Джергалан», «Сару», «Кенсу», «Каджи-Сай», «Карасай», «Сарыджаз», «Терской», «Арал», «Нарын», «Арсланбоб», «Аркит», «Нарын», «Кызыл-Джар», «Ош», «Суфи-Курган», «Салом-Алик», «Чаувай»). Ко второй группе (кажущаяся скорость **8.2-8.4** км/сек) относятся станции, расположенные в Северном (Чуйская впадина), Западном, Южном Тянь-Шане и в Ферганской впадине («Чумыш», «Белогорка», «Фрунзе», «Боом», «Юрьевка», «Эркин-Сай», «Ала-Арча», «Манас», «Терек-Сай», «Токтогул», «Кировка», «Кара-Куль», «Баткен»).
- ✓ При учёте данных Бюллетеней сейсмических станций сопредельных государств (Казахстан, Узбекистан, Таджикистан), на ветвь годографа с меньшей скоростью легли также данные станций, располагающихся в Северном Тянь-Шане и в Ферганской впадине («Талгар», «Фабричная», «Медео», «Чилик», «Курменты», «Тянь-Шань», «Майтубе», «Курты», «Наманган», «Фергана»). К ветви годографа с большей скоростью относятся также данные станций, располагающихся в Западном и Южном Тянь-Шане («Новониколаевка», «Чимкент», «Ташкент», «Четсу», «Ура-Тюбе», «Душанбе», «Гарм», «Джиргаталь», «Кастек»).

На рис. 5 показано местоположение сейсмических станций, с указанием их принадлежности к различным ветвям годографов: кружки красного цвета - $V=8.0-8.1$ км/с; кружки синего цвета - $V=8.2-8.4$ км/с. Хорошо видно, что указанные выше две группы станций, отражающие две ветви на годографе, чётко разделяются в пространстве. Важно отметить, что такое разделение не связано с крупнейшими известными в районе исследований системами разломов. Расположенные по разные стороны от Таласо-Ферганского разлома станции «Манас», «Терек-Сай», «Кировка», «Аркит» лежат на одной ветви годографа. Аналогично, разделяемые «линией Николаева» станции «Арал» и «Нарын», «Карасай», «Сарыджаз» лежат на одной ветви

годографа, а разделяемые системой Северо-Тяньшаньских разломов «Чумыш», «Фрунзе», «Эркин-Сай», «Манас», «Кировка» тоже относятся к одной ветви годографа. Наличие на годографе двух ветвей с различными скоростями указывает на существование в низах земной коры Киргизского Тянь-Шаня двух преломляющих границ со скоростями 8.1 и 8.3 км/сек. При этом территория района исследований как бы разделяется на 2 области, каждая из которых характеризуется своей скоростью в низах коры. Граница между этими областями сечёт территорию Республики с северо-востока на юго-запад. Большая скорость в низах коры характерна для северо-запада и запада Тянь-Шаня.

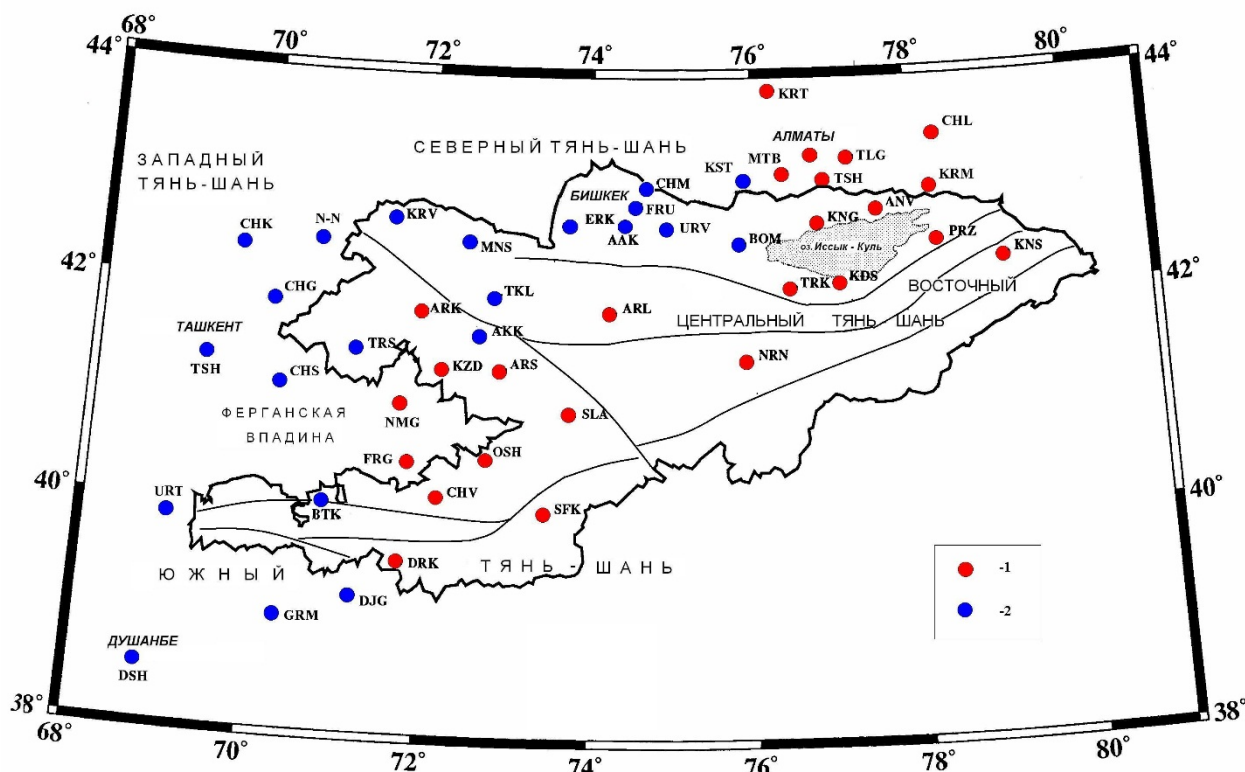


Рис. 5. Расположение регистрирующих сейсмических станций с указанием их принадлежности к ветвям годографа с различными скоростями P_n волн (1- $V=8.0-8.1$ км/с; 2- $V=8.2-8.4$ км/с) взрывов, проводимых на Семипалатинском полигоне.

Тот факт, что для группы станций, расположенных в Чуйской впадине («Чумыш», «Белогорка», «Ала-Арча», «Юрьевка», «Боом», «Эркин-Сай») после первых вступлений волны со скоростью 8.3 км/сек во вторых вступлениях наблюдается также волна со скоростью 8.1 км/сек указывает на существование в этом районе двух указанных границ в низах земной коры одновременно [6].

Обращает на себя внимание значительная разница во временах прихода первой продольной P -волн для практически равноудаленных от источника станций: «Манас» ($\Delta=973$ км, $Az = 213^\circ$) и «Арал» ($\Delta=976$ км, $Az = 204^\circ$) различаются на величину (2.5-3 сек); «Белогорка» ($\Delta=850$ км, $Az = 203^\circ$), «Терскей» ($\Delta=850$ км, $Az = 192^\circ$) - на (1.6 сек) и «Нарын» ($\Delta=970$ км, $Az = 193^\circ$), «Кировка» ($\Delta=972$ км, $Az = 215^\circ$) - на (2.6 сек). На записях этих станций вступления P - волн характеризуются большой чёткостью и ошибки в их идентификации невозможны. Очевидно, на флуктуацию времен пробега оказывают влияние особенности геологического строения на пути распространения и в районе наблюдательной станции, которые отражаются в скоростных свойствах среды.

На рис.6 приведены скоростные разрезы вдоль профилей от ряда станций в направлении Семипалатинского полигона (STS) в пределах скоростной модели [5], на которых отчётливо видны различия скоростного строения.

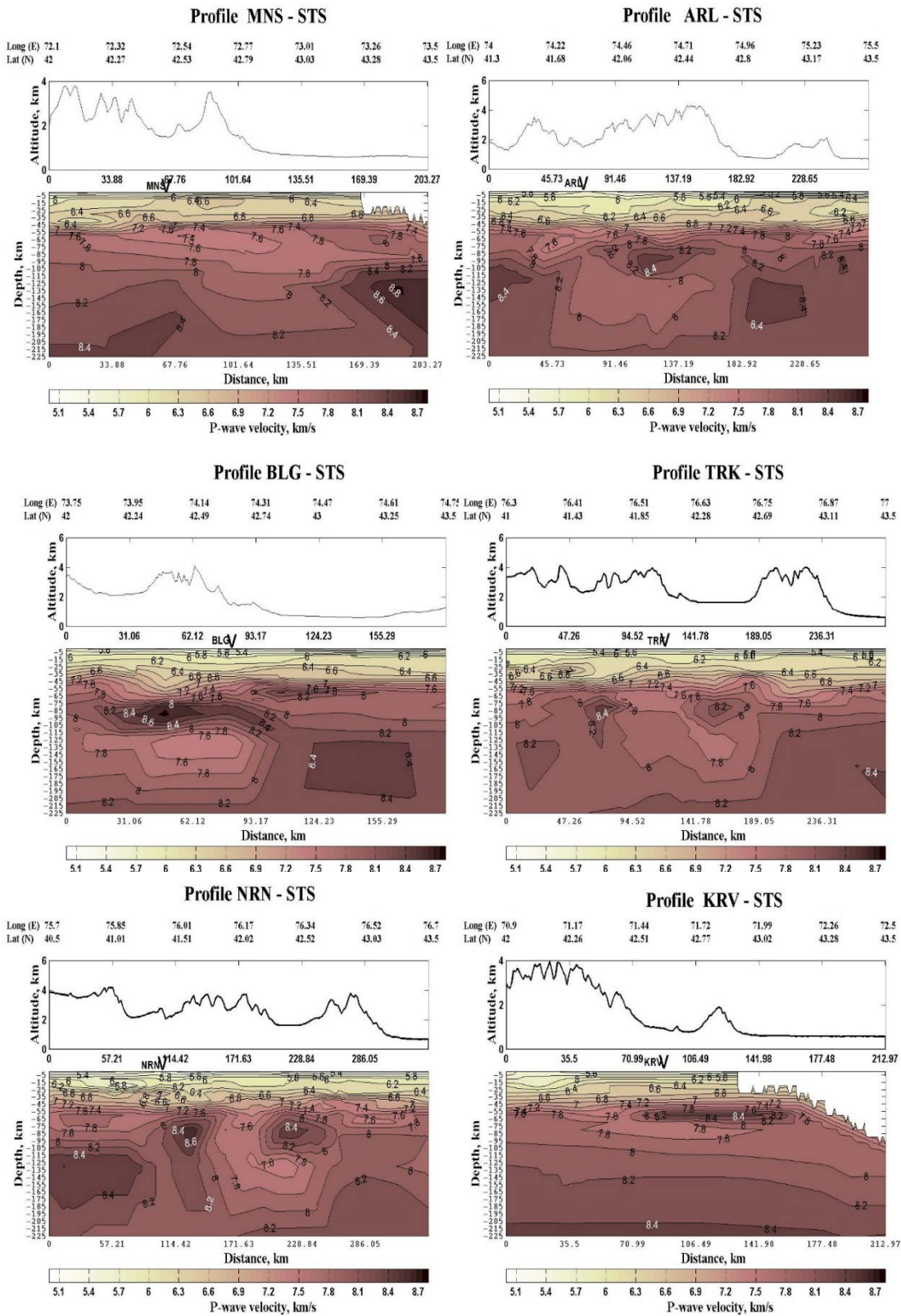


Рис.6. Скоростные разрезы вдоль профилей от станций в направлении Семипалатинского полигона (STS) в пределах скоростной модели [5]. Знаком **V** обозначено местоположение станции на профиле.

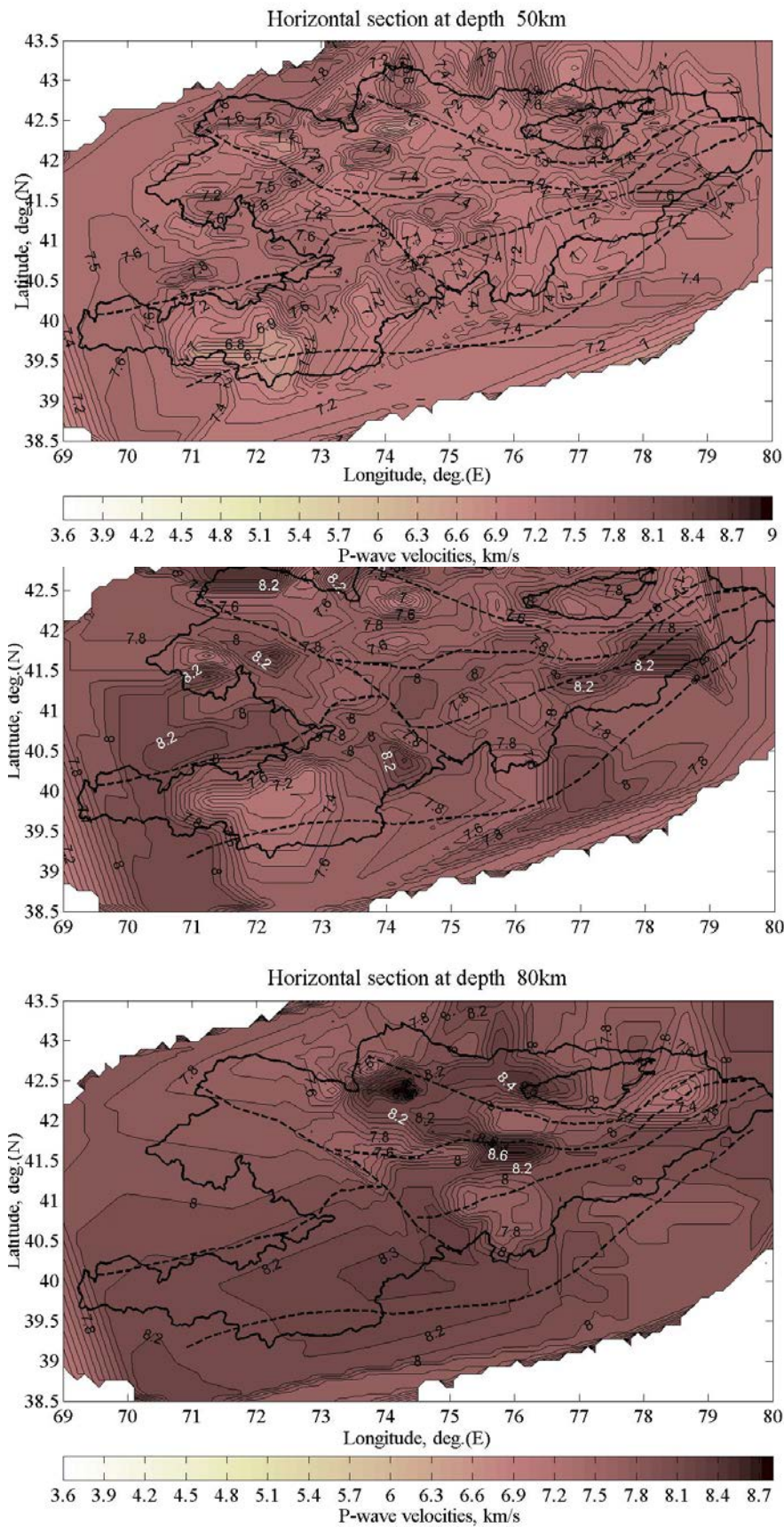
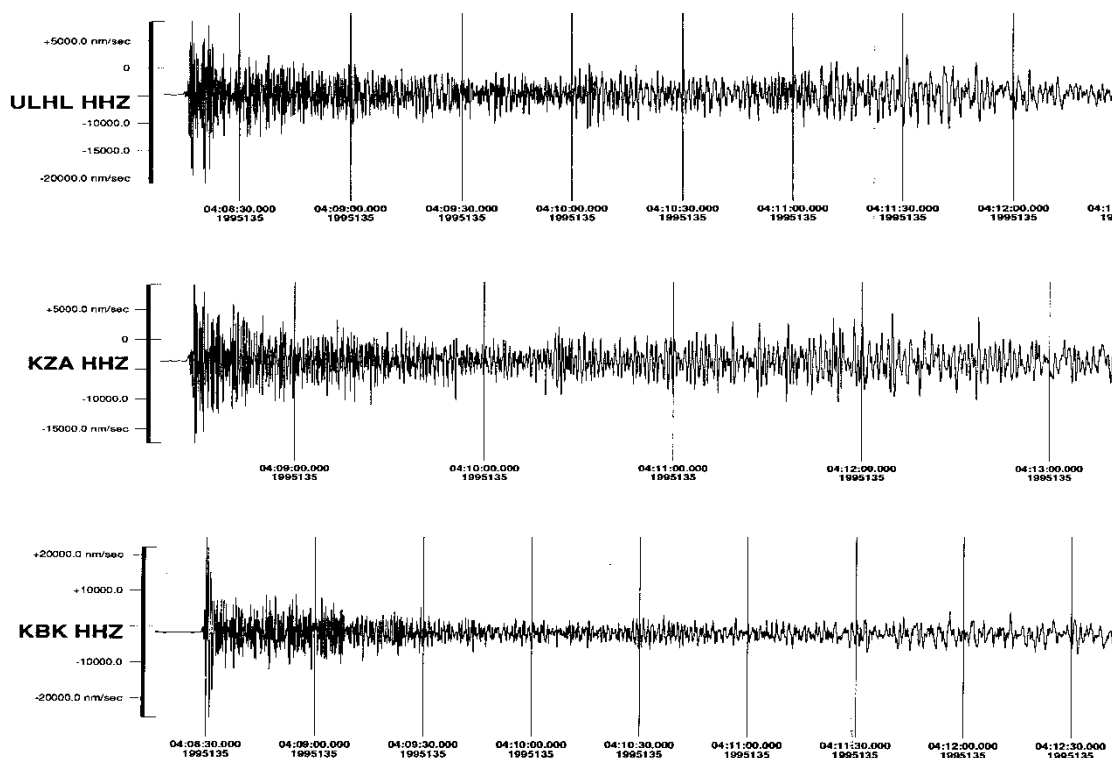


Рис. 7. Горизонтальные срезы на глубинах 50 км, 60 км, 80 км.

Возможно, в рассмотренном случае большое влияние оказывают особенности строения земной коры на глубинах 50-65 км, поскольку именно в этом интервале глубин отмечаются значительные отличия в скоростях V_p в районах местоположения указанных станций (на рис.7 приведены горизонтальные срезы на глубинах 60, 80 км). Но только этим нельзя объяснить различия во временах пробега продольной волны на равноудалённых от источника станциях. Существенное влияние на наблюдаемые времена первых вступлений Р- волн, по-видимому, оказывает также увеличение мощности земной коры в Тянь-Шаньском орогене по сравнению с Казахским щитом. Наличие на осреднённом годографе двух ветвей с разными скоростями позволяет предположить, что волны от источника до станций, образующих эти ветви, распространяются в разных скоростных средах. Наблюдаемые различия во временах пробега и кажущихся скоростях при наблюдениях, произведённых при одном источнике взрыва (Семипалатинский Испытательный Полигон-СИП), и в одном и том же районе по различным направлениям, по-видимому, говорит о негоризонтальном залегании границ основных слоев земной коры.

Отметим особенности волновой картины ядерных взрывов, произведённых на полигоне Лобнор, в Китае. Пример записи взрыва, произведённого 16.08.1990 года ($m_b=6.7$), станциями цифровой сети KNET, располагающимися от полигона на расстояниях 900-1300 км, приведён на рис.8. Годограф Р-волн этого взрыва приведён на рис. 9.

На записях сейсмических станций Кыргызстана подземных ядерных взрывов, проводимых на полигоне Лобнор, отмечается большое число волн и чётко прослеживаются фазы волн, приходящие через: 13÷15 сек., 24÷27 сек., 32÷35 сек., 42÷46 сек. после первой волны. На годографах продольных волн значения кажущихся скоростей для этих фаз волн составляют (км/сек): 8.2-8.3 (первое вступление), 8.2 и 8.1 (две ветви второго вступления), 8.1 (ряд волн с одинаковой скоростью), 7.2, 6.6.



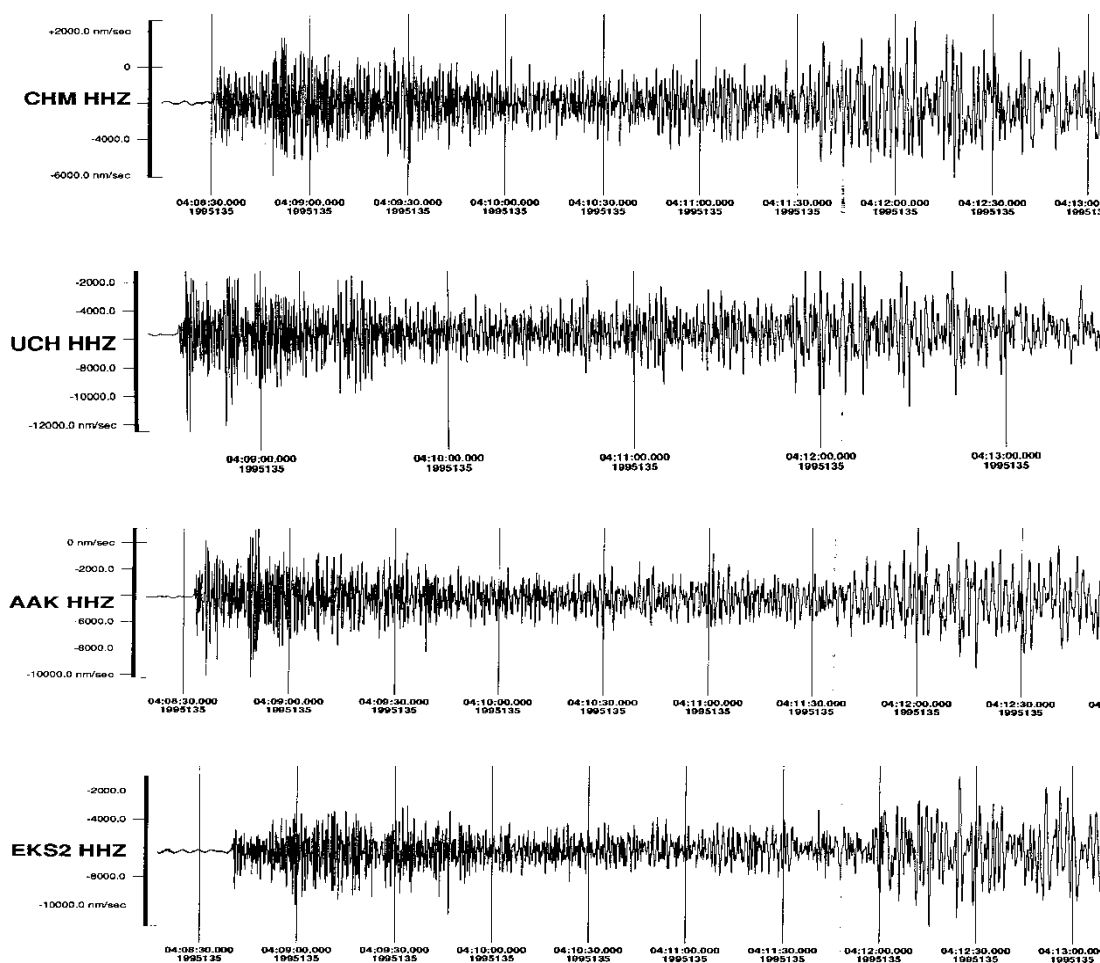


Рис.8. Пример записи взрыва (полигон Лобнор, Китай) станциями цифровой сети KNET.

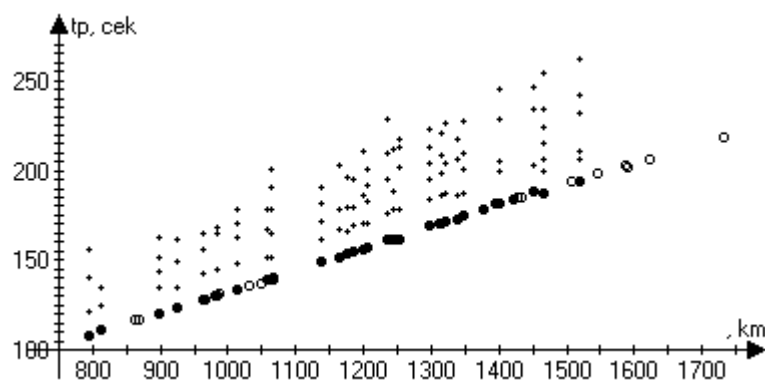


Рис.9. Годограф Р-волн, зарегистрированных при подземном ядерном взрыве на полигоне Лобнор 16.08.1990 г. (условные обозначения на рис.2).

Наличие групп волн с большими значениями кажущихся скоростей (8.1-8.3) вполне оправдано, если рассматривать распределение скоростей Р-волн в нижней части земной коры и верхней мантии в сейсмотомографической модели, характеризующихся высокими значениями ([5], рис.7).

Существенное разнообразие скоростных особенностей в разных глубинных диапазонах земной коры (35-50), (50-65), (65-80) км, проявляющееся в сейсмотомографической модели земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня [5], нашло отражение в волновой картине подземных ядерных взрывов, проводимых на Семипалатинском, Лобноровском испытательных полигонах. Наблюдённые данные позволили не только подтвердить сейсмотомографическую модель, но и уточнить её - в данном случае на основе наблюдения разных скоростей Pn-волн сделать вывод о расслоённости нижней части земной коры Тянь-Шаня (существовании переходной зоны кора-мантия).

Литература

1. Демьяновский С.В. Сейсмические события (подземные ядерные взрывы) для верификации скоростной модели среды в районе Тянь-Шаня. – Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ.- 1998.- 7 стр.
2. Испытания ядерного оружия и ядерные взрывы в мирных целях СССР 1949-1990 гг./ Российский федеральный ядерный центр – ВНИИЭФ, 1996. ISBN 5-85165-062-1. Редакционная группа под руководством В.Н.Михайлова.
3. Thomas B.Cochran, William M.Arkin, Robert S.Norris, Jeffrey I.Sands Harper Nuclear Weapons Databook. Volume IV. Soviet Nuclear Weapons & Row, Publishers, New York. 1989.
4. Пасечник И.П. Характеристика сейсмических волн при ядерных взрывах и землетрясениях.- Москва: Наука.- 1970.- 196 с.
5. 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.
6. Сабитова Т.М., Адамова А.А., Меджитова З.А. Трёхмерная скоростная модель земной коры Тянь-Шаня по данным сейсмотомографических исследований // Современная геодинамика областей внутриконтинентального горообразования (Центральная Азия). – Москва: Научный мир.-2005.-С.118-134.

Рецензент: к. ф.-м. н. Фролова А.Г.