

Омуралиева А., Омуралиев М.

КУМТОРСКИЕ ВЗРЫВЫ И ИЗМЕНЕНИЕ СОСТОЯНИЯ СРЕДЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ В РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

A. Omurdlieva, M. Omuraliev

KUMTOR EXPLOSIONS AND CHANGE IN THE STATE OF THE CRUST AND UPPER MANTLE IN REAL TIME

УДК: 550.34

В статье впервые приводятся результаты слежения изменения скоростных характеристик - состояния среды земной коры и верхней мантии в реальное время на основе изучения сейсмических волн Кумторских промышленных взрывов с помощью сети цифровых сейсмических станций. Установлено, что в среде часто происходят активизация флюидов и частичного плавления, импульсивное повышение величины давления в массивах горных пород, повторяющиеся во времени.

The results of monitoring change in velocity characteristics/properties - state of the crust and upper mantle in real time are presented in this paper for the first time. This was done based on a study of seismic waves from industrial explosions at the Kumtor gold mine by means of a network of digital seismic stations. It was found that activation of fluids and partial melting, impulsive increase of pressure in the rock mass that repeats over time often take place in the crust and upper mantle.

Изучение состояния среды слоев земной коры и верхней мантии Тянь-Шаня через изменение скорости распространения сейсмических волн в реальное время является актуальным. Временная изменчивость годовых скоростных свойств среды изучена по данным ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне, регистрируемых, в частности, сетью сейсмических станций Кыргызстана [1, 2, 3]. Отмечены ритмы 1,3 года, 2 года и 4-6 лет. При изучении Агалатасских взрывов (на южном склоне Киндыктасского хребта), повторно произведенных через сутки и более, анализировалось изменение амплитуд продольных и поперечных волн (A_p , A_s , A_s/A_p) по направлениям к сейсмическим станциям Ананьево, Боом, Карагай-Булак, Ала-Арча и другие для поиска предвестников землетрясений [4, 5]. Отмечено, что графики изменения амплитуд имеют колебательный характер. Выделены определенные гармоники со свойственными периодами, амплитудами и фазами.

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, Каджисай - KDJ, Нарын - NRN, Боом - BOOM), KNET (Улахол - ULHL, Токмок - ТКМ, Карагайбулак - KBK), CAREMON (Подгорный - PDGK) и станцией Тарагай - TARA Центрально-Азиатского института прикладного исследования Земли Германии в Кыргызстане. Эти станции расположены севернее, северо-западнее и юго-западнее от места взрывов Кумтора (рис. 1). Сейсмическая энергия взрывов колеблется от 10^5 Дж до 10^7 Дж. Магнитуда их составляет $M_{mp}=1,8-3,1$ по данным Института сейсмологии НАН КР.

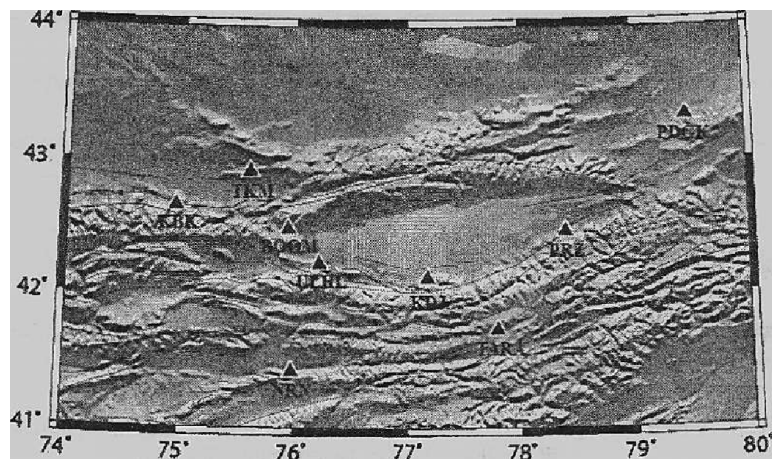


Рис. 1. Сеть цифровых сейсмических станций, записывающая Кумторские взрывы. Треугольниками обозначены сейсмические станции Каракол -PRZ, Каджисай - KDJ, Нарын - NRN, Боом - BOOM, Улахол - ULHL, Токмок - ТКМ, Карагайбулак - KBK, Подгорный - PDGK, Тарагай - TARA. Звездочкой обозначено золоторудное месторождение Кумтор

Основными доступными параметрами состояния среды земной коры и верхней мантии являются скорость сейсмических продольных и поперечных волн, их отношение (V_p , V_s , V_p/V_s), их 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 , $(A_s-T_p)/(A_p-T_s)$). Величины амплитуд и периодов измерялись на записях сейсмических волн. Скорость сейсмических волн определялась составлением годографов для каждого взрыва. Анализ показал, что годограф состоит из трех различных отрезков эпицентрального расстояния в соответствии с данными сети сейсмических станций: первый отрезок - до 106 км, второй - 160-215 км, третий - более 220 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 рис.2, в качестве примера, приведены три отрезка годографа взрыва, произошедшего 1 апреля 2012 г. в 8 часов 4 минуты 37,27 секунд. Первый отрезок годографа на эпицентральных расстояниях 42-94 км получен по данным станций: Тарагай, Каракол, Каджисай (рис.2а). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет $R^2 = 1,0- 0,99$. Второй отрезок годографа получен по данным станций: Улахол, Нарын, Боом (рис.2б). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет около $R^2 = 0,99$.

Третий отрезок годографа получен по данным станций: Токмок, Кызарт, Учтор, Аларча (рис.2в). Достоверность аппроксимации поперечных и продольных волн составляет около $R^2 = 0,99$.

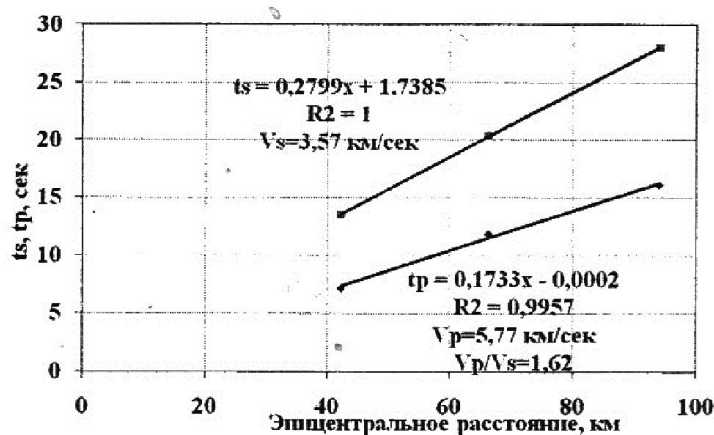


Рис. 2а. Годограф взрыва, произошедшего 1 апреля 2012 г. в 8 часов 4 минуты 27,27 секунд на эпицентральной дистанции 42 - 94 км

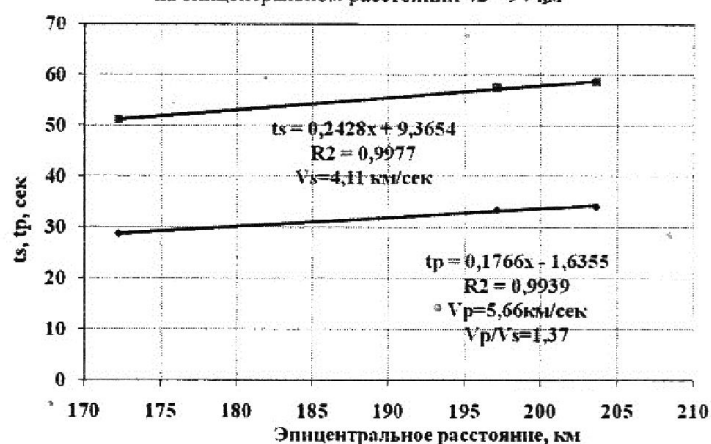


Рис. 2б. Годограф взрыва, произошедшего 1 апреля 2012 г. в 8 часов 4 минуты 27,27 секунд на эпицентральной дистанции 172 - 204 км

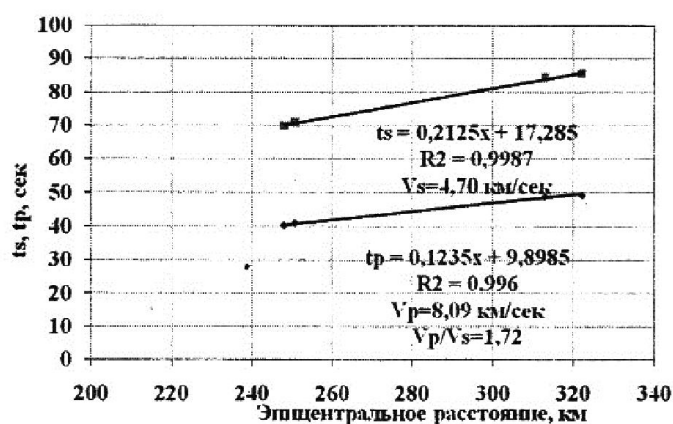


Рис. 2в. Годограф взрыва, произошедшего 1 апреля 2012 г. в 8 часов 4 минуты 27,27 секунд на эпицентральной дистанции 248 - 323 км

Временная вариация значений V_p , V_s , V_p/V_s слоя 1 - верхней части земной коры за март - май 2012 г. приведена на рис.3. Вариация величин V_p имеет среднее значение 5,79 км/сек со стандартным отклонением 0,4, что составляет 6,9 % от среднего значения. Вариация величин V_s имеет среднее значение 3,6 км/сек со стандартным отклонением 0,2, что составляет 5,5 % от среднего значения. Вариация величин V_p/V_s имеет среднее значение 1,62 со стандартным отклонением 0,08, что составляет 4,9% от среднего значения.



Рис. 3а. Вариация значений скорости продольных волн V_p Кумторских взрывов за март-май 2012 г., распространенных в верхней части земной коры



Рис. 3б. Вариация значений скорости поперечных волн V_s Кумторских взрывов за март-май 2012 г., распространенных в верхней части земной коры



Рис. 3в. Вариация значений величины V_p/V_s Кумторских взрывов за март-май 2012 г., характеризующая верхнюю часть земной коры

Временная вариация значений V_p , V_s , V_p/V_s слоя 2 - нижней части земной коры за март - май 2012 г. приведена на рис.4. Вариация величин V_p имеет среднее значение 6,55 км/сек со стандартным отклонением 0,7, что составляет 10,6 % от среднего значения. Вариация величин V_s имеет среднее значение 3,95 км/сек со стандартным отклонением 0,4, что составляет 10 % от среднего значения. Вариация величин V_p/V_s имеет среднее значение 1,66 со стандартным отклонением 0,13, что составляет 7,8% от среднего значения.



Рис. 4а. Вариация значений скорости продольных волн V_p Кумторских взрывов за март-май 2012 г., распространенных в нижней части земной коры



Рис. 4б. Вариация значений скорости поперечных волн V_s Кумторских взрывов за март-май 2012 г., распространенных в нижней части земной коры

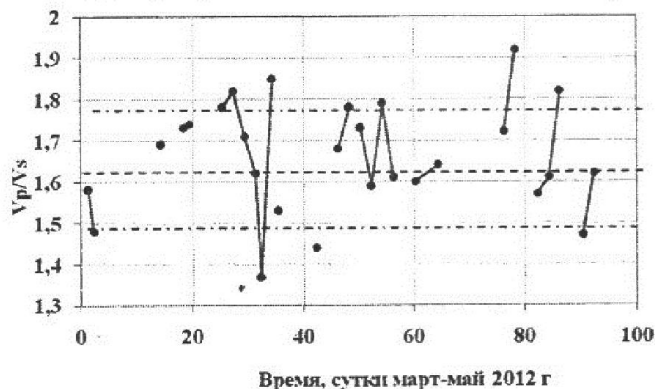


Рис. 4в. Вариация значений величины V_p/V_s Кумторских взрывов за март-май 2012 г., характеризующая нижнюю часть земной коры

Соотношение величин V_p , V_s , V_p/V_s выражает состояние среды [6, 8]. 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 плавления. Анализ соотношений V_p , V_s , V_p/V_s в верхней части земной коры за март-май 2012 г. показал, что в земной коре 12-14 марта, 25 марта-3 апреля, 11-16 апреля, 19-24 апреля, 3-5 мая и 25 мая, вероятно, происходила активизация проявления

флюидов, а 17 апреля, очевидно, проявилось частичное плавление. Промежуток времени между активизациями проявления флюидов изменится от 4 суток до 13 суток. Сравнительный анализ времени активизаций флюидов в нижней и верхней частях земной коры показал, что время частично совпадает. Так, частично совпадают активизация 2-14 марта в нижней части земной коры и активизация 12-14 марта в верхней части земной коры; активизация 27-31 марта в нижней части и активизация

25 марта-3 апреля в верхней части; активизация 11-13 апреля в нижней части и активизация 11-16 апреля в верхней части; пульсация флюидов 21 апреля, 25 апреля в нижней части и активизация 19-24 апреля в верхней части; активизация флюидов 3-15 мая в нижней части и активизация 3-5 мая в верхней части земной коры.

Относительно высокие значения V_p , V_s , вероятно, обусловлены увеличением величины давления в массивах горных пород [7]. В верхней части земной коры увеличение величины давления, вероятно, было 1 марта, 18 марта, 4 апреля, 25 апреля, 15-17 мая, 29 мая. В нижней части земной коры увеличение величины давления в массивах горных пород, очевидно, проявилось 18-19 марта, 3 апреля, 29 апреля, 17 мая, 29 мая. Время проявления относительно высоких давлений в нижней и верхней частях земной коры частично совпадает.

Значения V_p , V_s , V_p/V_s слоя 3 - верхней мантии и время взрывов приведены в табл.1. Имеющие данные скорости продольных волн колеблются в пределах 6,3-8,4 км/сек, а скорости поперечных волн - в пределах 4,4-4,7 км/сек. Значение величины V_p/V_s изменяется от 1,34 до 1,78. Относительно малые значения, например взрыва 25 мая, $V_p=6,29$ км/сек, $V_s=4,67$ км/сек, $V_p/V_s=1,34$ показывают, что верхняя мантия в этот момент была насыщена флюидами. Относительно большие значения, например взрыва 3 апреля, $V_p=8,44$ км/сек, $V_s=4,75$ км/сек, $V_p/V_s=1,77$ показывают, что в верхней части мантии в этот момент произошел процесс частичного плавления.

№ пп взрыва	месяц	число	Час	минута	секунда	V_p , км/сек	V_s , км/сек	V_p/V_s
1	3	1	7	5	34,52	7,63	4,55	1,68
2	3	19	8	11	11,7	8,23	4,62	1,78
3	3	29	7	6	1,07	7,4	4,46	1,66
4	4	1	8	4	37,27	8,09	4,7	1,72
5	4	3	7	49	5,3	8,44	4,75	1,77
6	4	17	7	3	55,63	8,21	4,62	1,77
7	5	23	7	8	55,52	7,4	4,71	1,57
8	5	25	7	9	22,74	6,29	4,67	1,34

Рассмотрим изменение величин отношения амплитуд поперечных и продольных волн A_s/A_p в верхней части земной коры по трассам Кумтор - Тарагай и Кумтор - Каджисай в западном и северо-западном направлениях, соответственно (рис.5). По трассе Кумтор-Тарагай в изменении A_s/A_p отмечается тренд роста, а также наблюдаются отдельные максимумы (рис.5а). Значения максимумов изменяются от 270 (23 апреля) до 653 (5 мая 2012). По трассе Кумтор - Каджисай величины A_s/A_p в марте растут до значения 40. Во второй половине апреля наблюдаются относительно малые значения. В начале мая отмечены относительно большие значения до 25. После снова наблюдались малые значения (рис. 5б).

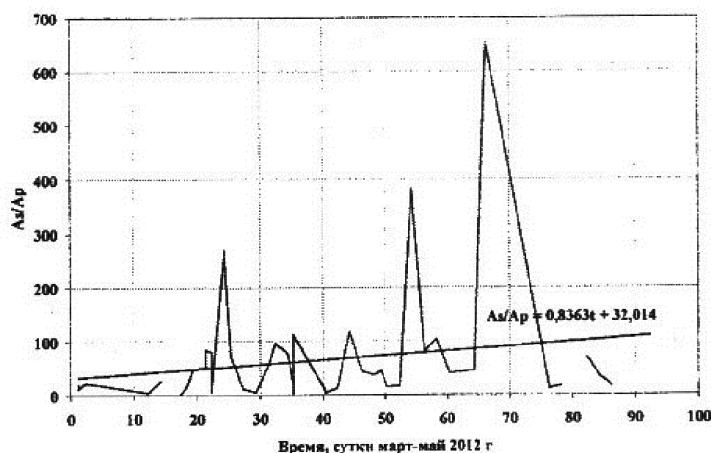


Рис. 5а. Изменение значений величины отношения амплитуды поперечных и продольных волн в верхней части земной коры по трассе Кумтор-Тарагай за март-май 2012 г.

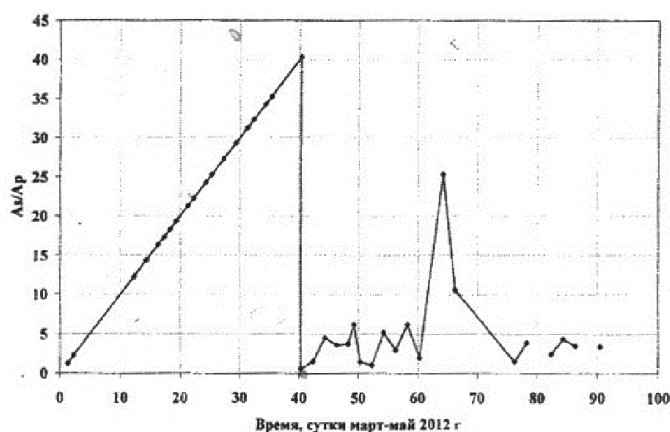


Рис. 56. Изменение значений величины отношения амплитуд поперечных и продольных волн в верхней части земной коры по трассе Кумтор- Каджисай за март- май 2012 г.

На рис.6 приведен график последовательности землетрясений с $K \geq 8$ на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран за март – май 2012 г. В начале марта отмечался период сейсмической активизации с локальными периодами сейсмического затишья, который сопровождался землетрясением с $K=12,2$. Во второй половине марта и в начале апреля проявился период сейсмического затишья. С 18 марта начался период сейсмической активизации с локальными периодами затишья, который сопровождался землетрясениями 4 мая с $K=14,5$ (на Памире) и 30 мая с $K=13,8$ (в северной части Центрального Тянь-Шаня).

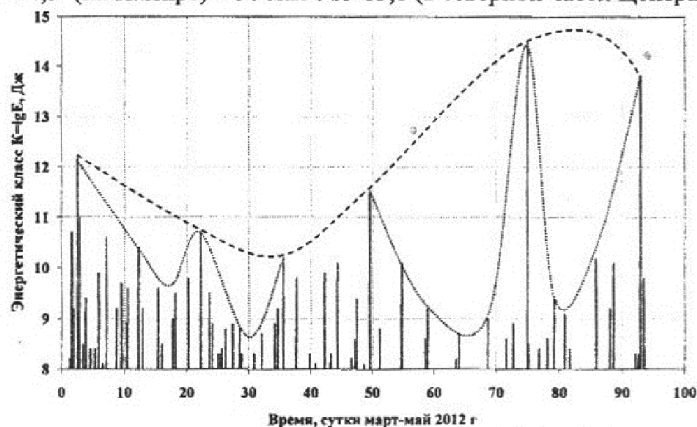


Рис.6. Последовательность проявления землетрясений с $K \geq 8$ на территории Кыргызстана и приграничных районов соседних стран за март - май 2012 г. Пунктирной линией обозначены периоды сейсмической активизации и затишья, а точечной линией - локальные периоды активизации и затишья

Анализ времени активизаций флюидов и проявления землетрясений с $K \geq 11,5$ показал, что перед событиями, такими как 2 марта с $K=12,2$, 12 мая с $K=14,5$, 30 мая с $K=13,8$, происходила активизация флюидов, а перед землетрясением 18 апреля с $K=11,5$ (в начале периода сейсмической активизации) происходила активизация процесса частичного плавления.

Заключение

На основании вышеизложенных результатов исследования можно отметить нижеследующее:

1. Кумторские промышленные взрывы являются постоянным источником сейсмических волн, позволяющие проследить за состоянием среды земной коры и верхней мантии в реальное время;
2. Выделяются три отрезка ка годографе взрыва, которые в отдельности отражают скоростные свойства верхней, нижней частей земной коры и верхней мантии, соответственно;
3. Установлено, что суточные (и более) значения скорости распространения V_p , V_s и отношения V_p/V_s земной коры и верхней мантии изменяются во времени. Наблюдаются проявления флюидов и частичного плавления. Активизация проявления флюидов повторяется во времени. Промежуток времени между периодами активизации проявления флюидов составляет 4-13 суток. Время активизации флюидов в нижней и верхней частях земной коры частично совпадает. Аномально повышенные значения V_p , V_s в земной коре, вероятно, обусловлены ростом давления в массивах горных пород.
4. Изменение величин отношения амплитуд поперечных (A_s) и продольных (A_p) волн имеет колебательный характер, выделяются периоды с относительно большими и малыми значениями A_s/A_p ;

5. В последовательности проявления землетрясений на территории Кыргызстана за март-май 2012 г. выделяются периоды сейсмической активизации и затишья, чередующиеся во времени. Отмечено, что перед землетрясениями 2 марта с $K=12,2$, 12 мая с $K=14,5$, 30 мая с $K=13,8$ проявилась активизация флюидов, а перед землетрясением 18 апреля с $K=11,5$ - активизация процесса частичного плавления в нижней и верхней частях земной коры.

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. В кн.: Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек, Илим 2006. с.94-104.
4. Меджитова З.А. Временные вариации параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. В кн.: Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек, Илим 2006. с.81-87.
5. Омуралиев М. Гармонический анализ параметров сейсмических волн от промышленных взрывов. В кн.: Земная кора и верхняя мантия Тянь-Шаня в связи с геодинамикой и сейсмичностью. Бишкек, Илим 2006. с.88-94.
6. Омуралиева А. Омуралиев М. Вероятные участки проявления флюидов и частичного плавления в земной коре Центральной части Тянь-Шаня по данным сетей «GHENGIS» и «KNET». Тезисы докладов V Международного симпозиума «Современные проблемы Геодинамики и геоэкологии внутриконтинентальных орогенов». Бишкек, 14-19-июня 2011. с.73-76.
7. Omuraliev M., Omuraleva A. Late cenozoic tectonics of the Tien Shan Kyrgyzstan, Central Asia. Bishkek. 2004. -166 p.
8. Nakajima J., Matsuzawa T., Hasegawa A., Zhao D. Three-dimensional structure of V_p , V_s and V_p/V_s beneath northeastern Japan: Implications for arc magmatism and fluids // Journal of Geophysical Research. 2001. v.106. p.21843-21857.

Рецензент: д.ф.-м.н. Погребной В.Н.