

УДК 528.083+550.380+550.837.82+551.242 (575.2)(04)

СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭФФЕКТОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ
МОЩНЫМ ПРОМЫШЛЕННЫМ ВЗРЫВОМ В РАЙОНЕ НАРЫНСКОГО КАСКАДА
ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ (КАМБАРАТА)

В.Д. Брагин

22 декабря 2009 г. был выполнен комплекс сейсмических наблюдений при проведении мощного промышленного взрыва (2,8 кТ) в районе Токтогульского водохранилища (Камбарата). Наблюдения проводились вдоль меридионального (длина 230 км) и субширотного профилей (длина 185 км).

Ключевые слова: сейсмические наблюдения; сейсмические волны; сейсмическая станция; разлом, взрыв.

Введение. При проведении исследовательских работ, связанных с прогнозной тематикой, используют комплекс геофизических методов для фиксации аномальных вариаций каких-либо параметров, наблюдаемых в геофизических полях. Для выделения аномальных вариаций исследователи применяют различные критерии, которые получают из теоретических предпосылок или из накопленного многолетнего опыта. Для эффективного проведения подобных работ необходимо иметь представление о строении исследуемой территории на основе анализа структурных как локальных, так и региональных геологических и геофизических исследований [1, 2, 3].

Промышленные взрывы являются мощным источником деформационного поля. Исследования, в том числе сейсмические, на базе мощных промышленных взрывов достаточно редки. Их возможно и необходимо использовать для уточнения глубинного строения территорий с целью уточнения рамок критериев, используемых в прогнозных исследованиях [1, 4, 5].

Важным является и исследование последствий мощных взрывов, в частности, вызванной сейсмической активности, возможных подвижек по разломным зонам в районах, прилегающих к пункту взрыва. В результате осуществления комплексных исследований на базе больших взрывов, возможно получить новые фундаментальные знания о физике процесса, связанного с искусственным воздействием на состояние природной геологической среды [3, 7].

Проведение подобных работ требует значительных материальных и людских затрат. Поэто-

му, при проведении комплексных наблюдений за Камбаратинским взрывом был создан консорциум, в который вошли исследовательские организации из Киргизии, Казахстана, России и Германии.

Краткая геолого-тектоническая характеристика эпицентральной зоны взрыва. В структурном отношении эпицентральной зона взрыва (территория Камбаратинской ГЭС-2) принадлежит Нарыно-Сонкульской зоне, основными нарушениями которой являются разломы “Северный” и “Южный” [7]. Разлом “Южный” проходит в нижнем бьефе плотины и пересекает трассу подводящих туннелей непосредственно перед зданием ГЭС. Простираение плоскости разлома широтное, падение на юг (вверх по течению реки) под углом 60–80°. Шов разлома представлен тектонической брекчией трения мощностью до 50 м. По разлому толща ордовика, $O_{2,3}$, получившая распространение на участке плотины и в верхней по течению части долины, надвинута на отложения верхнеогенового возраста и аллювиальные галечники $Q_{2,3}$. Для разлома характерны современные тектонические движения надвигового типа: участок створа и территория выше по реке испытывает восходящие движения, ниже – нисходящие. Направленность этих движений подтверждается разной мощностью аллювиальных отложений в русле реки: выше по реке от разлома она не превышает 15 м, ниже, в котловане здания ГЭС, достигает 100 м. Предполагается, что в случае вспарывания шва разлома остаточные деформации в зоне дробления могут достигнуть 0,5 м [7].

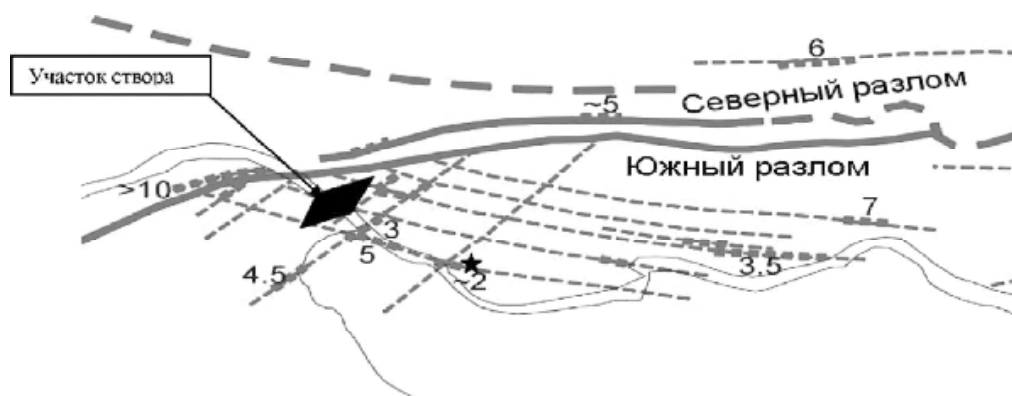


Рис. 1. Тектоническая схема района размещения Камбаратинской ГЭС-2.

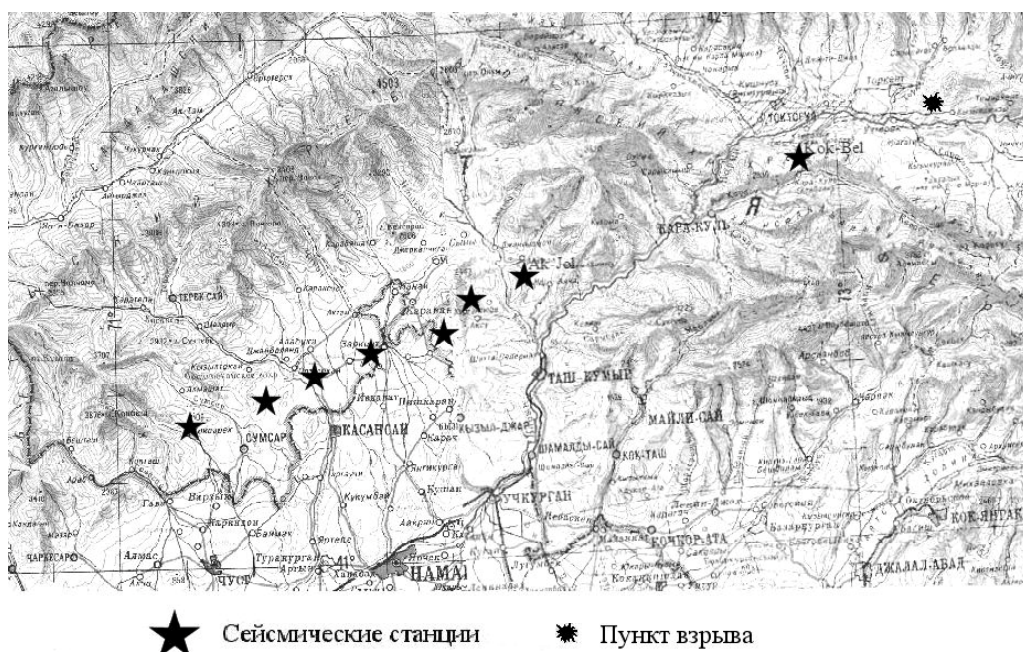


Рис. 2. Схема сети сейсмических наблюдений по субширотному профилю.

С разломом “Южный” генетически связаны разломы более высоких порядков, широко развитые в толще пород Q_{2-3} . Протяженность разрывных нарушений измеряется сотнями метров. Они простираются под углом $20-40^\circ$ к простиранию разлома “Южный”, преобладающие углы падения разломов всех этих систем $65-80^\circ$ (рис. 1).

Один из таких разломов, обозначенный на схеме значком трассируется от разлома “Южный” по дну долины и обнажается в борту каньона правого берега на расстоянии 500 м выше

створа плотины, где он на 3,5 м смещает цоколь аллювиальной террасы. На той же схеме указаны значения современных смещений, установленные по другим разломам этой зоны.

Согласно действующей карте сейсмического районирования территории Кыргызской Республики, район гидроузла относится к 9-бальной зоне землетрясений с магнитудой 7.

Методика сейсмических наблюдений. Регистрация сейсмических колебаний выполнялась вдоль двух профилей – субмеридиональ-

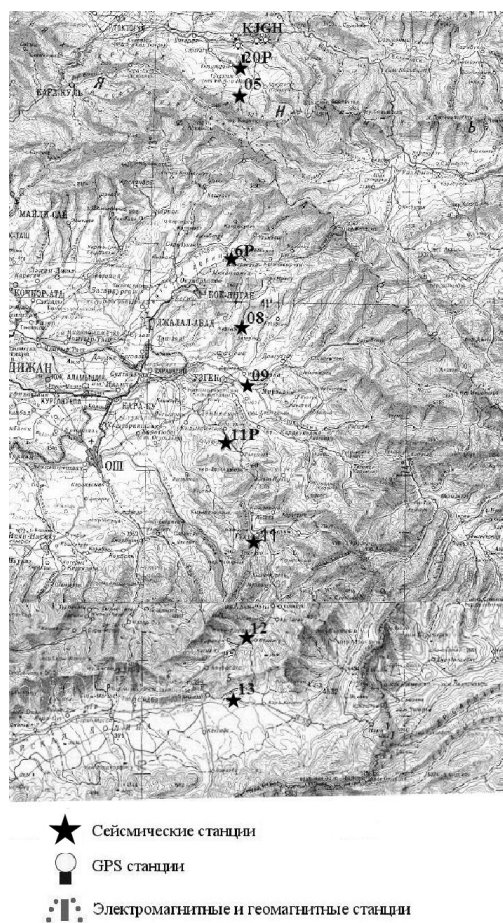


Рис. 3. Схема сети сейсмических наблюдений по меридиональному профилю.

ного, проходящего от пункта взрыва до Алайской долины длиной 230 км и субширотного профиля длиной около 185 км. Схемы расположения профилей представлены на рис. 2 и 3. Регистрация сейсмического поля выполнялась цифровыми широкополосными трехкомпонентными сейсмическими станциями REF TEK 130 совместно с сейсмодатчиками Streiseisen STS-2 (пункты 05, 09, 11, 13) и однокомпонентными станциями типа CUB.

По субширотному профилю и в пунктах 08, 12 меридионального профиля регистрация выполнялась однокомпонентными сейсмостанциями CUB, предоставленными Потсдамским научным центром (Германия). В этих пунктах регистрировалась вертикальная компонента сейсмического поля. В 2008 г. на территории Ошской и Джалалабадской областей Кыргызстана Потсдамским научным центром была установле-

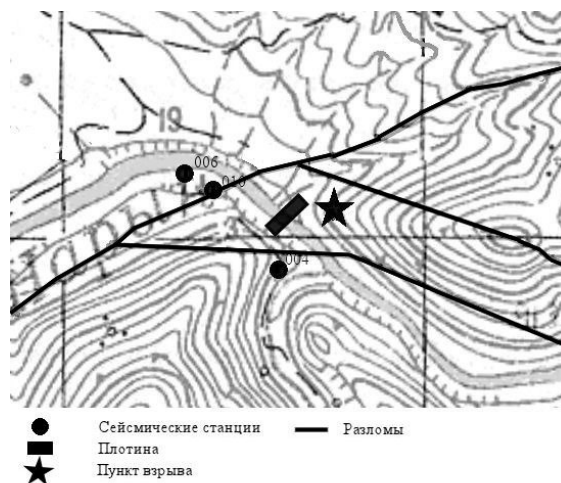


Рис. 4. Схема расположения сейсмических станций 004, 006 и 010 в ближней зоне взрыва.

на сеть широкополосных сейсмических станций. Станции 20Р, 6Р и 11Р этой сети также попадают на меридиональный профиль. Дискретность регистрации во всех пунктах профиля была выбрана 100 измерений в секунду. Все станции профиля построены на базе 24-разрядных АЦП и имеют динамический диапазон около 138 dB.

Для определения точного времени в пункте взрыва вблизи пункта взрыва (от 260 до 470 м) были установлены однокомпонентные станции CUB 004, 006, 010. Схема расположения этих станций относительно пункта взрыва показана на рис. 4.

В табл. 1 приведены координаты пунктов сейсмических наблюдений по субмеридиональному профилю.

В табл. 2 приведены координаты пунктов сейсмических наблюдений по субширотному профилю.

В табл. 3 приведены координаты пунктов сейсмических наблюдений в ближней зоне.

Результаты сейсмических наблюдений. При проведении сейсмических наблюдений одной из наиболее важных задач является установление точного времени проведения взрыва. При проведении взрыва в пункте “Камбарата” не было предусмотрено специального осциллографирования момента взрыва. Электромагнитные методы фиксирования момента взрыва, к сожалению, не дали положительного результата. Поэтому для получения временной отметки были использованы сейсмические станции, установленные в ближней зоне от взрыва (эпицентрального расстояние 260–470 м). Момент взрыва был вычислен по

Таблица 1

Local Name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	DSS s/n	GPS s/n	Sensor s/n
KAMB05	41°36'56.88"	73°20'11.52"	1950	9907	1872	10636
KAMB08	40°55'40.1"	73°21'42.3"	1195	005		2
KAMB09	40°45'25.56"	73°23'04.26"	1038	9885	1715	10638
KAMB11	40°17'50.7"	73°26'5.7"	1558	9904	1709	10603
KAMB12	39°53'45.1"	73°24'05.8"	2460	009		8
KAMB13	39°42'52.44"	73°21'9.36"	3185	9883	1435	10632

Таблица 2

Local Name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	S/N DSS cub	Sensor s/n
Kok-Bel	41°43'20.0"	72°54'05.6"	1240	002	6
Ak-Jol	41°32'9.84"	72°11'21.18"		013	7
Munduz	41°27'37.1"	71°56'35.1"	1284	003	10
Uluk	41°25'16.98"	71°49'30.12"	1080	008	4
Padek	41°23'0.9"	71°38'22.62"		011	3
Yzar	41°21'15.48"	71°30'55.02"		001	1
Chon-Say	41°18'57.5"	71°22'29.7"		007	5
Akbashat	41°19'04.1"	71°11'53.6"		012	13

Таблица 3

Local Name	Latitude	Longitude	Altitude (m)	S/N DSS cub	Sensor s/n	Epicenter distance (m)
004	41°46'20.8"	73°19'49.5"	961	004	9	256.746
010	41°46'34.6"	73°19'33.8"	902	010	14	465.345
006	41°46'39.1"	73°19'37.1"	910	006	11	475.345

Координаты пункта взрыва 41,7753°, 73,3341°, высота 1045 м.

паре станций в предположении: относительной однородности приповерхностного слоя земной коры; скорость сейсмической волны на малых расстояниях одинакова для станций, установленных в ближней зоне, и не зависит от азимута.

Абсолютное время первого вступления Р волны в пунктах 1 и 2 можно найти следующим образом:

$$\begin{cases} t_1 = t_0 + \frac{R1}{V} \\ t_2 = t_0 + \frac{R2}{V} \end{cases}$$

где t_1 и t_2 – время первого вступления Р волны в пунктах 1 и 2 на сейсмограммах соответственно; t_0 – абсолютное время взрыва в пункте 0;

V – скорость продольной сейсмической волны в приповерхностном слое. Из системы линейных уравнений можно вычислить значения t_0 и V :

$$V = \frac{R2 - R1}{t_2 - t_1},$$

$$t_0 = t_1 - \frac{R1}{R2 - R1} \cdot (t_2 - t_1)$$

Отсюда время в очаге $t_0 = 5\text{h } 54' 33.66''$ и скорость сейсмической волны в приповерхностной части разреза $V = 2512$ м/с.

Анализ сейсмограмм станций, расположенных в ближней зоне, позволил выявить очень интересный факт. Рассмотрим станцию 010 (см. рис. 4). Как видно на рисунке, станция попала

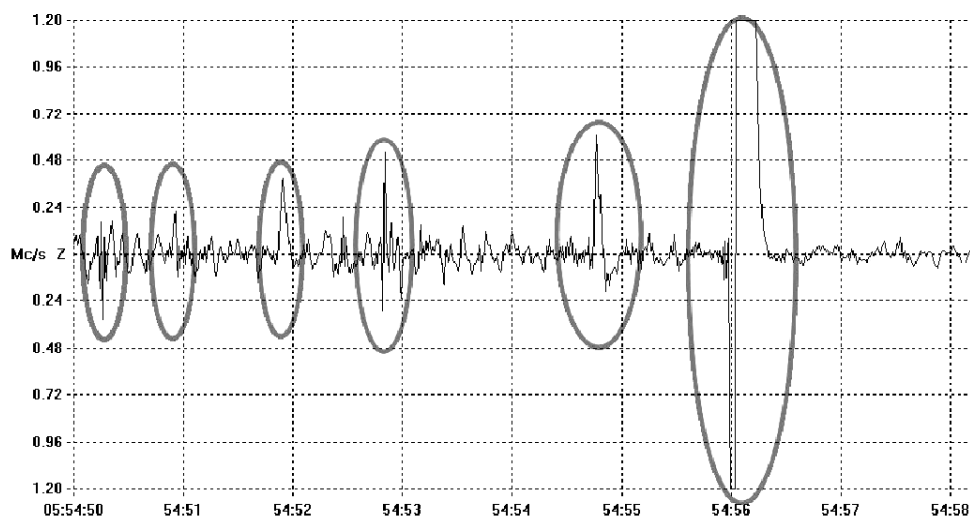


Рис. 5. Запись сейсмического сигнала (вертикальная компонента) в пункте 010. По шкале ординат отложена амплитуда сейсмического сигнала, по шкале абсцисс – абсолютное время в минутах и секундах.

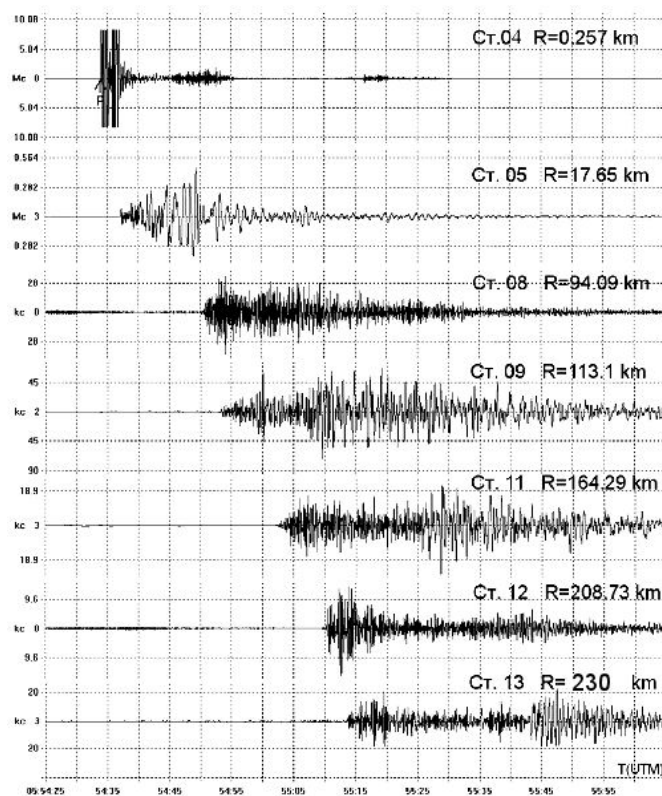


Рис. 6. Примеры сейсмических записей Камбаратинского взрыва на сейсмических станциях, установленных вдоль субмеридионального профиля. По шкале ординат отложена амплитуда сейсмического сигнала, по шкале абсцисс – абсолютное время в минутах и секундах.

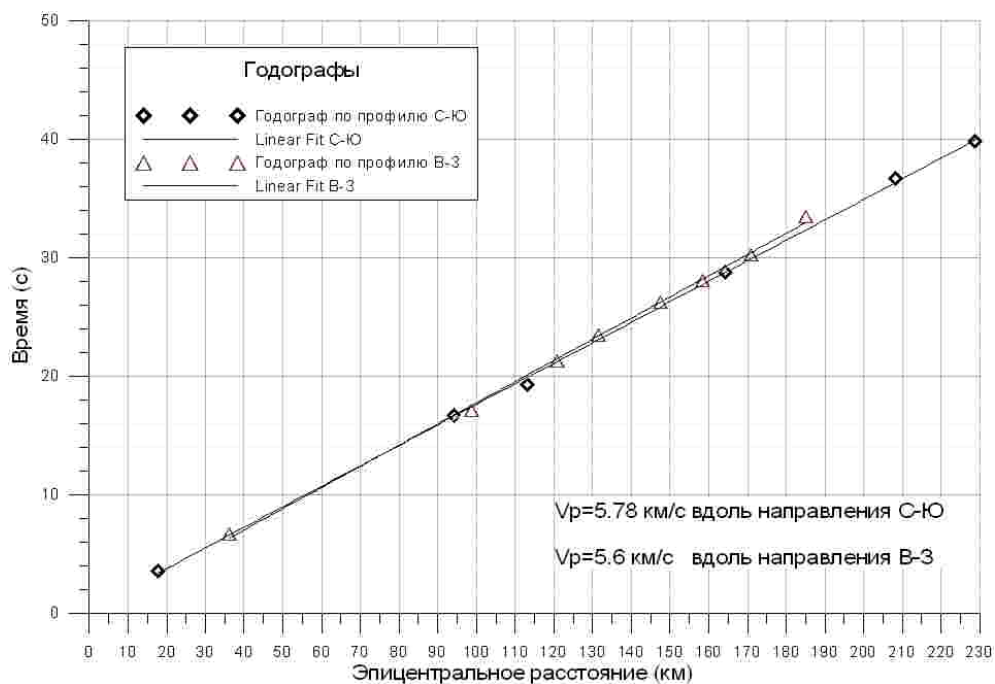


Рис. 7. Годографы первых вступлений продольных волн от Камбаратинского взрыва 22 декабря 2009 г. в направлениях С-Ю и В-3.

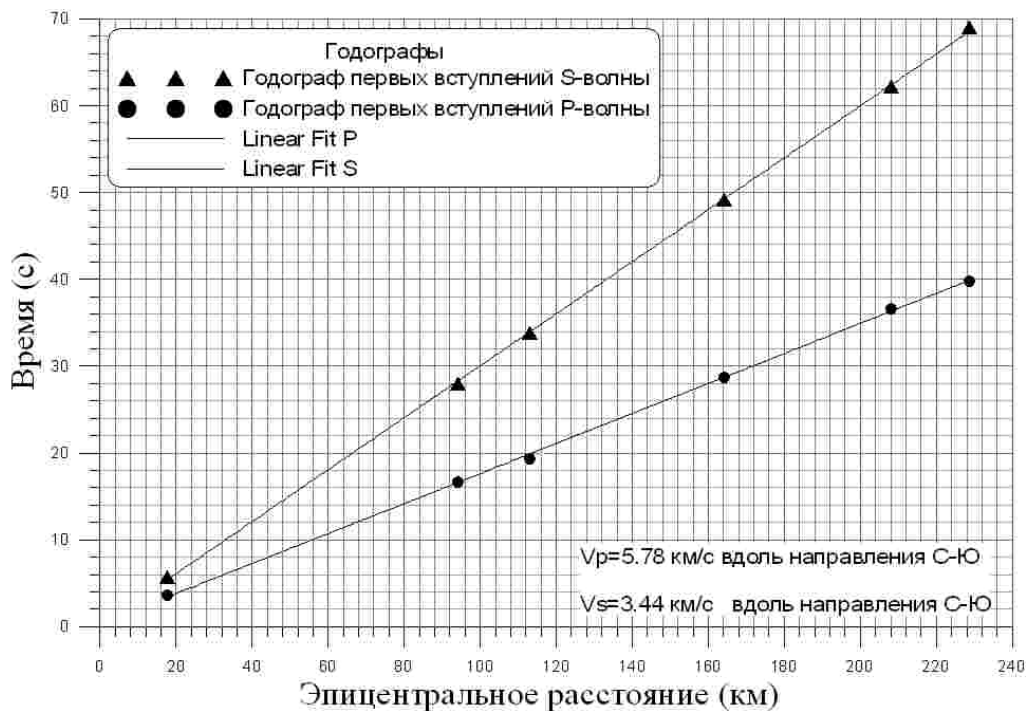


Рис. 8. Годографы первых вступлений поперечной (S) и продольной (P) волн на расстоянии 230 км от Камбаратинского взрыва 22 декабря 2009 г. в направлениях С-Ю.

в зону Южного разлома. При детальном рассмотрении сейсмической записи обращает на себя внимание наличие в сейсмическом сигнале серии достаточно коротких импульсов, пришедших в пункт наблюдения после взрыва (см. рис 5).

Этот факт свидетельствует о том, что процессы, вызвавшие подобную картину, произошли в зоне, приуроченной к Южному разлому. Наличие импульсных сигналов, произошедших после взрыва, свидетельствует об активизации Южного разлома в виде подвижек, в том числе и в вертикальной плоскости. На рис 6 приведены примеры сейсмических записей на сейсмических станциях, установленных вдоль субмеридионального профиля.

Как видно на рис. 6, отмечается хорошее качество сейсмических записей. Следует отметить присутствие в записях станции 04 двух дополнительных сигналов, пришедших в пункт наблюдения после взрыва. Природа этих сигналов пока не понятна, но ясно, что они были инициированы Камбаратинским взрывом.

Наличие высококачественного сейсмического материала позволило построить взрывные годографы первых вступлений продольных и поперечных волн, как по меридиональному, так и по субширотному направлению. Известно, что взрывные годографы – дефицит. Они необходимы как для обработки сейсмологических данных, так и для исследования строения земной коры. Для территории Киргизии был только один взрыв с известными T_0 и приблизительными координатами, который был произведен 8 февраля 1975 г. Полученные данные позволили уточнить годографы, построенные в то время. На рис. 7 представлены годографы первых вступлений продольных волн по двум направлениям – С-Ю и В-З.

Сравнение полученных годографов от Камбаратинского взрыва с годографами, полученными от Токтогульского взрыва [4], показало их существенное отличие. По-видимому, это связано со значительными погрешностями, допущенными при построении годографов от Токтогульского взрыва и в первую очередь с вычислением времен первых вступлений по сейсмическим записям старых аналоговых сейсмических станций, учитывая, что служба времени в то время базировалась на сигналах радиостанции “Маяк”. При этом ошибка привязки временной шкалы сейсмической станции могла составлять 0,2 с, а зачастую и более. На современных цифровых сейсмических станциях производится автоматическая привязка часов станции к всемирно-

му времени посредством встроенных GPS-приемников. При этом ошибка синхронизации составляет не более 1 мксек. На рис. 8 представлены годографы первых вступлений поперечных и продольных волн по направлению С-Ю.

Выводы. Анализ результатов проведенных сейсмических наблюдений является предварительным. Полный анализ эффектов в сейсмических полях будет возможен после сбора сейсмических данных со всех участвовавших в эксперименте сейсмических сетей и, в первую очередь, сетей, установленных Потсдамским научным центром на территории Ошской области и территории Таджикистана.

Однако выполненные наблюдения позволили:

- выявить активизацию Южного разлома после производства мощного взрыва;
- получить взрывные годографы первых вступлений продольной и поперечной волн в меридиональном субширотном направлении и тем самым уточнить скоростную модель верхней части земной коры.

Литература

1. Гамбурцев Г.А., Вейцман П.С., Тулина Ю. В. Строение земной коры в районе Северного Тянь-Шаня по данным глубинного сейсмического зондирования // Докл. АН СССР. 1955. 105. № 1, С.17–25.
2. Косминская И.П., Михота Г.Г., Тулина Ю.В. Строение земной коры в Памиро-Алайской зоне по данным глубинного сейсмического зондирования // Изв. АН СССР. Сер. геофиз. 1958. № 10. С. 30–37.
3. Коридалин Е.А. Изучение строения земной коры сейсмическими методами. М.: Изд. АН СССР. 1939. С. 186.
4. Сабитова Т.М. Скоростные особенности земной коры Таласо-Ферганского разлома и их связь с сейсмичностью // Геологическое строение и сейсмичность Токтогульского и Фрунзенского полигонов. Фрунзе: Илим, 1988. С. 13–20.
5. Бунэ В.И., Бутовская Е.М. О годографе и строении земной коры в Средней Азии по записям мощных взрывов // Тр. Геофиз. ин-та АН СССР. 1955. № 30 (157). С.68–81.
6. Сводная пояснительная записка к проекту “Камбаратинская ГЭС-2 на р. Нарын в Кыргызской Республике, Актуализация проекта”. ООО “СПИИ “Гидроспецпроект”. М., 2008. 135 с.
7. Гурвич Н.И. Сейсмическая разведка. М.: Гостехиздат, 1960. С. 504.