

УДК 550.834.3:551.521.9:504

ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛЕДОВ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МЕТОДА

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

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

В 1997 г. Институтом геофизических исследований НЯЦ РК проведено сейсмическое изучение участка площадки «Балапан» Семипалатинского испытательного полигона, в границах которого ранее было выполнено 14 подземных ядерных взрывов. Одна из задач исследований состояла в разработке методики выявления в верхней части разреза следов от подземных ядерных взрывов как целевых объектов при проведении Инспекции на месте. В эпицентральных областях подземных ядерных взрывов до глубин 100–120 м были выделены участки пониженных значений скорости до 3,0–3,5 км/с для P и 1,6–1,8 км/с для S волн, интерпретируемые как зона откольных проявлений. Породы в пределах откольных зон отличаются повышенными до 0,35 значениями коэффициента Пуассона, что на 0,07 выше его до-взрывных значений.

С использованием до- и после-взрывных параметров вмещающей среды (скоростей сейсмических волн, плотности горной породы, упругих модулей) рассчитан параметр плотности трещин в пределах техногенно-измененного слоя. Установлена корреляция поствзрывной трещиноватости горных пород с инженерно-техническими параметрами подземных взрывов – весом ядерного заряда и глубиной его заложения.

ВВЕДЕНИЕ

Систему мониторинга инженерно-геологических условий на участках проведения подземных ядерных взрывов (ПЯВ) необходимо развивать, по меньшей мере, в двух направлениях – в рамках контроля за геологической обстановкой на территориях ядерных полигонов [1, 2] и для развития методов изучения последствий подземных ядерных испытаний, в том числе в поддержку Инспекции на месте (ИНМ) по Договору о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний (ДВЗЯИ) [3].

Экологический аспект применения сейсморазведки для выявления в геологической среде проницаемых структур на Семипалатинском испытательном полигоне (СИП) рассмотрен ранее в [4–8]. В данной статье описаны некоторые феноменологические свойства ПЯВ в верхней части разреза (ВЧР).

Подземный ядерный взрыв деструктивно воздействует на вмещающие горные породы [9], формируя области различного их разуплотнения. Для верхней части разреза характерно образование откольных зон [10], контрастно проявленных в геологическом разрезе. Небольшая глубина залегания и уникальные физико-механические свойства таких областей позволяют надежно обнаруживать их на поисковом этапе ИНМ.

Представленные в статье результаты могут помочь в развитии одного из наименее изученных методов ИНМ, приведенных в пункте 69(f) части II Протокола к Договору [3] – активных сейсмических съемок.

ПОЛЕВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ, ХАРАКТЕРИСТИКА УЧАСТКА

Сейсмические исследования на площади 21 км² (6×3,5 км) проведены в 1997 г. Институтом геофизи-

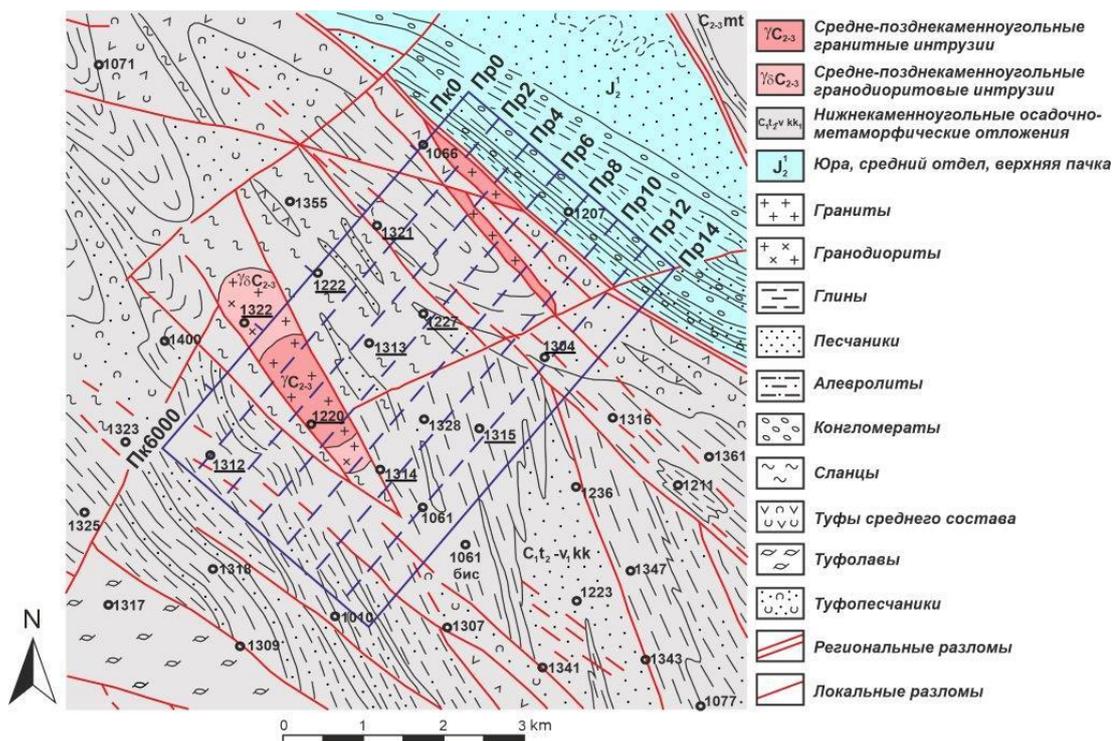
ческих исследований НЯЦ РК на участке СИП со скважинными ПЯВ – в пределы площади наблюдений вошло 14 взрывных скважин (рисунок 1). Вес ядерного заряда (мощность) для указанных ПЯВ изменялся от 44 до 190 кт, глубина заложения заряда – от 466 до 550 м. Ядерные испытания в этих скважинах проведены в 1972–1987 гг.

Сейсмические наблюдения методом рефрагированных волн выполнены вдоль 8 профилей длиной по 6 км с шагом регистрации 125 м и взрывным интервалом 500 м. Расстояние между профилями составляло 500 м. Для возбуждения упругих колебаний использовались химические взрывы с зарядами весом до 40 кг. Запись сейсмических сигналов выполнена аппаратным комплексом «КАРС» («Казгеофиз-прибор»), включавшим 12-канальные аналоговые станции АСС-3/12 и трехкомпонентные сейсмодатчики СК-1П.

Геология участка исследований представлена ниже-каменноугольными осадочно-метаморфическими породами [11]. В разрезе присутствуют средне-поздне-каменноугольные гранитные и гранодиоритовые интрузии. На северо-востоке залегают юрские осадочные породы, отделённые от каменноугольных отложений региональным Чинрауским разломом. В пределах участка широко развита локальная тектоника (рисунок 1). Палеозойский фундамент перекрыт неогеновыми глинами и четвертичными аллювиальными отложениями мощностью 10–70 м.

С гидрогеологической точки зрения на участке исследований распространены грунтовые воды напорного типа, залегающие, в основном, в областях экзогенной трещиноватости коры выветривания палеозойского фундамента [12].

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛЕДОВ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МЕТОДА**



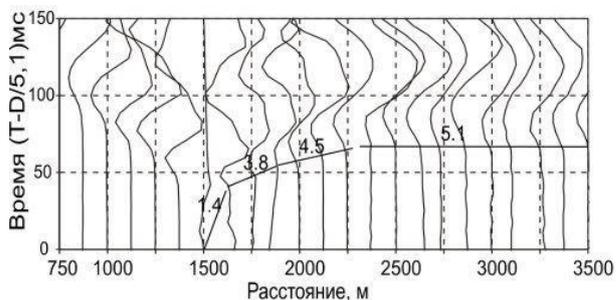
кругок с номером – взрывная скважина; подчеркнутый номер – скважина, обеспеченная до-взрывной архивной информацией; линии: — контур площадки, - - - профиль сейсмических наблюдений; надписи: (Пр0–Пр14) – номера профилей, (Пк0 – Пк6000) – номера пикетов

Рисунок 1. Фрагмент геолого-тектонической схемы участка исследований

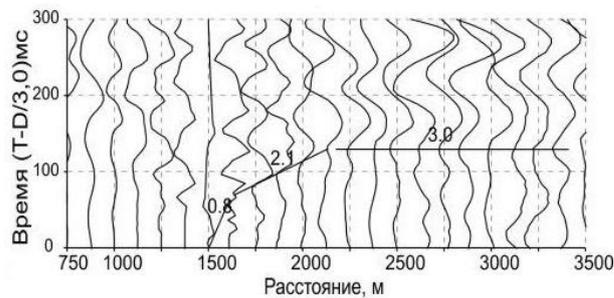
ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Первичная обработка результатов полевых съемок заключалась в переводе данных из аналогового вида в цифровой формат SEG-Y (Society of Exploration Geophysicists), сборке сейсмограмм общего пункта взрыва (ОПВ), определении времен первых вступлений продольных волн на вертикальной компоненте, выделении фаз поперечных волн на горизонтальных компонентах, определении их времен вступления и построении систем наблюдаемых годографов. На рисунке 2 представлены фрагменты сейсмограмм для ПВ1500 Пр0 в редуцированном масштабе времени для оценки особенностей поведения P и S-волн в зоне, ближней к пункту взрыва.

По первым вступлениям продольных волн выделено 3 точки с резким изменением кажущейся скорости (рисунок 2-а): при переходе от зоны малых скоростей (ЗМС) со скоростью 1,4 км/с к области откольных проявлений со скоростью 3,8 км/с [6], при переходе к третьему слою со скоростью 4,5 км/с и последний скачок при выходе волны в подстилающее полупространство со скоростью 5,1 км/с. Для поля поперечных волн в ближней к ПВ зоне запись осложнена наличием других волн, в том числе регулярных (поверхностных, обменных), поэтому выделить интервалы с откольным слоем не удалось, и откольный и третий слой были объединены в один «техногенный» слой. На рисунке 2-б показано, что этот слой характеризуется кажущейся скоростью 2,1 км/с.



а) P-волна ($V_{red} = 5,1$ км/с)



б) S-волна ($V_{red} = 3,0$ км/с)

ломаная линия с цифрами – интервалы вступлений сейсмических волн со значениями кажущейся скорости в км/с

Рисунок 2. Фрагменты сейсмограмм в редуцированном масштабе времени для Пр0 ПВ1500

Дальнейшая обработка иллюстрируется на примере 2-х характерных профилей – Пр0 и Пр2 (рисунок 1). Построенные скоростные разрезы по *P*-волнам, приведенные в [4], вдоль этих двух профилей различаются. Пр0 описывается трехслойной моделью (с подстилающим полупространством), в которой по всей длине профиля под ЗМС выделяется откольный слой с пониженной скоростью до 3,5–3,8 км/с. Такая протяженность откольного слоя объясняется плотным и равномерным распределением взрывных скважин в створе Пр0. Пр2 представлен двухслойной моделью, где на большей части профиля ЗМС подстилается слоем со скоростью 4,1–4,4 км/с, а откольный слой проявляется локально вблизи эпицентров подземных ядерных взрывов. Скоростная ситуация вдоль других профилей аналогична вышеописанной и зависит от количества и расположения на них взрывных скважин.

Сопоставление времен пробега поперечных волн для Пр0 и Пр2 подтверждает выявленную по *P*-волнам скоростную особенность. На рисунке 3 представлены наблюдаемые годографы *S*-волн, на которых для наглядности удален слой ЗМС и оставлены участки зоны, ближней к ПВ – «техногенный» слой.

На начальной части профиля до ПК2500 м скорость *S*-волн в «техногенном» слое для Пр0 и Пр2 одинакова и равна 1,9–2,0 км/с. В интервале ПК0–2000 м низкая скорость на обоих профилях обусловлена юрскими отложениями и переходной зоной с региональным Чинрауским разломом к каменноугольным породам (рисунок 1). В интервале ПК2000–2500 м пониженная скорость на Пр2 вызвана отколом, сформированным под воздействием ПЯВ в скважине 1321. Локальное понижение скорости на этом профиле подтверждается увеличением времен пробега *S*-волны на встречных годографах с ПВ3500, ПВ4000, ПВ4500 и ПВ5500 (рисунок 3). Такие аномалии могут служить хорошим поисковым критерием

для обнаружения откольных зон в ходе проведения ИНМ. Далее, в интервале ПК2500–5500 м, где на Пр2 не оказывают влияния взрывные скважины, скорость *S*-волн на Пр2 выше на 0,3–0,4 км/с, чем на Пр0. В интервале ПК5500–5000 м скорость *S*-волн в «техногенном» слое на обоих профилях выравнивается под воздействием взрыва в скважине 1312.

Построение скоростных разрезов осуществлялось методом лучевого трассирования по алгоритму [13], реализованному в программе SeisWide (D. Chian). Скоростные разрезы для *P*-волн (рисунок 4-а) формировались путем полного подбора их параметров – рельефа преломляющих границ и скорости внутри слоев, – в соответствии с характерными изменениями времен пробега волн, выделенными по системе годографов. Подбор модели осуществлялся сверху вниз последовательно для каждого годографа таким образом, чтобы в результате обеспечивались минимальные невязки между модельными и наблюдаемыми временами для всех годографов на профиле. Скоростные разрезы для *S*-волн (рисунок 4-б) строились на базе моделей по *P*-волнам при сохранении общей геометрической структуры сейсмических границ (с учетом объединения двух слоев) подбирались значения скорости внутри слоев.

На разрезах наблюдается скоростная ситуация, аналогичная описанной выше – в поле продольных волн на Пр0 под ЗМС прослеживается протяженный слой со средней скоростью 3,5 км/с, интерпретируемый нами как область откольных проявлений. На Пр2 низкоскоростные участки локализованы в районе близрасположенных скважин 1321 и 1312. В поле поперечных волн объединенный «техногенный» слой на Пр0 отличается в целом пониженными значениями скорости (1,8–2,0 км/с), тогда как на Пр2 области пониженной скорости до 1,6–1,8 км/с наблюдаются в районе скважин 1321 и 1312, на остальной части профиля скорость *S*-волн выше – до 2,2–2,3 км/с.

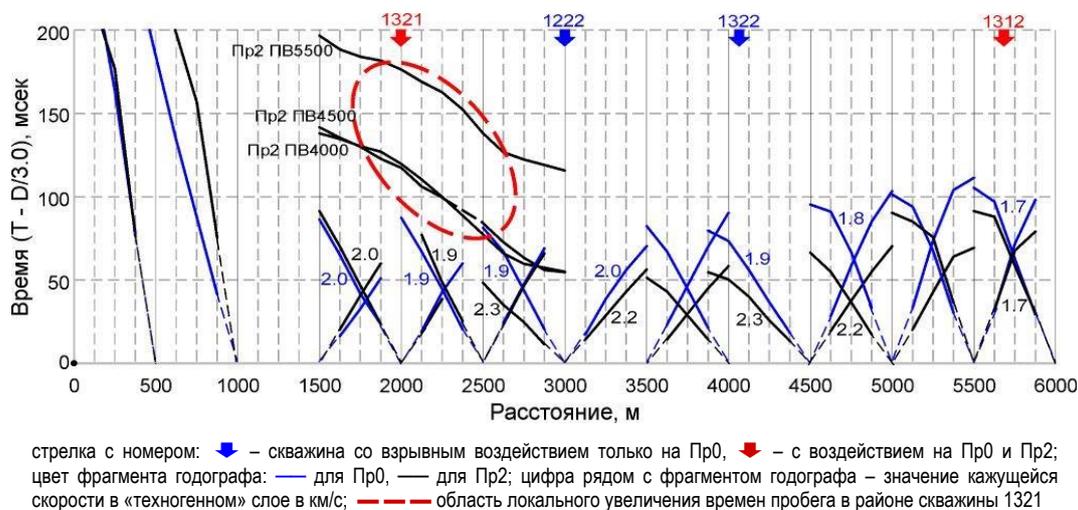


Рисунок 3. Сопоставление участков годографов S-волн для Пр0 и Пр2 в редуцированном масштабе времени ($V_{ред}=3$ км/с)

**ВЫЯВЛЕНИЕ ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ СЛЕДОВ ОТ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ
НА СЕМИПАЛАТИНСКОМ ПОЛИГОНЕ С ПОМОЩЬЮ АКТИВНОГО СЕЙСМИЧЕСКОГО МЕТОДА**

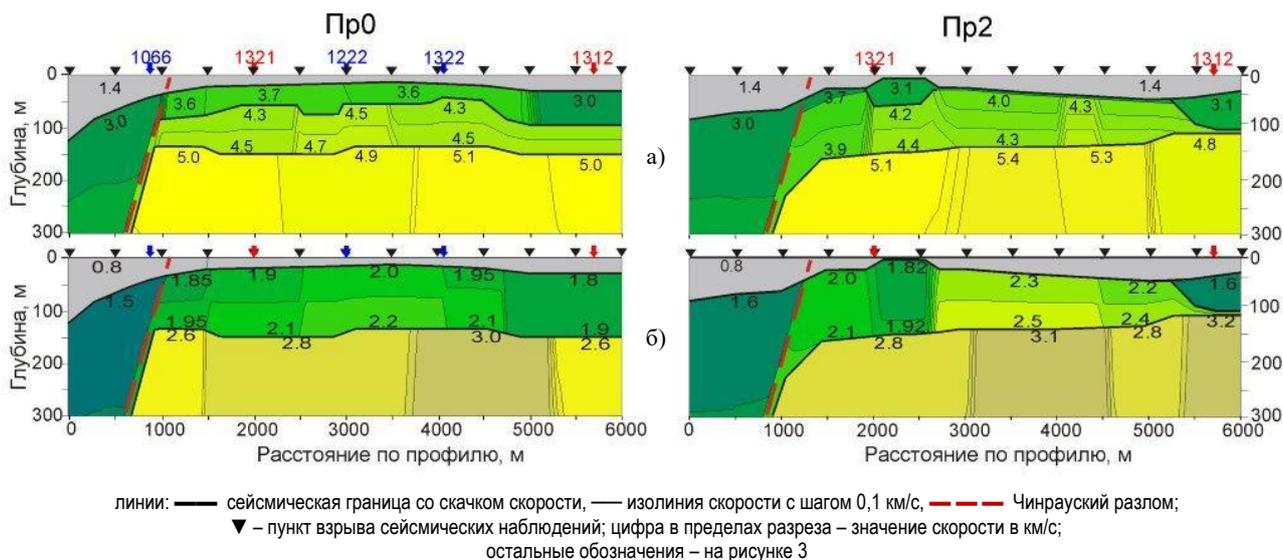
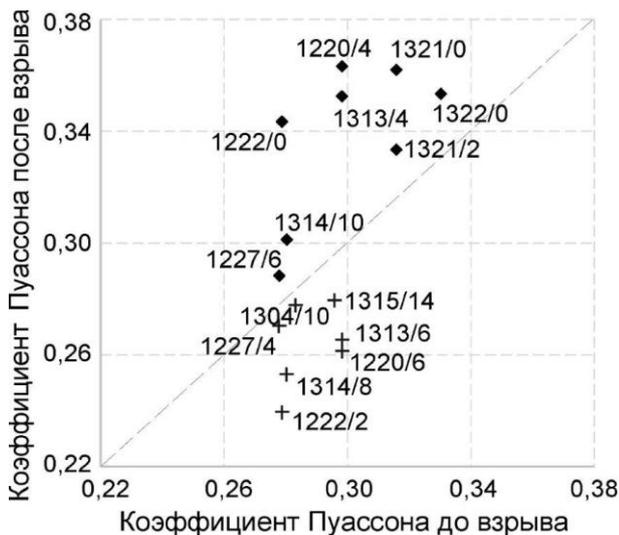


Рисунок 4. Скоростные разрезы для Пр0 и Пр2 по продольным (а) и поперечным (б) волнам

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

С использованием информации о скорости *P*- и *S*-волн по всей площади наблюдений рассчитан динамический коэффициент Пуассона и проведено сопоставление с его до-взрывными значениями, полученными на образцах керна из скважин (рисунок 5).



◆ – скважина, расположенная от референсного профиля не более чем на 250 м, + – на удалении от 250 до 600 м; цифры: в числителе – номер скважины, в знаменателе – номер профиля

Рисунок 5. Сопоставление коэффициента Пуассона до и после взрыва

Как следует из рисунка 5, полученные данные разбились на 2 группы: первая – по «близким» скважинам (удаление не более 250 м от профиля), – характеризуется повышенными пост-взрывными значениями коэффициента Пуассона, превышающими его до-взрывные значения на величину до 0,07. Эта закономерность соответствует выявленным ранее особенностям поведения коэффициента Пуассона в трещиноватых флюидонасыщенных средах [14]. Вторая группа данных относится к скважинам, удаленным от профилей на расстояние более 250 м и оказавшим меньшее влияние на скоростные характеристики. Эта группа, соответственно, характеризуется пониженными в среднем на 0,03 пост-взрывными значениями коэффициента Пуассона. Проведена аналитическая оценка современного состояния подвергшихся воздействию ПЯВ горных пород, выраженно-го через параметр плотности трещин ρ [15]:

$$\rho = \frac{1}{V} \sum_{m=1}^N a^{(m)^3},$$

где $a^{(m)}$ ($m = 1, \dots, N$) – радиус трещин, V – общий представительный объем горной породы.

С использованием зависимостей для упругих модулей в флюидонасыщенной трещиноватой среде, приведенных в [16], на основании до- и пост-взрывных скоростных параметров рассчитана плотность трещин в районе взрывных скважин ρ :

$$\rho = \frac{\frac{K}{G} - \frac{K_0}{G_0} + p \frac{K}{G} \frac{3(1-\nu_0)}{2(1-2\nu_0)} \left\{ 1 - \frac{1}{1+\delta_s} \right\} - p \frac{K_0}{G_0} \frac{15(1-\nu_0)}{7-5\nu_0}}{\frac{K_0}{G_0} \frac{h}{1+\nu_0} \left\{ 1 - \frac{2}{5} \left[1 - \left(1 - \frac{\nu_0}{2} \right) \frac{\delta}{1+\delta} \right] \right\} - \frac{K}{G} \frac{h}{1-2\nu_0} \left\{ 1 - \left[1 - \left(1 - \frac{\nu_0}{2} \right) \frac{\delta}{1+\delta} \right] \right\}}$$

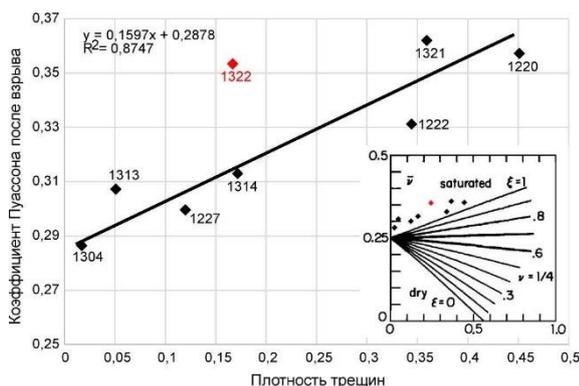
Здесь K_0 , G_0 и K , G – до- и пост-взрывные значения модулей объемного сжатия и сдвига, соответственно; ν_0 – до-взрывной динамический коэффициент Пуассона, p – коэффициент пост-взрывной пористости (для расчетов принято значение 1%); h – параметр,

описывающий геометрию трещин ($h = \frac{16(1-\nu_0^2)}{9(1-\nu_0/2)}$);

δ – параметр, характеризующий взаимосвязь между напряжением породы и давлением жидкости ($\delta = (1-\nu_0/2)E_0\zeta h/K_f$); K_f – модуль сжатия жидкости (для расчетов взято стандартное значение для воды 2 ГПа); E_0 – до-взрывной модуль Юнга; ζ – соотношение горизонтального и вертикального размеров трещин; δs – параметр, объединяющий жесткость твердого скелета, сжимаемость жидкости и геометрию пор ($\delta s = \frac{2(E_0/K_f) - 3(1-2\nu_0)}{9(1-\nu_0)}$).

рию пор ($\delta s = \frac{2(E_0/K_f) - 3(1-2\nu_0)}{9(1-\nu_0)}$).

На рисунке 6 приведена полученная зависимость пост-взрывного коэффициента Пуассона от рассчитанной плотности трещин (наведенной трещиноватости).



вставка иллюстрирует аналогичную закономерность при изменении объема водонасыщенной фракции трещин по [18] с дополнениями

Рисунок 6. Изменения пост-взрывного коэффициента Пуассона в зависимости от плотности трещин

Для подавляющего большинства рассматриваемых скважин отмечается надежная линейная зависимость (со степенью аппроксимации порядка 0,9) увеличения коэффициента Пуассона с ростом объема трещин. При этом, максимальная трещиноватость наблюдается для района скважины 1220 (0,45) – в ней геологический разрез представлен гранитами, которые относятся к хрупкому классу горных пород и более подвержены взрывному разрушению. Отклонение от установленной зависимости отмечается только для скважины 1322 (на рисунке 6 выделена красным цветом). Согласно архивной информации [17] породы в скважине 1322 (гранодиориты) отличаются повышенными значениями модуля Юнга и сопротивления растяжению (в 1,5–3 раза превышающие эти параметры по другим скважинам). Все это свидетельствует о хрупкости горных пород, что подтверждает

ся повышенным значением пост-взрывного коэффициента Пуассона (0,353). При этом породы в скважине 1322 в пределах всего глубинного интервала и до взрыва отличались высокой степенью тектонической трещиноватости (12 трещин на 1 см) и повышенным коэффициентом пористости (10,6%). Учитывая исходную повышенную трещиноватость среды, результирующая плотность трещин вследствие воздействия взрыва оказалась относительно невысокой – 0,17.

Полученные результаты можно дополнить оценкой доли водонасыщенных трещин по отношению к общему их количеству в зависимости от коэффициента Пуассона и общей плотности трещин в модели [18]. Характерной особенностью в ней является линейная зависимость между выбранными параметрами (вставка на рисунке 6). В нашем случае наблюдаемое значение коэффициента Пуассона при нулевой плотности трещин равно 0,28, и его изменения с ростом трещиноватости оказываются близкими к значениям водонасыщенности, равной 1,0. Это свидетельствует о том, что вся техногенная трещиноватость может быть флюидонасыщенной, и согласуется с аналогичными тенденциями влияния влагонасыщенной трещиноватости на коэффициент Пуассона по результатам других исследований [18–21]. График зависимости наведенной трещиноватости от одного из инженерно-технических параметров ПЯВ – приведенной глубины взрыва (рисунок 7), свидетельствует о существенной обратной корреляции (со степенью аппроксимации порядка 0,8) между этими величинами, несмотря на различный состав горных пород. Для данного признакового пространства отскок наблюдается только для скважины 1313 (на рисунке 7 выделена красным цветом). В соответствии с архивными данными [17] горные породы в этой скважине на всем интервале глубин отличаются исходной повышенной трещиноватостью и пористостью и, соответственно, резко пониженными до-взрывными значениями сейсмических волн (на 1,0 км/с для продольных и 0,6–0,7 км/с для поперечных волн). Так же, как и для скважины 1322, исходная высокая трещиноватость пород привела к относительно низким пост-взрывным значениям плотности трещин.

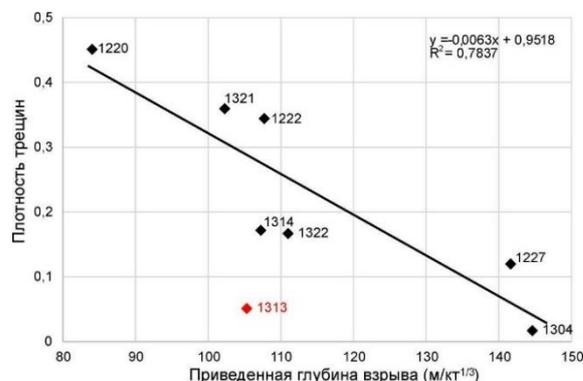
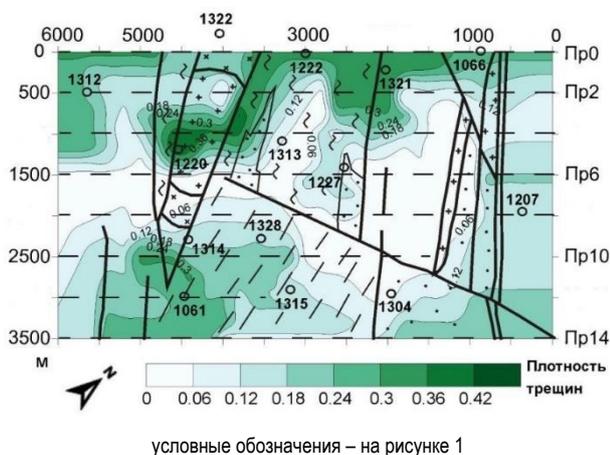


Рисунок 7. Зависимость наведенной трещиноватости от приведенной глубины взрыва

Установленная корреляция может быть использована в ходе проведения ИНМ при отсутствии надежных априорных данных об инженерно-технических параметрах ПЯВ – глубины и мощности. Карта распределения параметра плотности трещин по площади исследований представлена на рисунке 8.



условные обозначения – на рисунке 1

Рисунок 8. Площадное распределение техногенной трещиноватости, совмещенное с геолого-тектонической схемой исследуемого участка

Области повышенных значений техногенной трещиноватости проявлены в окрестности взрывных скважин и слабо коррелируют с геолого-тектонической обстановкой района. На этом основании можно сделать вывод, что главное влияние на степень разрушения геологической среды оказывают инженерно-технические параметры подземного взрыва – глубина заложения заряда и его мощность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты сейсмического изучения верхней части разреза на одном из участков Семипалатинского полигона показали, что откольные области по своим физико-механическим свойствам существенно отличаются от вмещающей геологической среды и характеризуются:

ЛИТЕРАТУРА

1. Кожевников, Н.О. Геоэлектрический разрез в районе подземного ядерного взрыва «Кристалл» (Западная Якутия) по данным метода переходных процессов / Н.О. Кожевников, Е.Ю. Антонов, С.Ю. Артамонова, А.Е. Плотников // Геология и геофизика. – 2012. – т. 53, №2. – С. 237–249.
2. Субботин, С.Б. 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.
3. Договор о всеобъемлющем запрещении ядерных испытаний // Подготовительная комиссия ОДВЗЯИ, Вена. – 1996. – 139 с.
4. Суворов, В.Д. Скоростные параметры среды в местах проведения подземных ядерных взрывов на Семипалатинском испытательном полигоне / В.Д. Суворов, А.В. Беляшов // Вестник НЯЦ РК. – 2012. – № 2. – С. 101–107.
5. Беляшов, А.В. Сейсмическое изучение верхней части разреза на участке Семипалатинского ядерного испытательного полигона / А.В. Беляшов, В.Д. Суворов, Е.А. Мельник // Технологии сейсморазведки. – 2013. – № 3. – С. 64–75.
6. Беляшов, А.В. Техногенно-измененные приповерхностные породы на участке Семипалатинского испытательного полигона: характеристика по сейсмическим данным / А.В. Беляшов, В.Д. Суворов, Е.А. Мельник // Технологии сейсморазведки. – 2015. – № 1. – С. 106–110.

- резким снижением скорости сейсмических волн на величину более 1,0 км/с для P волн и 0,5 км/с для S волн (на 25–30%);
- увеличением коэффициента Пуассона на величину до 0,07 (на 20–25%);
- повышением плотности трещин в эпицентральных областях ПЯВ до 0,45.

Установлена зависимость наведенной трещиноватости от приведенной глубины взрывов (с учетом веса ядерного заряда и глубины его заложения). Выявленную корреляцию можно использовать в ходе проведения ИНМ для определения оценочных значений глубины и мощности взрыва при отсутствии надежных априорных данных об инженерно-технических параметрах ПЯВ.

Существенного влияния геолого-тектонической обстановки на степень нарушенности среды на участке не обнаружено. На этом основании можно сделать вывод, что в случае мощных ядерных взрывов на степень разрушения верхней части геологического разреза в основном влияют инженерно-технические параметры – вес заряда и глубина его заложения.

Благодаря своей контрастной природе и относительно небольшой глубине залегания откольные зоны легко обнаруживаются с помощью сейсмических методов и могут быть использованы в качестве целевых объектов на поисковом этапе ИНМ как индикаторы более глубоких следов от ПЯВ – полостей и зон активного дробления пород. При этом необходимо учитывать, что горизонтальные размеры откольных зон зависят от плотности проведенных ПЯВ и могут изменяться от 500 м для одиночных взрывов до нескольких километров в случае плотного расположения взрывных скважин с эффектом их взаимного влияния. Поэтому для эффективного выполнения ИНМ желательно обладать априорной информацией о характеристиках изучаемого района.

7. Беляшов, А.В. Скоростная характеристика верхней части разреза на участке Семипалатинского испытательного полигона по поперечным волнам / Беляшов А.В., Суворов В.Д., Мельник Е.А., Шелехова О.Х., Ларина Т.Г. // Вестник НЯЦ РК. – 2017. – № 2. – С. 126–132.
8. Беляшов, А.В. Приповерхностные техногенные сейсмические неоднородности в местах проведения подземных ядерных взрывов (Семипалатинский полигон) / А.В. Беляшов, В.Д. Суворов, Е.А. Мельник // Геофизические исследования. – 2020. – № 2. – С. 29–47.
9. Садовский, М. А. Избранные труды: Геофизика и физика взрыва / М. А. Садовский; отв. ред. В. В. Адушкин. -М.: Наука. – 2004. – 440 с.
10. Адушкин, В. В. Изменение свойств горных пород и массивов при подземных ядерных взрывах / В. В. Адушкин, А. А. Спивак // Физика горения и взрыва. – 2004. – № 6. – С. 15–26.
11. Ергалиев, Г.Х. Геологическое строение территории Семипалатинского испытательного полигона / Г.Х. Ергалиев, А.К. Мясников, О.И. Никитина, Л.В. Сергеева // Вестник НЯЦ РК. – 2000. – № 2. – С. 139–148.
12. Коновалов, В. Е. Некоторые особенности подземных вод участка Балапан по данным текущего обследования глубоких скважин / В. Е. Коновалов, Е. Ю. Пестов, Н. Я. Распопов // Вестник НЯЦ РК, 2002. - № 2. – С. 96–99.
13. Zelt, C. A. Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure / C. A. Zelt, R. B. Smith // Geophys. J. Int. – 1992. – Vol. 108. – P. 183–204.
14. Henyey, F. Self-Consistent Elastic Moduli of a Cracked Solid / F. S. Henyey and N. Pomphrey // Geophysical Research Letters. – 1982. – Vol. 9, No. 8. – P. 903–906.
15. Guéguen, Y. Effective Elastic Properties of Cracked Rocks – An Overview. Mechanics of Crustal Rocks / Y. Guéguen, M. Kachanov // Springer Wien New-York, Courses and Lectures. – 2011. – No. 533. – 239 p.
16. Fortin, J. Effects of pore collapse and grain crushing on ultrasonic velocities and Vp/Vs / J. Fortin, Y. Guéguen, and A. Schubnel // Journal of Geophysical Research. – 2007. – Vol. 112. – P. 1–16.
17. Паспортизация боевых скважин площадки Балапан: отчёт по РБП 038 «Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» (годовой). – Национальный ядерный центр РК ; рук. Лукашенко С.Н., исп. Русинова Л.А. – Курчатов, фонды НЯЦ РК, 2012. – 79 с.
18. O’Connell, R. Seismic Velocities in Dry and Saturated Cracked Solids / R. J. O’Connell and B. Budiansky // Journal of Geophysical Research. – 1974. – Vol. 79, No. 35. – P. 5412–5426.
19. Shearer, P. Cracked media, Poisson’s ratio and the structure of the upper oceanic crust / P. M. Shearer // Geophysical Journal. – 1988. – Vol. 92. – P. 357–362.
20. Wang, X.-Q. High Vp/Vs ratio: Saturated cracks or anisotropy effects? / X.-Q. Wang, A. Schubnel, J. Fortin, E.C. David, Y. Gueguen, and H.-K. Ge // Geophysical Research Letters. – 2012. – Vol. 39. – P. 1–6.
21. Khandelwal, M. Correlating P-wave Velocity with the Physico-Mechanical Properties of Different Rocks / M. Khandelwal // Pure Appl. Geophys. – 2013. – Vol. 170. – P. 507–514.

БЕЛСЕНДІ СЕЙСМИКАЛЫҚ ӘДІС КӨМЕГІМЕН СЕМЕЙ ПОЛИГОНЫНДАҒЫ ЖЕР АСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАРЫНАН ЖЕР БЕТІНЕ ЖАҚЫН ІЗДЕРІН АНЫҚТАУ

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

РФА СБ мұнайгаз геология мен геофизикасы институты, Новосибирск, Ресей

1997 жылы ҚР ҰЯО Геофизикалық зерттеулер институты Семей сынау полигонындағы «Балапан» алаңының учаскесінде сейсмикалық зерттеу жүргізді. Зерттеу міндеттерінің бірі жер асты ядролық жарылыстардан табылған іздерді жергілікті жерде инспекция жүргізу кезінде мақсатты объектілер ретінде қиманың жоғарғы бөлігінде анықтау әдістемесін әзірлеуден тұрды. 100–120 м тереңдікке дейінгі жер асты ядролық жарылыстарының эпицентралықтық облыстарында жарылып бөлінген болып байқалатын аймағы ретінде пайымдалған *P* толқындары үшін 3,0–3,5 км/с және *S* толқындары үшін 1,6–1,8 км/с дейін жылдамдықтың төмен мәндерінің учаскелері бөлінді. Жарылып бөлінген аймақтар шегіндегі таужыныстар Пуассон коэффициентінің 0,35-ке дейін жоғары мәндерімен ерекшеленеді, бұл оның жарылысқа дейінгі мәндерінен 0,07-ге жоғары. Сыйыстырушы ортаның жарылысқа дейінгі және одан кейінгі параметрлерін (сейсмикалық толқындардың жылдамдығы, таужыныстарының тығыздығы, серпімді модульдер) пайдалану арқылы техногенді өзгертілген қабат шегіндегі жарықшақтардың тығыздығының параметрі есептелген. Таужыныстарының жарылыстан кейінгі жарықшақтықтарының жер асты жарылыстарының инженерлік-техникалық параметрлерімен (ядролық зарядтың салмағы мен оның салыну тереңдігі) корреляциясы анықталды.

**DETECTION OF NEAR-SURFACE TRACES FROM UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS
AT SEMPALATINSK TEST SITE USING ACTIVE SEISMIC METHOD**

A.V. Belyashov, V.D. Suvorov, E.A. Melnik

Institute of Oil and Gas Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

In 1997, Institute of Geophysical Research NNC RK conducted seismic study of the Balapan site at Semipalatinsk Test Site, within the borders of which 14 underground nuclear explosions were carried out earlier. One of the tasks of the study was to develop a detection methodology in the upper part of the traces section from underground nuclear explosions as target objects during the On-site Inspection. In epicentral regions of the underground nuclear explosions with depths down to 100–120 m sites with lower velocity values were noted down to 3,0–3,5 km/s for *P* and 1,6–1,8 km/s for *S* waves; these were interpreted as slabbing occurrences. The rocks within the slabbing zones are different with increased Poisson's ratio values up to 0.35, which is 0.07 higher than its pre-explosion values. Using pre- and post-explosion parameters of the background medium (seismic waves velocity, mountain rocks density, elastic modules) a parameter of fractures' density was calculated within industrially changed layer. A correlation of post-explosion fracture of mountain rocks with engineering and technical parameters of underground explosions was established – a weight of nuclear charge and its laying depth.