

УДК 550.34

Омуралиев М., Омуралиева А.,  
Омурбек кызы К.  
Институт сейсмологии НАН КР,  
г.Бишкек, Кыргызстан

## ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ В РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ ВБЛИЗИ КУМТОРСКИХ ВЗРЫВОВ

**Аннотация:** В статье представлены результаты исследования за изменением скоростных характеристик и состоянием среды земной коры в реальное время вблизи Кумторских взрывов, которые излучают сейсмические волны. Вариации  $V_p$ ,  $V_s$  и  $V_p/V_s$  указывают на частое и скачкообразное изменение во времени. Наблюдаются проявления флюидов и частичного плавления, которые обусловлены, вероятно, естественными и техногенными процессами литосферы.

**Ключевые слова:** промышленный взрыв, суточное слежение, годограф, скорость сейсмических волн, земная кора, флюиды, частичное плавление.

## КУМТОРДОГУ ЖАРЫЛУУЛАРГА ЖАКЫН ЖЕРДЕГИ ЖЕР КЫРТЫШЫНЫН АБАЛЫНЫН АЙКЫН УБАКЫТТА ӨЗГӨРҮҮСҮ

**Кыскача мазмуну:** Макалада сейсмикалык толкундардын очогу болгон Кумтордогу жарылууларга жакын жердеги жер кыртышынын ылдамдык мүнөздөмөлөрдүн жана анын абалынын күнүмдүк өзгөрүүлөрүн изилдөөнүн жыйынтыктары берилген.  $V_p$ ,  $V_s$  жана  $V_p/V_s$  нын вариациялары убакыт боюнча бат-бат жана секирмелүү өзгөрүүлөрдү көрсөтүшөт. Флюид жана толук эмес эрүүнүн көрүнүштөрү байкалган. Буга литосферадагы табигый жана техногендик процесстери себеп болушу ыктымал.

**Негизги сөздөр:** өнөр жайлык жарылуу, суткалык көзөмөлдөө, годограф, сейсмикалык толкундардын ылдамдыгы, жер кыртышы, флюид, толук эмес эрүү.

## CHANGE IN THE STATE OF THE CRUST IN REAL TIME NEAR LOCATION OF THE KUMTOR EXPLOSIONS

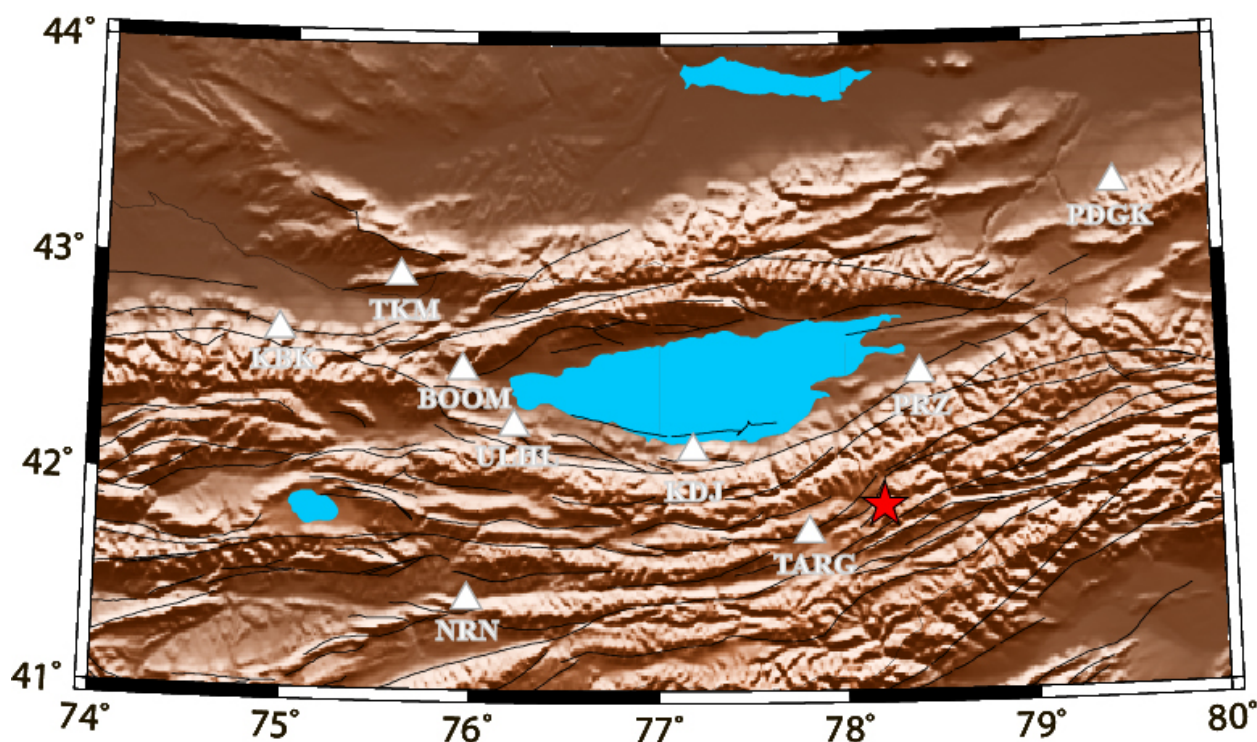
**Abstract:** Results of the study on change in the velocity properties and state of the crust in real time near location of the Kumtor explosions which generate seismic waves are presented in the paper. Variations of  $V_p$ ,  $V_s$  and  $V_p/V_s$  point out to frequent and stepwise change in time. Occurrence of fluids and partial melting are observed, that probably are specified by the natural and man-made processes of the lithosphere.

**Keywords:** industrial explosion, daily monitoring, hodograph, velocity of seismic waves, crust, fluids, partial melting.

Изучение состояния среды слоев земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня по изменению скоростей распространения сейсмических волн в реальное время является актуальным. Временная изменчивость годовых скоростных свойств литосферы изучена по данным ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне, а также крупномасштабного Камбаратинского взрыва, регистрируемых, в частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана [1, 2, 3, 4]. Отмечены ритмы 1,3 года, 2 года и 4-6 лет. При изучении Аглатасских взрывов (на южном склоне Киндыктасского хребта), повторно произведённых через сутки и более, анализировалось изменение амплитуд продольных и поперечных волн ( $A_p$ ,  $A_s$ ,  $A_s/A_p$ ) по данным сейсмических станций «Ананьево», «Боом», «Карагай-Булак», «Ала-Арча» и

другие для поиска предвестников землетрясений [5, 6]. Отмечено, что графики изменения амплитуд имеют колебательный характер. Выделены определённые гармоники со свойственными периодами, амплитудами и фазами. Изменчивость состояния земной коры и верхней мантии в реальное время отмечена в результате изучения сейсмических волн ряда Кумторских взрывов за 2012 г. [7].

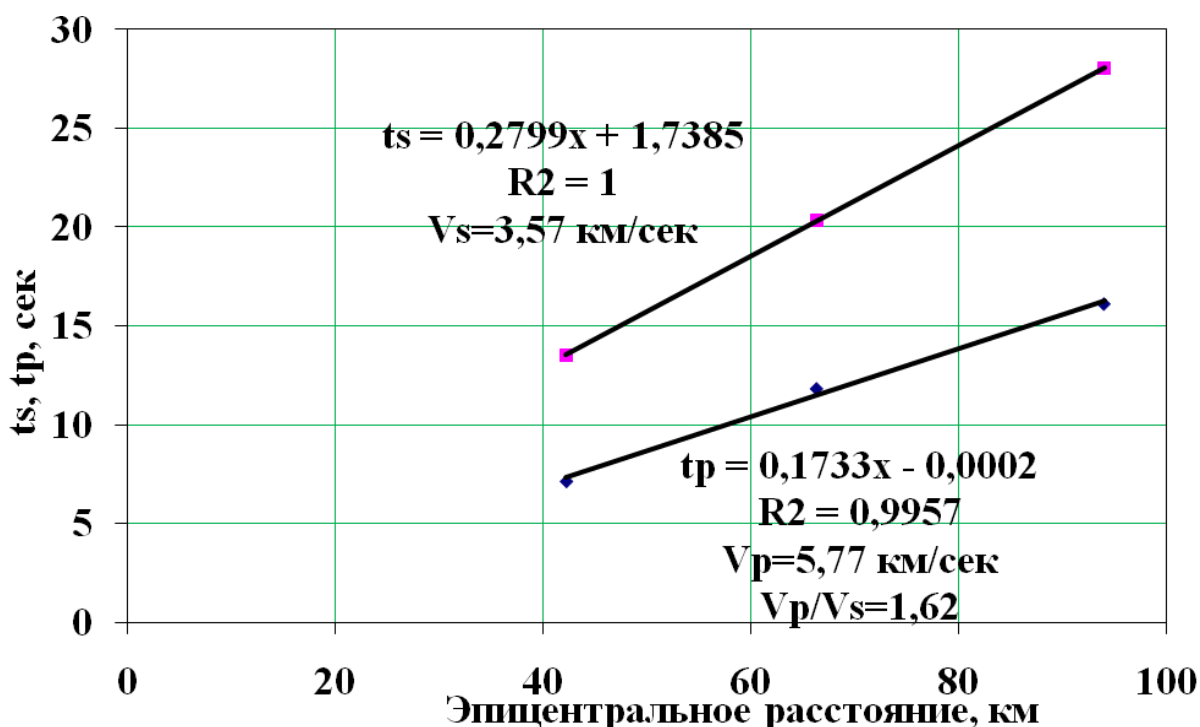
Уникальное золоторудное месторождение «Кумтор», расположенное на северном склоне Акшийракского хребта, разрабатывается уже более 20 лет открытым взрывным способом. Взрывы производятся ежедневно или через день. Сейсмические волны взрывов записываются цифровыми сейсмическими станциями сети KRNET («Каракол» (PRZ), «Каджи-Сай» (KDJ), «Нарын» (NRN), «Боом» (BOOM)), KNET («Улахол» (ULHL), «Токмок» (TKM), «Карагай-Булак» (KBK)), CAREMON («Подгорная» (PDGK)) и станцией «Тарагай» (TARG) Центрально-Азиатского института прикладного исследования Земли (Кыргызстан, Германия). Эти станции расположены севернее, северо-западнее и юго-западнее от местоположения рудника «Кумтора» (рисунок1). Сейсмическая энергия взрывов колеблется от  $10^5$  Дж до  $10^7$  Дж. Магнитуда их составляет  $M_{pv}=1.8-3.1$  (по данным Института сейсмологии НАН КР).



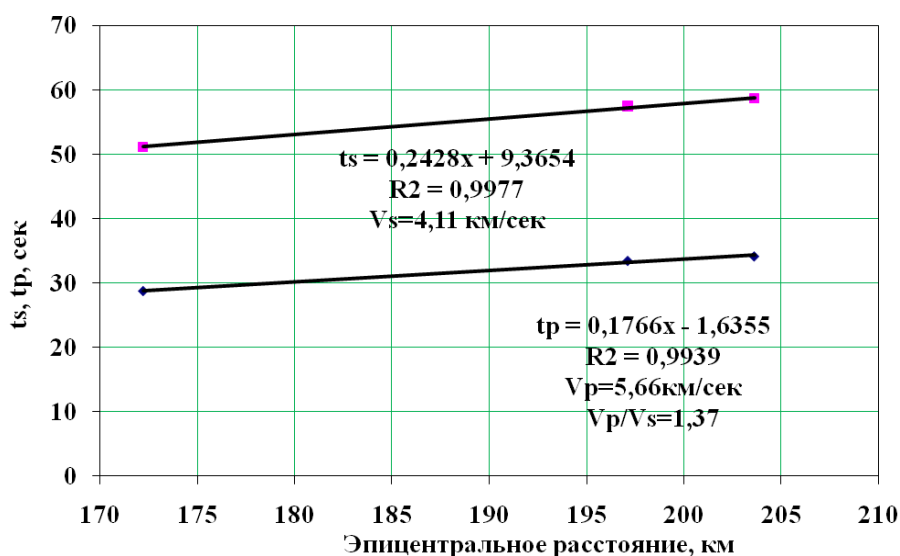
**Рисунок 1.** Сеть цифровых сейсмических станций, записывающая Кумторские взрывы. Треугольниками обозначены сейсмические станции «Каракол» (PRZ), «Каджи-Сай» (KDJ), «Нарын» (NRN), «Боом» (BOOM), «Улахол» (ULHL), «Токмок» (TKM), «Карагай-Булак» (KBK), «Подгорная» (PDGK), «Тарагай» (TARG). Звёздочкой обозначена локация золоторудного месторождения «Кумтор».

Основными доступными параметрами, характеризующими состояние среды земной коры и верхней мантии, являются: скорость сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение ( $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$ ), максимальные амплитуды и периоды этих амплитуд, их отношения ( $A_p$ ,  $T_p$ ,  $A_s$ ,  $T_s$ ,  $A_s/A_p$ ,  $A_p/T_p$ ,  $A_s/T_s$ ,  $(A_s \cdot T_p)/(A_p \cdot T_s)$ ). Скорость сейсмических волн

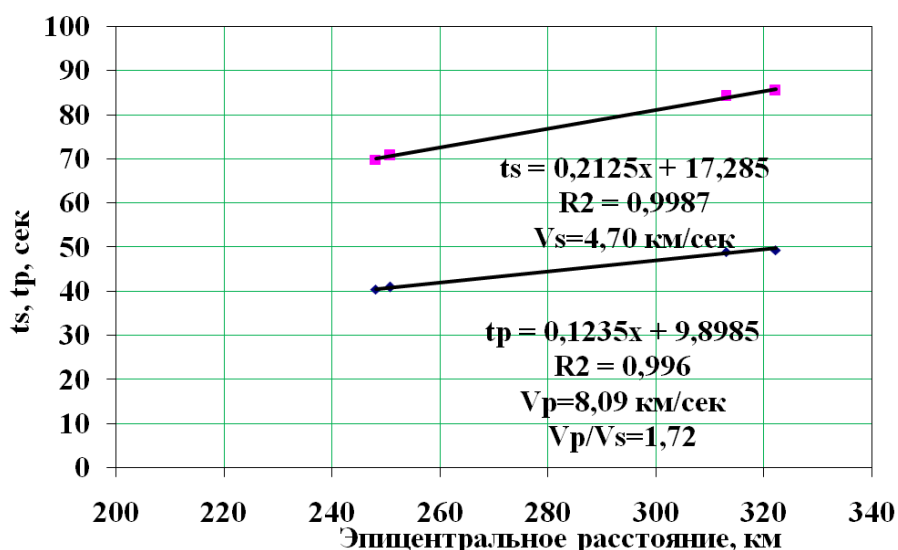
определялась составлением годографов для каждого взрыва. Анализ показал, что годограф состоит из различных отрезков на эпицентральных расстояниях в соответствии с данными сети сейсмических станций: первый отрезок - до 100 км, второй - более 100 км. Эти отрезки на годографах, очевидно, выражают скорость волн в верхнем, нижнем слоях земной коры и верхней мантии. Значения скоростей сейсмических волн во время последовательных взрывов показывали ход изменения состояния среды в слоях земной коры и верхней мантии. Годографы имели достаточную точность, достоверность аппроксимации составляла около  $R^2 = 0.99$ . На рисунке 2, в качестве примера, приведены три отрезка годографа взрыва, произведённого 1 апреля 2012 г. в 8 час. 4 мин. 37.27 сек. Первый отрезок годографа на эпицентральных расстояниях 42-94 км получен по данным станций: «Тарагай», «Каракол», «Каджи-Сай» (рисунок 2а). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет  $R^2 = 1.0-0.99$ . Второй отрезок годографа на эпицентральных расстояниях 172 - 204 км получен по данным станций: «Улахол», «Нарын», «Боом» (рисунок 2б). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет около  $R^2 = 0.99$ . Третий отрезок годографа на эпицентральных расстояниях 248 - 323 км получен по данным станций: «Токмок», «Кызарт», «Учтор», «Ала-Арча» (рисунок 2в). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет около  $R^2 = 0.99$ .



**Рисунок 2а.** Отрезки годографа взрыва, произведённого 1 апреля 2012 г. в 8 час. 4 мин. 27.27 сек. на эпицентральных расстояниях 42 - 94 км.



**Рисунок 26.** Отрезки годографа взрыва, произведённого 1 апреля 2012 г. в 8 час. 4 мин. 27.27 сек. на эпицентральном расстоянии 172 - 204 км.



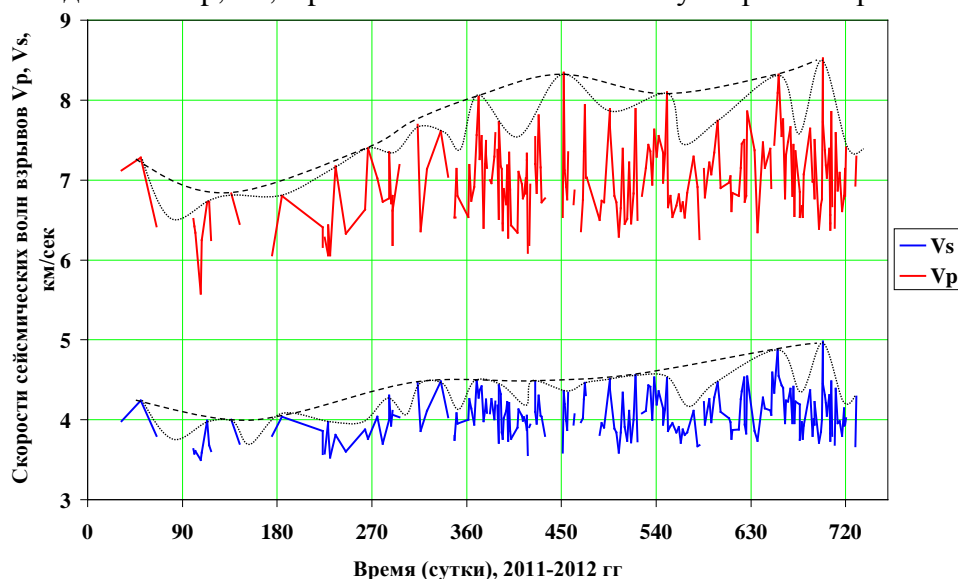
**Рисунок 2в.** Отрезки годографа взрыва, произведённого 1 апреля 2012 г. в 8 час. 4 мин. 27.27 сек. на эпицентральном расстоянии 248 - 323 км.

Временная вариация значений  $V_p$ ,  $V_s$  нижней части земной коры за 2011-2015 гг. приведена на рисунке 3. Наблюдается, что значения скоростей часто изменяются. Вариация величин  $V_p$  имеет среднее значение 6.93 км/сек со стандартным отклонением 0.47, что составляет 6.7 % от среднего значения. Вариация величин  $V_s$  имеет среднее значение 4.0 км/сек со стандартным отклонением 0.26, что составляет 6.7 % от среднего значения. Графики изменения  $V_p$  и  $V_s$ - неровные. Пределы их флуктуации во времени принимают относительно высокие и низкие значения, которые очерчиваются кривыми линиями. При этом отмечаются своеобразные циклы флуктуации первого, второго и более высокого (до суток) порядка. Длительность циклов флуктуации, например, верхних пределов  $V_p$  первого порядка составляет 300-500 суток, второго порядка – 100-230 суток. Следует отметить, что значения верхних пределов флуктуации скоростей в 2011 г. были относительно низкими, а в 2012 г. – сравнительно высокими. В данном регионе 28.01.2013 г. произошли Каркыра-Сарыджазское

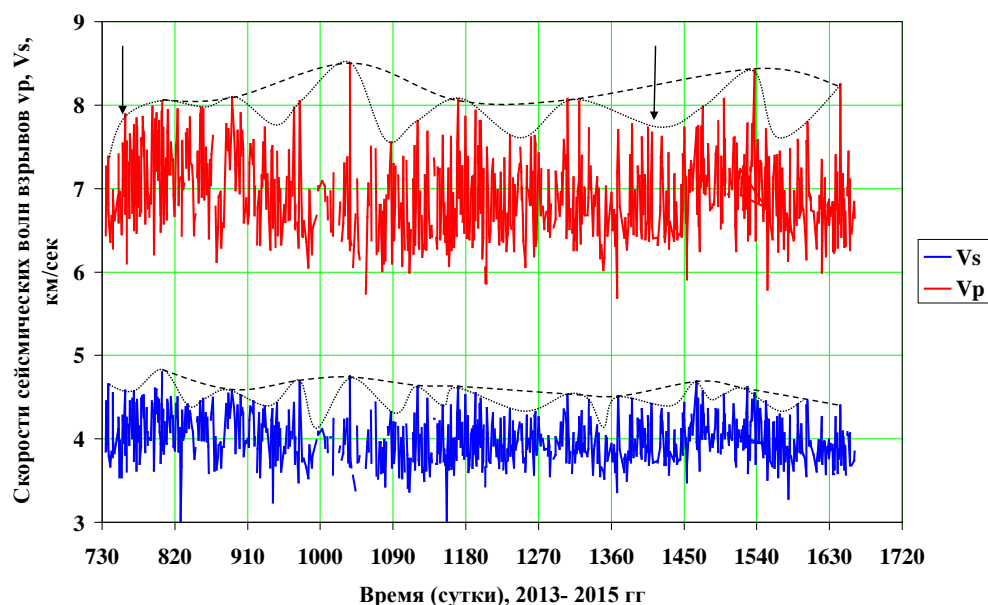
( $K=15$ ,  $\varphi=42.59^\circ$ ,  $\lambda=79.64^\circ$ ) и 14.11.2014 г. Каджисайское ( $K=13.7$ ,  $\varphi=42.12^\circ$ ,  $\lambda=77.22^\circ$ ) землетрясения в восточных частях Восточно-Терской и Западно-Терской поднятий, соответственно.

Вариация величин  $V_p/V_s$  за 2011-2015 гг. приведена на рисунке 4. Величина  $V_p/V_s$  часто изменяется (от 1.53 до 2), имеет среднее значение 1.727 со стандартным отклонением 0.047, что составляет 2.7 % от среднего значения.

Соотношение величин  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  выражает состояние среды [8-12]. А именно, малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  выражают проявление флюидов, а малые значения  $V_p$ ,  $V_s$ , но большое значение  $V_p/V_s$  - частичное плавление. В таблице 1 приведены параметры, указывающие на проявления флюидов и частичного плавления в нижней части земной коры в январе - октябре 2011 г. по данным  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  сейсмических волн Кумторских взрывов.

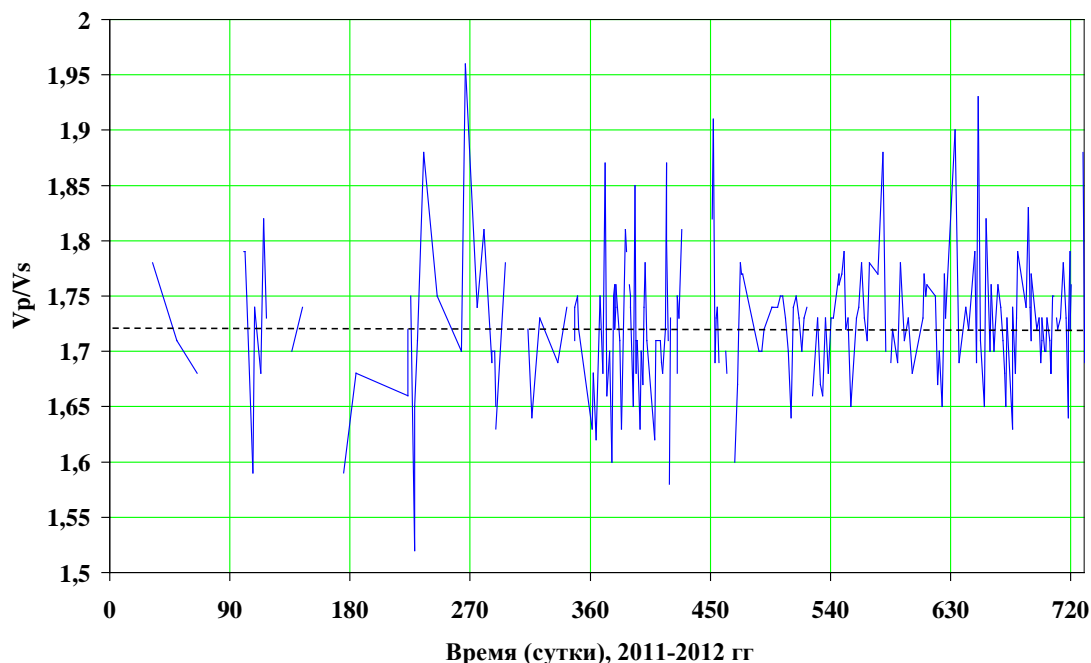


**Рисунок 3а.** Вариация значений скорости продольных  $V_p$  (красная линия) и поперечных  $V_s$  (синяя линия) волн Кумторских взрывов за 2011 -2012 гг., распространённых в нижней части земной коры и верхней мантии. Верхние пределы флуктуации  $V_p$ ,  $V_s$  первого и второго порядка показаны пунктирной и точечной линиями, соответственно.

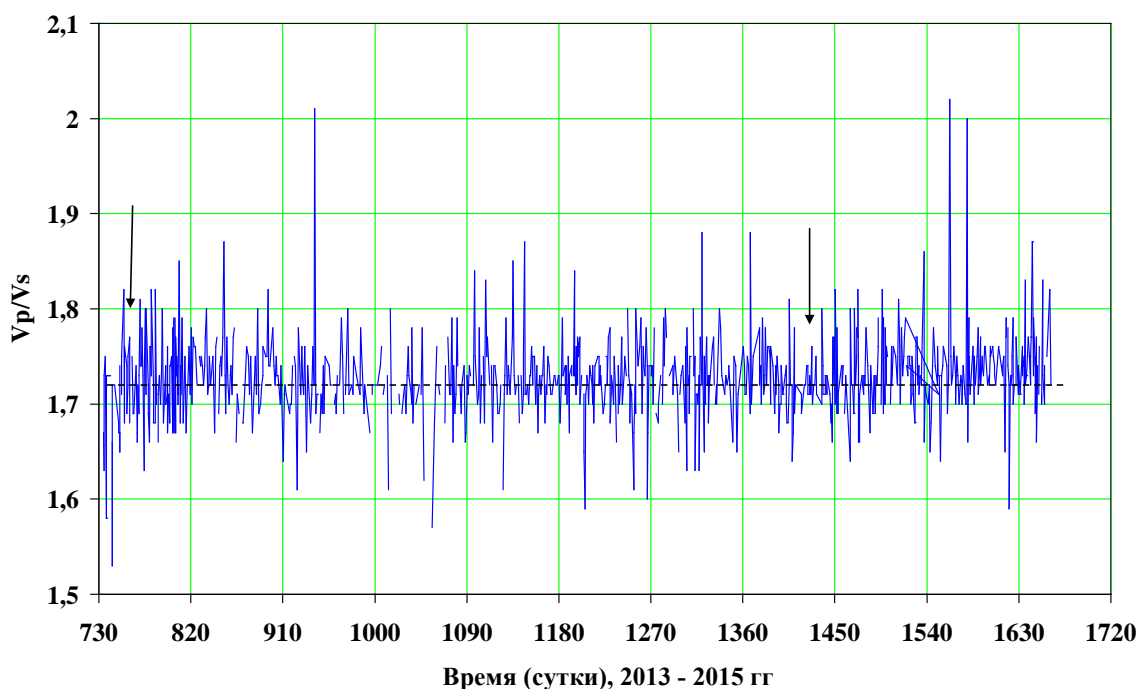


**Рисунок 3б.** Вариация значений скорости продольных  $V_p$  (красная линия) и поперечных  $V_s$  (синяя линия) волн Кумторских взрывов за 2013-2015 гг., распространённых в нижней части земной

коры и верхней мантии. Верхние пределы флуктуации  $V_p$ ,  $V_s$  первого и второго порядка показаны пунктирной и точечной линиями, соответственно. Стрелками указаны Каркыра-Сарыджазское ( $K=15$ , 28.01.2013) и Каджисайское ( $K=13.7$ , 14. 11. 2014) землетрясения.



**Рисунок 4а.** Вариация значений величины  $V_p/V_s$  Кумторских взрывов за 2011-2012 гг., характеризующая нижнюю часть земной коры и верхнюю мантию. Уровень нормального значения  $V_p/V_s=1.72$  показан пунктирной линией.



**Рисунок 4б.** Вариация значений величины  $V_p/V_s$  Кумторских взрывов за 2013 -2015 гг., характеризующая нижнюю часть земной коры и верхнюю мантию. Уровень нормального значения  $V_p/V_s=1.72$  показан пунктирной линией. Стрелками указаны

Сарыджазское (K=15, 28.01.2013) и Каджисайское (K=13.7, 14.11.2014) землетрясения.

Таблица 1.

**Время проявления флюидов и частичного плавления в нижней части земной коры в январе- октябре 2011 г. по данным  $V_p$ ,  $V_s$ ,  $V_p/V_s$  сейсмических волн Кумторских взрывов.**

год	мес	число	час	мин	сек	$V_s$ , км/сек	$V_p$ , км/сек	$V_p/V_s$	Состояние среды
2011	1	11	7	33	29	3,88	6,76	1,74	Частичное плавление
2011	2	2	6	50	5	3,98	7,12	1,78	
2011	2	20	7	8	51	4,24	7,28	1,71	
2011	3	7	7	32	41	3,8	6,42	1,68	Флюиды
2011	4	11	7	9	38	3,63	6,51	1,79	Частичное плавление
2011	4	12	7	8	54	3,58	6,42	1,79	Частичное плавление
2011	4	13	9	19	39	3,61	6,34	1,75	Частичное плавление
2011	4	18	7	15	19	3,5	5,58	1,59	Флюиды
2011	4	19	7	28	29	3,59	6,25	1,74	Частичное плавление
2011	4	24	7	18	5	3,99	6,72	1,68	Флюиды
2011	4	26	8	9	6	3,68	6,73	1,82	Частичное плавление
2011	4	28	7	10	35	3,61	6,25	1,73	
2011	5	17	7	49	9	4	6,83	1,7	
2011	5	25	9	19	57	3,7	6,45	1,74	Частичное плавление
2011	6	25	9	31	47	3,8	6,06	1,59	Флюиды
2011	7	4	7	19	2	4,04	6,8	1,68	
2011	8	12	7	12	51	3,86	6,41	1,66	Флюиды
2011	8	12	7	13	29	3,57	6,16	1,72	
2011	8	14	7	10	44	3,58	6,28	1,75	Частичное плавление
2011	8	17	7	10	0	3,97	6,06	1,52	Флюиды
2011	8	17	7	10	29	3,88	6,43	1,65	
2011	8	19	8	41	44	3,53	6,06	1,71	
2011	8	24	7	11	42	3,81	7,17	1,88	
2011	9	3	10	38	32	3,6	6,33	1,75	Частичное плавление
2011	9	21	10	2	57	3,88	6,63	1,7	Флюиды
2011	9	24	7	40	18	3,76	7,4	1,96	
2011	10	3	7	5	46	4,04	7,02	1,74	

Как видно из таблицы, проявление флюидов в нижней части земной коры во времени повторялось через определённый промежуток времени от суток до 1-2 месяцев. Вместе с тем отмечалось чередование проявлений флюидов и частичного плавления.

В таблице 2 приведены параметры, указывающие на проявления флюидов и частичного плавления в декабре 2012 г. – январе 2013 г. перед Сарыджазским землетрясением (28.01.2013 г.,  $K=15$ ).

Таблица 2.

**Время проявления флюидов и частичного плавления  
в декабре 2012 г. – январе 2013 г.**

год	мес	число	час	мин	сек	Vs, км/сек	Vp, км/сек	Vp/Vs	Состояние среды
2012	12	6	7	3	54	3,83	6,46	1,68	Флюиды
2012	12	6	7	4	20	3,74	6,38	1,7	Флюиды
2012	12	6	7	4	45	3,89	6,56	1,68	Флюиды
2012	12	8	7	6	53	3,8	6,67	1,75	Частичное плавление
2013	1	4	7	4	10	3,85	6,44	1,67	Флюиды
2013	1	13	7	13	25	3,78	6,28	1,66	Флюиды
2013	1	20	7	35	41	3,99	6,68	1,67	Флюиды
2013	1	20	7	36	18	3,99	6,59	1,65	Флюиды
2013	1	20	7	35	41	3,99	6,68	1,67	Флюиды
2013	1	20	7	36	18	3,99	6,59	1,65	Флюиды
2013	1	24	7	11	24	3,54	6,45	1,82	Частичное плавление
2013	1	28	7	4	49	3,81	6,7	1,75	Частичное плавление
2013	1	30	7	5	48	3,61	6,1	1,68	Флюиды

В нижней части земной коры перед Сарыджазским землетрясением 6 декабря 2012 г. проявлялись флюиды, а 8 декабря отмечалось частичное плавление. 4, 13 и 20 января 2013 г. проявлялись флюиды. 24 и 28 января перед главным толчком отмечалось частичное плавление. 30 января 2013 г. после главного толчка отмечалось проявление флюидов. В это время (в январе 2013 г.) в верхней части земной коры проявились флюиды (таблица 3).

Таблица 3.

**Время проявления флюидов в верхней части земной коры перед Каркыра-  
Сарыджазским землетрясением (28.01.2013г.,  $K=15$ ).**

год	мес	число	час	мин	сек	Vs	Vp	Vp/Vs	Состояние среды
2013	1	12	6	17	52	3,57	5,67	1,58	Флюиды
2013	1	13	7	13	25	3,47	5,81	1,67	Флюиды
2013	1	13	7	14	18	3,69	5,98	1,62	
2013	1	19	9	1	44	3,64	5,88	1,61	
2013	1	19	9	2	18	3,48	5,94	1,7	Флюиды
2013	1	20	7	36	18	3,46	5,93	1,71	Флюиды
2013	1	20	7	36	47	3,81	6,1	1,6	
2013	1	25	7	2	12	3,6	5,99	1,66	Флюиды



2013	1	25	7	3	20	3,55	6,4	1,7	
2013	1	27	7	3	43	3,44	5,37	1,56	Флюиды
2013	1	27	7	4	24	3,94	6,77	1,71	
2013	1	28	7	4	49	4,12	6,89	1,67	
2013	1	30	7	5	48	3,61	5,35	1,48	Флюиды

Перед главным толчком 12, 13, 19, 20, 25 и 27 января 2013 г. отмечались проявления флюидов.

В таблице 4 приведены параметры, указывающие на проявления флюидов и частичного плавления за июль-декабрь 2014 г. перед и после Каджисайского землетрясения (14.11.2014 г, К=13.7).

Таблица 4.

**Время проявления флюидов и частичного плавления за июль-декабрь 2014 г.**

год	мес	число	час	мин	секунд	Vs, км/сек	Vp, км/сек	Vp/Vs	Состояние среды
2014	7	1	7	41	50	3,45	5,61	1,62	Флюиды
2014	7	3	9	12	43	3,46	5,84	1,68	Флюиды
2014	7	6	7	6	9	3,42	6,04	1,76	Частичное плавление
2014	7	8	7	6	45	3,46	5,87	1,69	Флюиды
2014	7	17	7	5	43	3,46	5,89	1,7	Флюиды
2014	7	20	7	5	29	3,32	5,59	1,68	Флюиды
2014	8	1	6	57	53	3,41	5,66	1,65	Флюиды
2014	8	2	7	2	51	3,44	5,67	1,64	Флюиды
2014	8	4	6	59	9	3,41	6,03	1,76	Частичное плавление
2014	8	7	7	4	54	3,47	5,79	1,66	Флюиды
2014	8	9	7	3	51	3,45	5,81	1,68	Флюиды
2014	8	11	7	2	14	3,42	5,82	1,7	Флюиды
2014	8	13	7	1	54	3,35	5,91	1,76	Частичное плавление
2014	8	17	7	28	23	3,42	5,98	1,74	Частичное плавление
2014	8	18	7	7	20	3,46	5,94	1,71	Флюиды
2014	8	19	7	10	46	3,42	5,87	1,71	Флюиды
2014	8	23	9	3	1	3,38	5,5	1,62	Флюиды
2014	8	24	8	2	39	3,37	5,77	1,71	Флюиды
2014	8	25	7	2	49	3,44	5,85	1,7	Флюиды
2014	9	12	7	3	5	3,37	5,93	1,75	Частичное плавление
2014	9	16	7	4	42	3,34	5,64	1,68	Флюиды
2014	9	17	7	4	56	3,46	5,82	1,68	Флюиды
2014	9	24	7	6	4	3,44	5,86	1,7	Флюиды
2014	10	11	7	4	53	3,34	5,38	1,61	Флюиды
2014	10	24	7	10	49	3,46	5,86	1,69	Флюиды
2014	11	9	7	11	7	3,48	5,77	1,65	Флюиды
2014	12	24	9	3	11	3,46	5,75	1,66	Флюиды
2014	12	28	7	4	51	3,34	5,87	1,75	Частичное плавление

Проявления флюидов повторялись через 1-10 суток. Активизация процесса частичного плавления отмечалась в середине 13 и 17 августа 2014 г.

### Заключение

На основании вышеизложенных результатов исследования можно отметить:

1. Кумторские промышленные взрывы являются источниками сейсмических волн, позволяющие проследить за состоянием среды земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня в реальное время.
2. На годографах взрывов выделяются отрезки, которые в отдельности отражают скоростные свойства верхней и нижней частей земной коры, соответственно.
3. Установлено, что для взрывов суточные значения скорости распространения сейсмических волн  $V_p$ ,  $V_s$  и отношения  $V_p/V_s$  земной коры и верхней мантии изменяются во времени резко (скачкообразно) и часто. Наблюдаются проявления флюидов и частичного плавления. Активизация проявления флюидов и частичного плавления повторяется во времени. Время проявления флюидов в нижней и верхней частях земной коры частично совпадает. Аномально повышенные и пониженные значения  $V_p$ ,  $V_s$  в земной коре, вероятно, обусловлены геодинамическими и сейсмическими процессами Тянь-Шаня, а также повторяющимися Кумторскими взрывами.

### Литература

1. Адушкин В.В., Ан В.А., Каазик П.Б., Овчинников В.М. О динамических процессах во внутренних геосферах Земли по временам пробега сейсмических волн // Докл. РАН. 2001. т.381. №6. с.822-824.
2. Гамбурцева Н.Г., Люкэ Е.И., Николаевский В.Н. и др. Периодические вариации параметров сейсмических волн при просвечивании литосферы мощными взрывами // ДАН СССР. 1982. т.266. с.1349-1353.
3. Гамбурцева Н.Г. Временная изменчивость скоростных свойств среды по данным Семипалатинских ядерных взрывов. // Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.94-104.
4. Омуралиев М., Омуралиева А., Явление скачкообразного изменения строения литосферы во время и после крупномасштабного взрыва. Кыргызпатент, №1616, 2011.
5. Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. // Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.81-87.
6. Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. // Кн. Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек: Илим, 2006. с.88-94.
7. Омуралиева А., Омуралиев М. Кумторские взрывы и изменение состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время. // Известия ВУЗов, ISSN 1026-9045, №6, 2012, с.70-77.
8. Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of VP, VS and VP/VS beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids. // Journal of Geophysical Research. 2001. v.106. p.21843-21857
9. Omuraliev M., Omuraleva A. Late cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek: «Ilim». 2004. -166 p.
10. Омуралиева А. Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей «GHENGIS» и «KNET» // Кн. Современные проблемы геодинамики и геоэкологии

- внутриконтинентальных орогенов (тезисы докл. на V международном симпозиуме). Бишкек, 2011. с.73-76.
11. Абдрахматов К.Е., Омуралиев М., Омуралиева А. Распределение флюидов, температуры в зонах Центрального Тянь-Шаня и подготовка сильных землетрясений. Бишкек: «Триада принт». 2015. -206 с.
  12. Омуралиев М. О роли термо-акустического и массопереноса-акустического эффектов в геологических процессах литосферы // Известия АН Киргизской ССР. 1987. № 5.С. 11-14.

*Рецендент: к. ф.-м. н. Фролова А.Г.*