

УДК 550.34:621.39.9(24)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ДАННЫХ ПРИ ИЗУЧЕНИИ ТЕХНОГЕННЫХ СТРУКТУР НА УЧАСТКАХ ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

Ларина Т.Г., Романов А.М., Сергеев Н.Н., Шайторов В.Н.

*Институт геофизических исследований, Курчатов, Казахстан*

Показаны возможности сейсморазведки методами преломленных и рефрагированных волн (КМПВ – МРВ) и метода дифрагированно-рассеянных волн (МДРВ), – при изучении техногенных структур на примере одной из боевых скважин Семипалатинского испытательного полигона. По данным сейсморазведки выявляются центральная зона трещиноватости (очаг ПЯВ), где проявляется чередование уплотненных и разуплотненных горных пород, а также примыкающие мощные зоны трещиноватости. На удалении 200–300 м от очага ПЯВ прослеживаются дополнительные зоны трещиноватости.

В результате ядерных испытаний в недрах Семипалатинского испытательного полигона (СИП) накопилось значительное количество радионуклидов. Поток подземных вод выщелачивают радионуклиды из очаговых зон ПЯВ и переносят их по гидродинамическим структурам. Эти структуры представлены зонами разрушения горных пород как природных, так и техногенных. В районе «боевых» скважин наибольшие разрушения являются техногенными, сформированные взрывами. Выявление этих структур может обеспечить качественное определение каналов распространения загрязнения и дать надежную оценку радиационной опасности [1, 2]. Зоны измененных трещиноватых горных пород характеризуются пониженными значениями сейсмической скорости, что позволяет успешно использовать на участках проведения подземных ядерных взрывов методы сейсморазведки: КМПВ-МРВ (корреляционный метод преломленных волн – метод рефрагированных волн) – для уточнения строения верхней части геологического разреза до глубины порядка 150 м и МДРВ (метод дифрагированно-рассеянных волн) – для уточнения поствзрывной структурно-тектонической обстановки в области, непосредственно прилегающей к гипоцентру ПЯВ, в блоках пород, размерами порядка 1×1 км по горизонтали и от 50–80 м до 800–900 м по глубине [3–5].

На площадке Балапан СИП при изучении современного состояния мест проведения ПЯВ наблюдения МРВ выполнялись вдоль двух ортогональных профилей длиной по 1,8 км. Каждый профиль отрабатан по системе встречных и нагоняющих годографов, шаг наблюдений 10 м, расстояние между пунктами возбуждения сейсмических волн – 100 м. Каждая стоянка отработана из 8–10 пунктов возбуждения с максимальным расстоянием «пункт возбуждения – пункт приема» не менее 1000 м, что обеспечило глубину зондирования рефрагированными волнами не менее 150 м. Источник возбуждения – падающий груз массой 300 кг с энергией воздействия порядка 12 кДж. Прием упругих колебаний осуществлялся линейной расстановкой 48 вертикальных сейсмоприемников типа DF-8. В качестве регистратора исполь-

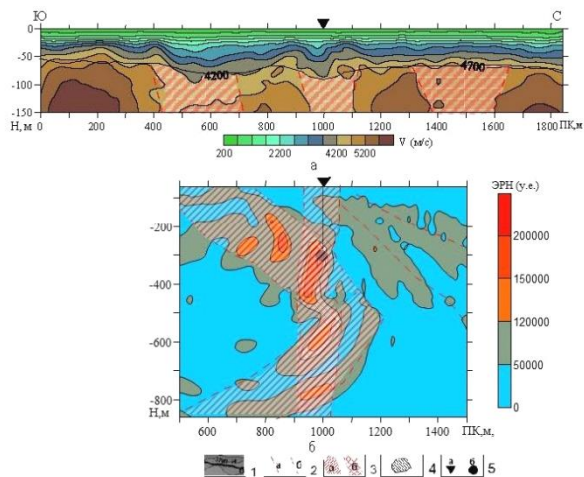
зована 48-канальная цифровая сейсмостанция SGD-SEL (РФ) с накоплением воздействий, при шаге квантования сигнала 1 мс и частоте среза цифрового фильтра низких частот 396 Гц. Обработка данных выполнялась по стандартной методике для КМПВ с расчетом граничных скоростей и положения преломляющей границы, так и по методике для рефрагированных волн с построением скоростных разрезов с использованием пакета X-ТОМО

Система наблюдений при работах по МДРВ – центрально-симметричная относительно устья скважины, состоящая из четырех парных сегментов: линия приема – линия возбуждения. Для возбуждения, приема и регистрации упругих колебаний использованы те же технические средства, что и для КМПВ-МРВ. Прием упругих колебаний осуществлялся линейной расстановкой из 48 вертикальных сейсмоприемников типа DF-8 с шагом между ними 10 м. Обработка данных включала повышение соотношения сигнал-помеха для снижения интенсивности регулярных помех (поверхностных, отраженно-рефрагированных различной кратности продольных и обменных волн) и фокусирующее преобразование волнового поля по общей точке рассеяния (дифракции), что обеспечивало выделение в поле энергии рассеянных волн областей интенсивной трещиноватости. В результате фокусирующего преобразования построены вертикальные разрезы поля энергии рассеянных волн в ортогональных плоскостях для приустьевых площадок.

На рисунках 1 и 2 приведен пример результатов сейсморазведки на одном из участков – блоке геологической среды, включающем скважину № 1235, – площадки Балапан Семипалатинского испытательного полигона [3]. Два ПЯВ в этой скважине (с забоем 535 м) были произведены 20.11.1983 г. на глубине 305 м в интересах совершенствования ядерного оружия. Мощность зарядов – до 20 кт тротилового эквивалента. Взрыв был полного внутреннего действия без выхода или истечения газообразных продуктов в атмосферу.

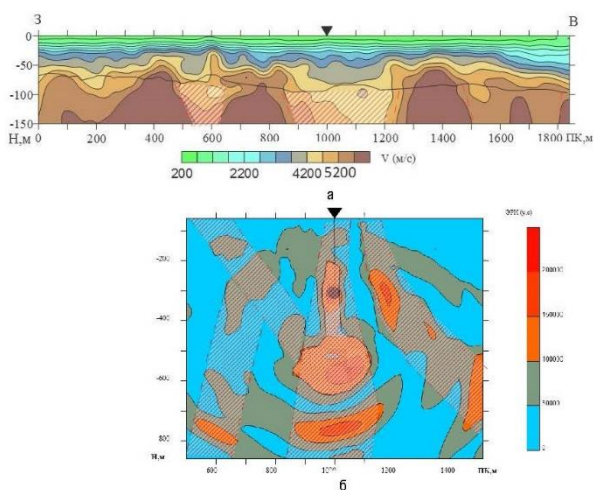
Геологический разрез на исследованном участке сложен (сверху вниз) неогеновыми глинами и песча-

ми общей мощностью порядка 20 м и кристалло-ли-  
токластическими туфами андезитовых порфиров  
мощностью порядка 500 м. Верхняя часть туфов яв-  
ляется корой выветривания. Подземные воды при-  
урочены к зоне экзогенной трещиноватости, разви-  
той до глубины 65 м, уровень подземных вод – по-  
рядка 24 м. Скважина расположена на равнинной ме-  
стности.



1 – граничная скорость; 2 – изолинии скорости (а) и преломляющая  
граница по кровле фундамента (б); 3 – разрывное нарушение по  
геофизическим данным: а – установленное, б – предполагаемое; 4 – зона  
трещиноватости: (а) по сейсмическим данным; (б) по данным электро-  
разведки; 5 – зона интенсивного изменения по данным МДРВ; 6 – эпи-  
центр (а) и гипоцентр (б) ПЯВ

Рисунок 1. Площадка Балапан. Сква. № 1235. Разрез Ю–С:  
(а) скоростной разрез по данным КМПВ-МРВ; (б) разрез  
в параметре энергии рассеянных волн по данным МДРВ



Условные обозначения на рисунке 1

Рисунок 2. Площадка Балапан. Сква. № 1235. Разрез 3–В:  
(а) скоростной разрез по данным КМПВ-МРВ; (б) разрез  
в параметре энергии рассеянных волн по данным МДРВ

Два ортогональных профиля, по которым прове-  
дены работы методом МРВ, имеют ориентировку С–  
Ю (рисунок 1) и 3–В (рисунок 2). Размер площадки

МДРВ с центром на устье скважины 1000×1000 м.  
Как следует из рисунков 1-а, 2-а, наиболее значимое  
снижение скорости упругих волн в скальном фунда-  
менте, прослеживаемое практически на всю глубину  
зондирования рефрагированными волнами, отмеча-  
ется в районе эпицентра ПЯВ. В меридиональном се-  
чении (рисунок 1) снижение скорости продольных  
волн прослежено в интервале ПК 400–1600.

В широтном сечении (рисунок 2) снижение ско-  
рости продольных волн прослежено в интервале  
ПК 480–1250. Аномальное снижение скорости упру-  
гих волн проинтерпретировано как связанное с обра-  
зованной поствзрывной зоной деструкции. Такие же  
зоны, симметричные относительно эпицентральной  
части, хотя и менее контрастные, проявились на уда-  
лении от эпицентра ПЯВ на 400–500 м.

Гипоцентральная область ПЯВ характеризуется  
по энергии рассеянных волн МДРВ (рисунки 1-б,  
2-б). Зона максимального дробления и трещиновато-  
сти выделена по максимальным значениям энергии  
рассеянных волн. В широтном сечении – это субвер-  
тикальная неоднородность неправильной формы в  
интервале глубин 250–650 м, имеющая горизонталь-  
ную мощность порядка 100–200 м. Сопряжённая с  
ней область повышенной трещиноватости имеет диа-  
метр порядка 650 м и прослеживается практически от  
кровли фундамента на всю глубину зондирования,  
представляя совокупность крутопадающих в восточ-  
ном и северном направлениях структур мощностью  
до 200 м. Выходы как субвертикальной, так и наклон-  
ных трещинных структур удовлетворительно согла-  
суются с зонами аномального понижения скорости  
упругих волн в фундаменте по данным сейсморазвед-  
ки КМПВ-МРВ.

В целом по сейсмическим данным блок горных  
пород, вмещающий скважину № 1235, характеризу-  
ется широким развитием поствзрывных деструктив-  
ных эффектов, проявленных как природно-техноген-  
ная трещиноватость в горных породах. Деструктив-  
ное действие ПЯВ в скважине № 1235 распростра-  
няется на глубину, значительно превышающую глуби-  
ну ПЯВ.

## Выводы

Практика применения на СИП сейсморазведки  
методами рефрагированных и дифрагированно-рас-  
сеянных волн показала возможность выявлять, изу-  
чать и оценивать размеры и пространственное поло-  
жение зон деструкции в геологической среде, приле-  
гающей к гипоцентру ПЯВ в радиусе до 500 м, а так-  
же зоны разуплотнения горных пород по кровле фун-  
дамента в радиусе до 1 км. Выявляемые зоны природ-  
ных и техногенных нарушений могут быть прослеже-  
ны на глубину ниже гипоцентра (до 2–3 раз больше,  
чем глубина заложения заряда).

Данные, полученные по сейсморазведке, состав-  
ляют хорошую информационную основу для изуче-  
ния гидродинамической обстановки в недрах участ-  
ков ПЯВ. Из характера и размеров зон деструкции

следует, что гидрогеохимические исследования по принятой редкой сети наблюдательных скважин глубиной 50–70 м (реже до 100–120 м) недостаточны

для надежного картирования путей миграции радионуклидов из очагов ПЯВ с потоками вод [2].

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Романов, А.М. Преимущественная форма распространения веществ в литосфере и атмосфере / А.М. Романов // Вестник НЯЦ РК, 2015. – Вып.4. – С. 107–110.
2. Романов, А.М. Физико-механическая характеристика миграции радионуклидов / А.М. Романов. – Семей: Издательский дом «Интеллект» – 110 с.
3. Обеспечение безопасности бывшего Семипалатинского испытательного полигона» в составе государственной бюджетной программы БП-038 «Обеспечение радиационной безопасности на территории Республики Казахстан»: отчет (промежуточный) / Институт геофизических исследований (ИГИ): рук. Л.В. Бахтин. – Курчатов, 2011. – 73 с.
4. Шайторов, В.Н. Применение сейсморазведки при выделении динамического воздействия подземного ядерного взрыва в геологической среде на примере участка Балапан / Б.И. Кислый, А.К. Жолдыбаев [и др.] // Вестник НЯЦ РК. – 2006. – Вып. 1. – С. 67–74.
5. Беляшов, А.В. Мукушева М.К. Использование сейсморазведки для изучения влияния подземных ядерных взрывов на окружающую геологическую среду / А.В. Беляшов, М.К. Мукушева // Геофизика. – 2011. – № 6. – С. 36–41.

#### **ЖЕРАСТЫ ЯДРОЛЫҚ ЖАРЫЛЫСТАР УЧАСКЕЛЕРІНДЕГІ ТЕХНОГЕНДІ ҚҰРЫЛЫМДАРДЫ ЗЕРДЕЛЕУ КЕЗІНДЕ СЕЙСМИКАЛЫҚ БАРЛАУ ДЕРЕКТЕРІН ПАЙДАЛАНУ**

**Т.Г. Ларина, А.М. Романов, Н.Н. Сергеев**

*Геофизикалық зерттеулер институты, Курчатов, Қазақстан*

Семей сынау полигонының ұрыс ұңғымаларының бірінің мысалында техногенді құрылымдарды зерделеу кезінде сейсмикалық барлау мүмкіндіктері көрсетілген – сыну толқындарының корреляциялық әдісі (СТКӨ), тойтарылмаған толқындар әдісі (ТТӨ), тойтарылған-шашыраған толқындар әдісі (ТШТӨ). Сейсмикалық барлау деректері бойынша жарықшақтылықтың орталық зонасы айқындалды (ЖЯЖ ошағы), онда тығыздалған және тығыздығы жойылған тау жыныстарының алмасуы, сондай-ақ жанасып жатқан жарықшақтылықтың үлкен зонасы байқалады. ЖЯЖ ошағынан 200–300 м қашықтықта жарықшақтылықтың қосымша зоналары көрінеді.

#### **THE USE OF SEISMIC SURVEY DATA WHEN STUDYING TECHNOGENIC STRUCTURES AT THE UNDERGROUND NUCLEAR EXPLOSIONS SITES**

**T.G. Larina, A.M. Romanov, N.N. Sergeyev**

*Institute of Geophysical Research, Kurchatov, Kazakhstan*

The article shows opportunities of seismic survey – refraction correlation method, method of refracted waves, method of refracted scattered waves, – during the study of technogenic structures at the example of one of emplacement boreholes of the Semipalatinsk Test Site. According to the data of seismic survey, central fissure zone (UNE focus) is detected, where there is an alternation of compacted and decompressed rocks as well as adjacent strong fissure zones. At a distance of 200–300 m from the UNE focus there are additional fissure zones.