

## **ТЕХНОГЕННЫЙ СЛОЙ В МЕСТАХ ПРОВЕДЕНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА ПРИМЕРЕ СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПОЛИГОНА**

*Андрей Владимирович Беляшов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, тел. (383)330-60-18, e-mail: BelyashovAV@ipgg.sbras.ru

*Владимир Дмитриевич Суворов*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, тел. (383)330-60-18, e-mail: SuvorovVD@ipgg.sbras.ru

*Елена Александровна Мельник*

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А. А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Коптюга, 3, кандидат геолого-минералогических наук, зав. лабораторией, тел. (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

Рассматриваются результаты сейсмического изучения участка проведения подземных ядерных взрывов на Семипалатинском полигоне. Методом первых вступлений выявлены приповерхностные области дезинтеграции вмещающей геологической среды, характеризующиеся пониженными на 0,5-1,5 км/с значениями скоростей Р и S волн и повышенными на величину до 0,07 значениями коэффициента Пуассона. Проведена оценка наведенной трещиноватости; параметр плотности трещин достигает 0,45.

**Ключевые слова:** Семипалатинский испытательный полигон, подземные ядерные взрывы, сейсмический метод первых вступлений, скорость продольных и поперечных волн.

## **TECHNOGENIC LAYER IN THE AREA OF UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS CONDUCTING BY THE EXAMPLE OF SEMIPALATINSK TEST SITE**

*Andrey V. Belyashov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (383)330-60-18, e-mail: BelyashovAV@ipgg.sbras.ru

*Vladimir D. Suvorov*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Chief Researcher, phone: (383)330-60-18, e-mail: SuvorovVD@ipgg.sbras.ru

*Elena A. Melnik*

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 3, Prospect Akademik Koptuyug St., Novosibirsk, 630090, Russia, Ph. D., Head of Laboratory, phone: (383)330-60-18, e-mail: MelnikEA@ipgg.sbras.ru

Results of seismic investigation of the underground nuclear explosions area at the Semipalatinsk test site are considered. Using refracted waves method subsurface zones of surrounding geological media disintegration were revealed. These zones are characterized by decrease of P and S waves velocity on the value of 0,5-1,5 km/s and increase of Poisson coefficient on 0,07. Estimation of the induced fracturing was done; parameter of crack density measures up to 0,45.

**Key words:** Semipalatinsk test site, underground nuclear explosions, refracted waves method, P and S waves velocity.

Изучение геоэкологической обстановки в местах проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) актуально для обеспечения радиационной безопасности хозяйственных объектов и населения рассматриваемого региона. Задачей описываемых сейсмических исследований было выявить и изучить на участке Семипалатинского испытательного полигона (СИП) приповерхностные техногенно-измененные структуры, сформированные под воздействием ПЯВ [1, 7, 9], вдоль которых из взрывных очагов до дневной поверхности мигрируют радиоактивные остатки [5]. Представляемые результаты являются продолжением сейсмического изучения участка Семипалатинского испытательного полигона [2-4, 6] и для их подготовки использованы данные из указанных публикаций.

Выявление и картирование проницаемых структур в верхней части разреза осуществлялось с помощью сейсморазведки на рефрагированных волнах на площади 21 км<sup>2</sup> (6х3,5 км). В пределы площади наблюдений вошло 14 скважинных ПЯВ. Эквивалентная тротиловая мощность указанных ПЯВ изменялась от 44 до 190 Кт при глубине заложения зарядов 466-550 м. Ядерные взрывы проведены в период с 1972 по 1987 гг. Геология участка исследований представлена ниже-каменноугольными осадочно-метаморфическими породами (рис. 1). Присутствуют средне-поздне-каменноугольные гранитные и гранодиоритовые интрузии. На северо-востоке участка залегают юрские осадочные породы, отделённые от каменноугольных отложений региональным Чинрауским разломом. В пределах участка широко развита локальная тектоника. Палеозойский фундамент перекрыт неогеновыми глинами и четвертичными аллювиальными отложениями мощностью 10–70 м. С гидрогеологической точки зрения участок представлен грунтовыми водами напорного типа, залегающими в областях экзогенной трещиноватости коры выветривания палеозойского фундамента.

Сейсмические наблюдения выполнены вдоль 8 профилей длиной по 6 км с шагом регистрации 125 м и взрывным интервалом 500 м, расстояние между профилями – 500 м. Для возбуждения упругих колебаний использовались химические взрывы с весом заряда до 40 кг. Применялась трехкомпонентная регистрация сигналов, позволившая провести обработку как продольных (P), так и поперечных (S) волн. Запись сейсмических сигналов выполнена аппаратурным комплексом «КАРС» («Казгеофизприбор»), включающим 12-канальные аналоговые станции АСС-3/12 и трехкомпонентные сейсмодатчики СК-1П.

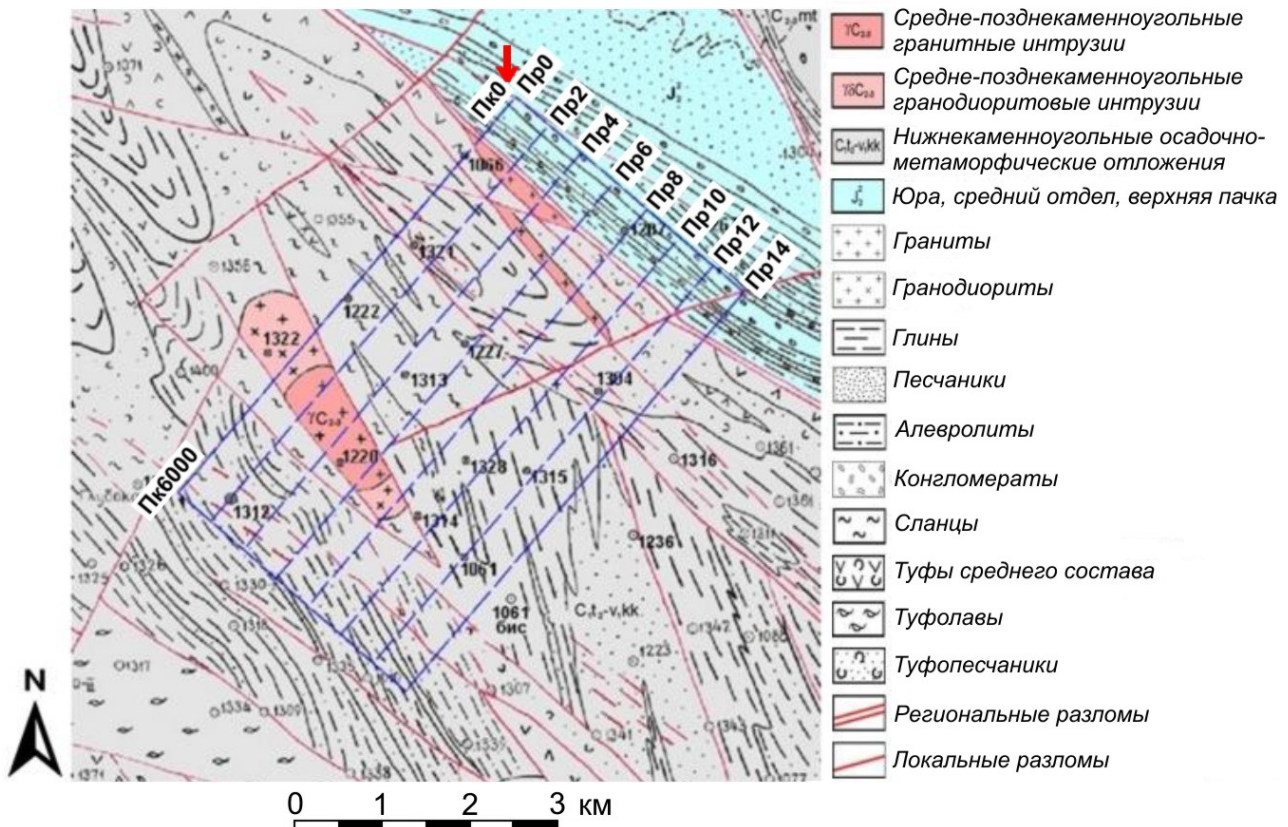


Рис. 1. Фрагмент геолого-тектонической схемы участка с контуром площади сейсмических наблюдений.

Синие линии – сейсмические профили с нумерацией, кружки с цифрами – взрывные скважины с номерами, красная стрелка обозначает начало системы наблюдений

Скоростные разрезы (рис. 2) построены методом лучевого трассирования по программе SeisWide [10] при невязках между наблюдаемыми и теоретическими временами пробега волн, не превышающих в среднем 0,006 с.

Скоростная структура на изучаемом участке представлена в двух вариантах – двух- и трехслойной моделями с подстилающим полупространством. Профили Пр0 и Пр2 (рис. 1) представляют оба указанных типа сред, поэтому далее результаты будут описаны на примере этих профилей. В соответствии с результатами обработки данных и построения скоростных разрезов по Р-волнам (рис. 2, а) скоростная структура вдоль Пр0 описывается трехслойной моделью с подстилающим полупространством, в которой под зоной малых скоростей (ЗМС) по всей длине профиля выделяется откольный слой с пониженной до 3,0-3,7 км/с скоростью Р-волн. Такая его протяженность объясняется относительно плотным и равномерным распределением взрывных скважин в створе Пр0. Пр2 представлен двухслойной моделью, где ЗМС на большей части профиля подстилается слоем со скоростью 4,1-4,4 км/с, а откольные области (со скоростью 3,1 км/с) локализованы вблизи эпицентров ПЯВ. В начальной части профилей наблюдается низкоскоростная область, приуроченная

к молодым юрским отложениям (см. рис. 1). Скоростная структура вдоль других профилей аналогична вышеописанной.

Для поля S-волн в ближней к ПЯВ зоне запись осложнена наличием других волн, в том числе регулярных (поверхностных, обменных), поэтому выделить интервалы прослеживания S-волны с такой же детальностью, как для P-волн, не удастся. Откольный слой и подстилающий его третий объединены в единый «техногенный» слой (рис. 2, б).

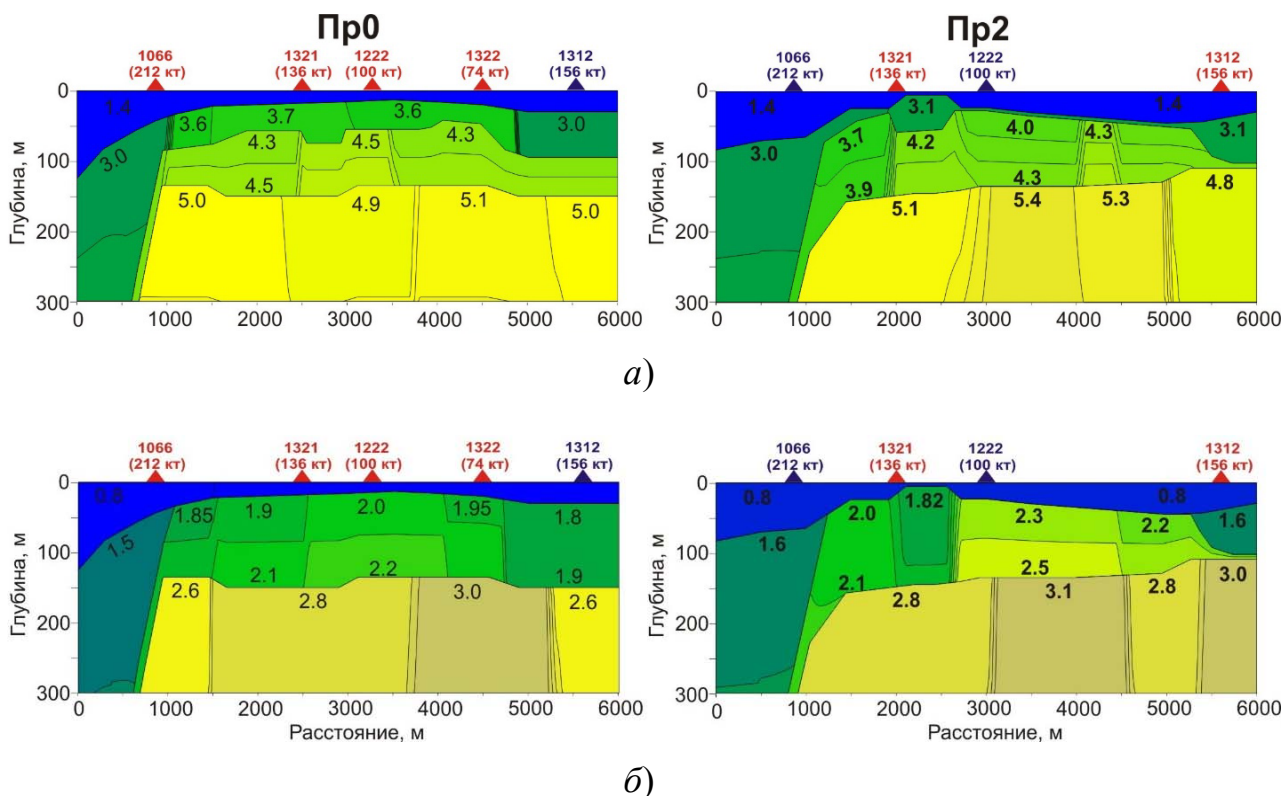


Рис. 2. Скоростные разрезы для Пр0 и Пр2 по продольным (а) и поперечным (б) волнам. Значения скорости даны в км/с.

На разрезах обозначено положение взрывных скважин (с номером и мощностью взрыва в кт), красным цветом – удаление от профиля менее 300 м, синим – от 300 до 600 м

Для корректного совместного анализа скоростных разрезов по P- и S-волнам (в частности, для расчёта пост-взрывного коэффициента Пуассона) откольный и третий слой по P-волнам также были объединены в один «техногенный» слой. С использованием информации о до-взрывных параметрах горных пород, полученной в результате лабораторного анализа керна взрывных скважин, проведено сопоставление до- и пост-взрывных значений коэффициента Пуассона в районе боевых скважин (рис. 3), которое показало его рост на величину от 0,01 до 0,07 вследствие деструктивного воздействия взрывов на горные породы. Такое поведение коэффициента Пуассона характерно для трещиноватых флюидонасыщенных сред [11].

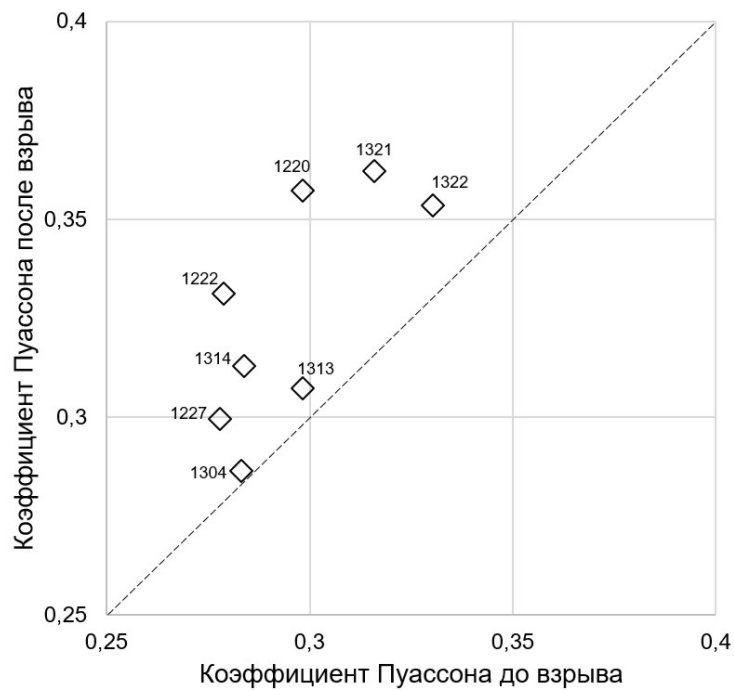


Рис. 3. Сопоставление коэффициента Пуассона до и после взрыва (цифрами обозначены номера взрывных скважин)

Выявлена зависимость степени влияния ПЯВ на вмещающую среду (рис. 4), выраженного через пост-взрывной коэффициент Пуассона, от приведенного гипоцентрального расстояния ( $R = h/q^{1/3}$ , где  $h$  – прямая линия от очага ПЯВ до профиля,  $q$  – мощность взрыва в кт).

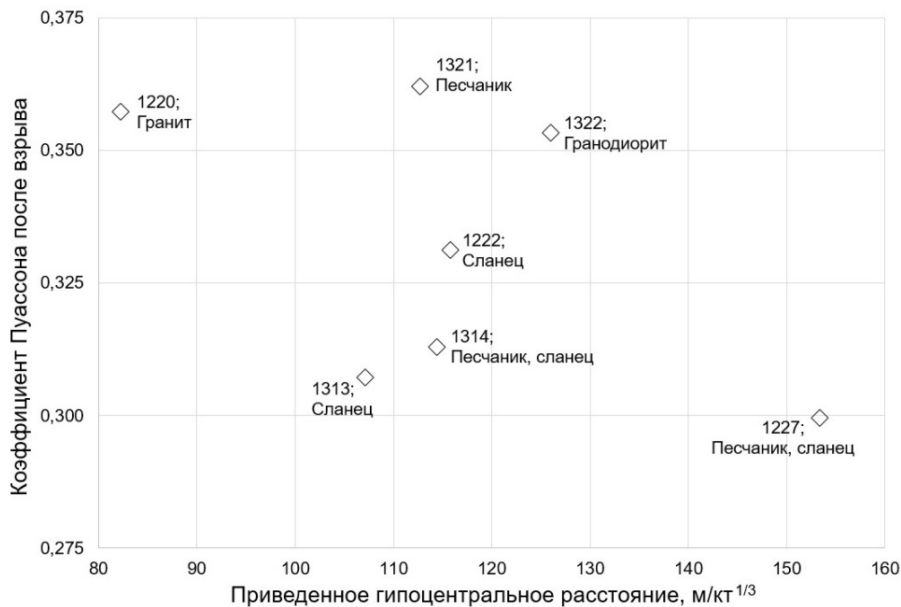


Рис. 4. График зависимости пост-взрывного коэффициента Пуассона от приведенных гипоцентральных расстояний (цифрами обозначены номера взрывных скважин с указанием типа горной породы)

На графике наблюдается общий тренд снижения коэффициента Пуассона с увеличением приведенного гипоцентрального расстояния, при этом зависимость не строго линейная, что можно объяснить разнообразием представленных типов вмещающих горных пород с разным вещественным составом.

Оценка наведенной трещиноватости в районе взрывных скважин осуществлялась на основании до- и пост-взрывных скоростных параметров с использованием зависимостей для упругих модулей во флюидонасыщенной трещиноватой среде, приведенных в [8]. Рассчитанный параметр плотности трещин для разных взрывных скважин изменяется в диапазоне от 0,02 до 0,45, причем максимальное его значение отмечается для района скважины 1220 (0,45) – в ней геологический разрез представлен гранитами, которые относятся к хрупкому классу горных пород и более подвержены взрывному разрушению.

Установлена прямая зависимость уровня наведенной трещиноватости от удельной мощности взрыва (рис. 5), которая может помочь в дальнейших исследованиях мест проведения ПЯВ при уточнении истинной мощности взрыва (в тротиловом эквиваленте).

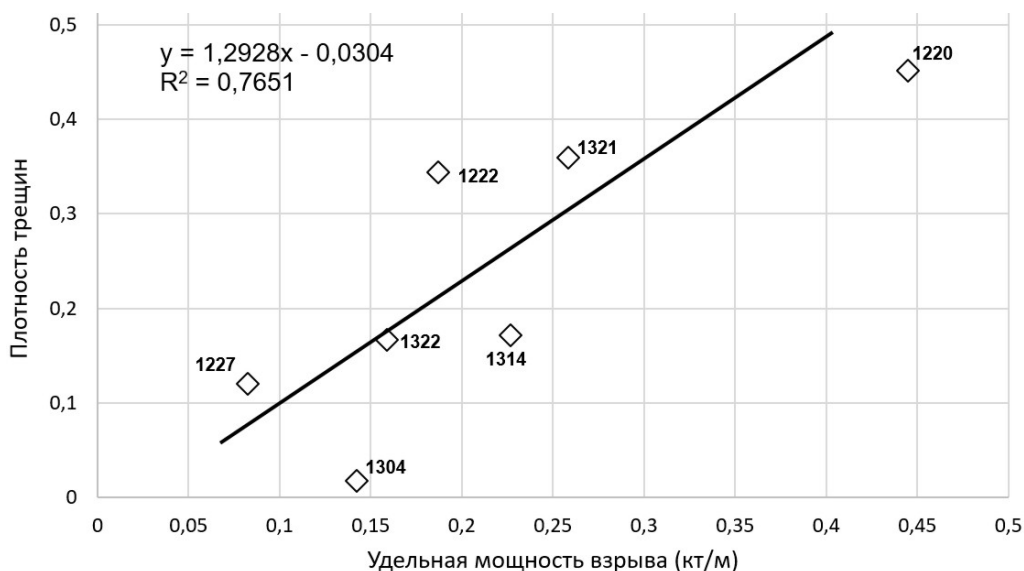


Рис. 5. График зависимости пост-взрывных значений плотности трещин от удельной мощности взрывов

Таким образом, подтверждена высокая эффективность сейсмического метода первых вступлений при выявлении и картировании приповерхностных областей взрывного разрушения геологической среды и определении их параметров. Используемый подход может быть применен на других участках проведения ПЯВ при изучении геоэкологической обстановки.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Адушкин В. В., Спивак А.А. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах // Физика горения и взрыва. – 2004. – № 6. – С. 15-26.

2. Беляшов А.В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 3. – С. 64-75.
3. Беляшов А.В., Суворов В.Д., Мельник Е.А. Техногенно-измененные приповерхностные породы на участке Семипалатинского испытательного полигона: характеристика по сейсмическим данным // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 106-110.
4. Скоростная характеристика верхней части разреза на участке Семипалатинского испытательного полигона по поперечным волнам / А.В. Беляшов, В.Д. Суворов, Е.А. Мельник, О.Х. Шелехова, Т.Г. Ларина // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – № 2. – С. 126-132.
5. Исследование путей миграции радионуклидов с подземными водами в районе боевой скважины 1071 на площадке «Балапан» / С.Б. Субботин, К.Л. Зеленский, Н.В. Ларионова, В.В. Романенко, В.И. Супрунов, С.С. Пронин, М.Р. Актаев, М.А. Мельничук // Вестник НЯЦ. – 2017. – № 4. – С. 81-90.
6. Суворов В.Д., Беляшов А.В. Скоростные параметры среды в местах проведения подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – № 2. – С. 101-107.
7. Chadwick P., Cox A.D., Hopkins H.G. Mechanics of Deep Underground Explosions // Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences. – 1964. – Vol. 256. – No. 1070. – P. 235-300.
8. Fortin J., Guéguen Y., Schubnel A. Effects of pore collapse and grain crushing on ultrasonic velocities and Vp/Vs // Journal of Geophysical Research. – 2007. – Vol. 112. – P. 1-16.
9. Johnson G.W., Higgins G.H., Violet C.E. Underground Nuclear Detonations // Journal of Geophysical Research. – 1959. – V. 64. – No. 10. – P. 1457-1470.
10. Zelt C.A., Smith R. Seismic traveltime inversion for 2D crustal velocity structure // Geophys. J. Int. – 1992. – V. 108. – P. 183–204.
11. Zhang J., Bentley L. Factors determining Poisson's ratio // CREWERS Research Report. – 2005. – Vol. 17. – P. 1-15.

© А. В. Беляшов, В. Д. Суворов, Е. А. Мельник, 2019